

**TRAVAUX
ET DOCUMENTS
DE L'O.R.S.T.O.M.**

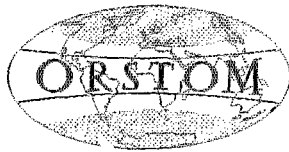
**ÉTUDE EXPÉRIMENTALE
DE L'ACTION DES ANIMAUX
SUR L'HUMIFICATION
DES MATÉRIAUX VÉGÉTAUX**

**1- PREMIÈRES EXPÉRIENCES ET
CONCLUSIONS PRÉLIMINAIRES**



G. BACHELIER

collaboration technique R. GAVINELLI



ÉDITIONS DE L'OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

RENSEIGNEMENTS, CONDITIONS DE VENTE

Pour tout renseignement, abonnement aux revues périodiques, achat d'ouvrages et de cartes, ou demande de catalogue, s'adresser à :

SERVICE CENTRAL DE DOCUMENTATION DE L'ORSTOM
70-74, route d'Aulnay, 93 - BONDY (France)

— Tout paiement sera effectué par virement postal ou chèque bancaire barré, au nom du Régisseur des Recettes et Dépenses des SSC de l'ORSTOM, 70-74, route d'Aulnay, 93 - BONDY; compte courant postal n° 9.152-54 PARIS.

— Achat au comptant possible à la bibliothèque de l'ORSTOM, 24, rue Bayard, PARIS (8^e).

REVUES ET BULLETIN DE L'ORSTOM

I. CAHIERS ORSTOM

a) Séries trimestrielