

Évolution de la matière organique dans une rendzine

Nicolas Chouliaras

▶ **To cite this version:**

Nicolas Chouliaras. Évolution de la matière organique dans une rendzine. Agronomie. Université Nancy 1 - Henri Poincaré, 1976. Français. NNT : 1976NAN10104 . tel-02953335

HAL Id: tel-02953335
https://hal.univ-lorraine.fr/tel-02953335

Submitted on 30 Sep 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITE DE NANCY I.

Sc.N.76/104

T H E S E

DE DOCTEUR-INGENIEUR EN AGRONOMIE

présentée à

1' UNIVERSITE DE NANCY I.

par

CHOULIARAS Nicolas

SUJET : EVOLUTION DE LA MATIERE ORGANIQUE DANS UNE RENDZINE

Date de soutenance : le 6 AVRIL 1976

Devant le jury suivant : Président : M. MANGENOT, Professeur à 1'Université de Nancy I;

Examinateurs : MM. JACQUIN, Professeur à 1'INPL
DUTIL, Directeur de Recherches I.N.R.A.
VEDY, Docteur-ès-Sciences

UNIVERSITE DE NANCY I.

T H E S E

DE DOCTEUR-INGENIEUR EN AGRONOMIE

présentée à

l' UNIVERSITE DE NANCY I.

par

CHOULIARAS Nicolas

SUJET : **EVOLUTION DE LA MATIERE ORGANIQUE DANS UNE RENDZINE**

Date de soutenance : le 6 AVRIL 1976

Devant le jury suivant :

Président :	M.	MANGENOT,	Professeur à l'Université de Nancy I;
Examinateurs	MM.	JACQUIN,	Professeur à l'INPL
		DUTIL,	Directeur de Recherches I.N.R.A.
		VEDY	Docteur-ès-Sciences Chargé de recherches C.N.R.S.

AVANT PROPOS

Avant d'exposer les résultats de notre travail nous tenons à exprimer notre reconnaissance à ceux qui ont contribué à sa réalisation :

- A Monsieur F. JACQUIN, Professeur à l'Institut National Polytechnique de Lorraine - Responsable de l'enseignement " Mise en Valeur des Sols - à l'Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires - qui nous a proposé notre sujet de thèse et qui nous a suivi avec bienveillance tout au long de notre travail ; en outre nous tenons à le remercier pour les services qu'il nous a rendus même avant notre arrivée en France ; pour les nombreux et précieux conseils qu'il nous a dispensés et que nous avons toujours apprécié en ce qui concerne la planification de notre travail et l'interprétation des résultats.

- A Monsieur N. ROUSSOPOULOS, ancien Professeur à l'Ecole Supérieure d'Agronomie d'Athènes et actuellement Membre de l'Académie d'Athènes - qui a bien voulu suivre notre travail et qui, par ses rapports favorables à notre égard auprès de la Fondation des Bourses d'Etat Héllénique, nous a permis de mener à bien nos recherches.

- A Monsieur F. MANGENOT, Professeur de Botanique à Nancy I, qui nous a honoré en acceptant la Présidence du Jury, ce dont nous le remercions sincèrement.

- A Messieurs Ph. DUCHAUFOUR et B. SOUCHIER, Directeurs du Centre de Pédologie Biologique à Nancy, qui nous ont accepté dans leurs laboratoires.

- A Monsieur DUTIL, Directeur de Recherches à l'I.N.R.A., qui a bien voulu faire partie de notre Jury.

- A Monsieur VEDY, Chargé de Recherches au C.N.R.S. (Centre de Pédologie-Biologique), qui nous a considérablement aidé pour la mise au point de la méthode du fractionnement dans les sols calcaires ; nous le remercions également d'avoir accepté de participer à notre Jury.

- A Monsieur J.M. PORTAL qui, grâce à sa compétence biochimique, a facilité notre tâche, et à Melle Th. CHONE, pour sa collaboration lors de la manipulation des radioéléments.

.../...

- Aux Chercheurs du C.N.R.S. : Melle JOCTEUR-MONTROZIER, MM. TOUTAIN, ANDREUX, FARES, SELMI, et à ceux de l'E.N.S.A.I.A. : MM. SCHIAVON, MOREL, PAPADOPOULOS, THOMANN, dont l'amitié, les encouragements, les discussions fructueuses aux différentes étapes de notre travail, nous ont été très précieux.

- A Mmes AUBERT et HECKMANN de l'E.N.S.A.I.A. pour la dactylographie et la présentation de notre travail.

- A Mme PISIER, Secrétaire au C.N.R.S. qui s'est dévouée pour résoudre tous les problèmes matériels qui se sont posés pendant notre séjour à Nancy.

Par ailleurs, nous remercions le personnel du C.N.R.S. qui a facilité notre travail, spécialement Melle F. LAURENT et Mme PAPIS.

En ce qui concerne l'exploitation statistique de nos résultas nous remercions Monsieur BARTHEL, Professeur à l'E.N.S.A.I.A. ainsi que Monsieur KOHLER, pour son aide lors de nos observations au microscope électronique.

°°°

SOMMAIRE

	Pages
INTRODUCTION	1,2
PREMIERE PARTIE : ETUDE STATIQUE	
1.1. Extraction de la matière organique des sols en général	3
1.1.1. Fractionnement des sols calcaires	4
1.2. Définitions	6
1.2.1. Matières organiques surnageantes	6
1.2.2. Composés extractibles	7
1.2.3. Humine de néoformation et humine résiduelle	7
1.3. Plan expérimental	8
1.3.1. Choix du protocole de fractionnement	8
1.3.2. Caractéristiques générales du matériel utilisé	9
1.4. Résultats du fractionnement	12
1.4.1. Matières surnageantes	12
1.4.2. Composés extractibles	14
1.4.3. Humines	21
1.4.4. Conclusions	23
DEUXIEME PARTIE : ETUDE DYNAMIQUE	
2.1. Principes pour une étude dynamique	24
2.1.1. Objeotifs du travail	25
2.1.2. Minéralisation expérimentale de la matière organique	25
2.2. Plan expérimental	28
2.2.1. Estimation statistique des résultats obtenus	31
2.3. Résultats concernant la minéralisation	34
2.3.1. Respiration endogène	34
2.3.2. Minéralisation totale après l'adjonction du glucose	36

2.3.3. Minéralisation du Glucose ^{14}C 38
2.3.4. Etude du Turn-over à l'aide du Glucose ^{14}C 40
2.3.5. Cinétique du Glucose ^{14}C 43
2.3.6. Action du Glucose sur la minéralisation totale 45
2.3.7. Minéralisation totale après l'adjonction de paille 46
2.3.8. Minéralisation de la paille 47
2.3.9. Etude du Turn-over à l'aide de la paille ^{14}C 49
2.3.10. Cinétique de la paille ^{14}C 52
2.3.11. Action de la paille sur la minéralisation totale 53
2.3.12. Cinétique de minéralisation globale 54

2.4. Hydrosolubles 58

2.5. Action du $CaCO_3$ ajouté dans le S.B.A. 59

2.5.1. Glucose ^{14}C (minéralisé dans le SBA et le SBA + $CaCO_3$) 59
2.5.2. Paille ^{14}C (minéralisée dans le SBA et le SBA + $CaCO_3$) 61
2.5.3. Cinétique 63
2.5.4. Hydrosolubles 64

2.6. Conclusions sur la dynamique de la minéralisation 66

2.6.1. Etude de l'évolution du dégagement de CO_2 66
2.6.2. Priming-effect 67

2.7. Fractionnement de la rendzine et étude de la répartition de la radioactivité incorporée 70

2.7.1. Matières surnageantes 70
2.7.2. Fractions de C-2 70
2.7.3. Fraction extractible AF+AH 71
2.7.4. Les Humines 73
2.7.5. Comparaison de la radioactivité incorporée avec la teneur en carbone organique 75

2.8. Fractionnement du S.B.A. - Role du $CaCO_3$ dans l'humification 78

2.8.1. Matière surnageante (S) 78
2.8.2. Incorporation de la radioactivité à la fraction lourde C-2 79
2.8.3. Fraction extractible, AF+AH 79
2.8.4. Humines 80
2.8.5. Comparaison de la radioactivité incorporée dans le SBA avec la teneur en carbone organique 82

2.9. Conclusions sur la dynamique de l'humification dans la rendzine 83

2.9.1. Humification au sens strict 83
2.9.2. Action du calcium lors de la formation des acides fulviques + acides humiques 84
2.9.3. Humines 85
2.9.4. Evolution du $CaCO_3$ lors de l'humification 87

TROISIEME PARTIE : CONCLUSIONS GENERALES

3.1.1. Caractérisation de la matière organique lors du fractionnement avec les réactifs alcalins. 89
3.1.2. Cinétique de l'évolution de la matière organique 91
3.1.3. Conclusions sur le mécanisme du blocage 92
3.1.4. Conclusions pédologiques 93
3.1.5. Conclusions agronomiques 93

4.1. ANNEXE 95

4.1.1. Récapitulation des résultats 95
4.1.2. Détails techniques du fractionnement 97
4.1.3. Protocoles lors de l'étude du fractionnement de la matière organique dans les sols calcaires 99

Glossaire 100

Bibliographie 103

INTRODUCTION

Notre travail a essentiellement comme but l'étude de la caractérisation et de l'évolution de la matière organique dans les sols calcaires ; en effet, sur roches-mères sédimentaires calciques, le rôle du calcaire prédomine dans les mécanismes d'évolution de la matière organique et influe sur le degré de fertilité des sols en ce qui concerne la nutrition azotée et phosphorée.

Afin d'étudier la matière organique, nous nous sommes basés sur les données d'HENIN et al. (1949), MONNIER et al. (1962) pour déterminer la matière organique libre ; sur celles de KONONOVA (1968) ; LEVEQUE et SCHNITZER (1966), FLAIG (1970) pour le fractionnement classique ; enfin sur celles envisagées par DUCHAUFOUR et JACQUIN (1975) pour la différenciation de l'humine en plusieurs fractions (d'insolubilisation , résiduelle et néoformation microbienne).

Nous pouvons citer une bibliographie beaucoup plus abondante car ce domaine de la solubilité de la matière organique est extrêmement complexe ; nous ne le ferons pas, car nous considérons qu'une méthode spécifique devait être adaptée aux cas des sols riches en $CaCO_3$ actif ; nous avons donc adopté la méthode classique de DUCHAUFOUR et JACQUIN (1965), en la modifiant par l'emploi d'une solubilisation supplémentaire des composés humiques, après élimination du $CaCO_3$ et des ions Ca^{++} par une attaque acide en présence ou non d'ultra-sons.

D'autre part, des méthodes d'investigation physique y sont adjointes, pour nous renseigner sur les formes microscopiques des liaisons éventuelles entre éléments minéraux et organiques (microscopie électronique).

Nous avons donc essayé de discerner d'une part les mécanismes d'évolution et d'autre part les mécanismes de formation des complexes organo-minéraux. Nous savons qu'il existe deux grands axes directeurs :

a) l'insolubilisation physico-chimique et dans ce domaine LUTWICK et al. (1973) signalent que dans un sol acide ce processus est facilité par le fer, mais ils mentionnent également une limitation de cette réaction dans le cas des sols calcaires.

b) l'évolution strictement biologique et avons retenu parmi les nombreuses , ...

références , celles de MARTIN et al. (1974) ; GUCKERT et al. (1974) ; de FILIP (1974) ; de MAYAUDON et al. (1974).

Pour la caractérisation des composés humiques en fonction de leur poids moléculaire préconisée tout récemment par ORLOV et al. (1975), NEYROUD et al. (1974) constatent une grande similitude structurale entre les AF et AH.

Pour nos études il nous a absolument paru nécessaire d'utiliser les traceurs radioactifs en l'occurrence deux substrats marqués au ^{14}C : l'un hydrosoluble correspondant à une structure chimique simple : le glucose ; l'autre un matériel uniformément marqué dans des conditions proches des conditions naturelles : le maïs (LESPINAT et al. , 1975). Ne pouvant, dans un premier temps, nous placer dans des conditions écologiques rigoureusement réelles, nous avons utilisé les modèles d'étude par incubation préconisés par CHONE et al. (1974).

Comme notre travail consistait à suivre l'évolution de la matière organique dans une rendzine et afin de déterminer les facteurs dominant de cette évolution, nous avons comparé cette évolution dans un milieu acide (SBA) enrichi ou non en $CaCO_3$.

Nous pouvons donc résumer notre plan de travail de la façon suivante :

a) Une étude statique afin de déterminer la présence de $CaCO_3$ dans les composés humifiés des sols, et son influence sur la répartition quantitative et qualitative de ces fractions organiques.

b) une étude dynamique pour déterminer les mécanismes de l'évolution de la matière organique en présence de $CaCO_3$.

c) Enfin, nous avons essayé de relier ces mécanismes théoriques aux applications agronomiques en nous basant sur les travaux de COLLIER (D.) (1966) et FARES (F.) (1974).

PREMIERE PARTIE

ETUDE STATIQUE

1.1 L'extraction de la matière organique des sols en général.

Le pouvoir d'extraction d'un réactif alcalin utilisé pour le fractionnement de la matière organique dans les sols, est une fonction à plusieurs paramètres qui sont dominés d'une part par les caractères chimiques du sol, et d'autre part par les conditions de la manipulation ; ce pouvoir est estimé par des critères soit quantitatifs, soit qualitatifs.

En général les réactifs employés sont l'hydroxyde de sodium et le Pyrophosphate de sodium à des concentrations variables, tamponnés ou non.

En principe un réactif alcalin met en solution les acides humiques et fulviques dont les sels sont solubles sous forme [+] $[Ac]^-$ X^+ , X^+ = Na^+ , K^+ , NH_4^+ et insolubles pour X^+ = H^+, Ca^{2+}, Fe^{3+} et Al^{3+}.

L'action d'un réactif utilisé pour l'extraction de la matière organique peut être schématisée ainsi :

Sol (A+B) + Solvant (S) ⟶⟶ Solution (A+S) + insoluble (B)

La bibliographie internationale cite plusieurs travaux sur l'étude du fractionnement, mais il n'existe pas une seule méthode qui pourrait être adoptée pour toutes les catégories de sols.

L'utilisation de NaOH pour extraire la matière organique des sols, est de règle depuis longtemps ; à propos de ce réactif nous citons le travail de THENG B.G. et al. (1967) qui constatent que le NaOH extrait moins de groupements carboxyles, mais par contre beaucoup de C-H ; et celui de PONOMAREVA et al.(1968) proposant l'emploi de NaOH une seule fois et à froid pour éviter la production de substrats humiques par oxydation.

[+]:
$[Ac]^-$: Acides humiques, Acides fulviques

Il est particulièrement intéressant de citer les travaux de HAYES M.H.B. et al. (1973), qui, après un large usage de méthodes et réactifs différents, considèrent que NaOH est le meilleur solvant pour le fractionnement de la matière organique dans les sols.

SCHNITZER et al. (1972) proposent la manipulation de NaOH sous atmosphère d'N_2 pour éviter le phénomène d'oxydation.

Les sels neutres employés pour la solubilisation de la matière organique agissent en échangeant leurs cations avec Ca, Fe, Al,et le sel formé avec le cation remplacé précipite.

L'usage de $Na_4P_2O_7$ est le plus fréquent parmi les sels ; son action peut être représentée ainsi :

$$R(COO)_4Ca_2 + Na_4P_2O_7 \longrightarrow R(COONa)_4 + Ca_2P_2O_7\downarrow$$

ou

$$2\ [RCOO\ X(OH)_2]\ (COO)_2Ca + Na_4P_2O_7 \longrightarrow 2\ [RCOO\ X(OH)_2]\ (COONa)_2 + Ca_2P_2O_7\downarrow$$

: X = Fe, Al in SCHNITZER M. and KHAN S. (1972)

POSNER (1966) a démontré qu'il y a une analogie entre déplacement des cations Fe^{3+}, Al^{3+}, Ca^{2+} par le pyrophosphate de sodium et l'acide chlorhydrique ; en effet, en prétraitant des échantillons de sol à l'HCl ou au $Na_4P_2O_7$ la soude, succédant à ces réactifs, solubilise le maximum d'acides fulviques (AF).

Par rapport à la soude le $Na_4P_2O_7$ solubilise préférentiellement des composés carboxyles, (THENG et al., 1967) , une propriété qui justifie l'arrangement des deux réactifs.

1.1 1. Fractionnement des sols calcaires :

Les techniques de fractionnement mises au point au Centre de Pédologie Biologique à Nancy, DUCHAUFOUR et JACQUIN (1966), MERLET, (1971), VEDY (1973), représentent un important progrès ; comme elles mettent en jeu divers réactifs dans des conditions variables, le rendement du fractionnement est amélioré.

Pourtant dans le cas des sols calcaires il y a un facteur prédominant dans la formation des différents caractères de ces sols ; c'est la présence du $CaCO_3$; en effet, un facteur au départ de la pédogénèse tout à fait chimique, domine une évolution bio-physico-chimique et devient un paramètre qui influe sur les caractéristiques du sol, à savoir : physiques, chimiques et microbiologiques.

La faible évolution des précurseurs solubles, la prédominance des acides fulviques, (DUCHAUFOUR et JACQUIN, 1966 ; CALVEZ , 1970 ; DORMAAR et al., 1970), la transformation modérée des différents constituants insolubles de la matière organique fraîche MULLER (1972), imposent donc des conditions spéciales vis-à-vis de la méthode à choisir.

Evidemment le protocole de fractionnement bien adapté aux sols acides ne convient par pour les sols calcaires ; en effet, par l'alternance des deux réactifs, soude et pyrophosphate, il serait impossible de séparer la matière organique fraîche et séquestrée du carbonate de calcium.

Donc le premier objectif de notre travail est d'adapter les méthodes du fractionnement utilisées pour les sols acides aux sols calcaires.

1.2. DEFINITIONS (CHOULIARAS et al. , 1975)

1.2.1. Matières organiques surnageantes :

a) Matières organiques libres (fraction S-1)

Cette fraction correspond essentiellement aux matières organiques fraîches, libres de liaisons avec la matière minérale des sols. Elle est séparée de la fraction organique liée (Culot (C-1) par densimétrie de l'échantillon de sol dans un mélange de bromoforme et d'éthanol ajusté à des densités généralement comprises entre 1,5 et 2,0 selon le principe de MONNIER et al. (1962), à l'aide d'un protocole modifié mettant en jeu l'agitation mécanique et la centrifugation (DUCHAUFOUR Ph., 1966 ; MERLET D.,1971)

Pour notre étude nous utiliserons la densité de 1,8 et un rapport Sol/liqueur dense de 1/10 (MERLET D., 1971).

b) Matières organiques séquestrées (fractions S-2 et S-3)

La transformation plus ou moins complète de certains constituants insolubles des membranes végétales, notamment de la lignine, conduit à la formation d'un type particulier d'humine dite " résiduelle ou héritée ".

Ce type d'humine est en fait très hétérogène : il comprend, en effet, tous les termes de passage entre , d'une part des produits peu remaniés encore proches de la matière organique originelle, mais séquestrée par des liens physiques au sein des agrégats, d'autre part des molécules plus complexes liées essentiellement par l'intermédiaire de groupements carboxyles, à d'autres composés organiques et à la fraction silicatée des sols.

On comprendra dès lors que la matière organique séquestrée soit très difficile à séparer, d'une part de la matière organique libre, d'autre part de l'humine néoformée et de l'humine résiduelle liée. En milieu acide la matière organique séquestrée a pu être isolée en presque totalité grâce à l'emploi simultané des ultra-sons et du mélange bromoforme-éthanol (d = 1,8) suivant un protocole décrit par ailleurs (VEDY J.C., 1973), directement applicable au culot de centrifugation C-1. Dans les humus de rendzine, par contre, la matière organique séquestrée est beaucoup plus difficile à isoler qu'en milieu acide ou neutre. En effet, les ultra-sons ne peuvent assurer à eux seuls la désagrégation du ciment organo-calcique qui, en enrobant les éléments organiques, en empêche la flottation dans la liqueur dense.

L'utilisation d'un acide fort, solubilisant le calcaire actif préalablement à l'emploi de la liqueur dense et des ultra-sons, apparaît donc comme une méthodologie pouvant logiquement conduire à une séparation efficace de ce type de matière organique. Cependant, comme nous le verrons par la suite, la décarbonatation du culot C-2 perturbe sensiblement l'extraction des acides fulviques et humiques par les réactifs alcalins.

Pour cette raison nous opérons en deux temps ce qui nous permet de distinguer deux niveaux différents dans l'intensité de la séquestration de la matière organique.

- La matière organique faiblement séquestrée (fraction S-2), isolée en appliquant au culot de centrifugation C-1, un protocole identique à celui utilisé pour les sols acides ou neutres.

- La matière organique fortement séquestrée (fraction S-3) séparée par action conjuguée des ultra-sons et de la liqueur dense (d = 1,8) sur le culot C-3, c'est-à-dire après extraction des acides fulviques et acides humiques par les réactifs alcalins, puis décarbonatation ménagée par HCl 2 N jusqu'à pH 4.

1.2.2. Composés extractibles (A.F. et A.H.)

Ils comprennent les acides fulviques et les acides humiques (A.H. précipitables à pH:2 (ORTIZ DESERA et al., 1972 ; HUC, 1973). Dans cette étude nous comparons tout d'abord à la méthode utilisée habituellement au Centre de Pédologie-biologique de Nancy, désignée par " protocole 1 ", une méthode " cinétique " par épuisements successifs, appellée " protocole 2". Le protocole 1 comporte successivement deux extractions par la soude tamponnée à pH:9,7 par le $Na_2B_4O_7$, une extraction par le $Na_4P_2O_7$ à pH:9,8, trois extractions par le NaOH N/10 à pH:12 ; le rapport sol/liqueur d'extraction varie de 1/10 à 1/100 suivant la teneur globale en carbone de l'échantillon de sol ; la durée de la Ière extraction par un réactif est de 60 minutes, celle des suivantes de 30 minutes seulement (PORTAL et al., 1975). Le protocole 2 utilise ces mêmes réactifs et dans un ordre semblable au protocole 1 ; cependant chaque réactif est réemployé jusqu'à l'obtention d'un palier d'extraction matérialisé par l'obtention d'un liquide peu coloré ; la durée de la première extraction, puis des suivantes, est semblable à celle du protocole 1. Par ailleurs, pour limiter les phénomènes d'auto-oxydation de la matière organique il convient de travailler sous atmosphère inerte d'azote.

Pour ces deux protocoles nous utilisons un rapport sol/solution d'extraction de 1/20 .Nous étudions en outre dans les protocoles 1 et 2 l'influence de la décarbonatation du culot C-2, c'est-à-dire après séparation des fractions S-1 et S-2 sur l'extraction des acides fulviques et acides humiques par les réactifs alcalins ; cette décarbonatation s'effectue avec l'HCl 2 N jusqu'à pH:4.

1.2.3. Humine de néoformation et humine résiduelle liée (H_1 et H_2)

Les humines de néo-formation comprennent essentiellement l'humine d'insolubilisation bio-physico-chimique provenant de l'insolubilisation et de la polycondensation des précurseurs phénoliques, et l'humine microbienne à base de polysaccharides.

Elle peut être globalement fractionnée en deux parties :

- l'une extractible par la soude, après déferrication par le dithionite, puis destruction des minéraux silicatés suivant un protocole mis au point par PERRAUD (1971) et appelé H-1.

- l'autre restant insoluble et appelée H-2.

La fraction extractible correspond essentiellement à l'humine d'insolubilisation bio-physico-chimique insolubilisée par le fer et liée aux argiles ; la fraction non extractible comporte, outre les humines de néoformation , une proportion plus ou moins grande d'humine résiduelle liée.

1.3. PLAN EXPERIMENTAL :

1.3.1. Choix du protocole de fractionnement :

Comme nous l'avons précédemment précisé notre point de départ est la méthode de fractionnement adaptée par le Centre de Pédologie biologique de Nancy, pour les sols neutres et acides. Nous adaptons ce protocole par ordre d'emploi des différents réactifs , mais nous le complétons en ajoutant l'action de l'HCl,2N. Pour limiter au maximum une altération probable de la matière organique par ce réactif, nous opérons toujours la décarbonatation du culot jusqu'à pH 4, et à l'aide constante d'un pH-mètre.

Ensuite, pour compléter notre étude sur la matière organique libérée par ce réactif acide, nous procédons à une seconde séparation densimétrique ; effectivement avec cette séparation densimétrique nous envisageons la libération de la matière organique fraîche des grosses molécules qui n'ont pas eu la possibilité d'évoluer suffisamment. En effet, dans les rendzines, les premiers groupements fonctionnels libres que la matière organique incorporée libère, se neutralisent totalement par l'abondance du $CaCO_3$ qui, par conséquent, arrête précocement l'évolution ; par la suite, si les conditions du milieu favorisent l'accumulation d'autres molécules de $CaCO_3$ sur les précédentes, nous constatons un blocage qui devient encore plus solide ; les conditions et les réactifs de cette seconde séparation densimétrique sont les mêmes que dans celle effectuée au départ sur le sol étudié et avant l'extraction de la matière organique ; elle s'opère ainsi en deux étapes : une étape par une séparation densimétrique simple dans le liquide dense (d = 1,8) et une autre par séparation après l'action des ultra-sons.

Afin de pouvoir obtenir des résultats comparables nous planifions 5 protocoles : deux qui correspondent aux méthodes déjà utilisées pour les sols acides et 3 qui s'incluent dans la méthode dite " extraction cinétique ".

Avec les protocoles de l'extraction cinétique, nous utilisons les mêmes réactifs qu'avec le protocole dit " classique ", mais nous répétons l'opération de l'extraction avec le même réactif plusieurs fois jusqu'à l'obtention d'un liquide le moins coloré possible et duquel l'intensité de la coloration cessera de diminuer essentiellement avec les extractions qui suivent par le même réactif. Les protocoles utilisés pour cette étude peuvent être schématisés ainsi :

Protocole 1 : Extractions classiques des acides fulviques et acides humiques par les réactifs alcalins.

Protocole 1a : S-1, S-2$^{(+)}$, (A.F. + A.H.) , H-1 , H-2

Protocole 1b : S-1, S-2$^{(+)}$, décarbonatation, (A.F.+A.H.), H-1, H-2

(+): ultra-sons

(+) : voir § 4.1.2, 4.1.3.

Protocole 2 : Extraction " cinétique " des acides fulviques et acides humiques par les réactifs alcalins.

Protocole 2a : S-1, S-2$^{(+)}$ (A.F.+A.H.), décarbonation, H-1, H-2.

Protocole 2b ; S-1, S-2$^{(+)}$, décarbonatation, (A.F.+A.H.), H-1, H-2

Protocole 2c : S-1, S-2$^{(+)}$, (A.F.+A.H.), décarbonatation S-3$^{(+)}$, H-1, H-2

Pour pouvoir interpréter suffisamment nos résultats de fractionnement, nous observons les fractions solides du sol obtenues et naturellement le sol originel à l'aide du microscope à balayage ; en effet, à l'aide de cet appareil nous avons essayé de comparer les différentes fractions solides après divers traitements ; l'existence d'éléments figurés (mycellium, racines, débris végétaux) les cristaux minéraux et la présence du $CaCO_3$ sont les moyens de comparaison qui nous aide à interpréter les photos obtenues par rapport à la méthode utilisée, JEANSON (1974)

1.3.2. Caractéristiques générales du matériel utilisé

a) Généralités :

Le mull calcique, pris comme matériel d'étude, provient de l'horizon superficiel (0 à 6 cm) d'une rendzine forestière colluviale formée en plaine lorraine (altitude 260 m) sur un mélange de fragments de calcaires bajociens et de Terra fusca (lieu dit " Belle Fontaine ").

La végétation est une hêtraie à Charmes à sous-étages d'Erables champêtres et de noisetiers ; la flore herbacée y est abondante et caractéristique des mull actifs.

La description détaillée et l'analyse complète étant faite par ailleurs (DOMMERGUES Y. et DUCHAUFOUR Ph., 1966), nous rappellerons ici les caractéristiques principales (Tableau n°1.)

b) Description du profil (DOMMERGUES et al. 1966)

A_1 (0-6 cm) : litière de Hêtre, mull brun sombre à structure grumeleuse, de nombreux petits cailloux calcaires anguleux.
Limite diffuse avec A_1C.

S-1 = matière organique libre

S-2 = matière organique résiduelle faiblement séquestrée

S-3 = matière organique résiduelle fortement séquestrée

H-1 = Humine d'insolubilisation

H-2 = Humine non extractible

Tableau 1. Caractéristiques analytiques du sol utilisé (DOMMERGUES et DUCHAUFOUR, 1966)

RENDZINE BELLE FONTAINE

Prof. en cm.	Horizons	Granulométrie en %					$CaCO_3$ %	C % org.	N % total	C/N	pH
		S.G.	S.F.	L.G.	L.F.	A.					
0-6	A_1	20,2	4,4	7,8	18,6	21,7	22,5	14,05	1,1	12,8	7,4

Prof.en cm	Horizons	Cations échang. m.e/100 g.						100 S/T	Elém. libres o/oo		
		Ca	Mg	K	Na	S	T		Si	Al	Fe
0-6	A_1	Sat.	13,1	0,9	-	-	59,9	Sat.	-	-	6,4

A_1C (6-40 cm) : Brun jaune, structure prismatique à éléments très friables.
Nombreux cailloux anguleux (1-2 cm de diamètre) dispensés parallèlement à la surface du sol.
Texture légèrement plus argileuse.

C_1 : Calcaires bajociens délités. Coloration blanc/jaune. Le profil est de type A-C. Le calcaire actif est plus abondant en profondeur.
Le pH de la surface est plus faible qu'en profondeur.

c) Date de prélèvement : 7 mai 1974

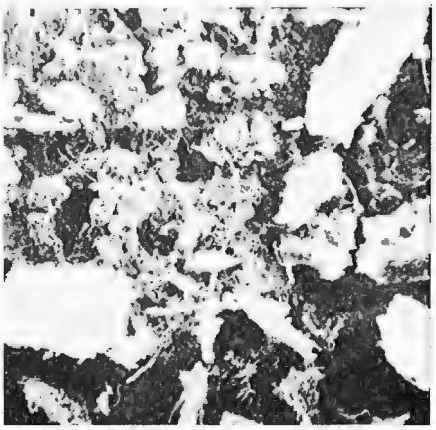


Photo 1, X 120
Matière organique faiblement séquestrée (S-2)

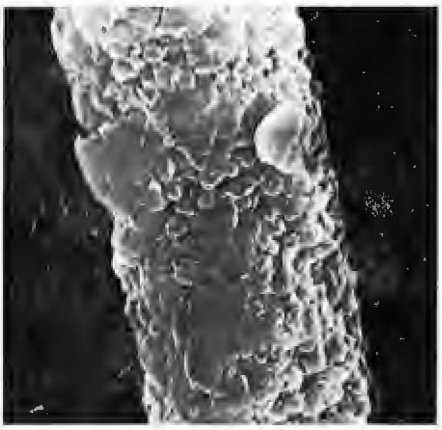


Photo 2, X 5000
Matière organique faiblement séquestrée (S-2)



Photo 3, X 2600
Agrégats organo-minéraux décarbonatés



Photo 4, X 5500
Agrégats organo-minéraux décarbonatés



Photo 5, X 5000
Humine résiduelle

1.4. RESULTATS DU FRACTIONNEMENT

1.4.1. Matières surnageantes

a) Matière organique libre : Fraction S-1

En ce qui concerne la fraction S-1, la séparation densimétrique de l'échantillon prélevé le 7/5/74 nous permet de mesurer une teneur en carbone égale à 56,72 % du carbone total du sol, tableau 2. Son étude morphologique au microscope électronique à balayage montre une grande abondance de débris végétaux et de quelques filaments fongiques ; on distingue bien les membranes cellulaires et en général la matière organique garde encore son caractère cellulaire. Le rapport C/N est peu élevé, de l'ordre de 15.

b) Matière organique faiblement séquestrée : Fraction S-2

Elle constitue 11,70 % du carbone total, soit 28 % du carbone lié(+), tableau 2. Au stéréoscan les fractions S-1 et S-2, paraissent peu différentes, toutefois cette dernière paraît comporter une proportion plus grande de mycel ium ; on constate une division partielle de la matière organique donc un facteur de plus qui favorise le contact de la matière organique avec les composés minéraux. On objecte également, comme pour la fraction S-1, que la matière organique n'a pas encore perdu son caractère cellulaire, mais par contre, on distingue une incrustation de ses débris végétaux et de ses mycelliums par un ciment organo-calcique à la surface duquel adhèrent des particules minérales (photos 1-2) ; son rapport C/N est moins élevé que celui de la matière organique libre : de l'ordre de 13.

c) Matière organique fortement séquestrée :

Elle représente 8 % du carbone total soit 19 % du carbone lié(+), tableau 2. Cette fraction récupérée par le protocole 2c qui comporte, comme nous l'avons vu précédemment, une décarbonatation suivie par une séparation densimétrique avec ultra-son, peut être assimilée à l'humine résiduelle séquestrée. Son étude morphoscopique montre qu'elle est constituée d'une part, de débris organiques figurés et de filaments fongiques, d'autre part de produits carbonés non figurés provenant très vraisemblablement de la litière, enfin de minéraux silicatés. Le caractère cellulaire des débris végétaux est difficile à distinguer, mais on peut quand même reconnaître la transformation poussée des figures cellulaires. Du fait de la décarbonatation les résidus organiques n'apparaissent plus revêtus du précipité de $CaCO_3$ mais ils demeurent néanmoins bloqués au sein des aggrégats organo-minéraux (photo 4) ; notre observation s'attache plutôt aux filaments

---

(+) carbone lié : carbone qui correspond à la fraction après la séparation de la matière organique libre (S-1)

organiques qui apparaissent recouverts par des agrégats organo-minéraux, théoriquement c'est une étape de la matière organique fraîche où les hydrates de carbone se sont décomposés, libérant la lignine qui, à son tour, subit une oxydation et acquiert des radicaux carboxyles nombreux (DUCHAUFOUR, 1968). Cette lignine légèrement transformée, contracte des liaisons chimiques avec les argiles et les cations. La fraction S-3 n'étant pas extractible par les réactifs alcalins peut être considérée comme une humine résiduelle séquestrée.

L'efficacité du protocole 2c à isoler cette fraction S-3 se confirme par l'examen morphoscopique du résidu non extractible, où on ne peut plus rencontrer des éléments organiques figurés ou des débris végétaux de transformation plus ou moins poussée. On peut donc admettre que le carbone de ce résidu comprend d'une part une humine de néoformation et d'autre part l'humine résiduelle liée (photo 5).

Le rapport C/N de cette fraction S-3 est encore plus faible autour de la valeur 10. La formation de cette fraction séquestrée S-3 se conçoit comme étant le fait d'une action bio-physico-chimique, celle-ci entraîne la complexation organo-minérale qui, par l'abondance du $CaCO_3$, réussit finalement à bloquer l'évolution du substrat organique.

Tableau 2. : Répartition du carbone dans les différentes fractions obtenues après les séparations densimétriques.

(en % du carbone organique du sol).

mat. org. libre	Matière organique liée			Protocole 2c
S-1	S-2	Ac. Hymat.	C-2	S-3
56,72	11,70	0,88	30,69	8,00
100 %				

Tableau 3 : Taux d'extraction : En % du carbone organique du culot densimétrique C-2.

PROTOCOLE

	1a		1b		2a		2b		2c	
	A.F.	A.H.	A.F.	A.H.	A.F.	A.H.	A.F.	A.H.	A.F.	A.H.
Soude tetraborate	4,59	0,41	2,73	13,04	10,36	1,90	10,23	8,66	10,36	1,90
Pyrophosphate	5,66	5,51	3,45	0,35	11,83	7,20	4,10	3,13	11,33	7,20
Soude	8,47	11,53	5,18	10,32	8,86	2,41	6,90	8,77	8,86	2,41
Liquide de décarbonatation	-	-	12,21	-	2,70	-	12,21	-	2,70	
Somme	18,72	17,45	23,57	23,71	33,25	11,51	33,44	20,56	33,25	11,51

1.4.2. Composés extractibes : Fraction A.F. + A.H.

Pour l'étude des composés extractibles nous calculons deux coefficients :

a) le taux d'extraction
b) le rapport AF/AH.

- Le taux d'extraction habituellement correspond au rapport :

$T = \frac{AF+AH}{C\ total} \times 100$ dans lequel :

A.F. : carbone des acides fulviques
A.H. : carbone des acides humiques
C.total : carbone organique total du sol.

Nous avons considéré que pour la comparaison de nos résultats il serait préférable de remplacer le rapport T par le rapport :

$T' = \frac{AF+AH}{C-2} \times 100$ dans lequel C-2 = carbone de la fraction C-2.

Dans les protocoles 1b, 2a, 2b, 2c, nous incluons dans les composés extractibles la fraction fulvique solubilisée par HCl durant la décarbonatation Tableau 3. En étudiant le taux d'extraction lors des différents protocoles nous aboutissons aux conclusions suivantes :

- La décarbonatation dans tous les cas augmente le taux d'extraction de 36,17 % (prot. 1a), à 47,28 % (1b) et jusqu'à 54 % (prot.2b), tableau 4.

- Quand la décarbonatation précède les extractions par les réactifs alcalins le taux d'extraction augmente de 36,17 % à 47,28 % (prot. 1) et de 44,76 % à 54 % (prot. 2).

- Dans le cas d'extraction cinétique, quand la décarbonatation précède les extractions par les réactifs alcalins, le taux de carbone solubilisé par l'HCl augmente de 2,7 % à 12,21 %,(tableau 4) En effet, cela s'explique par l'action de l'HCl qui est analogue à celle du $Na_4P_2O_7$ dans les protocoles 1b et 2b (tableaux 3 et 4), où le carbone extrait par le $Na_4P_2O_7$ a considérablement diminué. Par contre cette diminution du carbone extrait par le pyrophosphate est suivie par une augmentation du carbone extrait par la soude-tetraborate (Prot.1b,2b)

Tableau 4. : Taux d'extraction dans les différents protocoles

CE = AF+AH, CD : carbone extrait par l'HCl, lors de la décarbonatation.

Protocole	$100X\frac{CE}{C-2}$	$100X\frac{CD}{C-2}$	Taux d'extraction par réactif		
			Soude-tétrab.	Pyrophosphate	Soude
1a	36,17	-	5,00	11,17	20,00
1b	47,28	12,21	15,77	3,80	15,50
2a	44,76	2,70	12,26	18,53	11,27
2b	54,00	12,21	18,89	7,23	15,67
2c	44,76	2,70	12,26	18,53	11,27

- En comparant la teneur en carbonate du C-2 avec celle de l'humine (H_1+H_2), que nous récupérons après les extractions AF+AH, nous constatons l'inefficacité des réactifs alcalins à éliminer le carbonate ; ce n'est qu'une proportion (14 %) , tableau 5, qui propablement se décompose lors du processus de fractionnement ; donc une fois de plus nous constatons la nécessité d'un réactif acide.

GRAPHIQUE 1.

Carbone extractible par rapport à l' ordre de l' extraction

et au réactif employé(mg. de Carbone/ 100 g. de sol).

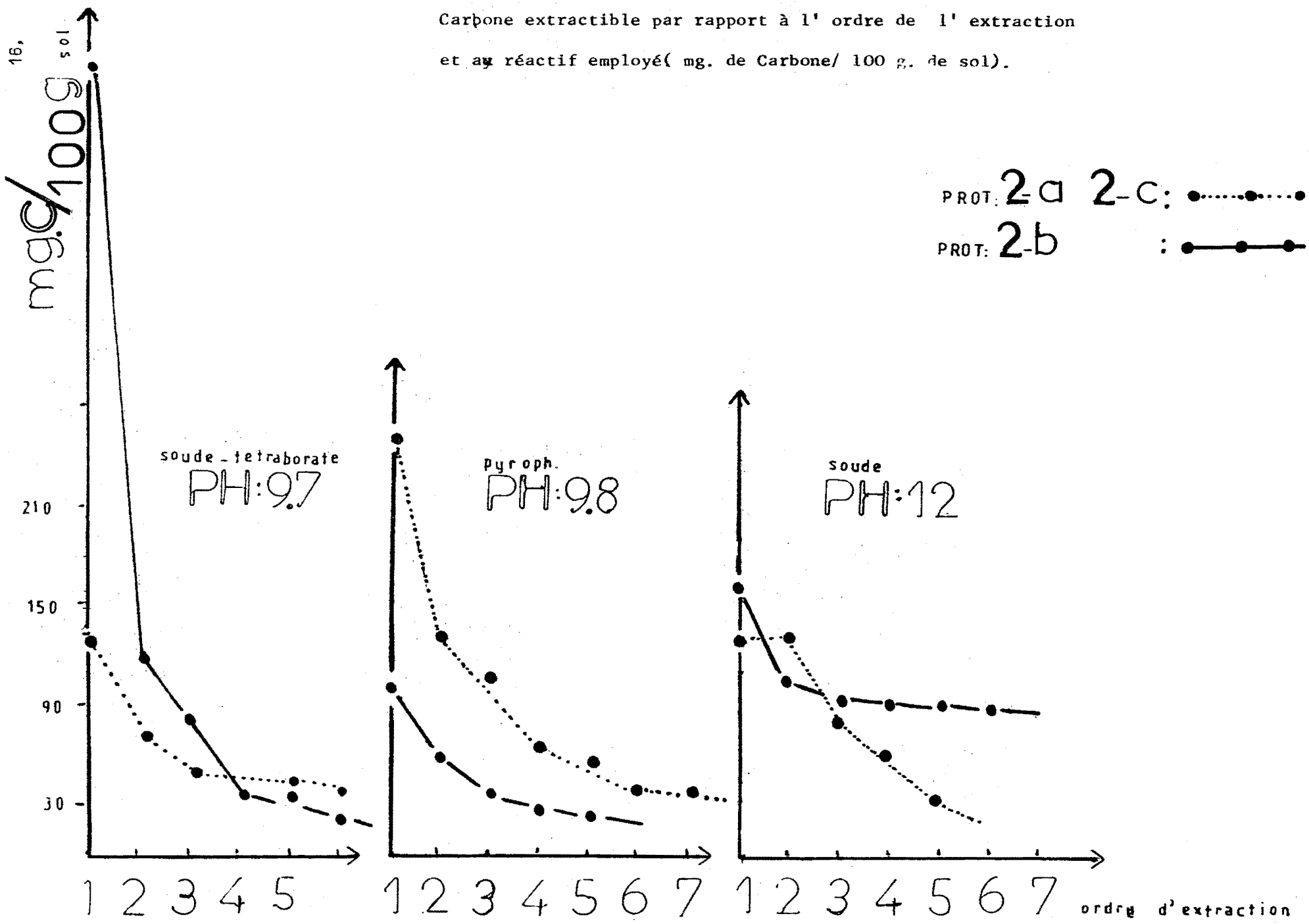


Tableau 5. : Répartition du carbonate ; carbone sous forme carbonate en % du sol.

Protocole	Sol	C-2	$H_1 + H_2$
2-c	2,77	2,13	1,83

En ce qui concerne la " cinétique " en examinant le graphique 1 qui représente l'allure de la courbe de carbone extrait pendand ce processus nous parvenons aux points suivants :

- Le carbone extracible augmente considérablement après changement de réactif, fait qui démontre bien l'action spécifique de chaque solvant.

- La première extraction à la soude-tétraborate, employée après la décarbonatation (protoc. 2b), solubilise une grande quantité de carbone bien que les extraits suivants aient des teneurs en C presque semblables à celles des protocoles 2a et 2c.

- La courbe du carbone extractible par la soude (pH:12) dans les protocoles 2a et 2c (avant la décarbonatation) montre que le carbone extractible diminue brusquement car il semble que le calcaire empêche l'action de ce réactif à solubiliser la matière organique protégée.

b) Les rapports A.F./A.H.

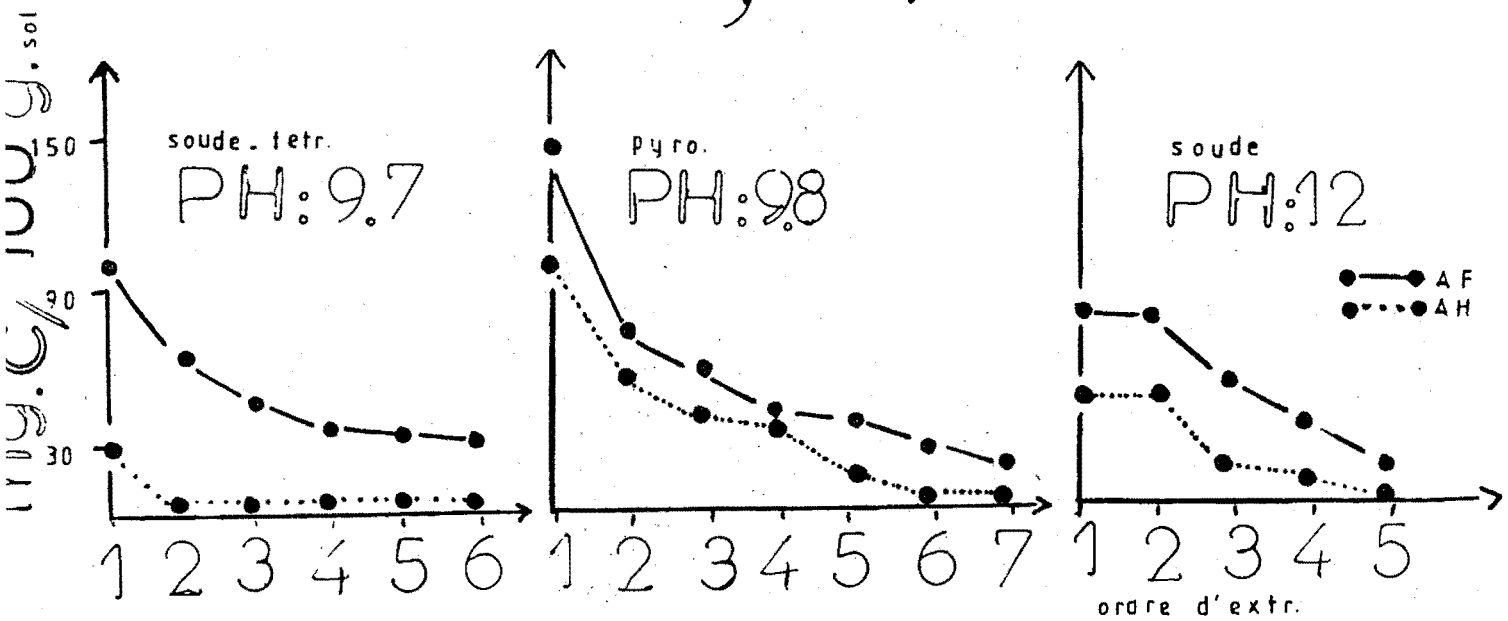
Ce rapport AF/AH : A.F. : carbone des acides fulviques
A.H. : carbone des acides humiques
indique le degré de condensation de la matière organique extraite par les réactifs alcalins. L'humification passe en général par deux phases : une phase biologique qui est très rapide dans les milieux favorisant l'accroissement des microorganismes et où les produits solubles se séparent de la matière organique fraîche, et une phase de maturation de durée plus longue (DUCHAUFOUR Ph.,1972). La polycondensation de la matière organique est un fait qui conduit à la formation des acides humiques ; en effet, dans les mull calciques on s'attendait à ce qu'un milieu biologiquement très actif et riche en matière organique favorise une condensation élevée des complexes organiques ; au contraire la comparaison des résultats que donnent les $R = \frac{AF}{AH}$ mettent en évidence les points suivants : (tableau n°6).

- Pour tous les protocoles utilisés les R globaux sont toujours > 1 ;

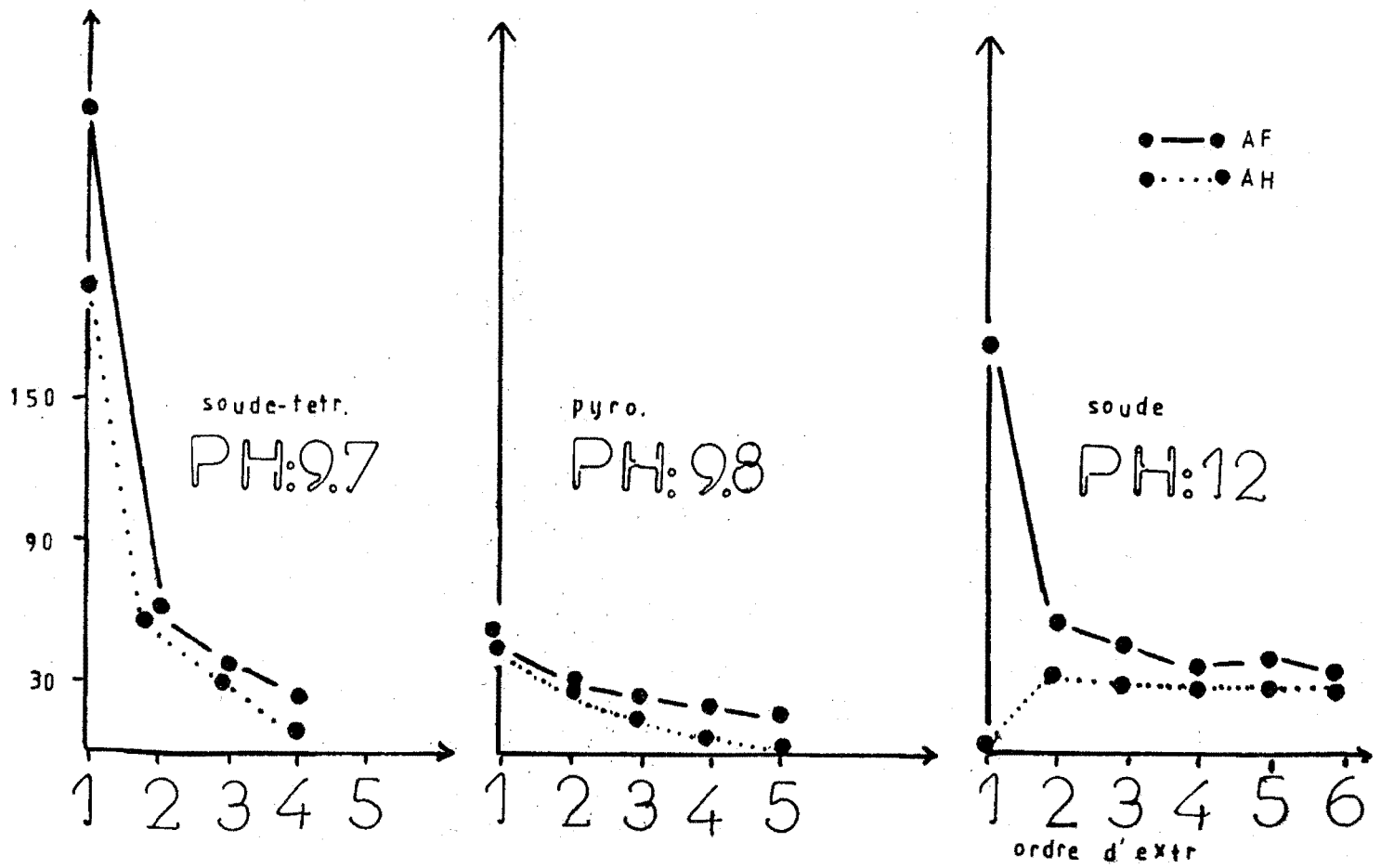
GRAPHIQUE 2.

Carbone extractible avec les fractions (AF - AH)
par rapport à l' ordre de l' extraction et au
réactif employé(en mg. de carbone/ 100 g. de sol)

PROT. 2-a, 2-c.



PROT. 2-b



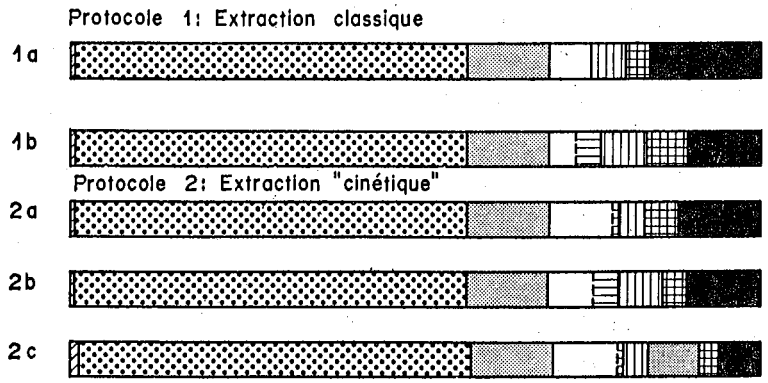
ceci confirme le rôle supposé de l'ion Ca^{++}, bloquant l'humification à un stade encore jeune (JACQUIN F. et al. , 1970) effet qui a comme conséquence la prédominance des acides fulviques sur les acides humiques.

Tableau 6. : Rapport AF/AH des différents extraits par divers réactifs.

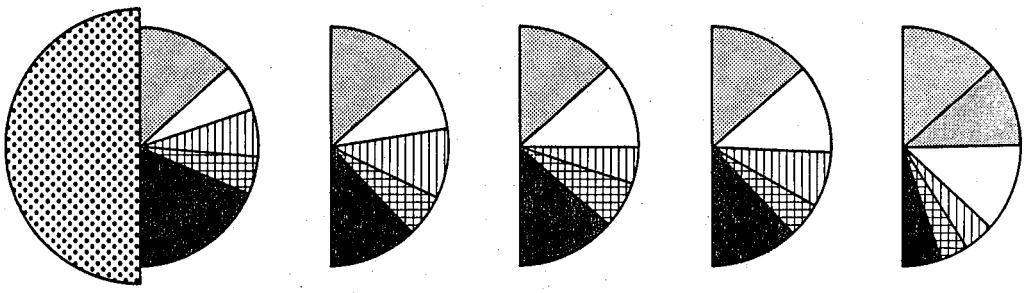
	AF/AH			
Protocoles	Globaux	Soude-tétraborate	Pyrophosphate	Soude
1a	1	11,2	1,0	0,7
1b	1	0,2	9,1	0,5
2a	2,9	5,5	1,2	3,7
2b	1,6	1,2	1,3	0,8
2c	2,9	5,5	1,2	3,7

- Lorsque la décarbonatation précède les extractions par les réactifs alcalins, le rapport diminue pour les extraits soude-tetraborate, tandis que le carbone total extrait par ces réactifs augmente,constatation confirmant la libération des acides fulviques par le décarbonatation ; par contre le rapport AF/AH, dans les extraits pyrophosphate augmente , ce qui s'explique par les résultats du tableau 3, où la diminution des acides fulviques extraits par ce réactif est supérieure à la diminution des acides humiques solubilisés par le même réactif employé après la décarbonatation.

L'étude " cinétique " des rapports AF/AH est représentée par le graphique n°2. Les courbes des acides fulviques dans les protocoles 2a et 2c, sont nettement au-dessus de celles des acides humiques ($R > 1$) ; au contraire dans le protocole 2b, une grande partie d'acides fulviques étant extractible par l'HCl 2N, il s'en suit une diminution du carbone d'acides fulviques, extraits par le pyrophosphate mais parallèlement nous constatons une augmentation des acides fulviques extraits par les autres réactifs ; ceci pourrait signifier que la décarbonatation a libéré une matière organique bloquée par le $CaCO_3$ à un stade plus évolué, extractible uniquement par la soude.



Graphique 3 : Influence du protocole sur le fractionnement



+ Protocoles : Se rapporter au § III du texte

C total organique 14050mg ; C des fractions libres 8009mg ; C des fractions liées 6041mg

Graphique 4 : fractions des composés humiques

- Acides hymatomélaniques
- Matière organique libre (S1)
- Matière organique faiblement sequestrée (S2)
- Acides fulviques solubilisés par les réoctifs alcalins
- Acides fulviques solubilisés par HCl
- Acides humiques
- Matière organique fortement sequestrée (S3)
- Humine d'insolubilisation liée au fer et aux argiles (H1)
- Fraction non extractible de l'humine (H2)

Tableau 7. : Fractionnement de l'humine et teneur en carbone des fractions : en % du C-2, $H_{Fe} + H_{ar} = H_1$

Protoc.	H_{Fe} [1]	H_{ar} [2]	$H_1 + H_2$	H_1	H_2
1a	8,19	2,93	63,67	11,12	52,55
1b	12,41	5,33	52,67	17,74	34,93
2a	11,37	5,47	56,23	16,84	39,39
2b	6,82	4,65	45,87	11,47	34,40
2c	7,66	2,45	27,03	10,11	16,92

1.4.3. Humine

Le taux en carbone des fractions des différentes humines varie notamment avec le protocole utilisé, tableau 7. ; on constate que le taux d'humine non extractible, diminue toujours avec l'action de la décarbonatation et que celui de l'humine d'insolubilisation varie sensiblement avec le protocole utilisé.

Avec le protocole 2c on obtient le mimimum d'humine d'insolubilisation ($H_1 = H_{Fe} + H_{ar}$) ; l'étude morphoscopique de l'humine H_2 (protocole 2c) au microscope électronique se révèle infructueuse dans la recherche des matières organiques figurées ou des filaments mycéliens (photo 5) ; la matière organique non extractible est très évoluée et on ne peut pas la distinguer des autres minéraux avec lesquels elle est liée, tandis que l'ensemble donne l'image des organo-minéraux bien lessivés par l'action des réactifs.

[1]: Hum. liée au fer.

[2]: Hum. liée aux arg.

L'humine non extractible H_2 prédomine sur l'humine d'insolubilisation avec un rapport H_2/H_1 compris entre 1,67 et 4,73 ; également l'humine liée au Fer (H_{Fe}) prédomine sur l'humine liée aux argiles (H_{ar}) avec un rapport H_{Fe}/H_{ar} compris entre 1,47 et 3,13 (tableau 8). Avec le protocole 2c nous obtenons un rapport H_2/H_1 = 1,67 (minimal) et celui H_{Fe}/H_{ar} = 3,13 (maximal), tableau 8. Le même tableau 8 montre aussi qu'avec le protocole 2c, nous obtenons la valeur maximale du rapport $CE/H_1 + H_2$ = 1,66, qui vérifie l'efficacité du protocole.

Tableau 8. : Les rapports entre le carbone extractible (CE = AF+AH) et les fractions de l'humine.

PROT.	$\frac{CE}{H_1+H_2}$	$\frac{H_{Fe}}{H_{ar}}$	$\frac{H_2}{H_1}$
1-a	0,57	2,80	4,73
1-b	0,90	2,33	1,97
2-a	0,80	2,08	2,34
2-b	1,18	1,47	3,00
2-c	1,66	3,13	1,67

1.4.4. Conclusions

Les résultats que nous avons cités dans la première partie de notre travail comportent une étude statique d'un sol calcaire ; nous croyons nécessaire à la fin de cette partie d'en tirer les points généraux qui se mettent en évidence (graphique n°3).

- L'abondance de la matière organique libre dans les humus bruts de la rendzine.

- L'existence des matières organiques, faiblement et fortement séquestrées (S_2 et S_3), environ 47 % du carbone lié.

- L'abondance d'acides fulviques (AF/AH $\gg$1).

Comme conclusion pratique de cette partie nous proposons le protocole suivant pour le fractionnement de la matière organique dans les sols calcaires (graphique n°4).

- Séparation de la matière organique libre et faiblement séquestrée par densimétrie et ultra-sonification.

- Extraction des acides fulviques et acides humiques successivement par la soude-tetroborate (pH 9,7), le pyrophosphate (pH 9,8) et la soude (pH 12)

- Décarbonatation par l'HCl, 2N, jusqu'à pH 4.

- Séparation de la matière organique fortement séquestrée par densimétrie et ultra-sonification.

- Extraction à la soude du culot (pH:12)

- Fractionnement de l'humine.

Il faut bien reconnaître qu'on ne peut pas encore proposer une méthode de fractionnement de la matière organique qui devrait donner des résultats absolus ; la diversité des résultats obtenus par rapport à la méthode utilisée, vérifie cette opinion : seule la comparaison des résultats obtenus par des méthodes analogues pourrait conduire à des conclusions valables, d'autant plus que les fractions obtenues ne sont définies que par leur solubilité et non par leur composition chimique, MANGENOT (1974).

DEUXIEME PARTIE

ETUDE DYNAMIQUE

2.1. PRINCIPES POUR UNE ETUDE DYNAMIQUE.

Les différentes fractions de l'humus forment un système dynamique qui peut être représenté par le schéma suivant :

MOh = MOin + MOn - MOd (in KONONOVA, 1975)

MOh = MO humifiée en général

MOin = MO initiale

MOn = MO néoformée

MOd = MO décomposée

Ce système, en principe biologique, est conditionné par plusieurs paramètres ; par conséquent nous éprouvons des difficultés à isoler chacun des facteurs et à mesurer leur contribution à l'équilibre de ce système. Nous croyons que seules des expériences comparatives - sous les mêmes conditions écologiques, en procédant à des modifications expérimentales bien contrôlées et les plus simples possibles - pourraient nous conduire à éclaircir le rôle d'un facteur supposé.

Nous avons basé cette 2ème partie de notre travail sur l'hypothèse que l'humification passe par deux phases : la phase biologique et la phase de maturation, in DUCHAUFOUR (1973).

La phase biologique est la plus rapide et dépend directement de la litière ; nous avons constaté dans ce premier temps que l'intervention du $CaCO_3$ conduit à la formation précoce d'un complexe organominéral peu évolué, libérant une matière organique légère, après traitement acide, CHOULIARAS et al. (1975) ; nous voudrions examiner dans la partie suivante le rôle du $CaCO_3$ au cours de la minéralisation de la matière organique, fraîche ou humifiée, qu'elle soit à l'état libre ou lié.

D'après TOUTAIN (1974), dans les mull acides, le fer non seulement ne ralentit pas la biodégradation des polysaccharides, mais favorise l'insolubilisation de la lignine avec en majorité formation d'humine.

L'humine résiduelle se minéralise très fortement au début jusqu'au moment où elle contracte des liens physicochimiques avec la matière minérale, VEDY (1973) ; d'après cet auteur elle évoluerait très rapidement dans le mull.

ACTON et al. (1963) avaient constaté que les polysaccharides des acides humiques et de l'humine sont protégés (mécaniquement) par le calcaire par enrobage des particules.

JACQUIN et al. (1970), ont démontré que la partie ne se dégradant pas est celle qui contracte des liens très forts avec les argiles en milieu calcaire.

FROMENT (1971) suppose que la lente minéralisation du mull calcique est dûe aux facteurs stabilisants de LAATSCH (1957), notamment aux argiles et au $CaCO_3$. Il en est de même dans l'étude de PEYRONELL (1975) sur la minéralisation d'un mull calcique et celle de TOK (1975), concernant une rendzine.

2.1.1. Objectifs du travail :

Cette deuxième partie de notre travail sera consacrée à l'étude de la dynamique d'un sol calcaire ; en général elle sera une étude cinétique sur l'intervention du $CaCO_3$ lors de l'évolution de la matière organique ; en effet, dans la première partie nous avons caractérisé son action stabilisante, donc nous estimons intéressant, dans la 2ème partie d'en suivre la dynamique.

2.1.2. Minéralisation expérimentale de la matière organique.

L'étude de la minéralisation dans les sols étudiés comprend 3 phases :

a) Une phase de minéralisation primaire où nous comparons les vitesses de décomposition et de minéralisation des substrats organiques ajoutés.

b) Une période qui correspond à une phase artificielle de dessiccation : celle-ci ayant lieu après l'élimination des hydrosolubles présents dans les sols après cette période d'incubation.

c) Une phase de minéralisation secondaire qui permettra de donner une réponse sur la stabilité du complexe humifié.

En ce qui concerne la durée de chaque phase, nous nous sommes basés sur des expériences antérieures (CHONE et al., 1974), et nous avons adopté la durée de 3 semaines. On ne peut étudier les différentes phases d'évolution de la matière organique que par l'intermédiaire des molécules uniformément marquées, ajoutées dans les sols. En effet, les sucres simples ajoutés dans les sols, lors de la minéralisation de la matière organique, augmentent l'activité biologique, celle-ci entraînant à son tour : 1) une biodégradation du substrat ajouté, 2) une néoformation de produits à partir de ces substrats.

En général les substrats utilisés sont : le glucose parmi les plus simples et la paille par laquelle on pourrait interpréter l'évolution de la litière et son rôle dans la pédogénèse, (CHONE et al. , 1974 ; LESPINAT et al., 1975).

En ce qui concerne le glucose, ce substrat simple est très facilement utilisé par la microflore du sol comme source d'énergie ; les microorganismes qui le minéralisent, en conditions aérobies, sont nombreuses ; nous citons quelques références sur l'évolution du glucose dans le sol :

CHESHIRE et al. (1969) en étudiant l'évolution du glucose ^{14}C et de l'amidon ^{14}C dans des sols différents ont constaté que 60 % du substrat ajouté se minéralise et que la radioactivité résiduelle correspond essentiellement à la présence du glucose ; mais d'autres sucres sont également néoformés ; cette expérience a été vérifiée par TOK (1975), qui effectivement constate une néoformation de polysaccharides plus ou moins complexes après incorporation du glucose dans les sols, GUCKERT (A.) (1973) ; GALLALI (T.) (1973).

OADES et al. (1971), après une expérience analogue ont trouvé que la radioactivité résiduelle du glucose demeure en majorité dans les hexoses qui sont résistants à la biodégradation après incorporation à la fraction minérale.

SØRENSEN et al. (1972), après une période d'incubation ont constaté que 43 % de la radioactivité introduite avec du glucose ^{14}C et de la cellulose ^{14}C, se retrouve dans la fraction aminoacides. La paille du maïs représente un ensemble plus compliqué et plus hétérogène ; il s'agit d'une part d'une source de polysaccharides dont la teneur en cellulose et hémicellulose est élevée, et d'autre part elle apporte la matière fondamentale pour l'humification des lignines. Il paraît donc nécessaire d'utiliser un substrat aussi uniformément marqué que possible ; des études pour vérifier ce postulat viennent d'être publiées très récemment (LESPINAT et al. 1975)/

Il est couramment admis que : les polysaccharides, les produits de la dégradation de la cellulose, la lignine et ses produits dérivés, subissent une 1ère phase de décomposition liée à l'activité microbienne (KONONOVA, 1972); ce qui entraîne la formation de composés humiques de composition et de structure différentes; il s'agit, soit d'une simple condensation, soit d'une cyclisation précédant cette polycondensation ; à noter que ces phénomènes peuvent se produire en présence ou absence d'N_2 dans un milieu biologique ou abiologique, KONONOVA (1972) ; DUCHAUFOUR (1973) ; FLAIG (1973).

Nous voyons donc que le problème de l'humification est trop vaste pour être détaillé ici, d'autant plus que le but de notre travail n'est pas d'étudier tous les processus en eux-mêmes, mais de déterminer les paramètres qui devraient permettre d'élucider le rôle du $CaCO_3$ comme facteur dominant l'évolution de la matière organique.

2.2.PLAN EXPERIMENTAL

Nous avons étudié 3 types de sols représentant 3 pédogénèses :

a) Une rendzine (rôle du $CaCO_3$)

Echantillon prélevé le 12/11/74 dans la région de Bellefontaine (88), tableau n°1 (DUCHAUFOUR et DOMMERGUES, 1966)

b) Un pélosol (rôle des argiles et des ions Ca^{++})

Echantillon prélevé le 12/11/74 dans la région de Padoux (88), tableau n°10 (NGUYEN KHA, 1973).

c) Sol brun acide (S.B.A.) (rôle du fer)

Echantillon prélevé le 12/11/74 dans la région du Haut-Jacques (88), tableau n°9 (VEDY, 1973)

d) Pour pouvoir discerner l'action du calcaire ajouté dans un sol où le rôle du fer est déterminant, nous avons effectué des expériences parallèles avec le SBA seul ou enrichi en $CaCO_3$ et en cailloux broyés.

Nous avons incubé ces échantillons en employant la méthode et le dispositif qui est décrit par ailleurs par GUCKERT et al. (1968).

Les quantités de glucose et de paille que nous avons ajoutées, sont évaluées de telle manière que le substrat ajouté augmente de 5 % le carbone organique du sol mis à incuber ; après l'adjonction du glucose nous avons équilibré le C/N du sol en ajoutant du NH_4NO_3. L'humidité des sols a été ajustée aux 2/3 de l'humidité équivalente.

La paille de maïs provient de végétaux qui se sont développés jusqu'au stade de maturation sous atmosphère de $^{14}CO_2$, donc elle est uniformément marquée ; nous avons utilisé un mélange qui se composait de 2/3 de tiges et d'1/3 de feuilles ; la paille nous a été fournie par le service de Radioagronomie du C.E.A. de Cadarache.

Le glucose utilisé est un produit uniformément marqué, dilué d'après la technique décrite par CHONE et al. (1974) , qui consiste à diluer la source dans une solution non marquée et dont la concentration en carbone est ajustée à la valeur désirée.

Le sol est ensuite tamisé à 4 mm, homogénéisé et débarrassé de ses débris végétaux ; dans tous les cas la prise d'essai sera l'équivalent de 50g de poids sec à 105°C ; le sol est ainsi placé dans les erlenmeyers de 500 ml, puis enrichi ou non en substances marquées.

Les préparatifs de l'expérience sur le S.B.A. pour l'étude de l'interaction Fer-$CaCO_3$ consistent à ajouter 2 g de $CaCO_3$ et 1g de cailloux calcaires broyés, dans une unité expérimentale qui correspond à 50g de sol sec à 105°C.

Tableau 9. Caractéristiques analytiques du S.B.A. du Haut-Jacques (sur grès triasique) (VEDY J.C. 1973).

pH	C %	N %	C/N	T(*)	100 S/T	Fe(**)	Argil.	Limons %
3,7	1,8	0,09	20	5,6	10,4	8,0	9,8	9,6

Tableau 10. Caractéristiques analytiques du Pélosol (Padoux) (NGUYEN KHA, 1973)

Granulométrie									
S.G.	S.F.	L.G.	L.F.	A	$CaCO_3$	C %	N %	C/N	pH
5,6	4,5	11,1	27,8	50,9	0	6,45	0,34	19	6,1

cations échangeables (m.e/100g)							Eléments libres o/oo		
Ca	Mg	K	Na	S	T(*)	100S/T	Si	Al	Fe(**)
40,0	4,7	0,87	0,15	45,72	42,8	sat.	4,0	5,4	12,0

$T^{(+)}$: m.e/ 100g.

$Fe^{(++)}$: Fer libre en o/oo de Fe^{+++}.

L'expérience comporte les traitements suivants :

- 4 exemplaires de sol témoin afin de mesurer la minéralisation endogène ;

- 4 exemplaires des échantillons enrichis en glucose ^{14}C.

- 4 exemplaires des échantillons enrichis en paille ^{14}C.

L'opération de dosage du CO_2 total dégagé consiste à recueillir l'atmosphère de l'erlenmeyer par barbotage dans une solution de soude N/2 ; on précipite dans la solution les CO_3^{--} au moyen de $BaCl_2$ (15 ml de soude qui a piégé le CO_2, 3 ml de $BaCl_2$ à 20 %) ; on titre en retour la soude restante par une solution HCl N/5 en présence de thymol-phtaléine.

soit : n le volume d'HCl N/5 pour le témoin (témoin à erlenmeyer vide)

n' le volume pour l'échantillon

le CO_2 dégagé par le sol comprend (n-n')x 1,2mg deC sous forme CO_2.

Tableau 11. Teneur en carbone des unités expérimentales et quantités de substrats radioactifs ajoutés.

Sols	mg-C initiaux/50g sol	Substrat ajouté	mg-C ajoutés	d.p.m. introduits avec subst.	Ra : spécif. du subst.ajouté dpm/mg-C
Rendzine	3 790	Glucose	189,5	4 050 678	21 375
		Paille	189,5	12 977 117	68 486
Pélosol	3 610	Glucose	180,5	5 070 800	28 093
		Paille	180,5	12 359 549	68 474
S.B.A.	1 220	Glucose	61	5 120 145	83 937
		Paille	61	4 175 412	68 450
S.B.A. + $CaCO_3$	1 220	Glucose	61	5 120 145	83 937
		Paille	61	4 175 412	68 450

Pour le dosage du $^{14}CO_2$ nous employons un liquide " instagel " ; dans 10 ml de ce scintillateur nous ajoutons 1000 µl. de NaOH avec le $^{14}CO_2$ piégé. La radioactivité présente dans les différents échangillons a été mesurée avec le compteur TRICARB, 574, de Packard ; les valeurs enregistrées sont converties en désintégration par minute (d.p.m.), GUCKERT et al. (1968)

Le dosage de la radioactivité des fractions solides est effectué par combustion de l'échantillon dans le four du carmograph " Wostoff " et piegeage du $^{14}CO_2$ dégagé dans la NaOH N/25de l'appareil.

Dans le tableau 11, ci-dessus, nous avons juxtaposé les caractéristiques du sol et du matériel utilisé en ce qui concerne le carbone et sa radioactivité correspondante.

2.2.1. Estimation statistique des résultats obtenus.

Pour chaque traitement (E) nous évaluons un coefficient de minéralisation journalier (X) exprimé en % du carbone total incubé ; la somme de ces coefficients journaliers, à la fin d'une période d'incubation, nous permet d'obtenir le coefficient de minéralisation totale, qui est la moyenne statistique de n coefficients calculés par les (n(1)) répétitions correspondant au même traitement :

Traitements →

repetitions	E_1	E_2	E_3	–	E_j	–	E_k
1	X 11	X 12	X 13	-	X 1 j		X 1 k
2	X 21	X 22	-	-		-	-
3	X 31	X 32	-	-	-	-	-
.	-	-	-	-	-	-	-
.	-	-					
i	-	-					
.	-	-					
n	Xn 1	Xn 2			Xn j.		X nk
S	S_1	S_2	S_3	–	S j.	–	S k
moy. m'	m'_1	m'_2	m'_3	–	m'_j =	—	m'_k

$$Sj = \sum_{i=1}^{i=n} X\,i\,j \quad \text{et} \quad m'j = \frac{Sj}{n} \quad , \qquad i = \text{répétition}, \quad j = \text{traitement}$$

(1) Dans nos expériences nos traitements comparatifs (E), ont le même nombre de répétitions (n).

Le plan de notre étude statistique est séparé en trois parties qui donnent des réponses à 3 questions :

a) Test de Snédécor pour examiner si les variances calculées pour chaque population (E) n'ont pas de différences significatives (Hypothèse : Ho) entre elles.

b) Dans le cas où le test de Snédécor vérifie l'hypothèse (Ho) nous effectuons l'analyse de variances des traitements, E_1, E_2 --Ek ;

c) Si avec l'analyse des variances nous rejetons l'hypothèse (Ho) nous effectuons le test de Student et nous comparons les moyennes mj des traitements, l'une avec l'autre pour voir quelles sont les différences, mesurées expérimentalement, qui sont significatives. Pour obtenir ces résultats nous avons employé les formules suivantes (in LAMOTTE, 1967).

- Test de Snédécor :

Pour trouver la variance dans chaque traitement, nous en avons déterminé la valeur :

$$\sigma_j^2 = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} [\, X_{ij} - m'_j \,]^2}{n - 1}$$

- Analyse des variances :

Nous comparons la valeur (f) calculée avec celle donnée par les tableaux statistiques :

$$f = \frac{VA}{VR} \; ; \quad VA = \frac{SA}{n-1} \; , \quad VR = \frac{SR}{k\,(n-1)} \; , \quad SA = ST - SR$$

$$ST = \sum X^2_{ij} - \frac{S^2}{kxn} \; ; \quad S = \sum_{j=1}^{j=k} Sj$$

$$SR = \sum X^2_{ij} - \sum_{j=1}^{j=k} \frac{S^2_j}{n}$$

Test de Student :

Lorsque nous voulons comparer deux moyennes m'_1 et m'_2 nous évaluons la valeur t :

$$t = \frac{[m'_1 - m'_2]}{Sd} \quad \text{où} \quad S^2_d = \frac{2\sigma^2}{n} \quad \text{et}$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} [X i_1 - m'_1]^2 + \sum_{i=1}^{i=n} [X i_2 - m'_2]^2}{2n - 2}$$

Pour nos comparaisons statistiques nous adoptons un coefficient de sécurité 95 %

Dans notre commentaire des résultats nous représentons cette moyenne m'_1 par le symbole (M_1) pour la minéralisation primaire et (M_2) pour la minéralisation secondaire.

Tableau 12. Respiration endogène des sols incubés.

	Rendzine	Pélosol	S.B.A
(M_1)	2,35	2,20	1,83
(M_2)	0,96	1,07	1,42
$(M_1 + M_2)$	3,31	3,27	3,25
$\frac{(M_2)}{(M_1)}$	0,41	0,49	0,78

Tableau 13. Test de Student

Hypothèse acceptée	
M_1	Rendzine = Pélosol
M_2	Rendzine = Pélosol
M_1	Rendzine ≠ S.B.A.
M_2	= Rendzine ≠ S.B.A.
M_1	= Pélosol ≠ S.B.A.
M_2	= Pélosol ≠ S.B.A.

2.3. RESULTATS CONCERNANT LA MINERALISATION (+)

. 2.3.1. Respiration endogène

Le tableau 11 représente les teneurs en carbone organique par 50g de sol sec à 105°C ; nous soulignons la grande teneur en carbone initial de la Rendzine et du Pélosol.

Le tableau 12 représente les coefficients de minéralisation lors de la respiration endogène (RE) de ces trois sols : en effet, à la fin d'une période d'incubation de trois semaines " minéralisation primaire " (M_1), nous avons évalué le CO_2 dégagé, produit de cette " RE" et nous avons obtenu les résultats suivants :

(+) voir annexe tableau (39) pour la présentation sommaire des résultats statistiques.

Rendzine : $(M_1) = 2,35$

Pélosol : $(M_1) = 2,20$

S.B.A. : $(M_1) = 1,83$

(M_1) : En % du carbone incubé. A la fin de cette M_1 nous éliminons les hydrosolubles et nous réincubons nos sols après une période de dessiccation qui dure 3 semaines ; à la fin de cette " minéralisation secondaire " (M_2) nous avons obtenu les coefficients suivants :

Rendzine : $(M_2) = 0,96$

Pélosol : $(M_2) = 1,07$

S.B.A. : $(M_2) = 1,42$

Le tableau 13 qui cite les résultats de l'étude statistique, démontre que les minéralisations du SBA, faibles pendant la M_1 et fortes pendant la M_2, ont des coefficients significativement différents par rapport aux autres sols.

Donc le coefficient le plus grand au cours de la M_2 est obtenu dans le SBA et le plus faible dans la rendzine. Nous jugeons intéressant de souligner les valeurs du rapport :
$\frac{(M_2)}{(M_1)}$; en effet : SBA = 0,78 $>$ Pélosol = 0,49 $>$ Rendzine = 0,41

En ce qui concerne l'intensité de la minéralisation secondaire M_2 , elle est généralement moins forte, mais l'ordre d'intensité est inverse. Il nous faut mentionner que les sommes respectives ($M_1 + M_2$) sont presques identiques ; il existe donc des mécanismes différents qui se traduisent par des rapports différents $(M_2)/(M_1)$; nous discuterons ce problème ultérieurement, mais nous constatons que le ralentissement de la minéralisation est plus élevé dans la rendzine que dans les autres sols.

Tableau 14. Respiration totale des sols incubés après l'adjonction de glucose.

	Rendzine	Pelosol	SBA
(M_1)	4,16	3,72	4,68
(M_2)	0,93	1,32	1,65
$(M_1) + (M_2)$	5,09	4,90	6,33
$\frac{(M_2)}{(M_1)}$	0,22	0,37	0,35

Tableau 15. Test de Student

	Hypothèse acceptée
M_1	Rendzine $\neq$ Pélosol
M_2	Rendzine $\neq$ Pélosol
M_1	Rendzine $\neq$ SBA
M_2	Rendzine $\neq$ SBA
M_1	Pélosol $\neq$ SBA
M_2	Pélosol $=$ SBA

2.3. 2. Minéralisation totale après l'adjonction du glucose.

Le tableau 14 regroupe les valeurs des coefficients obtenus pendant la " respiration totale " (RT) des sols après l'adjonction du glucose ; le tableau 15, montre que les différences observées sont significatives pour la majorité des comparaisons à l'exception du couple : Pélosol=SBA, pour la M_2 ; donc :

SBA (M_1) = 4,68

Rendzine (M_1) = 4,16

Pélosol (M_1) = 3,72

(M_1) , (M_2) : en % du carbone total (Ct) du sol
Ct = carbone initial du sol + carbone du glucose.

Pour la M_1 nous constatons que l'adjonction du glucose augmente considérablement la "RT" mais le maximum est marqué dans le cas du SBA.

Pour la M_2 nous obtenons :

SBA (M_2) = 1,65

Pélosol (M_2) = 1,32

Rendzine (M_2) = 0,93

Pour la M_2 l'ampleur se rapproche de celle observée pour la "RE" ; elle est presque identique dans le cas de la rendzine, elle augmente légèrement pour le pélosol et encore plus pour le SBA.

Le rapport $\frac{(M_2)}{(M_1)}$ donne l'ordre :

Pélosol = 0,37 > SBA = 0,35 > Rendzine = 0,22

et le coefficient de minéralisation totale $(M_1) + (M_2)$

$(M_1)+(M_2)$: SBA = 6,90

$(M_1)+(M_2)$: Rendzine = 5,09

$(M_1)+(M_2)$: Pélosol = 4,90

Nous avons déjà une présomption très nette pour montrer que dans le cas de la rendzine il existe un blocage rapide des substrats carbonés biodégradables ; en effet, la biodégradation primaire ayant doublé après l'adjonction du glucose ; comme nous avions éliminé tous les hydrosolubles, il faut donc admettre que le glucose incorporé dans les composés humifiés a le même coefficient de biodégradabilité que leur matière organique. Par contre, dans les deux autres types de sols, l'augmentation de la M_2 montre bien qu'après élimination des hydrosolubles, une partie de matière organique humifiée, à partir du substrat ajouté, entraîne une minéralisation plus élevée ; ceci d'autant plus que les sols ont un complexe absorbant moins saturé.

Tableau 16. Taux de glucose ^{14}C (minéralisé) (en % de la radioactivité introduite)

	Rendzine	Pélosol	SBA
(M_1)	41,44	41,67	49,06
(M_2)	2,11	3,14	7,15
$(M_1)+(M_2)$	43,55	44,81	56,21
$\frac{(M_2)}{(M_1)}$	0,05	0,08	0,15

Tableau 17. Test de Student

	Hypothèse acceptée
M_1	Rendzine = Pélosol
M_2	Rendzine ≠ Pélosol
M_1	Rendzine ≠ S.B.A
M_2	Rendzine ≠ S.B.A.
M_1	Pélosol ≠ S.B.A.
M_2	Pélosol ≠ S.B.A.

2.3.3. Minéralisation du Glucose ^{14}C

Le tableau 16 représente le taux de radioactivité qui est dégagée pendant les M_1 et M_2

$$(M_{1,2}) : \frac{^{14}CO_2 \text{ dégagé (dpm)}}{\text{glucose } ^{14}C \text{ introduit (dpm)}} \times 100$$

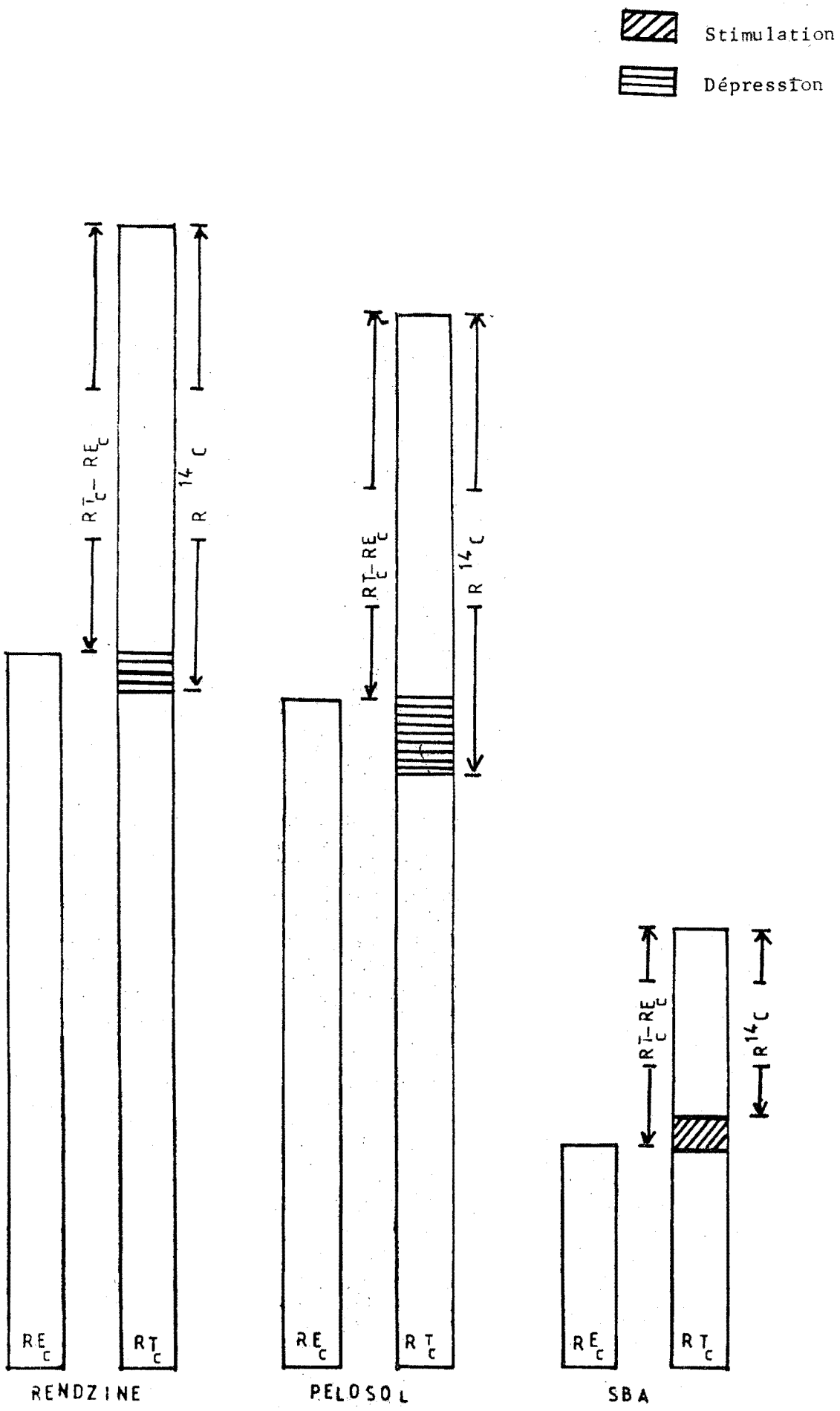
Les différences mesurées pendant la M_1 ne sont pas significatives pour le couple rendzine-pélosol, tableau 17. Par contre les différences de M_2 sont toutes significatives, tableau 17 ; en effet, la M_2 la plus faible est constatée dans le cas de la rendzine (3 fois moins que celle du SBA) ; si nous examinons la (M_2/M_1) nous retrouvons là aussi un faible rapport pour la rendzine et le pélosol, par opposition au SBA. Nous en concluons donc, si nous prenons comme base de comparaison le maximum rencontré dans le SBA, un effet inhibiteur de la biodégradation secondaire, donc une action stabilisante sur les composés humifiés néoformés.

Effectivement dans le cas de la rendzine qui nous intéresse pour cette étude, nous émettons l'hypothèse suivante concernant l'évolution de la matière organique ; dans un premier temps la matière organique fraîche et libre est facilement accessible à l'attaque biologique mais très rapidement subit l'influence d'un facteur inhibiteur ; les complexes humifiés ou néoformés resteraient protégés au sein d'un complexe organominéral par un revêtement de $CaCO_3$; cette protection pourrait être identique sur la matière organique résiduelle n'ayant cependant pas subi l'humification (humine résiduelle, DUCHAUFOUR, 1975).

GRAPHIQUE 5.

" PRIMING - EFFECT" du glucose ajouté,

pour les deux incubations.



2.3.4. Etude du Turn-Over à l'aide du glucose ^{14}C

Pour discerner le rôle du substrat ajouté sur l'évolution de la matière organique préexistante, nous employons la formule de JENKINSON (1966) et GUILLET (1972) :

$$X = (RT)_c - (RE)_c - R^{14}C \quad [1]$$

$(RT)_c$ = mg de C minéralisé par : 50 g de sol + glucose ajouté

$(RE)_c$ = mg de C minéralisé par : 50 g de sol témoin

$R^{14}C$ = mg C correspondant à la radioactivité dégagée par unité expérimentale.

$$R^{14}C = \frac{{}^{*}R^{14}C}{Rsp} \quad \frac{dpm}{dpm/mg\text{-}C}$$

${}^{*}R^{14}C$ = radioactivité dégagée mesurée en dpm

Rsp = radioactivité spécifique du glucose ajouté mesurée en $^{dpm}/mg\text{-}C$

Tableau 18. Effet dépressif et stimulant du glucose sur la matière organique préexistante.

	$RT_c\text{-}RE_c$	$R^{14}C$	X [1]	S [2]	$RT_c\text{-}RE_c$	$R^{14}C$	X [1]	S [2]
Rendzine	76,10	78,36	- 2,25	0,97	0,30	4,00	- 3,70	0,08
Pelosol	56,56	75,20	-18,64	0,75	11,35	5,67	+ 5,68	2,00
S.B.A.	34,50	29,04	+ 5,46	1,19	3,73	4,01	-0,28	0,93
	← M_1 →				← M_2 →			

quand $X > 0$: effet stimulant sur la matière organique préexistente

$X < 0$: effet dépressif sur la matière organique préexistante

$X = 0$: aucun effet

$(RT_c\text{-}RE_c)$: carbone complémentaire global.

Le graphique 5 qui représente les quantités totales de carbone dégagé sous forme de CO_2 pendant les deux incubations, nous permet de constater que le glucose ajouté provoque un effet dépressif sur la matière organique du pélosol, un effet stimulant sur la matière organique du SBA et un effet dépressif sur la rendzine.

---

[2] : $S = \frac{(RT_c - RE_c)}{R^{14}C}$

L'effet dépressif indique donc que la microflore utilise préférentiellement le substrat ajouté ; à l'opposé, l'effet stimulant se matérialise par une augmentation de la biodégradabilité de la matière organique préexistante en présence du substrat radioactif ajouté. Il nous faut toutefois préciser que si les thèses de JENKINSON, sans ambiguité, interprétent les résultats de M_1, le problème est plus complexe dans le cas de M_2, en fonction de l'humification à partir des substrats radioactifs.

Pour pouvoir mesurer la grandeur de cet effet stimulant ou dépressif du substrat ajouté sur la matière organique du sol, nous employons le rapport suivant :

$$S = \frac{((RT_c) - (RE_c)}{R^{14}C}$$

et nous définissons les coefficients de :

stimulation lorsque $S > 1$

dépression lorsque $S < 1$

quand $X = 0$ (aucun effet) lorsque $S = 1$

Nous examinons successivement ces coefficients de a) M_1 , b) M_2

a) M_1 : pour la rendzine l'effet dépressif (tableau 18) n'est pas significatif tandis que pour le pélosol et le SBA nous trouvons (tableau 18) :

Pélosol : $X < 0$ $S = 0,75 < 1$

SBA : $X > 0$ $S = 1,19 > 1$

qui signifient un effet dépressif pour le pélosol et un effet stimulant pour le SBA.

b) M_2 : En ce qui concerne la M_2 les évaluations des coefficients nous permettent de constater un effet considérablement dépressif dans le cas de la rendzine ; il faudrait donc admettre que la microflore utilise préférentiellement les composés encore non humifiés et radioactifs tandis que les composés humifiés subissent l'action de l'agent stabilisant ; ceci ne nous paraît pas erroné si nous faisons appel à la notion d'humine microbienne à partir de substrats polysaccharidiques comme l'a démontré GUCKERT (1973)(+) ; par contre l'adjonction des sucres simples en présence d'une matière organique non protégée entraîne lors de la M_2 un effet sensiblement nul ($S = 0,93$ pour le SBA) ; cependant une matière organique peu évoluée, mais protégée par les argiles, permettrait un regain d'activité biologique ($S = 2,00$ pour le pélosol) entraînant une M_2 de la matière organique préexistante beaucoup plus importante.

(+) GUCKERT (1973) a constaté qu'une partie de cette humine microbienne est labile et subit une biodégradabilité secondaire intense des composés microbiens ; cette minéralisation est freinée lorsque cette humine contracte des liaisons avec la fraction minérale.

RE (Resp.End.)

RT (Resp.Totale)

Exprimés en °/₀₀ du C-total incubé.

GRAPHIQUE : 6

Cinétique du CO_2 total et $^{14}CO_2$ dégagés par le Glucose ^{14}C.

M_1-M_2-E.H.D: Durée 21 jours /chaque phase.

E.H.D: Elimination des Hydrosolubles et Dessication.

$$C = \frac{RT_c - RE_c}{Sc} \times 100$$

$$Q = \frac{[+]\ R^{14}C}{S^{14}C} \times 100$$

fig. 1

RENDZINE

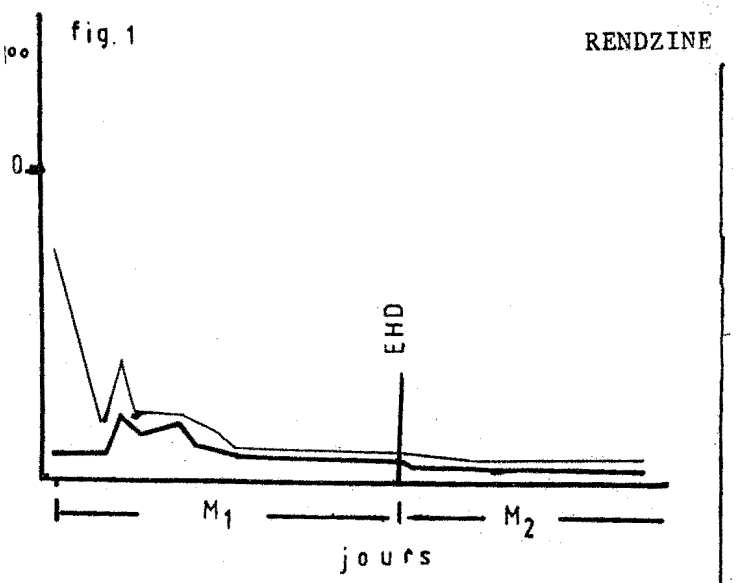


fig 2

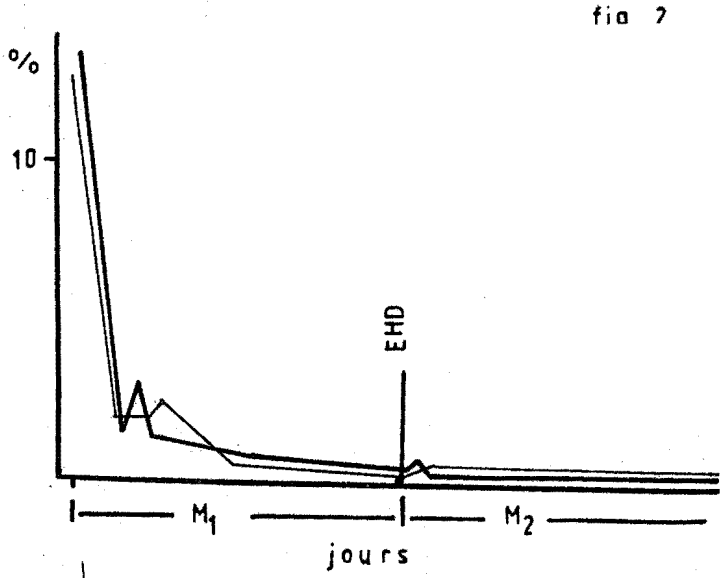


fig. 3

PELOSOL

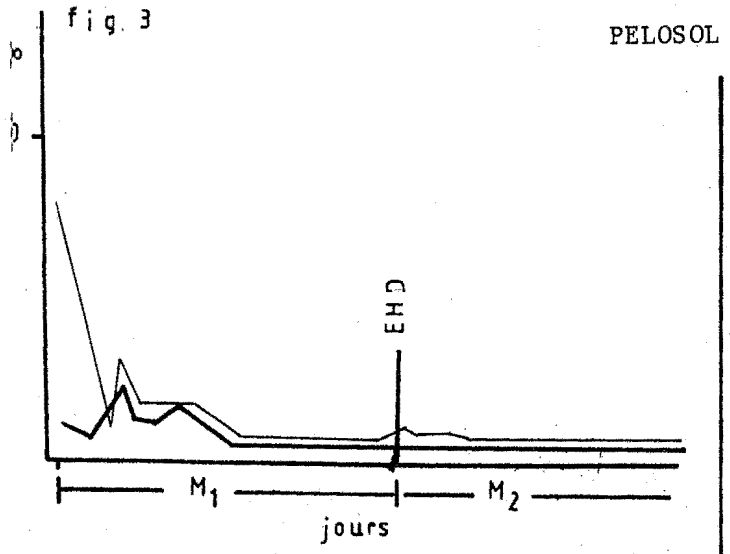


fig. 4

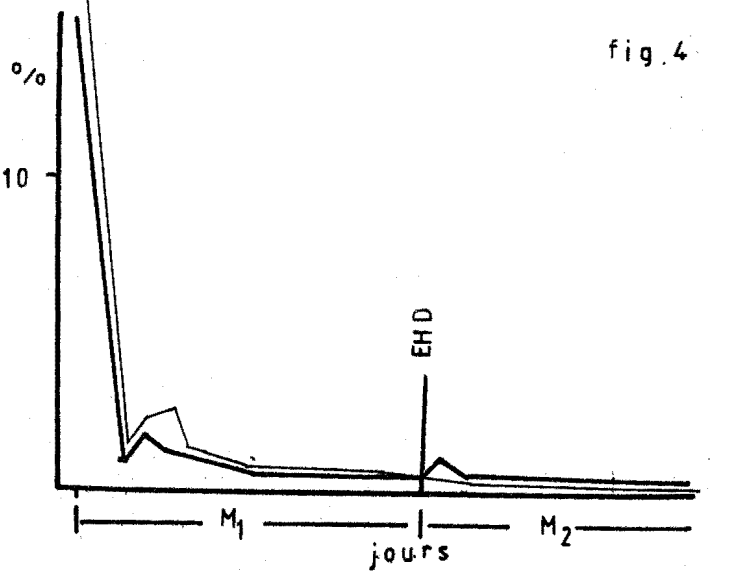


fig. 5

S.B.A.

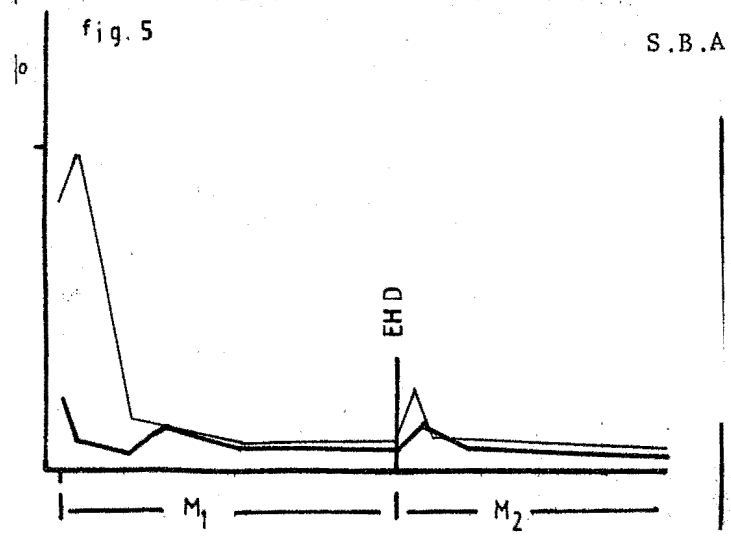
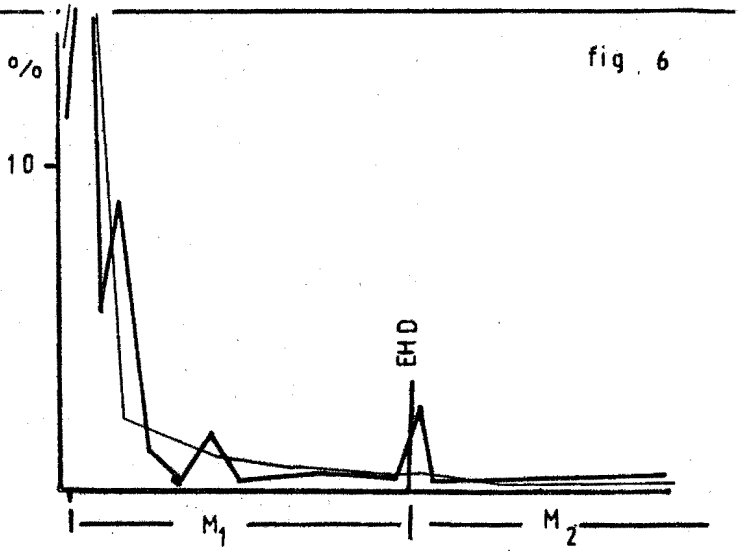


fig. 6



2.3.5. Cinétique du Glucose ^{14}C, graphique n°6

Pour suivre la cinétique de ces effets nous avons évalué les valeurs journalières des rapports suivants :

$$C = \frac{(RT_C) - (RE_C)}{Sc} \times 100$$

$$Q = \frac{(+)R^{14}C}{S^{14}C} \times 100$$

RT_C = mg de C minéralisés par 50g de sol + glucose ajouté

RE_C = mg de C minéralisés par 50g de sol témoin

Sc = mg de C du substrat ajouté

$S^{14}C$ = radioactivité en dpm du substrat ajouté

$(+)R^{14}C$ = radioactivité dégagée mesurée en dpm

La valeur 'C' traduit l'augmentation de la RE du sol par mg. de Carbone ajouté sous forme de paille ou de glucose

La valeur 'Q' exprime le taux de radioactivité dégagée par rapport à la radioactivité introduite.

Nous constatons donc en présence du glucose, une allure générale similaire de la courbe de dégagement du CO_2 lors de la RE et de la RT, quelque soit le type de sol, graphique (6), fig. (1), (3), (5) ,qu' il s'agisse de la M_1 ou de la M_2 ; néanmoins il est possible de distinguer des pics d'amplitudes tout à fait différentes ; mais nous n'arrivons pas à savoir à quoi attribuer ces pics, si c'est à une adaptation de la microflore ou à un turn-over microbien. MANGENOT (1974) en classifiant les phases d'activité de la microflore par rapport à leur qualification, souligne que des formes plus spécialisées possédant des équipements enzymatiques particuliers, les rendant plus aptes à décomposer les hémicelluloses ou la cellulose, succèdent à des organismes qualifiés de glucophiles, caractérisés par leur croissance rapide mais ce processus est impossible d'être déterminé dans notre cas.

RENDZINE (graphique 6)

Les courbes C et Q nous permettent de confirmer l'effet essentiellement nul du glucose ajouté sur la matière organique préexistante en observant la courbe C qui est confondue avec la courbe Q pour la M_1 (fig.2) ; si nous comparons les courbes journalières de la fig (2) avec les courbes journalières de la "RE" et de la "RT", fig.(1), nous constatons que le jour où le maximum de stimulation est atteint (5ème jour) coïncide avec celui où nous obtenons le maximum de minéralisation endogène et un pic de minéralisation totale, après l'addition de glucose ; ensuite nous rencontrons un maximum de dépression (7ème jour) qui correspond à l'épuisement de la matière organique préexistante et accessible aux microorganismes.

PELOSOL (graphique 6)

La courbe du rapport C est représentative de l'effet dépressif , comparée avec celle du rapport Q (fig.4) ; le C journalier est toujours $<$ Q pendant toute la M_1 ; pour la M_2 nous constatons un inversement qui vérifie le coefficient de stimulation déterminé uper la formule de JENKINSON ; cet inversement observé pendant la M_2 doit être attribué à la propriété de la microflore de minéraliser au départ le substrat ajouté facilement biodégradable ; au contraire, après la diminution de ce substrat, les microorganismes sont obligés de minéraliser partiellement la matière organique préexistante la plus accessible.

S.B.A. (graphique 6)

L'allure de la courbe C montre nettement l'effet stimulant du glucose dans le SBA par rapport à celle de Q ; les courbes journalières C et Q nous permettent de constater (fig.6) :

- que le rapport C atteint sa valeur maximale le 2ème jour de la M_1 et qu'un pic important apparaît le 4ème jour ; ensuite nous remarquons un pic tardif le 2ème jour de la M_2.

- que le rapport Q atteint sa valeur maximale également le 2ème jour de la M_1 et qu'ensuite la courbe suit une inflexion descendante jusqu'à la fin de l'expérience ; toutefois nous observons quelques phases courtes de dépression mais en général l'adjonction du glucose conduit à un turn-over très intense de la matière organique.

2.3.6. Action du glucose sur la minéralisation totale

$$(A) = \frac{(M_1)+(M_2) \text{ de la RT}}{(M_1)+(M_2) \text{ de la RE}}$$

Le tableau 19 représente le rapport qui mesure l'augmentation provoquée au

Tableau 19. Augmentation de la RT après l'addition du glucose par rapport à la RE

	Rendzine	Pélosol	SBA
(A)	1,53	1,50	1,94

cours de la minéralisation totale par l'addition du glucose dans les trois sols ; en effet nous remarquons que la valeur la plus élevée du rapport se situe dans le SBA.

SBA : 1,94 > Rendzine : 1,53 > Pélosol : 1,50

Tableau 20. Respiration totale des sols après l'adjonction de paille

	Rendzine	Pélosol	SBA
(M_1)	3,80	3,19	3,14
(M_2)	1,07	1,33	2,06
$(M_1) + (M_2)$	4,87	4,52	5,20
$\frac{(M_2)}{(M_1)}$	0,28	0,42	0,66

Tableau 21. Test de Student

Hypothèse acceptée	
M_1	Rendzine $\neq$ Pélosol
M_2	Rendzine $\neq$ Pélosol
M_1	Rendzine $\neq$ SBA
M_2	Rendzine $\neq$ SBA
M_1	Pélosol $=$ SBA
M_2	Pélosol $\neq$ SBA

2.3.7. Minéralisation totale après l'adjonction de paille.

Le tableau 20 cite les résultats obtenus pendant l'incubation des sols en présence de paille de maïs ; ceux-ci sont exprimés en % du carbone organique total (CT) incubé.

CT = Carbone initial + carbone de paille

Nous constatons que pendant la période d'incubation primaire la rendzine a subi la minéralisation la plus forte comme en témoignent les résultats sùivants :

Rendzine : (M_1) = 3,80

Pélosol : (M_1) = 3,19

SBA : (M_1) = 3,14

Par contre à la fin de M_2 le SBA présente la minéralisation la plus intense :

SBA : (M_2) = 2,06

Pélosol : (M_2) = 1,33

Rendzine : (M_2) = 1,07

Par conséquent, dans la rendzine lors de la M_2 , on note une inhibition efficace de la minéralisation de la matière organique humifiée, quelle que soit la forme de cette humification ; l'évaluation de la somme $(M_1)+(M_2)$ donne l'ordre suivant : SBA = 5,2 > Rendzine = 4,87 > pélosol = 4,52 (tableau 20), et le rapport $\left(\frac{M_2}{M_1}\right)$

SBA = 0,66 > Pélosol = 0,42 > rendzine = 0,28 ; ce rapport $\left(\frac{M_2}{M_1}\right)$ calculé après apport de paille est supérieur à celui calculé après apport de glucose et ceci pour chaque sol ; on peut donc en déduire une inhibition plus forte pour la matière organique microbienne formée à partir du glucose.

Le tableau 21 montre que les différences mesurées sont significatives d'après le test de Student, sauf pour le couple Pélosol-SBA, à la M_1.

Tableau 22. Taux de Paille-^{14}C minéralisée (en % de la radioactivité introduite.)

	Rendzine	Pélosol	S.B.A.
(M_1)	28,60	30,15	24,89
(M_2)	6,09	10,65	8,14
$(M_1)+(M_2)$	34,69	40,80	33,03
$\left(\frac{M_2}{M_1}\right)$	0,22	0,35	0,33

Tableau 23. Test de Student

	Hypothèse acceptée
M_1	Rendzine = Pélosol
M_2	Rendzine ≠ Pélosol
M_1	Rendzine ≠ S.B.A.
M_2	Rendzine = S.B.A.
M_1	Pélosol ≠ S.B.A
M_2	Pélosol ≠ S.B.A.

2.3.8 Minéralisation de la Paille

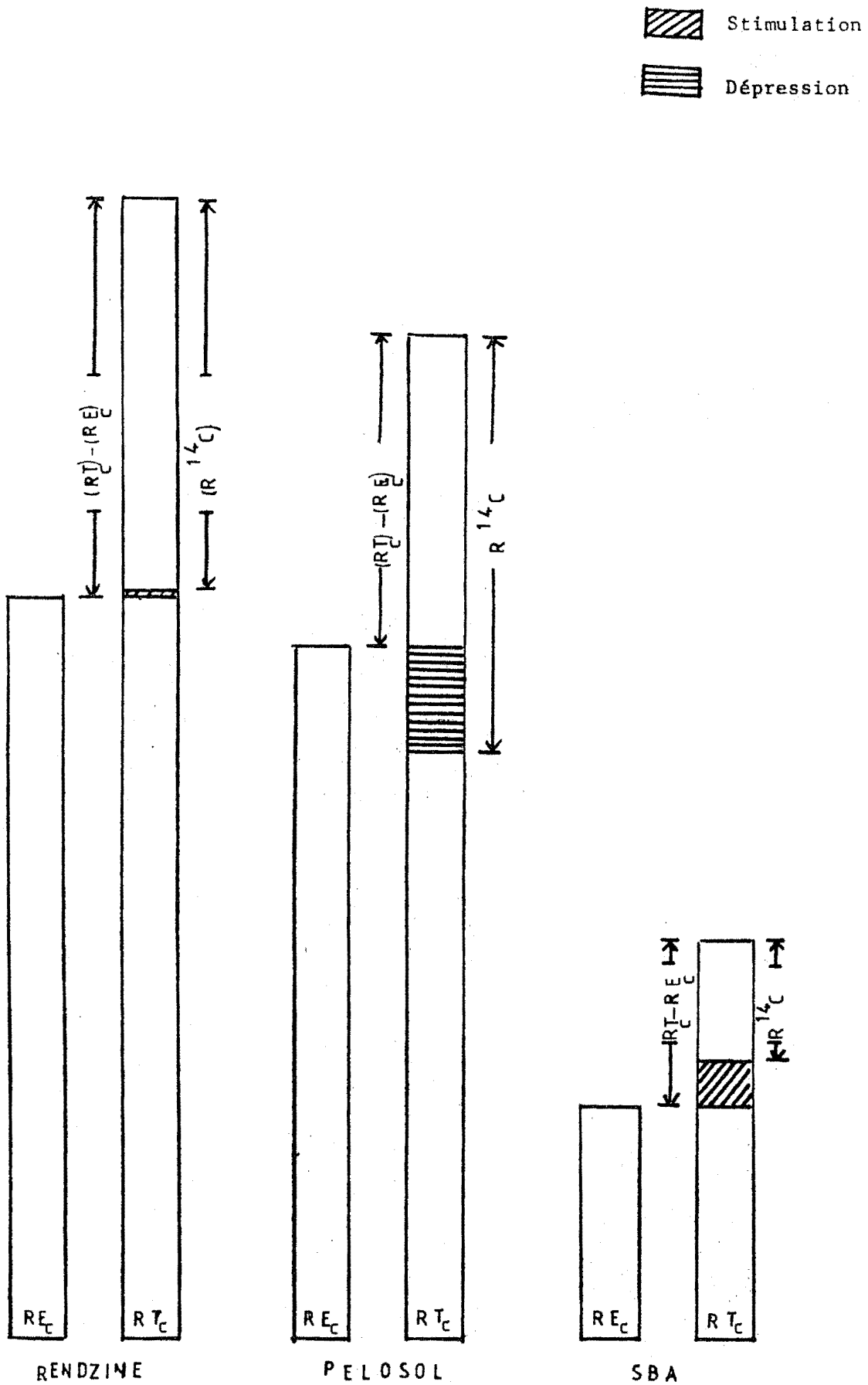
Le tableau 23 cite les résultats du test de Student avec un coefficient de sécurité de 95 % et fait apparaître que la valeur (M_1) pour les rendzines et pélosols et celle de la (M_2) pour les rendzine et SBA, ne présentent pas de différences significatives.

La comparaison des résultats du tableau 22 démontre que dans la rendzine a lieu la biodégradation la moins intense des produits humifiés ; en effet, nous constatons de nouveau un effet secondaire qui inhiberait la minéralisation de la matière organique plus ou moins liée.

GRAPHIQUE 7.

"PRIMING - EFFECT" dela paille ajoutée

pour les deux incubations.



Le rapport $\frac{(M_2)}{(M_1)}$ qui représente la grandeur de cette inhibition par rapport à la M_1 donne l'ordre suivant :

pélosol = 0,35 > S.B.A. = 0,33 > rendzine = 0,22

2:3.9. Etude du Turn-over à l'aide de la paille ^{14}C

Le graphique (7) représente les effets provoqués par la paille sur la biodégradation de la matière organique préexistante pour les deux périodes d'incubation M_1 et M_2. Pour les raisons que nous avons déjà énoncées dans le cas du glucose, nous considérons qu'il faut distinguer les deux processus. La paille étant uniformément marquée, nous transformons la radioactivité dégagée avec le carbone minéralisé en mg de ^{14}C ; en effet, la paille se minéralise directement dans " M_1" et indirectement dans " M_2" (minéralisation indirecte des produits humifiés) ; donc pour limiter les éfreurs nous étudions, en principe, les effets de stimulation et de dépression dans le cas des " M_1".

Nous pouvons donc interpréter les résultats du tableau (24) représentant les effets stimulants pour la rendzine et le SBA pendant la M_1.

Tableau 24. Effets stimulants et dépressifs de la paille sur la matière organique préexistante.

	RT_c+RE_c	$R^{14}C$	$X^{[+]}$	$S^{[+]}$	RT_c+RE_c	$R^{14}C$	$X^{[+]}$	$S^{[+]}$
Rendzine	62,06	54,20	+7,86	1,15	6,32	11,54	- 5,22	0,55
Pélosol	41,69	53,78	-12,09	0,78	11,79	17,07	- 5,28	0,69
S.B.A.	16,87	15,18	+1,71	1,11	11,24	4,96	+ 6,28	2,27
	← M_1 →				← M_2 →			

Rendzine : X > 0 , S = 1,15 > 1

S.B.A. : X > 0 , S = 1,11 > 1

[+]: voir § 2-3-4.

Ces constatations nous font penser aux interprétations suivantes :

RENDZINE :

L'addition de la paille, en stimulant au départ la M_1 , la microflore du sol conduit rapidement à l'épuisement de la matière organique préexistante et accessible aux microorganismes ; par contre au cours de la M_2 après l'élimination des hydrosolubles et la période de dessiccation, nous constatons l'effet protecteur du $CaCO_3$.

Dans la rendzine, la paille ajoutée met en évidence un effet stimulant qui n'a pas été observé avec le glucose ; au contraire les mêmes évaluations pour la M_2 , avec les réserves que nous avons citées, nous conduisent à des résultats opposés mais significatifs ; or, nous constatons que le SBA a subi de nouveau un effet fortement stimulant.

S.B.A. : $X > 0$, $S = 2,27 > 1$,

tandis que la rendzine et le pélosol subissent des effets dépressifs :

Rendzine : $X < 0$, $S = 0,55 < 1$,

Pélosol : $X < 0$, $S = 0,69 < 1$

PELOSOL :

La microflore minéralise préférentiellement la paille ajoutée ; en général nous constatons une protection des produits néoformés, à partir du glucose plus efficace par rapport aux produits humifiés de paille, tableau(18) et tableau (24).

S.B.A. :

La forte stimulation dans la M_2 démontre la biodégradabilité de la matière organique humifiée de ce sol.

RE (Resp.Endogène)

RT (Resp.Totale)

xprimés en ‰ du total incubé.

GRAPHIQUE : 8

Cinétique du CO_2 total et $^{14}CO_2$ dégagés par la paille ^{14}C.

M_1-M_2-E.H.D.:Durée 21 jours/chaque phase.

E.H.D:Elimination des Hydrosolubles et Dessication.

$$C = \frac{RT_c - RE_c}{Sc} \times 100$$

$$Q = \frac{(+)\,R^{14}C}{S^{14}C} \times 100$$

‰

fig. 7

0

EHD

M_1 M_2

jours

%

fig. 8

RENDZINE 5

EHD

M_1 M_2

jours

‰

fig. 9

0

EHD

M_1 M_2

jours

PELOSOL %

fig. 10

10

EHD

M_1 M_2

jours

‰

fig. 11

0

EHD

M_1 M_2

S.B.A. %

fig. 12

10

EHD

M_1 M_2

2.3.10. Cinétique de la paille ^{14}C (graphique 8)

Rendzine :

Les courbes du graphique (8) représentent les valeurs des rapports C et Q (voir: 2-3-5) journaliers dans la rendzine après l'adjonction de la paille, fig.(8) ; en effet, ces courbes mettent en évidence l'effet stimulant de la paille sur la rendzine pour la M_1 et le contraire pour la M_2. Comme nous l'avons déjà constaté au cours de la Ière partie de notre travail, le $CaCO_3$ présente une tendance à bloquer la matière organique libre ou fraîche(cf. TOUTAIN, 1974) à un stade précoce ; cet effet entraînerait des insuffisances qui freineraient le développement de la microflore du sol. Lorsque nous ajoutons de la paille de maïs ces carences disparaissent provisoirement et la forte activité de la microflore minéraliserait sans distinction la matière organique accessible , qu'elle soit préexistante ou ajoutée; néanmoins cet effet de stimulation diminue rapidement (fig. 8) au fur et à mesure que le $CaCO_3$ protège la paille ajoutée.

La courbe journalière de la RT (paille), graphique (8), fig.(7) comparée à celle de la RT (glucose) est différente. En effet, avec la deuxième courbe on remarque une allure parallèle à celle de la "RE" de la rendzine (fig. (1) ; la paille ajoutée provoque une forte période stimulante entre le 3ème et le 10ème jour qui coïncide avec un coefficient de minéralisation endogène élevé, tandis que la radioactivité dégagée diminue brutalement. Nous concluons donc que dans la rendzine il existe probablement , pendant cette période, une matière organique libre mais qui n'est pas minéralisable ; seul l'apport de la paille stimule cette biodégradation bien que la stimulation soit inhibée rapidement par le $CaCO_3$.

Pélosol :

Le graphique (8), fig.(10) représente l'effet dépressif de la paille sur la minéralisation de la matière organique préexistante du pélosol ; en effet, la courbe du rapport C est toujours au-dessous de celle du rapport Q, sauf le 5ème jour où la RT atteint sa valeur maximale, fig. (9). Ce phénomène met en évidence l'action stabilisatrice des argiles sur la matière organique préexistante, ce que nous n'avons pas constaté dans le cas de la M_2 après apport de glucose ; néanmoins la minéralisation de la paille ajoutée est très élevée ; or cet effet stabilisateur des argiles sur la matière organique est un effet qui se déroule lentement ; ainsi la microflore minéralise facilement la matière organique lorsqu'elle est accessible et nous obtenons des coefficients de minéralisation élevés en ce qui concerne la biodégradation du ^{14}C.

En ce qui concerne les deux effets opposés constatés dans le cas de la M_2 du pélosol+glucose et du pélosol+paille, nous émettons l'hypothèse suivante :

- les argiles exercent une action protectrice importante sur les produits de néoformation à base de sucres simples, GUCKERT (1973), tandis que l'effet inhibiteur sur la décomposition de la paille est plus tardif ; c'est la disponibilité de la matière organique pour les microorganismes qui entraîne cet effet dépressif ; cette hypothèse est basée sur la comparaison de la (M_2) du glucose ^{14}C, tableau (16) et celle de la paille ^{14}C qui est considérablement plus élevée, tableau (22). Nous notons en effet, que (M_2) atteint les valeurs suivantes :

Paille ^{14}C : $(M_2) = 10,66$

Glucose ^{14}C: $(M_2) = 3,14$

S.B.A. :

L'effet stimulant de la paille est représenté par le graphique (8), fig. (12), la courbe journalière de C est nettement au-dessus de celle de Q ; comme dans le cas du glucose nous constatons également un pic tardif de la RT, fig.(11), qui apparaît au départ de la M_2, correspondant à un pic de stimulation, fig.(12). Bien que l'effet stimulant soit évident en général, nous constatons des phases courtes de dépression qui démontrent l'emploi par les microorganismes indifféremment de la matière organique préexistante, ou de la matière organique ajoutée ; toutefois la minéralisation de la paille dans le SBA est plus faible ; nous considérons que ce fait pourrait être attribué aux types de microflore demeurant dans ce sol mais ce n'est pas l'objectif de notre travail d'aborder ce problème.

2.3.11. Action de la paille sur la minéralisation totale

Le tableau (25) représente le quotient d'augmentation de la "RT" exprimé par le rapport :

$$A = \frac{(M_1)+(M_2) \text{ de la RT}}{(M_1)+(M_2) \text{ de la RE}}$$

ce quotient mesure l'augmentation provoquée lors de la minéralisation totale

Tableau 25. Augmentation de la RT après l'addition de la paille par rapport à la RE.

	Rendzine	Pélosol	S.B.A.
A	1,47	1,38	1,60

par l'addition de paille dans les sols ; en effet, nous constatons que la valeur du quotient la plus grande est rencontrée dans le cas du SBA.

S.B.A. : (A) = 1,60 > Rendzine : (A) =1,47 > Pélosol (A)= 1,38

Ainsi nous constatons le même ordre de grandeur que celui déjà obtenu dans le cas du glucose mais les valeurs y sont respectivement plus élevées.

2.3.12. Cinétique de minéralisation globale

Si nous comparons les vitesses de minéralisation de la matière organique exprimées soit en mg de carbone minéralisé par 1000 mg de carbone organique total mis à incuber, soit en % de la radioactivité introduite, nous obtenons des critères caractéristiques pour chaque sol; ces résultats nous donnent la possibilité de noter le moment de l'apparition des valeurs maximales et minimales pour chaque traitement et de définir un coefficient de ralentissement qui devient un paramètre caractéristique :

$$V = Vo + g\ (St)$$

Vo = vitesse maximale enregistrée T_1 jours après le départ d'incubation

V = vitesse minimale enregistrée T_2 jours après le départ d'incubation

$St = T_2 - T_1$

Nous définissons comme coefficient de ralentissement la valeur absolue (g). En effet, la valeur absolue (g) est la mesure de la capacité de la microflore dans un certain sol à minéraliser le plus rapidement la matière organique la plus accessible. Nous avons évalué la valeur (g) pour la M_1 et la M_2, d'une part pour la décomposition de la matière organique des sols, d'autre part pour le dégagement de la radioactivité.

Dans la rendzine et le pélosol le maximum de vitesse de minéralisation de la matière organique totale s'observe 5 jours après le départ de l'expérience et la vitesse minimale 18 jours après (tableau 26). Pour le SBA la vitesse maximale est constatée le premier jour et la vitesse minimale au 10ème jour, c'est-à-dire que la matière organique du SBA est plus accessible pour les microorganismes.

a) En ce qui concerne la décomposition de la matière organique totale (initiale et ajoutée), dans tous les traitements l'évaluation de la valeur (g) que nous venons de définir nous permet d'obtenir l'ordre suivant pour les " M_1" et "M_2" :

(g) rrendzine < (g) pélosol < (g) SBA (tableau 26). (1)

Tableau 26. Vitesses maximales (Vo) et minimales (V) obtenues pendant la minéralisation primaire et secondaire des différents sols dans la RE et RT.

		Vo	V	T_1 jour max.	T_2 jour min	St jours	(g)	Vo	V	t_1 jour max.	t_2 jour min.	St jours	(g)
R.E.	Rendzine	2,23	0,77	5ème	18ème	13	0,11	0,60	0,39	1er	18ème	17	0,01
	Pélosol	2,55	0,65	5ème	18ème	13	0,15	0,65	0,47	1er	7ème	6	0,03
	S.B.A.	2,29	0,56	1er	10ème	9	0,17	1,47	0,39	1er	17ème	16	0,07
Rt (glucose)	Rendzine	7,17	0,84	1er	18ème	17	0,37	0,70	0,42	1er	11ème	10	0,03
	Pélosol	7,96	0,81	1er	18ème	17	0,42	1,04	0,49	1er	17ème	16	0,08
	S.B.A.	9,56	0,80	2ème	12ème	10	0,88	2,67	0,44	1er	17ème	16	0,14
Rt (paille)	Rendzine	4,56	0,84	1er	12ème	11	0,34	0,93	0,48	1er	18ème	17	0,03
	Pélosol	4,35	0,66	1er	12ème	11	0,34	1,14	0,52	1er	17ème	16	0,04
	S.B.A.	7,10	1,68	1er	15ème	14	0,46	3,37	0,51	1er	17ème	16	0,18
		← minéralisation primaire →						← minéralisation secondaire →					

Tableau 27. Vitesses maximales (Vo) et minimales (V) obtenues pendant la minéralisation des substrats ajoutés dans les sols : paille ^{14}C et glucose ^{14}C.

		Vo	V	t_1 jour max.	t_2 jour min.	St jours	(g)	Vo	V	t_1 jour max.	t_2 jour mim.	St jours	(g)
Glucose ^{14}C	Rendzine	12,23	0,29	1er	18ème	17	0,70	0,14	0,087	1er	17ème	16	$3X10^3$
	Pélosol	16,1	0,31	1er	18ème	17	0,93	0,25	0,092	1er	17ème	16	$9,9X10^3$
	S.B.A.	16,87	0,42	2ème	18ème	16	1,03	0,81	0,210	1er	17ème	16	$37,5X10^3$
Paille ^{14}C	Rendzine	6,45	0,25	1er	12ème	11	0,56	0,39	0,246	1er	18ème	17	$8,5X10^3$
	Pélosol	7,62	0,25	1er	12ème	11	0,67	0,80	0,190	7ème	14ème	7	$87X10^3$
	S.B.A.	8,44	0,55	1er	18ème	17	0,46	0,58	0,140	1er	17ème	16	$27,5X10^3$
		minéralisation primaire ←						minéralisation secondaire →					
SBA + $CaCO_3$	Glucose ^{14}C	11,37	0,24	2	18	16	0,70	0,18	0,14	2	17	15	$2,7X10^3$
	Paille ^{14}C	7,13	0,57	1	6	5	1,31	0,57	0,230	1	17	16	$21,2X10^3$

b) Nous avons évalué également les coefficients (g) pour les vitesses mesurées lors de la minéralisation des substrats radioactifs et nous avons recueilli les résultats du tableau (27).

En ce qui concerne la minéralisation du Glucose nous obtenons le même ordre des valeurs |g| que dans le cas de l'étude de la RE (respiration endogène) et de la RT (respiration totale) en présence de ce substrat.

Néanmoins pour la paille dans la M_1 les valeurs de g s'échelonnent comme suit :

: |g| SBA < |g| Rendzine < |g| Pélosol (2)

et pour la M_2 : |g| rendzine < |g| SBA < |g| Pélosol (3)

Donc, dans le cas de la paille, le pélosol développerait sa microflore et entrainerait une minéralisation très rapide de la matière organique accessible. Nous pensons que les conditions écologiques de l'expérience favoriseraient une activité intense de la microflore globale dans le pélosol et dans la rendzine en ce qui concerne la décomposition de la paille ; cette activité initiale entraînerait une rapide décomposition de la matière organique avant l'action de blocage provoqué par les argiles et le $CaCO_3$; ce phénomène stimulant se poursuivant plus longtemps et plus intensèment dans le cas du pélosol où l'action inhibitrice des argiles est un phénomène essentiellement physique ; par contre l'action chimique du $CaCO_3$ se produit plus rapidement et plus énergiquement.

Tableau 28. Carbone (en % du C du sol) et radioactivité (en % de la radioactivité introduite) entraînée avec les hydrosolubles.

	Carbone			Radioactivité	
	RE	R↑(gluco	R↑(Pail.	Glucose	Paille
Rendzine	0,19	0,14	0,13	0,11	0,32
Pélosol	0,10	0,10	0,13	0,12	0,31
S.B.A.	0,45	0,60	0,56	1,79	0,80

2.4. HYDROSOLUBLES :

Lors de l'établissement du protocole expérimental, il nous a paru indispensable d'éliminer les hydrosolubles après la M_1 afin de pouvoir éliminer la radioactivité non incorporée dans les sols, notamment dans le cas du glucose ; il nous a donc paru intéressant d'étudier l'enrichissement de ces hydrosolubles en C et en radioactivité. Le tableau(28) montre l'effet suivant :

- RENDZINE :

Après la M_1 nous constatons que les extraits à partir de paille contiennent plus de radioactivité que ceux obtenus à partir du glucose.

- PELOSOL :

Pour le pélosol les résultats sont similaires.

- SBA :

Dans le cas du SBA, la teneur en carbone et en radioactivité est toujours plus élevée ; néanmoins la radioactivité trouvée après la percolation du " SBA + Glucose ^{14}C " a été plus importante qu'après celle du "SBA + Paille ^{14}C".

Nous avons effectué le dosage du carbone et de la radioactivité des hydrosolubles séparés du sol par centrifugation ou par percolation. Dans le tableau (28) nous faisons apparaître les résultats obtenus par la seconde méthode ; les valeurs notées lors du dosage des extraits par centrifugation sont manifestement supérieures.

2.5. ACTION DU $CaCO_3$ AJOUTE DANS LE S.B.A.

Cette expérience complémentaire consiste à incuber le S.B.A. en présence ou non du $CaCO_3$ (voir § 2-2) ; avant de discuter les résultats de cette expérience il importe de souligner que le facteur dominant dans le SBA est le Fer à l'état libre, VEDY (1973).

Pendant la M_1, la neutralisation de l'acidité du SBA, a conduit à une décomposition partielle du substrat ajouté ($CaCO_3$) de l'ordre de 10 % ; une seconde fraction a été éliminée avec les hydrosolubles (10%), sous forme de bicarbonate ; ce fait peut être confirmé par l'évolution du pH du sol qui passe de 3,8 au départ de l'incubation à 7,6 à la fin de la M_1 , et qui se stabilise à cette valeur lors de la M_2, tableau (29). Par conséquent, cette évolution du $CaCO_3$ perturbant le dosage du CO_2 ne nous permet de suivre que l'évolution du ^{14}C.

Tableau 29. Evolution du pH lors de l'action du $CaCO_3$ dans le SBA .

	SBA	M_1 SBA +$CaCO_3$	M_2 SBA + $CaCO_3$
(pH)	3,8	7,6	7,6

2.5.1. Glucose - ^{14}C (minéralisé dans le SBA et le SBA + $CaCO_3$).

Le tableau (30) représente le taux de ^{14}C de glucose minéralisé pendant les M_1 et M_2 ; le tableau (31) statistique montre que la différence observée lors de la M_1 n'est pas significative, tandis qu'elle le devient pendant la M_2 , où il apparaît que :

S.B.A. : $(M_2) = 7,15$

SBA + $CaCO_3$: $(M_2) = 3,39$

le rapport $\frac{(M_2)}{(M_1)}$ qui représente le taux de ralentissement :

S.B.A. : $\frac{(M_2)}{(M_1)} = 0,15$

SBA + $CaCO_3$: $\frac{(M_2)}{(M_1)} = 0,07$ donc ce ralentissement est très important dans le cas du SBA + $CaCO_3$. Nous confirmons que le $CaCO_3$ protège le matériel radioactif incorporé dans le sol à partir du glucose ^{14}C tandis qu'au départ la M_1 est voisine dans les deux traitements ; ainsi nous observons un mécanisme d'évolution similaire entre le SBA + $CaCO_3$ et la rendzine, mettant donc en évidence un facteur commun dans les deux cas.

Tableau 30. Taux de décomposition du glucose dans le SBA et SBA+$CaCO_3$
(en % de la radioactivité introduite)

	(M_1)	(M_2)	(M_1+M_2)	$\frac{(M_2)}{(M_1)}$
S.B.A.	49,06	7,15	56,21	0,15
SBA + $CaCO_3$	48,52	3,39	51,91	0,07

Tableau 31. Test de Student

	Hypothèse acceptée
M_1	SBA = SBA + $CaCO_3$
M_2	SBA ≠ SBA + $CaCO_3$

Le graphique(9) représente cet effet au cours de deux incubations ; le rapport journalier pour le "SBA"

$$[1]\quad Q = \frac{(+)\ R^{14}C}{S^{14}C} \times 100$$

donne une courbe cumulative dont le niveau est supérieur à celui du (SBA+$CaCO_3$), fig. (14) ; le même rapport journalier qui est représenté par la fig. (13) montre le rapide ralentissement du Q:" SBA + $CaCO_3$" tandis que ce rapport journalier dans le SBA atteint une valeur maximale le 2ème jour ; ce rapport se maintient à une valeur supérieure pendant presque toute la période expérimentale.

Donc nous pensons que nous pouvons attribuer au $CaCO_3$ un rôle stabilisant de la matière organique humifiée au sens large du mot.

[1] : Q : voir 2-3-5

2.5.2. Paille ^{14}C (minéralisée dans le SBA et SBA + $CaCO_3$).

Le tableau (32) représente les résultats obtenus après la minéralisation de la paille dans le SBA et le SBA + $CaCO_3$.

Tableau 32. Taux de décomposition de la paille dans le SBA et le SBA+$CaCO_3$. (En % de la radioactivité introduite).

	(M_1)	(M_2)	(M_1+M_2)	$\frac{(M_2)}{(M_1)}$
S.B.A.	24,69	8,14	33,03	0,33
SBA + $CaCO_3$	32,03	7,63	39,66	0,24

Tableau 33. Test de Student

	Hypothèse acceptée
M_1	SBA $\neq$ SBA+$CaCO_3$
M_2	SBA $=$ SBA+$CaCO_3$

Pendant la M_1 nous constatons que la minéralisation est plus forte dans le cas du SBA+$CaCO_3$; mais d'après le tableau (33) la différence notée à la fin de la M_2 n'est pas significative ; le rapport $\frac{(M_2)}{(M_1)}$ nous permet d'obtenir un indice sur le mécanisme du ralentissement de la décomposition du substrat ajouté dans les deux traitements:

$$\text{SBA} : \frac{(M_2)}{(M_1)} = 0,33$$

$$\text{SBA} + CaCO_3 : \frac{(M_2)}{(M_1)} = 0,24$$

dans le cas du SBA+$CaCO_3$ nous notons un ralentissement de minéralisation plus efficace.

journalier

—— S.B.A.

..... S.B.A.-$CaCO_3$

GRAPHIQUE 9.

$Q = \frac{\sum R^{14}C}{S^{14}C} \times 100$

M_1, M_2, EHD : 21 jours

Q cumulatif

—— S.B.A.

.....S.B.A. - $CaCO_3$

EHD:Elimination des Hydrosolubles et Dessication.

GLUCOSE-^{14}C

Fig 13

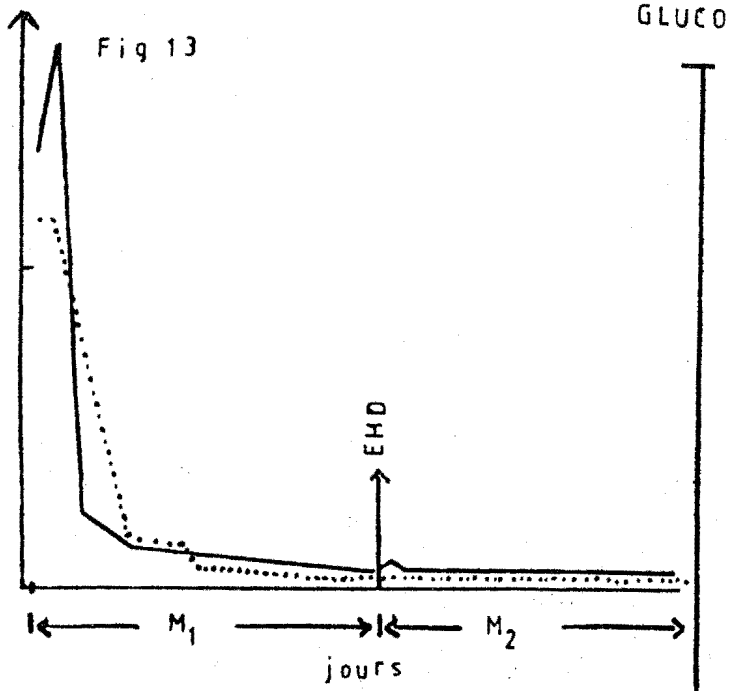
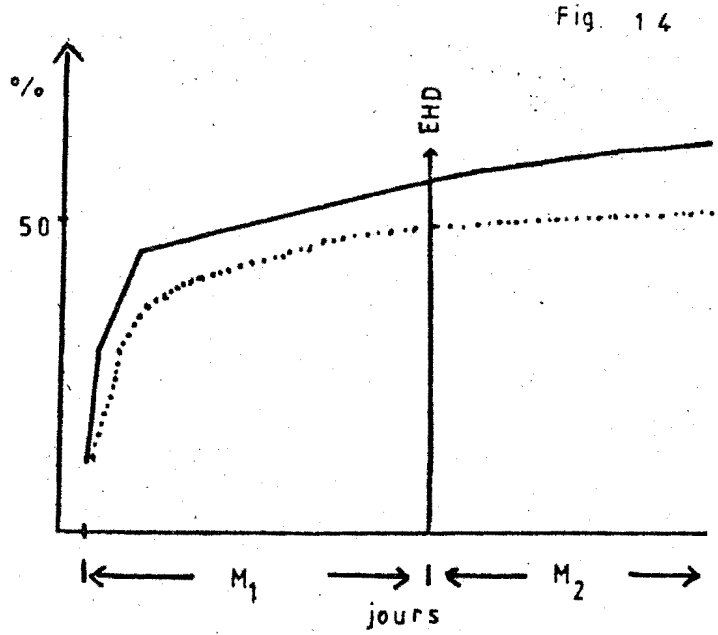


Fig. 14



PAILLE-^{14}C

Fig. 15

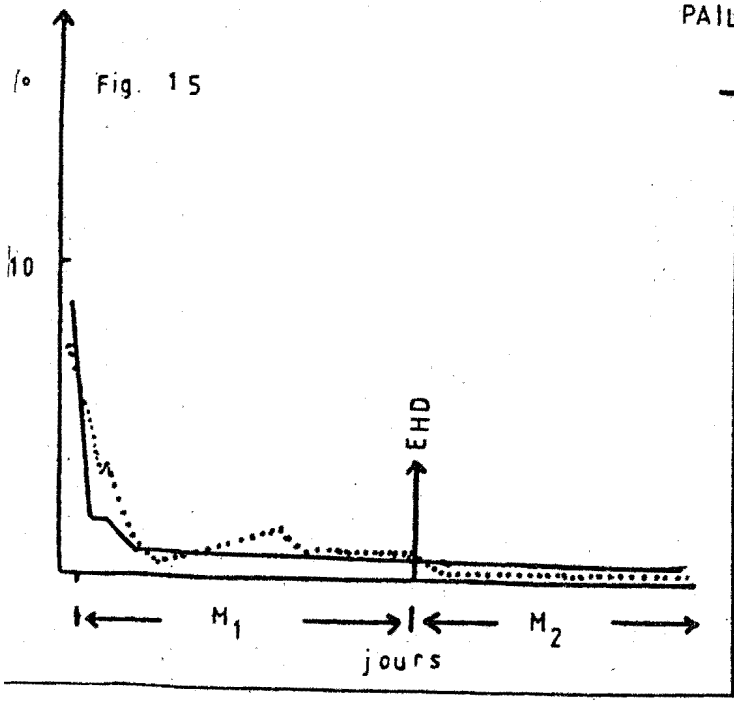
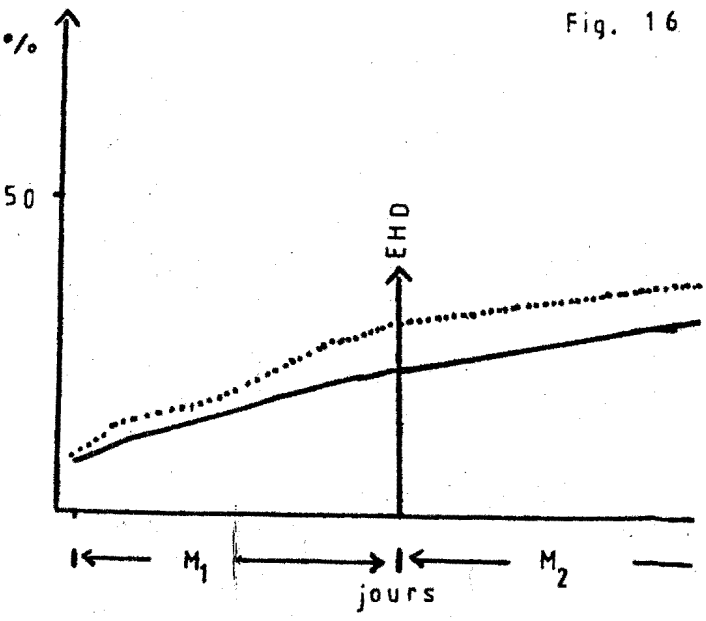


Fig. 16



Les résultats du tableau (32) nous font penser que le $CaCO_3$ n'empêche pas au départ de l'expérience, le développement de la microflore lorsque la matière organique ajoutée est encore libre et accessible aux microorganismes ; puis le $CaCO_3$ agit de plus en plus et bloque cette matière organique qui devient moins biodégradable ; évidemment dans le cas du SBA + $CaCO_3$ l'ampleur de cet effet inhibiteur est loin d'être comparable à celle du même effet dans la rendzine, car celle-ci a une teneur en calcaire actif de l'ordre de 2,8 %, tandis que , dans notre expérience la teneur en calcaire est de l'ordre de 0,50 % (exprimée de la même manière, c'est-à-dire carbone sous forme carbonate en % du sol).

Le graphique (9), fig. (16) du rapport cumulatif montre que la M_1 de la paille, est en général plus forte dans le cas du SBA + $CaCO_3$; la fig. (15) représente l'allure journalière du même rapport Q et montre l'inversement constaté pendant la M_2.

2.5.3 . Cinétique[*]

Le tableau (27) représente les vitesses de minéralisation du glucose ^{14}C et de la paille ^{14}C dans le SBA et le SBA+$CaCO_3$; ces données nous permettent d'évaluer la valeur (g) pour cette expérience.

Pour la décomposition du glucose pendant la M_1 et la M_2 nous rencontrons l'ordre suivant :

"M_1" et "M_2" : (g) "SBA $>$ (g) " SBA + $CaCO_3$" (1)

tandis que pour la décomposition de la paille à la M_1 nous obtenons :

"M_1" (g) "SBA" $<$ (g) "SBA+$CaCO_3$" (2)

néanmoins pour la "M_2"de la paille nous retrouvons l'ordre (1)

Donc, dans le SBA, en l'absence de $CaCO_3$ nous constatons une biodégradation du glucose plus rapide qu'en présence de $CaCO_3$; cependant les maxima et minima de cette minéralisation interviennent aux mêmes dates pour les deux traitements.

Au contraire, dans le cas de la paille ^{14}C, la présence de $CaCO_3$ favorise une biodégradation rapide tant que la matière organique est encore libre.

---

[*] voir § 2.3.12

2.5.4. Hydrosolubles :

Tableau 34. [+] Radioactivité entraînée avec les hydrosolubles

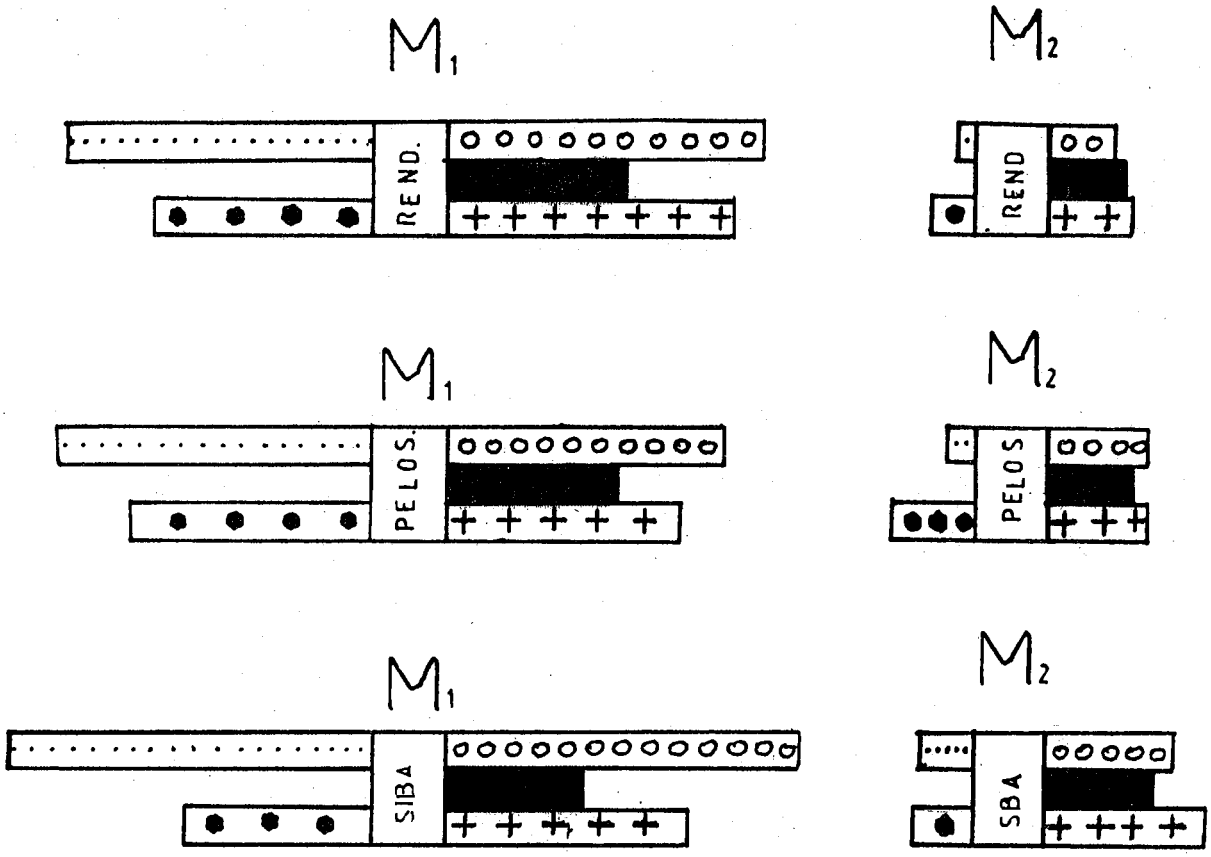
	S.B.A.	SBA + $CaCO_3$
Glucose ^{14}C	1,79	1,07
Paille ^{14}C	0,80	1,88

Le tableau (34) représente la radioactivité trouvée dans la fraction hydrosoluble après la M_1 ; nous constatons que le glucose ^{14}C dans le cas du SBA + $CaCO_3$ libère moins de produits radioactifs ; c'est le contraire pour la paille.

[+]: en % de la radioactivité introduite.

GRAPHIQUE (A)

Comparaison des coefficients de Minéralisation.



RE

RT GLUCOSE

RT PAILLE

En % du Carbone total incubé.

Radioac, GLUCOSE

Radioac. PAILLE

En % de la radioactivité introduite.

2.6. CONCLUSIONS SUR LA DYNAMIQUE DE LA MINERALISATION

Il nous a semblé judicieux d'insister sur la minéralisation de la matière organique de la rendzine puisqu'il s'agit du thème essentiel de nos recherches, néanmoins nous citons comme référence les résultats des autres types de sol. Nous étudions donc successivement les minéralisations primaire "M_1" et secondaire "M_2" (graphique :A)

2.6.1. Etude de l'évolution du dégagement de CO_2

a) M_1 : Le coefficient (RE) de la respiration endogène est plus grand dans la rendzine par comparaison aux autres sols (Pélosol-SBA). Lors de l'adjonction du glucose cette dernière se traduit par une stimulation importante de la biodégradation totale dans le cas du SBA ; cet accroissement présente une plus faible amplitude dans la rendzine et cette différence est encore plus atténuée dans le pélosol. Cet ordre décroissant se retrouve dans le pourcentage de radioactivité libérée lors de la minéralisation du glucose ^{14}C.

- Après addition de paille la biodégradation globale montre l'ordre décroissant : rendzine > pélosol > SBA ; tandis que la minéralisation des substrats radioactifs présente l'ordre suivant : pélosol> rendzine > SBA.

b) M_2 : Si maintenant nous comparons l'évolution au cours de la M_2, après élimination des hydrosolubles par percolation et 3 semaines de dessiccation, on constate que la biodégradation endogène " RE" présente une acuité décroissante SBA > pélosol> rendzine ; donc, nous rencontrons un effet opposé à celui constaté lors de la M_1 ; ceci montrerait qu'au cours de nos deux incubations la matière organique de la rendzine se stabilise; bien que cette stabilisation se rencontre également pour les autres sols, elle y serait néanmoins moins élevée.

- Lors de l'adjonction de glucose ou de paille, si la biodégradation globale augmente dans le pélosol et le SBA, il apparaît une stabilité surprenante dans la rendzine ; ceci explique bien qu'il existe un blocage dans ce sol, à la fois de la matière organique préexistante et des substrats ajoutés, quelle que soit leur nature biochimique ; une confirmation de ce fait apparaît lorsqu'on examine les coefficients (M_2) des radioactivités libérées.

Ici nous signalons l'importance attribuée à la comparaison des rapports (M_2/M_1), ce dernier traduisant la stabilisation de la matière organique dans les sols ; en effet, ce rapport dans les divers traitements de la rendzine a atteint des valeurs minimales par opposition aux autres sols ; on a trouvé le même sens de variation de ces valeurs au cours de l'étude de la minéralisation des substrats ajoutés dans le SBA après addition à ce sol de $CaCO_3$, donc l'évolution de ce rapport est bien le reflet du mécanisme de blocage de la matière organique par le $CaCO_3$.

2.6.2. Priming-effect :

Après ces résultats remarquables, il nous a paru intéressant de déterminer l'importance d'une part des " priming-effect", d'autre part de l'action inhibitrice sur la matière organique initiale, en présence des substrats carbonés ajoutés sous forme de glucose ou de paille.

Dans le cas de la rendzine l'adjonction d'un sucre simple et hydrosoluble se matérialise par une diminution de la biodégradation de la matière organique préexistante ; ceci montre bien la stabilité de cette matière organique ; notons que cette stabilité se renforce encore au cours de M_2. Avec la paille, s'il apparaît un effet stimulant lors de la M_1, nous constatons une forte action inhibitrice lors de M_2.

Pour le pélosol, en présence de glucose nous constatons également un effet dépressif qui devient stimulant lors de M_2 ; le substrat paille, lui, entraîne toujours un effet dépressif, certainement en fonction du rôle protecteur des argiles dont le taux dans ce sol est supérieur à 50 %.

A l'opposé, dans le cas du Mull (SBA) on constate une stimulation importante, quelque soit le substrat ajouté, se traduisant par une augmentation de la biodégradation de la matière organique initiale ; nous pouvons donc admettre que dans ce type de sol l'adjonction d'un substrat carboné a provoqué une augmentation d'intensité de la minéralisation ; par conséquent il n'existe pas de blocage provoqué vis-à-vis de l'activité biologique.

Il nous reste à tenter d'expliquer le mécanisme du blocage dans le cas de la rendzine, puisque dans ces horizons humifères existe une activité biologique très importante ; il aurait été souhaitable d'entreprendre une étude parallèle des populations bactérienne et fongique ; néanmoins, nous appuyant sur les résultats de MANGENOT (1974), nous pouvons considérer que l'activité biologique serait favorisée in vitro dans la rendzine ; ainsi le mécanisme du blocage ne serait pas d'ordre biologique; il nous reste donc à penser qu'il s'agit d'une action physico-chimique, fait étant partiellement prouvé dans notre première partie du mémoire par analyses microstructurales.

Tableau 35. Rendzine. Teneur en carbone organique (en % du carbone organique total).
Radioactivité incorporée (en %) de la radioactivité totale résiduelle)

Fractions	Teneur en carbon.org.	Radioactivité M_1 glucose	M_2 glucose	M_1 paille	M_2 paille
S-1	13,58	10,99	7,31	28,33	28,96
S-2	7,90	4,88	2,80	8,19	3,85
S-3	2,85	2,53	2,27	0,39	4,51
Ac.Hymat.	3,11	5,65	4,97	2,45	2,44
C-2	75,41	82,90	88,65	62,51	66,27
A.F.	27,39	28,97	38,45	14,70	15,41
A.H.	4,64	2,32	3,27	12,96	12,98
M.O. Fer	8,44	7,75	7,31	3,42	3,17
M.O. Arg.	4,63	16,48	19,07	6,15	10,36
H_2	27,45	20,42	14,56	23,42	18,33

TAbleau 36. Carbone extractible par les réactifs alcalins (en % du carbone total)
Répartition de la radioactivité dans ces fractions (en % de la Ra. résiduelle) ($R = \frac{AF}{AH}$)

RENDZINE

	Echantillons		NaOH $Na_2B_4O_7$		$Na_4P_2O_7$		NaOH avant Hcl		Hcl		NaOH après Hcl		Globaux
			%	R	%	R	%	R	%	R	%	R	R
Carbone Organique		A.F.	3,26	7,5	5,50	5,0	8,11	-	1,82	-	8,70	2,8	5,90
		A.H.	0,44		1,1		0		-		3,11		
Répartition de la radioactivité	Glucose. M 1	A.F.	5,40	-	3,43	31,0	5,71	6,44	9,63	-	4,79	3,6	12,50
		A.H.	0		0,11		0,89		-		1,33		
	Glucose. M 2	A.F.	8,71	-	3,20	4,1	8,21	-	11,98	-	6,35	2,6	11,80
		A.H.	0		0,78		0		-		2,49		
	Paille. M 1	A.F.	3,38	2,7	2,37	1,5	2,91	0,4	2,64	-	3,41	1,0	1,1
		A.H.	1,24		1,64		6,58		-		3,51		
	Paille. M 2	A.F.	3,87	12,4	2,68	1,7	2,84	0,4	3,13	-	2,90	0,6	1,2
		A.H.	0,3		1,61		6,40		-		4,67		

2.7. FRACTIONNEMENT DE LA RENDZINE ET ETUDE DE LA REPARTITION DE LA RADIOACTIVITE INCORPOREE.

Pour pouvoir examiner la répartition de la radioactivité dans les différentes fractions organiques de la rendzine, nous avons adopté le protocole proposé à la Ière partie de notre travail et relatif à l'étude du fractionnement, c'est-à-dire :

- Séparation densimétrique + ultra-sons
- Extractions : soude-tétraborate (pH 9,7)
  Pyrophosphate ((pH 9,8)
  Soude (pH 12)
- Décarbonatation - Séparation densimétrique + ultra-sons - extraction soude (pH 12)
- Solubilisation du Fer } + extractions à
- Destruction des argiles } + la soude (pH 12)

Donc nous obtenons les fractions suivantes : S-1, S-2, S-3, AF + AH, H-1, H-2. (voir définitions § 8-2)

2.7.1. Matières surnageantes (S-1, S-2, S-3), tableau 35

Les résultats de ce tableau démontrent qu'en présence du glucose, la radioactivité incorporée pendant l'incubation primaire de la rendzine aux fractions surnageantes, diminue pendant l'incubation secondaire au contraire, l'incubation avec la paille aboutit à des résultats diversifiés : la radioactivité incorporée à la fraction S-1 (28,33%) ne subit pas de modifications significatives au cours de la M_2 , mais la fraction S-2 (voir matière organique faiblement séquestrée) montre une diminution importante de 8,19 % à 3,85 % ; dans la fraction S-3 (voir matière organique fortement séquestrée), la radioactivité pendant la M_2 est décuplée ; nous soulignons cette augmentation de la radioactivité de la paille pendant la M_2 ; ce fait met en évidence le mécanisme bio-physico-chimique entraînant le blocage des matières organiques peu transformées et non extractibles par les réactifs alcalins ; effectivement c'est un effet bio-physico-chimique résultant de la transformation des radicaux de la matière organique et sa stabilisation précoce par le $CaCO_3$. Ce processus dépend de l'action de la microflore et de la réaction chimique de la matière organique avec le $CaCO_3$.

2.7.2. Fractions de C-2 (culot de la séparation densimétrique)

| C-2 = S-3 + AF + AH + H | : Pendant la M_2 nous constatons une augmentation de la radioactivité résiduelle incorporée dans ces fractions des sols enrichis en glucose (5 %), ou en paille (4 %), tableau 35 dans le cas de la paille cette augmentation est due, en principe, à l'augmentation de la radioactivité du S-3 ; c'est un fait résultant certainement des phénomènes de polycondensation et de polymérisation par oxydation.

2.7.3. Fraction extractible AF+AH

Le tableau 36 représente le carbone et la radioactivité incorporée dans les fractions extractibles avec les réactifs alcalins ; nous allons étudier le taux d'extraction pour chacun des traitements.

a) Solubilisation par NaOH - $Na_2B_4O_7$; pH 9,7

La teneur en carbone de cette fraction donne un rapport $R = \frac{AF}{AH} = 7,5$ très élevé ; comme il a été démontré dans la Ière partie de ce travail ce réactif n'est pas apte à extraire les acides humiques de la rendzine ; néanmoins nous constatons une augmentation de la radioactivité dans les acides fulviques au cours de la M_2 ; celle-ci relativement faible dans le cas de la paille devient très importante en présence de glucose.

b) Solubilisation pa $Na_4P_2O_7$; pH 9,8

Le rôle décomplexant de ce réactif n'est pas suffisamment efficace pour libérer la matière organique séquestrée par le $CaCO_3$ actif (Ière partie de la thèse) ; le tableau 36 représente le taux en carbone et le pourcentage de la radioactivité incorporée dans les produits d'extraction pour ce réactif ; ces extraits donnent un rapport :

$$R = \frac{AF}{AH}$$

très élevé pour le carbone (R = 5) et la radioactivité du glucose (M_1: R=31, M_2 : R = 4,1), néanmoins pour les sols incubés avec la paille nous constatons un rapport " R " pour la radioactivité incorporée, relativement faible (M_1 : R = 1,5 - M_2 : R = 1,7) ; ceci nous fait penser à la présence de sous produits de la lignine qui se comportent comme des acides humiques extractibles par ce réactif lorsqu'ils ne sont pas séquestrés par le $CaCO_3$.

c) Solubilisation par NaOH ; pH 12

- Après adjonction du glucose nous avons utilisé ce réactif à deux reprises au cours de l'extraction, avant et après la décarbonatation et séparation densimétrique de la fraction S-3. L'emploi de ce réactif avant la décarbonatation extrait, après incubation (M_1 ou M_2) en présence du glucose, une matière organique à faible teneur en acides humiques, qu'il s'agisse des résultats exprimés en carbone ou en radioactivité. Au contraire, après la décarbonatation, nous extrayons une fraction d'acides humiques riches en carbone avec une faible teneur en radioactivité qui provient du glucose ; donc, le $CaCO_3$ a séquestré une grande partie d'acides humiques préexistants initialement dans le sol ; la faible teneur en radioactivité incorporée dans ces acides humiques serait dûe à des molécules organiques de néosynthèse microbienne.

- En ce qui concerne la paille nous constatons que la soude, avant la décarbonatation, extrait probablement des sous-produits de la lignine présentant la propriété des acides humiques (c'est-à-dire précipitent à pH 2) et nous en soulignons la stabilité pendant la M_2 ; en effet le taux de radioactivité reste constant au cours de la M_2 :

radioactivité comptée après M_1 : 6,58

radioactivité comptée après M_2 : 6,40

Après la décarbonatation nous rencontrons une radioactivité importante incorporée aux acides humiques, donc il s'agirait soit de sous-produits séquestrés par le $CaCO_3$ au sein des acides humiques, soit des produits néoformés.

d) Produits solubles dans l'HCl, : pH 4

Ces produits libérés par l'HCl, lors de la décarbonatation et considérés comme des acides fulviques, augmentent au cours de la M_2, dans le cas du Sol + glucose de 9,6 % à 11,98 %, et de 2,64 à 3,13 % en présence de paille ; c'est-à-dire que pendant le processus de M_2, la matière organique radioactive bloquée par le $CaCO_3$ augmente de plus en plus ; nous émettons donc deux hypothèses : soit que le $CaCO_3$ réagit avec les produits acides de la biodégradation (acides organiques) pour former des sels insolubles, soit le $CaCO_3$ formant une gangue autour de petites molécules humiques d'origine microbienne ou chimique.

CARBALAS et al. (1971), en signalant la faible minéralisation de la lignine pendant l'incubation de ce substrat dans un sol calcaire, constataient une résistance à l'extraction par le $Na_4P_2O_7$; seule la soude permettait une extraction importante. Si nous admettons que des sous-produits de la paille sont extractibles par la soude dans la fraction acides humiques, l'importance des quantités extractibles, après la décarbonatation, confirme cette hypothèse, tableau 36 ; néanmoins comme nous obtenons des fractions acides humiques riches en radioactivité avant la décarbonatation, dans le cas de la paille, ces composés seraient des produits organiques de néoformation microbienne formant des chaînes périphériques sur les structures aromatiques, lorsque les groupements fonctionnels, notamment les COOH, ne sont pas encore bloqués par le $CaCO_3$.

Dans le cas du Glucose ^{14}C la teneur en radioactivité des acides humiques est très faible par rapport à la teneur en carbone de ces fractions.

Nous remarquons que les acides humiques formés pendant la M_1 n'augmentent pas lors de la M_2 dans le cas de l'adjonction du substrat paille ; mais, fait très important; si on procède à une décarbonatation après la M_2, on libère une quantité supplémentaire à celle libérée après le M_1 et après décarbonatation ; ceci démontre une nouvelle fois la protection d'une fraction humifiée de la matière organique par le $CaCO_3$ au cours de l'évolution lors de la réincubation.

2.7.4. **Les Humines** ($H = H_1 + H_2$)

H = Humine totale

H_1 = Humine liée au Fer et aux Argiles

H_2 = Humine non extractible ou résiduelle

a) Humine formée par liaison au Fer et aux argiles (H-1)

Si nous comparons la teneur en radioactivité de la partie " Matière organique-Fer ", après les M_1 et M_2, nous constatons que la radioactivité ne se modifie pas sensiblement lors de la M_2 (tableau 35) ; au contraire, la fraction " Matière organique-Argiles " subit une augmentation de la radioactivité pendant la M_2 ; celle-ci est plus importante dans le cas de la paille (de 10,36 % - 6,15 % = 4,21 %) que dans le cas du glucose (de 19,47 - 16,48 = 2,59 %) (tableau 35) ; on assisterait à la formation des ponts établis par l'intermédiaire des cations métalliques polyvalents ou par adsorption physique (interaction ion-dipôle-établissement de liaison hydrogène), VALLA M. et al., (1972) ; MORTLAND (1970) ; GREENLAND (1971).

b) Humine non extractible (H-2 : tableau 35)

Les taux de radioactivité ., en présence de glucose, se situent à 20,42 % après M_1 et 14,56 % après M_2 ; pour la paille ces valeurs sont respectivement 23,42 % et 18,33 %. YAGHI (1973), qui a constaté le même phénomène, émet l'hypothèse que cette humine comporterait essentiellement des produits microbiens labiles subissant un turn-over rapide ; il s'agirait de corps microbiens néoformés, non solubilisables par les solvants alcalins ; ces hypothèses sont vérifiées également par MAYAUDON-SIMONART (1963) ; GUCKERT (1974); tous ces auteurs considèrent que cette humine microbienne s'incorpore très rapidement aux autres particules colloïdales du sol. D'après DECAU (1968), les polysaccharides fortement polymérisés possèdent un nombre considérable de groupements fonctionnels ; d'autre part chaque colloïde minéral du sol, possèdant une surface par unité de poids très élevée, fixe un grand nombre de polysaccharides. GALLALI (T.) (1972) a démontré qu'il y a une néoformation de polysaccharides à partir des substrats de natures différentes ; le même auteur cite que 77 % de polysaccharides de la matière organique liée se trouvent dans l'humine en général et il a constaté qu'au cours de la M_2 a lieu une diminution des polysaccharides néoformés, en parallèle avec celle de certains sucres aminés. Toutes ces conclusions vont dans le même sens et démontrent qu' en présence des substrats simples (glucose ^{14}C) on a bien assisté à une néoformation microbienne du sol ; en présence de paille ce phénomène est accompagné certainement d'une biodégradation d'autres fractions carbonées avec production des composés humiques qui se lieraient également aux fractions argileuses.

Les variations d'intensités de dégagement de $^{14}CO_2$, au cours de la M_2, démontreraient une grande stabilité des composés, néosynthétisés à partir des substrats simples, par rapport à la biodégradation des composés issus des fractions végétales organiques.

2.7.5. Comparaison de la radioactivité (+) incorporée avec la teneur(++) en carbone organique.

Si nous comparons la radioactivité incorporée après la M_2 et la teneur en carbone (graphique 10) des différentes fractions organiques, nous obtenons la représentation suivante :

S-3 :	Ra	{ G }	<	{ C }	<	Ra { P }
AF :	Ra	{ P }	<	{ C }	<	Ra { G }
AH :	Ra	{ G }	<	{ C }	<	Ra { P }
Humine H_1+H_2 :	Ra	{ P }	<	{ C }	<	Ra { G }

Cette comparaison confirme notre hypothèse à savoir que les résidus de végétaux (lignine de la paille) participent d'une façon prépondérante à la fraction S-3 et aux acides humiques ; à l'inverse les acides fulviques et les humines seraient plutôt des produits de néoformation microbienne, in PERSON (1968).

(+) : en % de la radioactivité résiduelle au sol après M_1 et M_2

(++) : en % du carbone total du sol.

Ra {G} : radioactivité de la fraction qui provient du Glucose 14C

Ra {P} : radioactivité de la fraction qui provient de la paille ^{14}C

{C} : teneur en carbone de la fraction

Tableau 37. Répartition du Carbone organique [+] et de la radioactivité incorporée [++] dans les fractions du SBA et du SBA+$CaCO_3$.

Fractions	$(+)_{SBA}$	$(+)\frac{M_1 \text{ Glucose}}{SBA}$	$\frac{M_2 \text{ Glucose}}{SBA}$	$\frac{M_1 \text{ Glucose}}{SBA+CaCO_3}$	$\frac{M_2 \text{ Glucose}}{SBA+CaCO_3}$	$\frac{M_1 \text{ Paille}}{SBA}$	$\frac{M_2 \text{ Paille}}{SBA}$	$\frac{M_1 \text{ Paille}}{SBA+CaCO_3}$	$\frac{M_2 \text{ Paille}}{SBA+CaCO_3}$
Surnageant	28,93	9,20	16,67	11,97	6,94	47,63	11,32	48,54	32,04
Ac. Hym.	4,84	7,41	1,38	5,35	1,85	1,41	1,11	1,81	0,45
C-2	66,23	83,34	81,34	82,68	91,20	50,46	87,94	49,65	67,50
A.F.	19,30	15,1	13,01	22,59	16,20	8,05	17,96	9,22	10,0
A.H.	9,80	10,35	8,51	22,01	13,43	7,43	7,72	8,70	8,40
M.O. Fer	6,15	5,20	4,86	4,88	4,77	3,13	7,52	5,32	3,19
M.O. Arg.	3,48	6,11	21,42	10,96	9,95	2,63	20,28	10,19	8,58
H-2	27,50	46,62	34,15	22,18	46,85	28,05	34,46	16,22	37,33

Carbone ←→ Radioactivité

(+) en % du carbone total du sol
(++) en % de la radioactivité résiduelle

Tableau 38. Répartition du carbone et de la radioactivité dans les extraits par les réactifs différents de la fraction AF + AH.

Echantill.		H_2SO_4		$Na_4P_2O_7$		NaOH		Globaux
		%	R	%	R	%	R	R
C. organique	A.F.	3,85	-	6,19	1,00	8,26	2,90	1,9
SBA	A.H.	-		6,19		3,61		
M_1 Glucose	A.F.	10,0	-	2,70	0,73	2,32	0,35	1,47
SBA	A.H.	-		3,77		6,58		
M_1 Glucose	A.F.	19,72	-	2,56	0,26	0,32	0,03	1,00
SBA + $CaCO_3$	A.H.	-		9,92		12,16		
M_2 Glucose	A.F.	3,86	-	3,44	0,64	5,71	1,83	1,50
SBA	A.H.	-		5,39		3,12		
M_2 Glucose	A.F.	8,66	-	4,31	0,65	3,24	0,47	1,20
SBA +$CaCO_3$	A.H.	-		6,62		6,80		
M_1 Paille	A.F.	3,79	-	1,83	0,55	2,43	0,50	1,08
SBA	A.H.	-		3,32		4,91		
M_1 Paille	A.F.	6,85	-	0,53	0,1	1,84	0,60	1,10
SBA + $CaCO_3$	A.H.	-		5,41		3,30		
M_2 Paille	AF	3,05	-	5,70	1,1	9,21	3,8	2,3
SBA	A.H.	-		5,26		2,43		
M_2 Paille	A.F.	5,98	-	2,46	0,6	1,56	0,4	1,2
SBA + $CaCO_3$	A.H.	-		4,00		4,39		

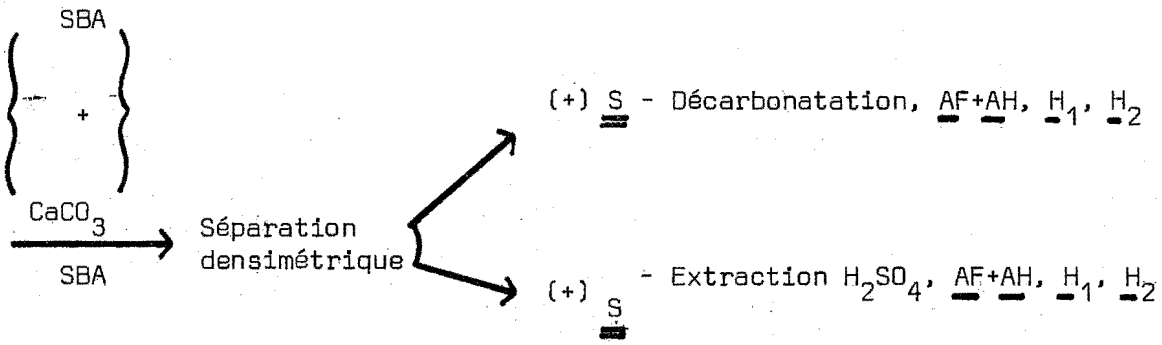
Répartition de la radioactivité

2.8. FRACTIONNEMENT DU S.B.A. - ROLE DU $CaCO_3$ dans l'humification

a) Introduction : Afin de pouvoir discerner le rôle du $CaCO_3$ en liaison avec celui du fer (SBA), nous avons fractionné les échantillons incubés du "SBA " et du "SBA + $CaCO_3$" après les "M_1" et les "M_2" et nous avons étudié les répartitions de la radioactivité incorporée dans les différentes fractions organiques.

b) Protocole de fractionnement utilisé . Après séparation densimétrique avec ultrasonification, nous avons utilisé l'H_2SO_4 2 N, pour éliminer le $CaCO_3$ ajouté dans le SBA d'après la méthode décrite par ROSELL et al. (1971) ; pour l'extraction de la fraction AF + AH, nous avons employé successivement le pyrophosphate à pH 9,8 et la soude à pH 12 , avec un rapport 1/10 (MERLET, 1972) ; pour le fractionnement des humines, nous avons adopté le même protocole que pour la rendzine.

Afin d'obtenir des résultats comparables entre le SBA et le SBA + $CaCO_3$, nous avons employé le même protocole pour le SBA, en considérant la fraction extractible par l'H_2SO_4 comme acides fulviques; nous avons donc adopté le protocole suivant :



2.8.1. Matière surnageante (S)

Le tableau (37) représente les teneurs en carbone organique exprimées en % du carbone total et les répartitions de la radioactivité en % de la radioactivité incorporée dans le sol.

La radioactivité du glucose présente dans la fraction légère (S) augmente de 9,20 % à 16,67 % dans le cas du SBA au cours de M_2 et, à l'opposé, diminue de 11 % à 6,94 % en présence du SBA enrichi en $CaCO_3$; dans le cas du glucose on peut admettre (YAGHI, 1973) que certains corps microbiens pourraient être absorbés facilement par la matière organique libre du SBA en fonction de la valeur du complexe absorbant.Au contraire, pour la paille, une humification secondaire plus accusée entraîne un accroissement des composés humiques

---

(+) : ultrasons

au sens large (des acides fulviques à l'humine résiduelle) ; cette évolution vers l'humification par insolubilisation serait essentiellement liée dans le SBA au rôle catalytique du fer SAVARD et al (1963) ; GREILICH et al. (1971.)

TOUTAIN (1974) vient d'appuyer cette théorie en considérant que le fer accélérerait la décomposition des membranes et que par contre le $CaCO_3$ contribuerait à la formation d'humine héritée. En effet, si nous observons l'évolution de la paille et de la matière organique dans le SBA enrichi en $CaCO_3$, nous constatons une diminution plus faible du surnageant corrélativement avec une augmentation plus faible des composés humiques, au sens large ; on pourrait donc conclure que l'effet accélérateur du fer a été freiné par l'effet dépressif du $CaCO_3$.

2.8.2. Incorporation de la radioactivité à la fraction lourde C-2

a) Glucose :

La radioactivité incorporée dans le " SBA" en présence du "$CaCO_3$" pendant la M_2 montre une augmentation par rapport à celle incorporée à la fin de la M_1 : de l'ordre de 82,62 % à 91,20 % (tableau 37) ; au contraire dans le cas du SBA, en l'absence de $CaCO_3$, nous constatons une faible diminution ; donc cette observation vérifie le rôle protecteur du $CaCO_3$ contre la minéralisation de la matière organique humifiée.

b) Paille :

Bien que la (M_1) de la paille soit plus forte en présence du $CaCO_3$ nous comptons les mêmes taux d'incorporation dans la fraction C-2 à la fin de la M_1 ; mais lors de la M_2 c'est l'incorporation , en l'absence de $CaCO_3$, qui est considérablement supérieure ; donc dans le SBA à la fin de la M_1 nous notons un taux de radioactivité de 50,46 %, et après la M_2 de 87,94 % ; pour le " SBA + $CaCO_3$" le taux à la fin de la M_1 est de 49,65 % et à la fin de la M_2 de 67,50 %. Dans les mêmes fractions nous pouvons donc remarquer que, si à la fin de la M_1 nous relevons sensiblement les mêmes répartitions, une divergence très nette apparaît lors de l'humification secondaire ; le fait essentiel à noter est un faible accroissement des composés humiques en présence de $CaCO_3$ par opposition à l'augmentation considérable au détriment du surnageant dans le SBA ; une fois de plus nous mettons en évidence le rôle protecteur du $CaCO_3$.

2.8.3. Fraction extractible, AF+AH, tableau 38.

a) H_2SO_4 :

L'élimination des ions $CaCO_3$ est indispensable afin d'augmenter l'extractibilité de la matière organique (VALLA et al., 1972); les extraits obtenus par ce réactif sont plus riches en radioactivité lors du traitement du SBA en présence de $CaCO_3$, ce qui fait penser que la $CaCO_3$ bloquait des produits radioactifs se libérant pendant la décarbonatation.

b) $Na_4P_2O_7$:

Les extraits par ce réactif sont très riches en acides humiques ; le rapport AF/AH, soit du carbone, soit de la radioactivité, est toujours : $\frac{AF}{AH} < 1$; en présence du $CaCO_3$, si l'on compare les résultats de ce rapport entre "M_1" et "M_2", on constate une augmentation des valeurs concernant les acides fulviques ; ce résultat va dans le même sens que les observations faites pour les rendzines où nous notons un rapport AF/AH en général $>>1$, ce qui les oppose au SBA.

c) NaOH :

L'extractibilité du carbone par ce réactif dépend des actions des réactifs précédents, notamment l'augmentation de la teneur en radioactivité libérée par l'H_2SO_4 va de pair avec une diminution de la teneur en radioactivité des acides fulviques extractibles par la soude à pH 12, en passant dans les deux cas du SBA au SBA + $CaCO_3$.

2.8.4. Humines, $H_1 + H_2$

a) L'humine d'insolubilisation (H_1) libérée après la solubilisation du fer et la destruction des argiles atteint un maximum d'incorporation en radioactivité à la fin de "M_2" dans le cas du SBA/.

Dans le cas du"SBA + $CaCO_3$", nous ne constatons pas de modification en radioactivité incorporée pendant la M_2 ; TOUTAIN (1974) a constaté que le $CaCO_3$ inhibe l'insolubilisation de produits phénoliques par le fer et empêche la formation de cette humine.

Dans le schéma matière organique $\longleftrightarrow$ cations $\longleftrightarrow$ argiles, le fer peut jouer le rôle de catalyseur et d'accepteur d'électrons (MAYAUDON et al., 1973) ; c'est-à-dire de cation de liaison par complexation, ou par absorption spécifique sur la matière organique (TITOVA, (1969) ; GREENLAND, 1971). On explique ainsi le taux élevé en radioactivité incorporée à la fraction " M.O.-Arg." du SBA après la "M_2" par rapport au SBA + $CaCO_3$, où le $CaCO_3$ inhibe sans doute cette action du fer. HANRION (1974) cite que l'élévation du pH du sol limite l'action du fer à contracter des liaisons avec les argiles. Nous vérifions ces hypothèses en comparant le taux de radioactivité incorporée dans cette humine d'insolubilisation, graphique (11), en présence ou en l'absence de $CaCO_3$. En effet, dans nos résultats nous obtenons environ 3 fois plus de carbone lié au fer et aux argiles en absence de $CaCO_3$.

VALLA et al. (1972) ont constaté que les quantités d'acides humiques absorbés par unité de poids d'argile ou par unité de surface donnent le classement suivant : Montmorillonite Fe^{3+} > Montmorillonite H^+ > Montmorillonite Ca^{2+}.

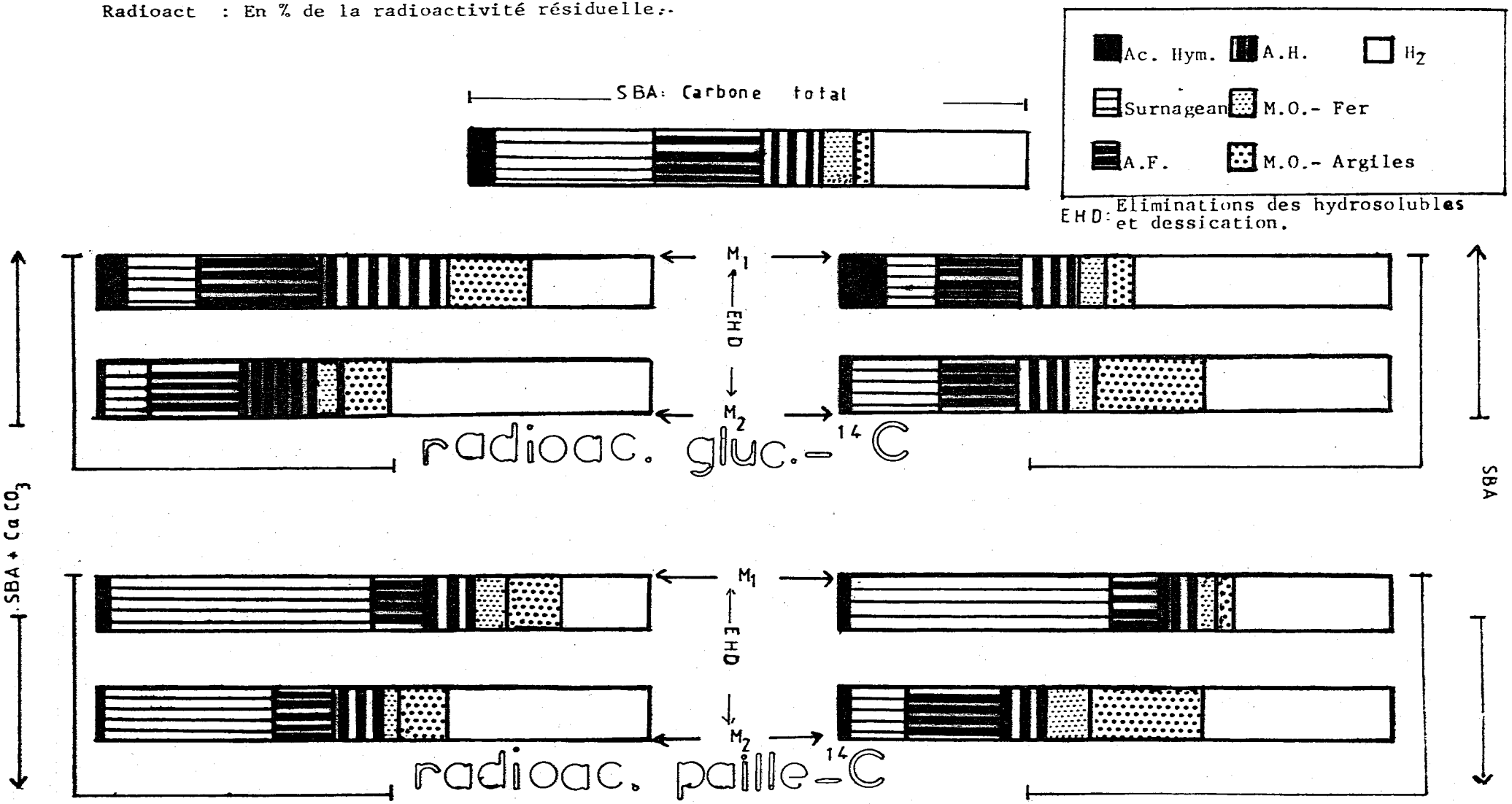
L'humine non extractible est considérée plutôt comme humine microbienne. Dans le cas du SBA et à la fin de la M_1 nous constatons une impor-

GRAPHIQUE 11.

Répartition du carbone organique et de la radioactivité résiduelle après les incubations dans différentes fractions du S.B.A. en présence ou non de $CaCO_3$.

Carbone : En % du C - total.

Radioact : En % de la radioactivité résiduelle.



tante formation d'humine microbienne en présence du glucose, TRAORE et al. (1972); néanmoins, pendant la M_2 , elle subit une diminution qui correspond à l'augmentation du taux d'incorporation à l'H_1 et à la fraction surnageante "S" ; par contre dans le cas du " SBA + $CaCO_3$", en présence de glucose, nous notons une diminution de l'humine H_1 , correspondant à une augmentation de cette H_2. La radioactivité de la paille incorporée à l'humine H_2, pendant la M_1 , est plus importante dans le SBA sans $CaCO_3$, graphique (11) ; pendant la M_2, l'augmentation de l'humine H_2 dans le " SBA+$CaCO_3$", est plus importante et le niveau final de teneur en radioactivité est plus élevé en présence du $CaCO_3$.

2.8.5. . Comparaison de la radioactivité incorporée dans le SBA avec la teneur en carbone organique.

Nous comparons la teneur en carbone avec la teneur en radioactivité des diverses fractions après la M_2, lorsque le sol devrait avoir acquis un équilibre satisfaisant (voir § 2-7-5 et graphique 11).

Surnageant	:	{C} >> Ra {G} >> Ra { P}
A.F.	:	{C} >> Ra {G} >> Ra { P}
A.H.	:	Ra {P}>>Ra {G} >>{C}
Humine H_1+H_2	:	Ra {P}> Ra {G} >>{C}

Le taux important du surnageant en matière organique microbienne pourrait s'attribuer à une absorption de la matière organique microbienne par la matière organique fraîche, voir, comme l'a signalé DOMMERGUES (1) tout récemment, par simple entraînement mécanique des corps microbiens lors de la séparation densimétrique.

---

(1) : communication personnelle pendant la thèse de TOK

2.9. CONCLUSIONS SUR LA DYNAMIQUE DE L'HUMIFICATION DANS LA RENDZINE.

Sous le terme humification nous ne mentionnons pas exclusivement les composés extractibles (acides humiques au sens strict), mais l'ensemble de la matière organique humifiée comprenant également les différentes fractions d'humine.

- humine d'insolubilisation,
- humine de néoformation microbienne,
- humine héritée sous forme résiduelle.

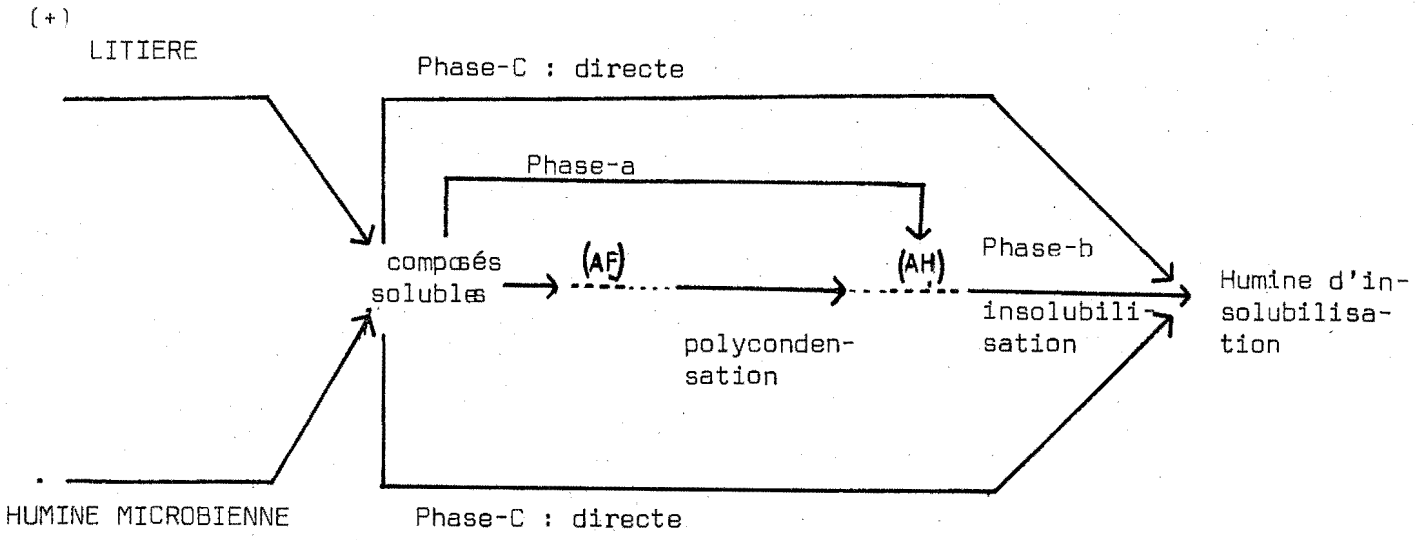
La répartition de la radioactivité dans ces fractions à l'issue de l'incubation de la rendzine, dosée après la minéralisation primaire "M_1" et la minéralisation secondaire "M_2" montre une évolution moins accusée que dans le cas du SBA en absence de $CaCO_3$; un autre point à souligner est le fait que dans le SBA nous constatons une forte incorporation de matière organique provenant de la litière, dans la fraction du culot C-2, après la séparation de la matière organique fraîche.

2.9.1. Humification au sens strict :

Nous étudions donc l'évolution de deux substrats radioactifs en assimilant le glucose à la fraction hydrosoluble de pluviolessivats et la paille aux résidus des litières fraîches.

2.9.2. Action du calcium lors de la formation des acides fulviques + acides humiques :

Pour discerner le rôle du $CaCO_3$ dans le processus d'humification nous adoptons le schéma suivant :



Dans la rendzine ce processus subit un blocage précoce avant la phase-a de la polycondensation ; en effet, au cours de la biodégradation du glucose qui conduit à la formation des précurseurs humiques, d'origine microbienne, nous déterminons un rapport :

$\frac{AF}{AH}$ ≈ 12,50 à la fin de la M_1 qui reste sensiblement élevé à fin de la M_2 ($\frac{AF}{AH}$ ≈ 11,80) alors que la liqueur de décarbonatation est plus riche en carbone (AF) qu'après la M_1.

Phases indirectes :
- phase-a : Transformation des composés solubles issus de la litière ou de l'humine microbienne en AF et AH.
- phase-b : Insolubilisation par le fer et les argiles des AF et AH.

Phase directe :
- phase-c : Insolubilisation directe des produits solubles issus de la litière ou de l'humine microbienne.

Donc l'ensemble de ces résultats démontrent que ce blocage de la matière organique intervient d'une manière précoce lors de la phase-a.

Dans le cas du glucose il y a une prédominance très élevée des acides fulviques par rapport aux acides humiques, ceux-ci augmentant très faiblement dans le temps ; comme il s'agit de transformation d'un sucre simple en composés de plus en plus complexes nous devons en attendre une polycondensation relativement faible.

Il nous faut toutefois ajouter que ce n'est pas un mécanisme exclusif car les sous-produits de la paille donnant l'image du sort d'une litière sont bloqués avant la phase-c d'insolubilisation directe et ceci empêche la formation d'humine par liaison forte au fer et aux argiles.

En ce qui concerne la paille, le rapport AF/AH est proche de l'unité ; ce fait nous montre que nous assistons à une humification par dégradation, donc dépolymérisation de la matière organique initiale.

Le ralentissement de ce processus par le calcium dans la rendzine se retrouve lorsque le SBA est enrichi en $CaCO_3$.

Nous estimons que ce blocage n'empêche pas totalement la polycondensation; effectivement nous notons une augmentation importante des A.H. extractibles par la soude après la décarbonatation ; donc nous constatons dans le temps une transformation des produits solubles dans les agents alcalins vers des formes plus polycondensées. Nous pensons donc que seule l'action mécanique dûe à un enrobage cristallin par le $CaCO_3$ inhiberait la polycondensation et toute évolution ultérieure des humates et fulvates calcaires.

La stabilité biologique des A.H. de la rendzine, par contre, fonction de l'abondance des humates formés avec les cations polyvalents (JUSTE et al., 1975) est favorisée par la présence du $CaCO_3$.

2.9.3. Humines :

Les humines au sens large comportent des matières organiques non extractibles par les réactifs alcalins ; dans les cadres de l'étude de la matière organique de la rendzine nous avons utilisé une méthodologie spécifique ; ainsi en dehors de l'humine d'insolubilisation obtenue avant ou après décarbonatation, nous rencontrons une fraction surnageante S-3 qui est inclue dans l'humine résiduelle.

Humine d'insolubilisation (H_1) = Dans la rendzine cette fraction est constituée d'une part par les humates et fulvates calcaires et d'autre part par la matière organique intimement liée au fer et aux argiles. Dans le SBA cette fraction est représentée essentiellement par la matière organique liée au fer et aux argiles.

Dans la rendzine la formation de cette humine a lieu préférentiellement au cours de la phase d'évolution à forte activité biologique et résulte en grande partie de l'action insolubilisatrice des ions Ca^{2+}. A l'opposé l'insolubilisation par le fer et les argiles, surtout dans le cas du substrat paille, devient importante au cours de la minéralisation secondaire "M_2".

Au contraire dans le cas du SBA nous constatons une très forte insolubilisation par le fer et les argiles, ceci pendant que la phase d'activité biologique diminue,"M_2" ; ce fait impliquerait que l'insolubilisation par le Ca^{2+} serait liée à l'activité biologique tandis que l'insolubilisation par le fer résulterait d'une action chimique dépendant à la fois du pH et du rH du milieu.

Généralement, dans tous les sols, nous constatons une augmentation continue de l'humine liée au fer et aux argiles, mais cet accroissement au cours de l'évolution lors de nos traitements est moins accusée en présence de $CaCO_3$.

Humine microbienne : Le glucose étant métabolisable en corps microbiens ou restant hydrosoluble , nous pouvons donc conclure qu'en présence de radioactivité après lessivage et extractions diverses, ce fait correspond dans tous les sols à la transformation de substrat simple en humine microbienne ; dans notre travail, en présence de ce substrat, nous considérons comme humine microbienne la fraction non extractible après tous les traitements (H_2).

Cette humine microbienne dans la rendzine et le SBA subit une diminution au cours de la M_2 ; ceci nous fait penser d'une part qu'elle subit une biodégradation secondaire et d'autre part qu'elle serait stabilisée partiellement dans les argiles.

Ce fait a été démontré récemment par GUCKERT (1973) et TOK (1975) comme dans la rendzine et dans le SBA une partie importante de cette humine microbienne reste labile, nous pouvons donc admettre que l'action stabilisatrice des argiles, du fer et notamment du $CaCO_3$, n'est pas totalement efficace vis-à-vis de l'activité biologique.

Humine résiduelle : En présence de paille cette fraction H_2 comporte une part d'humine microbienne et une part d'humine résiduelle que nous ne pouvons distinguer l'une de l'autre ; nous considérons que les composés polysaccharidiques de la paille donnent naissance à la formation d'humine microbienne (GUCKERT, 1973), tandis que la partie résiduelle se forme essentiellement à partir de la matière organique fraîche, biodégradée partiellement; pour des raisons méthodologiques nous sommes contraints d'englober ces deux fractions sous le terme humine résiduelle.

Dans le cas de la rendzine nous incluons en complément la partie de matière organique légère (S-3) fortement séquestrée par le $CaCO_3$.

La comparaison de l'évolution de cette humine résiduelle dans la rendzine et le SBA montre que cette fraction continue à s'accroître dans le SBA au cours de M_2 ; nous considérons donc que la formation d'humine héritée (résiduelle + microbienne) à partir de paille dépend du phénomène de décomposition du substrat ajouté ; en effet, au cours de " M_2", nous notons une importante décomposition de la paille dans le SBA, évolution freinée sensiblement dans la rendzine, où nous retrouvons une grande quantité de paille sous forme de matières organiques légères (S-1, S-2, S-3) ; donc dans la rendzine il y a restitution à la matière organique fraîche d'une fraction séquestrée par le $CaCO_3$ et très résistante biologiquement.

En résumé, nous trouvons deux catégories d'humine résiduelle dans la rendzine.

- Humine résiduelle évoluée qui n'augmente pas après le blocage de la biodégradation,

- Humine résiduelle non évoluée (S-3) dont le taux augmente au fur et à mesure que les contacts physiques entre la matière organique fraîche et la fraction argilo-calcique deviennent plus importants.

2.9.4. Evolution du $CaCO_3$ lors de l'humification :

Pour expliquer le cycle des ions Ca^{2+} lors de ce processus (§ 2.9.2) nous adoptons l'hypothèse suivante :

D'une part le CO_2 produit par la forte activité biologique et d'autre part l'acidité augmentée de la matière organique au cours de la biodégradation attaquent le $CaCO_3$ présent dans l'horizon en libérant des ions HCO_3^- et des ions Ca^{2+} ; ainsi on assiste à l'action antagoniste de ces deux ions.

a) Les ions Ca^{2+}, en saturant les groupements fonctionnels, entraînent la précipitation des fulvates de calcium, la polycondensation et l'insolubilisation de ces composés, limitant de ce fait l'action du fer et des argiles.

b) L'action de la forme instable HCO_3^-, agissant sur les fulvates et humates, restitue à la fraction AF + AH des produits qui, à leur tour, peuvent se polycondenser et s'insolubiliser par le fer et les argiles.

Ces deux mécanismes qui peuvent se produire simultanèment, permettent soit la migration dans le profil ou la biodégradation de ces acides, soit l'accumulation en profondeur des formes stables. Nous pouvons ainsi admettre la répartition diversifiée des différents états dans l'horizon A_1.

Alors que la production du Ca^{2+} et des HCO_3^- était équilibrée au départ, en profondeur l'action du Ca^{2+} prédomine vu l'instabilité chimique du HCO_3^-. Effectivement on constate toujours une décarbonatation su-

perficielle dans les rendzines et une accumulation en profondeur d'une matière organique ayant des caractéristiques tout à fait particulières : AF en grande quantité, AH de recondensation après migration, protégés par un placage mécanique formé par un réseau cristallin. En outre, la microfaune entraîne certainement de l'humine résiduelle également enrobée ultérieurement par la reprécipitation du $CaCO_3$, liée elle-même à une solubilisation par action biologique.

En résumé, l'activité biologique par l'intermédiaire de la tension gazeuse en CO_2 provoque une redistribution du $CaCO_3$.

Ce fait, admis par de nombreux pédologues, est parallèle à un transfert de matière organique qui jusqu'à présent était mal expliqué. D'autre part nos travaux démontrent également que cette migration s'accompagne d'une stabilité accrue vis-à-vis de la biodégradation ultérieure.

TROISIEME PARTIE

CONCLUSIONS GENERALES

3.1.1. Caractérisation de la matière organique lors du fractionnement avec les réactifs alcalins

Dans un premier temps de notre travail nous avions étudié une technique pour mettre au point un protocole de fractionnement ; les différents protocoles employés ont mis en évidence les points suivants :

a) Microscopie électronique : L'emploi d'un réactif acide, qui succède aux agents alcalins, libère une matière organique très proche de la matière organique fraîche, récupérée par flottation.

En effet, les observations à l'aide du microscope électronique mettent en évidence un enrobage cristallin de $CaCO_3$ autour des débris végétaux des myceliums et d'autres éléments figurés ; effectivement l'observation de ces éléments figurés, après le traitement acide, démontre la disparition de cette couche protectrice ; naturellement il en est de même pour les composés humates floculés d'abord par le calcium, mais ce fait est démontré surtout chimiquement.

b) Nature des composés humiques (AF + AH) : Un autre point qui s'est mis en évidence par l'emploi des réactifs alcalins et du processus de décarbonatation est le blocage des AF et AH par le $CaCO_3$; l'action du $CaCO_3$ se traduit par deux constatations :

- la saturation des sites libres par le calcium limitant la polycondensation des AF ; ce fait conduit à l'obtention d'un rapport AF/AH $>$ 1 dans la rendzine.

- La floculation des AF et AH encore jeunes par le calcium entraîne une formation précoce d'humine d'insolubilisation ; en effet, après décarbonatation à l'HCl succédant aux extractions alcalines, nous libérons des quantités importantes en AF ; comme ils sont des composés libérés en majorité lors de la forte activité biologique et rapidement floculés, ils sont faiblement polycondensés ; en effet, nous notons un rapport AF/AH $>$ 1.

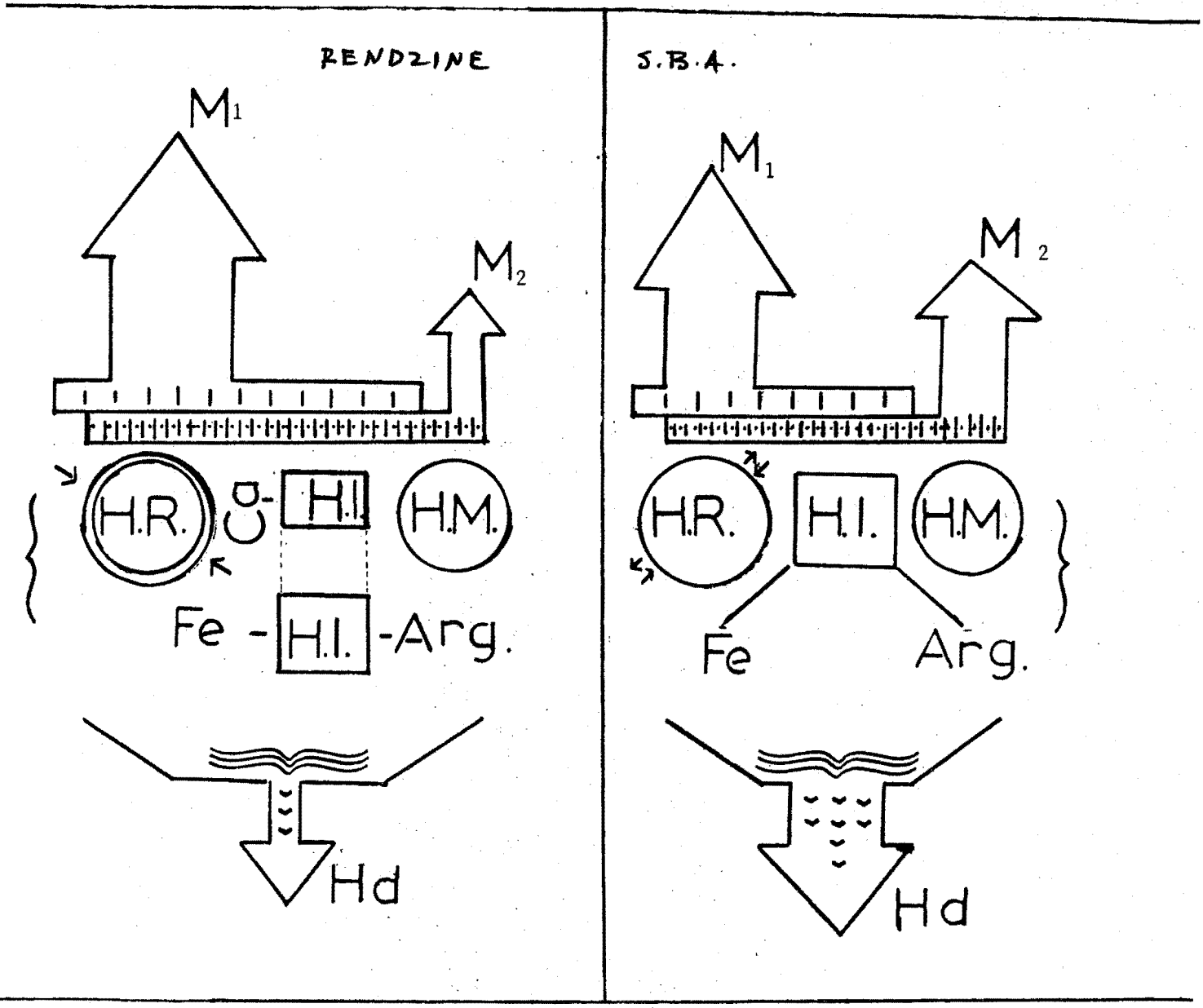
Cette humine d'insolubilisation subit ultérieurement la protection du réseau cristallin de $CaCO_3$ qui freine toute évolution.

L'empêchement de polycondesnation dans les rendzines est évident d'une part en ce qui concerne l'abondance des composés polycondensés, fait traduit par le rapport AF/AH et d'autre part en ce qui concerne le degré de polycondensation. En effet, MULLER (1972) a montré que le rapport AH bruns/ AH/gris $>$ 1 dans la majorité des sols calcaires qu'il avait étudiés (AH gris moins mobiles). JACQUIN et al. (1972) , lors d'une étude comparative d'estimation de poids moléculaire par Séphadex, avaient montré que les AH d'un chernozem sont de l'ordre de 100.000 ; (+) PORTAL (1975), par la même méthode a constaté que le poids moléculaire de la rendzine ne dépassait pas les 65.000.

(+) communication personnelle

GRAPHIQUE (B)

Différences caractéristiques entre le S.B.A. et la Rendzine.



M.O. Libre (fraîche)

M.O.Liée

$CaCO_3$

M_1 Minéralisation primaire

M_2 Minéralisation secondaire

Hd Hydrosolubles

HR Humine résiduelle

HI Humine d' insolubilisation

HM Humine microbienne

Dans les chernozems on a depuis longtemps constaté une forte polycondensation, avec un rapport AF/AH < 1 (DUCHAUFOUR et al., 1963) ; ce fait est attribué aux ions bivalents du milieu et surtout aux Ca^{2+}. On y remarquerait une contradiction parce que la présence du $CaCO_3$ dans la rendzine empêche la polycondensation. Mais en réalité, dans le cas du chernozem, une forte décomposition a entraîné un fort lessivage du $CaCO_3$ tandis que ce composé demeure en abondance dans la rendzine.

DUPUIS et al. (1972), en étudiant l'action du $CaCO_3$ sur les AF, ont constaté que les AF complexent le calcium sous deux formes qui se distinguent : l'une pseudo-soluble où interviennent seuls les acides carboyxliques, et l'autre floculée où le calcium est lié à la fois aux fonctions OH et COOH ; ceci nous fait penser que dans la rendzine c'est le dernier mécanisme qui prédomine; donc une floculation prédominante des précurseurs humiques freine la polycondensation.

3.1.2. Cinétique de l'évolution de la matière organique (graphique : B)

L'étude dynamique d'une part de la minéralisation et d'autre part de l'humification de la rendzine nous permet d'obtenir des résultats caractéristiques sur l'évolution de la matière organique du sol; ces résultats deviennent plus concrets lorsque nous les comparons avec ceux notés dans le SBA.

a) Minéralisation et biodégradation : Les conditions physico-chimiques du milieu d'un mull calcique favorisent le développement de la microflore et par conséquent nous y constatons une forte minéralisation de la matière organique fraîche, c'est-à-dire, la matière organique libre de liaison avec la partie minérale ; au contraire le complexe humifié, la partie dans laquelle la matière organique a contracté des liaisons avec le complexe argilo calcique, montre une stabilité biologique très importante ; par contre le complexe humifié du SBA est plus biodégradable.

En ce qui concerne le turn-over, l'adjonction des substrats organiques simples ou des tissus végétaux, entraîne des effets stimulants sur la biodégradation de la matière organique préexistante dans le SBA ; au contraire dans la rendzine l'apport de ces matériaux n'entraîne pas d'effet, ou provoque des effets dépressifs ; ceci démontre une fois de plus la stabilité du complexe humifié.

Donc, nous concluons que malgré les conditions favorables du milieu calcique pour l'activité biologique, le facteur "$CaCO_3$" intervient rapidement en inhibant la biodégradation de la matière organique ; son intervention se manifeste d'une part avec une action chimique en saturant les sites libres de la matière organique commençant à se biodégrader, et d'autre part avec une action mécanique formant un enrobage cristallin de $CaCO_3$ autour des tissus végétaux et de la matière organique accessible aux micro-organismes.

L'étude de l'évolution de la matière organique du pélosol lors de sa minéralisation nous donne des résultats qui la place entre la rendzine et le SBA.

b) Humification : Les résultats après l'étude dynamique de l'humification dans la rendzine et le SBA nous montre les différences mesurées en ce qui concerne la répartition de la matière organique dans les deux sols (SBA, rendzine) ; ces différences de répartition dans deux temps différents montrent que l'évolution dans la rendzine ou dans le SBA, en présence de $CaCO_3$ est moins accusée ; donc d'emblée nous constatons que dans le SBA existent des conditions qui favorisent une évolution plus dynamique.

Une deuxième constatation qui va de pair avec les résultats de minéralisation, est le fait que nous notons un blocage rapide de la décomposition des matières organiques fraîches dans la rendzine ; à l'opposé dans le SBA nous rencontrons une disparition rapide des tissus végétaux, expérimentalement séparés par densimétrie.

AF+AH : Les produits solubles de la litière, précurseurs des acides fulviques, subissent précocement l'action du $CaCO_3$; en effet, la décomposition de la litière coïncide avec la phase de l'activité intense de la microflore qui libère des Ca^{2+} (action du CO_2 sur le $CaCO_3$) ; donc c'est la phase où la présence des produits labiles coïncide avec les ions calcium et expérimentalement c'est pendant cette phase que nous constatons une formation importante d'humine d'insolubilisation par floculation des fulvates et humates calcaires. Au contraire dans le cas du SBA ce sont le fer et les argiles qui interviennent sur l'insolubilisation des produits organiques de la litière : même cette insolubilisation est un fait continu et indépendant de l'activité biologique. En général en présence de $CaCO_3$, cette insolubilisation par le fer et les argiles est limitée.

Humines : En ce qui concerne l'humine héritée (résiduelle + microbienne) dans le cas de la rendzine elle comporte une partie des tissus végétaux peu évolués ; cette humine bien protégée par l'action chimique et mécanique du $CaCO_3$ n'évolue pas. En ce qui concerne l'humine microbienne dans les deux sols (SBA, rendzine) elle comporte des produits labiles qui se biodégradent à la phase de la minéralisation secondaire ou alors subissent l'action protectrice des argiles.

3.1.3. Conclusions sur le mécanisme du blocage :

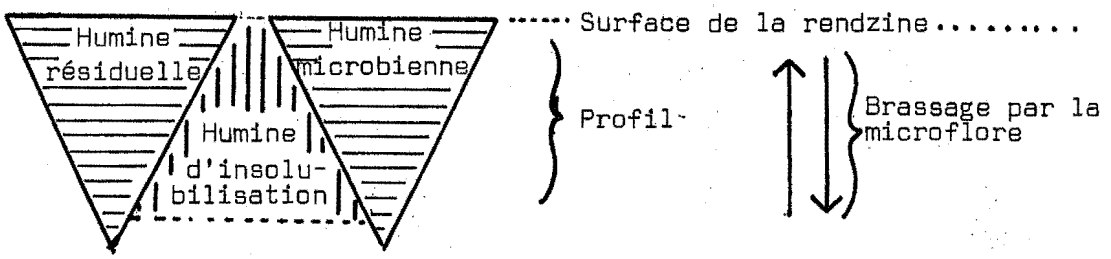
En résumé l'abondance du $CaCO_3$ dans la rendzine entraîne les résultats suivants :

- stabilisation biologique du complexe organo-minéral.
- freinage à la décomposition des tissus végétaux,
- formation d'humine d'insolubilisation par floculation précoce des AF et AH sous formes fulvates et humates calcaires.

- Limitation à la formation d'humine d'insolubilisation floculée par le fer et les argiles.
- Formation d'humine résiduelle par stabilisation précoce de la matière organique fraîche sous forme calcaire.
- Stabilisation de la situation acquise par enrobage cristallin de $CaCO_3$ des constituants humiques.

3.1.4. Conclusions pédologiques :

Ce blocage des matières organiques par le $CaCO_3$ s'effectue à différents niveaux du profil de la rendzine ; en général, à l'horizon superficiel, on rencontre une abondance des matières organiques fraîches stabilisées par le $CaCO_3$, donc la formation d'humine résiduelle qui diminue avec l'augmentation de profondeur ; l'humine d'insolubilisation augmente avec la profondeur parce qu'elle suit la migration des précurseurs humiques étant plus ou moins mobiles et migrant dans le profil ; la formation d'humine microbienne est proportionnelle à l'activité biologique, donc elle doit être plus importante dans les horizons superficiels.



Ce schéma théorique est perturbé par le fait de l'activité de la microfaune dans les sols naturels, qui entraînent une homogénéisation plus grande ; en effet, nous rencontrons souvent une couche dans le profil constituée d'élements figurés, comportant de l'humine résiduelle en majorité ; en effet, l'action de la microfaune est suivie par la reprécipitation du $CaCO_3$ autour de ces éléments.

3.1.5. Conclusions agronomiques :

Notre théorie est encore plus perturbée dans le cas des sols agricoles ; en effet, lors de l'intervention mécanique (labour) on brise les cailloux calcaires et la pellicule de CO_3Ca protectrice de l'humine résiduelle qui libère la matière organique soumise à une forte activité biologique.

Donc nous assistons au phénomène où les plantes subissent l'antagonisme de la microflore du sol qui se développe rapidement (manque d'N).

A noter que cette augmentation de l'activité biologique par l'action mécanique est essentiellement réalisée à partir de l'humine résiduelle ; en effet, les (agrégats) de cette matière organique sont beaucoup plus fragiles que les micro-agrégats correspondant à l'enrobement de l'humine d'insolubilisation. Ceci est extrêmement intéressant du point de vue agronomique ; car si l'humine, résultat de la polycondensation en présence de CO_3Ca, joue un rôle très important sur la stabilité structurale par l'intermédiaire des ponts calciques, il est nettement démontré que les actions physiologiques et chimiques sont essentiellement liées à la matière organique en voie d'évolution.

Tout récemment FARES (1974) vient de démontrer que les PO_4^{3-} dans les rendzines se trouvent liés essentiellement aux acides fulviques; d'autre part la fraction azotée des composés humiques est inversement liée au degré de polycondensation. Il sera donc extrêmement intéressant, lorsqu'on voudra étudier un plan de fertilisation azotée ou les mécanismes de rétrogradation du phosphore dans les sols calcaires, de tenir compte de la répartition et de l'évolution des différentes fractions organiques.

4.1. ANNEXE

4.1.1. Récapitulation des résultats :

Le tableau 39 représente les résultats statistiques calculés d'après la méthode déjà citée (§ 2.2.1.)

m' = moyenne des coefficients de minéralisation trouvés dans le même traitement

σ^2 = variance

n = nombre de répétitions

Tableau 39. Présentation statistique des résultats obtenus.

	RENDZINE		PELOSOL		S.B.A.		S.B.A. + $CaCO_3$	
	(M_1)	(M_2)	(M_1)	(M_2)	(M_1)	(M_2)	(M_1)	(M_2)
(RE)	$m' = 2,35$ $\sigma^2 = 0,030$ $n = 4,$	$m' = 0,96$ $\sigma^2 = 0,010$ $n = 3$	$m' = 2,20$ $\sigma^2 = 0,011$ $n = 4$	$m' = 1,07$ $\sigma^2 = 0,016$ $n = 3$	$m' = 1,83$ $\sigma^2 = 0,008$ $n = 4$	$m' = 1,42$ $\sigma^2 = 0,007$ $n = 3$		
(RT) Glucose	$m' = 4,160$ $\sigma^2 = 0,002$ $n = 4$	$m' = 0,93$ $\sigma^2 = 0,007$ $n = 3$	$m' = 3,72$ $\sigma^2 = 0,001$ $n = 4$	$m' = 1,32$ $\sigma^2 = 0,005$ $n = 3$	$m' = 4,68$ $\sigma^2 = 0,001$ $n = 4$	$m' = 1,65$ $\sigma^2 = 0,048$ $n = 3$		
(RT) Paille	$m' = 3,80$ $\sigma^2 = 0,003$ $n = 4$	$m' = 1,07$ $\sigma^2 = 0,003$ $n = 3$	$m' = 3,19$ $\sigma^2 = 0,025$ $n = 4$	$m' = 1,33$ $\sigma^2 = 0,019$ $n = 3$	$m' = 3,14$ $\sigma^2 = 0,020$ $n = 4$	$m' = 2,06$ $\sigma^2 = 0,004$ $n = 3$		
Radioact. Glucose	$m' = 41,44$ $\sigma^2 = 1,180$ $n = 4$	$m' = 2,11$ $\sigma^2 = 0,053$ $n = 3$	$m' = 41,67$ $\sigma^2 = 1,491$ $n = 4$	$m' = 3,14$ $\sigma^2 = 0,178$ $n = 3$	$m' = 49,06$ $\sigma^2 = 3,204$ $n = 4$	$m' = 7,15$ $\sigma^2 = 0,031$ $n = 3$	$m' = 48,52$ $\sigma^2 = 0,727$ $n = 4$	$m' = 3,39$ $\sigma^2 = 0,630$ $n = 4$
Radioact. Paille	$m' = 28,60$ $\sigma^2 = 1,284$ $n = 4$	$m' = 6,09$ $\sigma^2 = 1,572$ $n = 3$	$m' = 30,15$ $\sigma^2 = 1,293$ $n = 4$	$m' = 10,65$ $\sigma^2 = 0,661$ $n = 3$	$m' = 24,89$ $\sigma^2 = 2,95$ $n = 4$	$m' = 8,143$ $\sigma^2 = 0,190$ $n = 3$	$m' = 32,03$ $\sigma^2 = 0,527$ $n = 4$	$m' = 7,63$ $\sigma^2 = 3,308$ $n = 3$

4.1.2. Détails techniques du fractionnement
(Protocole MERLET (1971), modifié par PORTAL (1974)

A.) Préparation de l'échantillon :

- 50g de sol sec à l'air sont tamisés à 2mm ; le sol broyé doit passer à travers des mailles de 500 µ ; nous déterminons le taux d'humidité à 105°C et nous dosons le carbone au carmograph " Wostoff ".

B.) Séparation densimétrique :

- Nous préparons à l'aide d'un densimètre le mélange bromoforme-alcool éthylique de densité 1,8 ; nous mélangeons à l'aide d'un agitateur une prise suffisante de sol et la liqueur dense, dans un rapport de 1/10 ; nous centrifugeons, filtrons et répetons si c'est nécessaire. Nous reprenons la fraction lourde (C-1) et nous la plaçons en présence d'une quantité adéquate de liqueur dense pour briser les agrégats par l'action des ultra-sons, pendant 30 secondes (Freq. 20 K H Z) ; nous centrifugeons et nous filtrons ; nous récupérons d'une part la fraction lourde C-2 et d'autre part les fractions légères S-1 et S-2 ; nous dosons le carbone de ces 3 fractions.

Le séchage des fractions légères et lourdes se fait à l'air ; puis à l'étuve à 40°C jusqu'à l'évaporation du Bromoforme et de l'alcool (10 jours).

Avant de doser le carbone de ces fractions, nous les broyons, nous les homogénéisons et nous dosons l'humidité à 105°C ; également nous dosons les acides hymatomélaniques solubilisés par l'alcool.

C.) Extraction des complexes organo-minéraux de la fraction lourde C-2 .

Réactifs d'extraction :

1) Extraction des complexes solubles à pH 9,7 dans le NaOH tamponné par le $Na_2B_4O_7$.(Matière organique faiblement liée au Fer, Al, Ca)
1,76g de NaOH + 21,36g de $Na_2B_4O_7.10\ H_2O$
pour 1 l. d'H_2O

2) Extraction des complexes déplacés par le $Na_4P_2O_7$ à pH 9,8.
Solution 1 % de $Na_4P_2O_7.\ 10\ H_2O$

3) Extraction des complexes détruits à pH 12.
Solution de NaOH, 0,1 N

On procède généralement à des extractions successives par agitation mécanique en présence de chaque solvant. On centrifuge l'échantillon attaqué pendant 10 minutes ; on sépare la liqueur surnageante par décantation. Dans les extraits on flocule les argiles par action du KCl (1 %). Le floculat de silicates centrifugés est ajouté au résidu de sol précédent en vue de subir l'attaque par le nouveau type de réactif.

Nous dosons le carbone sur 5 ml d'extrait évaporé sur plaque chauffante (70°C), après avoir acidifié les solutions sodiques par HCl, 6 N de 6-10 gouttes.

D.) Détermination du rapport AF/AH.

Nous précipitons les acides humiques à pH 2 par HCl à la solution d'extraction et nous laissons au minimum 6 heures ; la précipitation est suivie par centrifugation, décantation des acides fulviques, lavage des acides humiques par HCl dilué, centrifugation et addition du liquide de lavage aux acides fulviques.

E.) Extraction et dosage de l'humine d'insolubilisation :

1) Déferrification ; Introduire dans un tube de centrifugation 3g d'humine, 3 g de dithionite et 100 ml d'H_2O distillée. La disposition des tubes dans un bain-marie à 60°C pendant 20 minutes permettant une agitation magnétique, est suivie par centrifugation et décantation de la solution surnageante. Nous attaquons 3 fois l'humine de cette façon et nous mélangeons les extraits. Ensuite nous extrayons par 100 ml de NaOH 0,1 N par agitation pendant 1 heure ; nous répétons si c'est nécessaire.

   Nous dosons le carbone de la solution de dithionite et de la solution sodique.

2) Attaque des liaisons silicatées : Nous attaquons le résidu d'extraction précédente par 50 ml d'une solution normale HF+HCl ($v/_v$) en opérant au bain-marie à 60°C pendant 20 minutes ; nous centrifugeons et nous décantons la solution surnageante ; nous répétons au moins 3 fois l'attaque acide, puis nous lavons à l'eau et nous jetons les solutions obtenues ; le résidu subit une extraction par 100 ml de NaOH 0,1 N par agitation pendant 1 heure. Nous dosons le carbone de la solution sodique et nous séchons le résidu à l'étuve (4°C) avant de déterminer le carbone du résidu.

F.) Dosages des carbonates.

Nous décomposons le $CaCO_3$ par l'action d'HCl et nous piégeons le CO_2 dégagé dans la NaOH, N/25 du "Carmograph Wostoff ".

4.1.3. Protocoles : Lors de l'étude du fractionnement de la matière organique dans les sols calcaires.

Protocoles	
	1-a) : Sol (S D) → C-1 (SD + US) → C-2 (extractions) → (AF+AH) + (H_1+ H_2)
—	1-b) : Sol (S D) → C-1 (SD + US) → C-2 (décarbonation + extractions) → (AF+ AH) + (H_1+H_2)
—	2-a) : Sol (S D) → C-1 (SD + US) → C-2 (extractions) → C-2' (décarbonatation) → AF + (H_1+H_2)
—	2-b) : Sol (S D) → C-1 (US + SD) → C-2 (décarb. + extr.) → (AF+AH) + (H_1+H_2)
—	2-c) : Sol (S D) → C-1 (US + SD) → C-2 (extraction) → C-2' (décarbonatation + US + SD) → (AF)+ (S-3) + (H_1+H_2)

GLOSSAIRE

A. SYMBOLES

- PREMIERE PARTIE -

S-1 : Matière organique surnageante séparée par simple densimétrie dans un mélange bromoforme-alcool (d =1,8)

S-2 : Matière organique surnageante séparée comme la S-1, mais après l'action des ultra-sons.

S-3 : Matière organique surnageante sépa rée comme les S-1 et S-2, mais après la décarbonatation des échantillons.

Ac-Hy : Acides Hymatomélaniques (solubles dans l'alcool)

C-2 : Culot de séparation densimétrique après la séparation des fractions S-1 et S-2.

A.F. : Acides fulviques

A.H. : Acides humiques

H-1 : Humine d'insolubilisation

H_{Fe} : Humine liée au Fer

H_{ar} : Humine liée aux argiles

H-2 : Humine héritée (non extractible)

M.O.liée: Matière organique correspondante à la fraction résiduelle après la séparation de la fraction S-1

C-E : Carbone extractible avec les fractions (AF+AH)

C-D : Carbone solubilisé par l'HCl lors de la décarbonatation

S.B.A. : Sol brun acide

S.D. : Séparation densimétrique

U.S. : Ultra-sons

- DEUXIEME PARTIE -

M_1 : Minéralisation primaire

E.H.D. : Elimination des hydrosolubles et dessiccation

M_2 : Minéralisation secondaire

(M_1), (M_2) : coefficients de minéralisation (en % du carbone total incubé)

R.E. : Respiration endogène (sol témoin)

R.T. : Respiration totale (sol + substrat ajouté)

S : Coefficient de stimulation ou dépression

$|g|$: Coefficient de ralentissement de la biodégradation

Hy : Hydrosolubles

Radioactivité résiduelle : Radioactivité restante dans les sols après une période d'incubation

Radioactivité incorporée : Radioactivité mesurée dans une fraction organique

B. FORMULES

$$X = \frac{RTc - REc - R^{14}C}{R^{14}C} \quad , \quad S = \frac{RTc - REc}{R^{14}C}$$

quand $X > 0$ effet stimulant, $S > 1$

quand $X < 0$ effet dépressif, $S < 1$

RTc = mg de C minéralisé par 50g. de sol + substrat ajouté

REc = mg C minéralisé par 50g de sol (témoin)

$R^{14}C$ = mg ^{14}C correspondant à la radioactivité dégagée par unité expérimentale.

$$C = \frac{RTc - REc}{Sc} \times 100 \quad , \quad Q = \frac{(*)R^{14}C}{S^{14}C}$$

Sc = mg de C du substrat ajouté

$S^{14}C$ = radioactivité en d.p.m. du substrat ajouté

(*) $R^{14}C$ = radioactivité dégagée mesurée en d.p.m.

C = Cette valeur traduit l'augmentation de la RE par mg de carbone du substrat ajouté (glucose ou paille)

Q = Cette valeur exprime le taux de la radioactivité dégagée en % de la radioactivité introduite avec le substrat ajouté (glucose ou paille).

$$V = \frac{Vo + g\,(St)}{} \qquad \underline{St = T_2 - T_1}$$

Vo = vitesse de minéralisation maximale enregistrée T_1 jours après le départ d'incubation.

V = vitesse de minéralisation minimale enregistrée T_2 jours après le départ de l'incubation.

Igī : Cette valeur absolue est la mesure de la capacité de la microflore dans un certain sol à minéraliser le plus rapidement la matière organique la plus accessible.

BIBLIOGRAPHIE

ACTON (C.J.), PAUL (E.A.), RENNIE (D.A.) - 1963
Measurement of the polysaccharide content of soils.
Canad. J. Soil Sci. 43, 141-150

CALVEZ (C.) - 1970
Contribution à l'étude des processus d'extraction et de caractérisation des composés humiques.
Thèse 3ème cycle, Université Nancy I.

CARBALLAS (Tarsy), ANDREUX (F.), JACQUIN (F.) - 1971
Répartition des principaux constituants d'un végétal marqué au ^{14}C dans les composés humiques d'un sol à mull.
Bull. A.F.E.S. 3, 29-38

CHECHIRE (M.V.), MUNDIE (C.M.), SHEPHERD (H.) - 1969
Transformation of ^{14}C Glucose and Strarch in soil
Soil Biol. Bioch. Vol. 1, 117-130

CHONE (Th.), JACQUIN (F.), YAGHI (M.) - 1974
Emploi de ^{14}C et ^{45}Ca comme éléments traceurs de l'humification
Bull. ENSAIA, XV (1-2), 69-85

CHOULIARAS (N.), VEDY (J.C.), JACQUIN (F.) - 1975
Fractionnement et caractérisation de la matière organique dans les rendzines.
Bull. ENSAIA, XVII (I) 65-74

COLLIER (D.) - 1966
Le point sur la fertilisation azotée des cultures assolées dans les sols argilo-calcaires de Limangue et granitiques de montagne en Auvergne.
Ann. Agron. 17 (3) 219-249

DECAU (J.) - 1968
Les polysaccharides du sol : origine, évolution et rôle.
Ann. Agric. 1968, 19 (I), 65-82

DOMMERGUES (Y.), et DUCHAUFOUR (Ph.) - 1966
Note sur les sols Lorrains étudiés à la R.C.P. 40
Rev. Ecol. et Biol. du Sol

DORMAAR (J.F.), JACQUIN (F.), METCHE (M.) - 1970
Extraction and purification of humic acides from a rendzina Ah and a podzol Bh horizon.
Soil Biol. Bioch. 2, 285-293

DUCHAUFOUR (Ph.), JACQUIN (F.) - 1966
Nouvelles recherches sur l'extraction et le fractionnement des composés humiques.
Bull. ENSAN, VIII (1), 3-24

DUCHAUFOUR (Ph.) - 1968
L'évolution des sols. Essai sur la dynamique des profils.
MASSON edit., 91 p.

DUCHAUFOUR (Ph.), - 1970
Précis de Pédologie
3ème éd. MASSON édit. 481 p.

DUCHAUFOUR (Ph.), 1973
Processus de formation des sols
C.R.D.P. Nancy, 182 p.

DUCHAUFOUR (Ph.), - 1970
Humification et écologie
Cah. ORSTOM, Sér. Ped. 8 379-391

DUCHAUFOUR (Ph.) - 1975
La dynamique de la matière organique des sols tempérés.
Son rôle dans la genèse des sols.
Geoderma (sous presse)

FARES (F.) - 1974
Contribution à l'étude de la dynamique du phosphore dans les sols
Thèse Doct. Ing. Univ. Nancy I

FILIP (Z.), HAIDER (K.), BEUTELSPACHER (H.), MARTIN (J.P.) - 1974
Comparaison of IR-Spectra from melanims of microscopic soil fungi, humic acids and model phenol polymer.
Geoderma 11, (1) 37-52

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

FLAIG (V.) - 1973
The significance of moderns trends im the study of humus
Pochvozmanie i Agrokhimiya 8 (4), 3,1-40 (Bg - Russ. - Eng.)

FROMENT (A.) - 1971
La minéralisation de la matière organique dans les sols calcimorphes du plateau forestier de Virelles (Belgique)
Bull. de l'Ass. Frse pour l'Etude du sol, n°3, 39-44

GALLALI (T.) - 1972
Etude statique et dynamique despolysaccharides et des amino-polysaccharides au cours de l'humification.
Thèse de spécial., Univ. Nancy I.

GREENLAND (D.J.) - 1971
Interaction between humic and fulvic acids and clays.
Soil Sci. 11,1 34-41

GREILICH (J.), KLEINHEMPEL (D.)- 1972
Uber den Einflus von Eisenverbindungen bei der Umsetrung von
Stroh im Altralischen medirem
Arch. Ackev-u Planzenban u. Bodenkd, 16 (8)

GUCKERT (A.), ROGER (P.), JACQUIN (F.), - 1968
Contribution à l'utilisation des techniques radioisotopiques pour l'étude
de la matière organique du sol
Bull. ENSAN, Tome X (II), 69-100

GUCKERT (A.) - 1973
Contribution à l'étude des polysaccharides dans les sols et leur role dans
les mécanismes d'agrégation.
Thèse Doct. es sc. nat. Université Nancy I.

GUILLET (R.), CHONE (Th.), YAGHI (M.) JACQUIN (F.) - 1973
Turn-over de la matière organique d'horizons Bh de podzols
Bull. ENSAIA, Tome XV, (I-II) 85-91

HANRION (Myriam) - 1974
Contribution à l'étude de l'évolution des hydrosolubles organiques
de hêtre en milieu acide.
Thèse Doct. Spec. Univers. Nancy

HAYES (M.H.B.), SWIFT (R.S.), WARDLE (R.E.) and BROWN (J.K.) - 1975
Humic materials from an organic soil a comparaison of extractants and proper-
ties of extracts.
Geoderma 13, 231-245

HENIN (S.), TURC (L.) - 1949
Essai de fractionnement des matières organiques du sol
C.R. Acad. Agr. 35, 41-43

HUC (A.Y.) - 1973
Contribution à l'étude de l'humus marin et de ses relations avec les kérogènes.
Thèse Dr. Ing. Univers. Nancy 59 p.

JACQUIN (F.), LE TACON (F.) - 1970
Influence des formes de Calcium sur l'évolution des résidus ligneux sous
climats tempérés.
Bull. ENSAN, XII, (I-II)

JEANSON (C.), 1974
Décomposition expérimentale de la paille de blé dans un sol de limon. Etude
à la microsonde et au microscope à balayage.
Biod. et humif. 1er Coll. Intern. Univ. Nancy I

JENKINSON (D.S.) - 1966
The priming action, in the use of isotope in soil organic matter studies
J.Off. Appl. Rad. and Isot. suppl. 187-197

JENKINSON (D.S.) - 1966
The priming action in the use of isotope in soil organic matter studies
J. of. Appl. Rad. and Isot. Suppl. 199-208

JUSTE (C.), DELAS (J.), LANGON (Monique) - 1975
Comparaison de la stabilité biologique des différents humates métalliques
C.R. Acad. Sc. Paris, 281, Série D 1685

KONONOVA (M.M.) - 1972
Current problems in the study of soil organic matter
Pochvovedenye, 7, 27-36

KONONOVA (M.M.), BELCHIKOVA (N.P.) - 1970
Use of sodium pyrophosphate to isolate and caracterise organic irom and aluminum compounds in soils
Ibid. N° 6

KONONOVA (M.M.) - 1972
Humus of the main soil types and soil fertility.
Ex. Aedibus Ac. in cit. Vatican
(Semaine d'étude sur la matière organique et fertilité du sol)

KONONOVA (M.M.), ALEXANDROVA (I.V.) - 1973
Formation of humic acids during plant residue humification and their nature
Geoderma 9 (3) 157-164

KONONOVA (M.M.) - 1975
Humus of Virgin and cultivated soils.
Soil components, I.Organic compoents
Gieseking (J.E.) Ed. Springer-Verlag - New York

LAATSCH (W.) - 1957
Dynamik der mitte leuropaischen mineralböden
Dresden, 280 p.

LAMOTTE (M.) - 1967
Initiation aux méthodes statistiques en biologie
Edit. MASSON et Cie, p. 135

LESPINAT (P.), HETIER (J.M.), THOMAN (Christianne), CHONE (Thérèse) - 1975
Utilisation des parties aériennes d'un maïs uniformément marqué par des études d'humification
Sci. du sol (sous presse)

LEVESQUE (M.), SCHNITZER (M.) - 1966
Effects of NaOH concentration on the extraction of the organic matter and of major inorganic constituents from a soil.
Can. J. Soil. Sci., 46 , 7-12

MANGENOT (F.) - 1974
Nouvelles données concernant le pouvoir ligninolytique des sols.
Ann. Micr. 24,47

MANGENOT (F.) - 1974
Propos liminaires sur l'humification
"Biod. et Humification ". Ier Coll. intern. Univers. Nancy I

MARTIN (J.P.), HAIDER (K.), FARMER (W.J.), FUSTEC MATHON (Eliane) - 1974
Décomposition and distribution of residual acidity of some ^{14}C-microbial polysaccharides and cells, glucose, cellulose, and wheat straw in soil
Soil Biol. Bioch. 6 (4) 221-230

MAYAUDON (J.), SIMONART (P.) - 1963
Humification des microorganismes marqués au ^{14}C dans le sol
Ann. Inst. Pasteur, 105, 257-266

MAYAUDON (J.), EL HALFANI (M.), BATISTIC (C.) - 1973
Oxidoreductive degradation of d-1-3 (3,4 dihydroxyphenyl) Alamine by soil minerals and days.
J. Soil Sci. 24 (2) 182-192

MAYAUDON (J.), BATISTIC (C.) - 1974
Effect of soil constituents on the biological activity of pseudomonas putida.
Ann. de Microb. A, 125 (1) 69-80

MERLET (D.) - 1971
Mise au point technique concernant l'extraction et la caractérisation des composés organiques présents dans les sols.
Note technique N°15, C.P.B. Nancy

MONNIER (G.), TURC (L.), JEANSON-LOV SIANG - 1962
Une méthode de fractionnement densimétrique par centrifugation des matières organiques du sol.
Ann. Agron. 13 (1) 55-63

MORTLAND (M.M.) - 1970
Clay-organic complexes and interaction
Adv. in Agron. 22 75-117

MULLER (J.) - 1972
Identification des formes de la matière organique dans les sols de la champagne crayeuse.
Ann. Agron. 23 (6), 587-610

NEYROUD (J.A.), SCHNITZER (M.) 1974
The exhaustive alcaline cupric oxide oxidation of humic acid and fulvic acid
Soil Sci. Soc. of Am. Proc. 38 (6) 907-913

NGUYEN KHA - 1973
Recherches sur l'évolution des sols à texture argileuse en conditions tempérées et tropicales.
Thèse Fac. des Sc. Nancy, 157 p.

OADES (J.M.), WAGNER (G.H.) - 1971
Biosynthesis of Sugar in Soils incubated with ^{14}C Glucose and ^{14}C Dextran
Soil Sci. Soc. of Am. Proc. Vol. 75, 6, 914-917

ORLOV (D.S.), AMMOSOVA (Ya.M.), GLEBOVA (G.I.) - 1975
Molecular parametars of humic acids
Geoderma, 13 (3) 211-229

ORLOV (D.S.), PIVOVAROVA (I.A.) - 1974
The selective adsorption of various fractions of humus acids by clay minerals
Pochvovedenie N°5 (59-64)

ORTIZ DE SERRA and SCHNITZER (M.) - 1973
The chemistry of humic and fulvic acids extracted from argentine soils I. analytical caracteristics
Soil Biol. Bioch. Vol. 5, 281-286

PERRAUD (A.) - 1971
La matière organique des sols forestiers de Côte d'Ivoire
Thèse Doct. Etat - Univers. Nancy I.

PERSSON (J.), 1968
Biological testing of chemical humus analysis
Lantbrukshogskolans Annaler Vol. 34, 81-217

PEYRONEL (A.) - 1975
Etude expérimentale de l'évolution de l'humus de synthèse microbienne dans deux sols ferrallitiques.
Thèse Doct. de Spec. Académie de Montpellier

PONOMAREVA (V.V.) et PLUTNIKOVA (T.A.) - 1968
Methods and some results of the fractionation of chernozem humus
Pochvovedenie, 11, 104-118
Soviet Soil Sci. 1562-1572

ROSELL (R.A.), ORTIZ (M.I.) and QUEVEDO (L.) - 1971
A comparaison of the effectiveness of various extractants for determining humus quality in a calcaceous soil.
Soil Sci. and Plant. annal. 2 (4) 275-282

SAVARD (J.), ANDRE (A.M.) CHAUMARTIN (L.) - 1963
Action des bois sur le fer
Bois et forêts des Tropiques 91, 41-52

SCHNITZER (M.) and KHAN (S.) - 1972
Humic substances in the environment
New York, Marcel Dekker Inc.

SØRENSEN (L.H.) - 1972
Role of amino acid metabolites in the formation of soil organic matter
Soil Biol. Biochem Vol. 4, 245-255

THENG (B.K.G.), WAKE (J.R.H.), POSNER (A.M.) - 1967
The humic acids extracted by various reagents from a soil
The journal of Soil science 18 (2), 349-363

TITOVA (N.A.) - 1969
Nature of humic acid ash in dry steppe soils
Pochvoved. I., 54-61

TOK (H.H.) - 1975
Etude de la biodégradation des polysaccharides en présence des substrats minéraux.
Thèse 3ème cycle, Univers. de Nancy, 76 p.

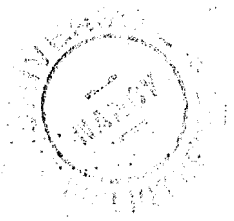
TOUTAIN (F.) - 1974
Etude écologique de l'humification dans les hêtraies acidiphiles.
Thèse Doct. es Sc. Nat. Univ. Nancy I.

TRAORE (B), BREISCH (H.), GUCKERT (A.), JACQUIN (F.) - 1972
Influence de l'aération sur l'évolution de la matière organique et la stabilité structurale dans un sol limoneux enrichi en trèfle ^{14}C.
Bull. ENSAIA (XIV) I, 75-80

VALLA (M.), GUCKERT (A.), JACQUIN (F.) - 1972
Formation de complexes entre acides humiques et montmorillonite (I et II)
Bull. de l'ENSAIA, Tome XIV, Fasc. II

VEDY (J.C.) - 1973
Relation entre le cycle biogéochimique des cations et l'humification en milieu acide.
Thèse Doct. es Sc., Univers. de Nancy I.

YAGHI (M.) - 1973
Action de certains substrats carbonés sur l'humification de la matière organique de divers sols.
Thèse Doc. de Spéc. Univers. Nancy I.



095 013509 2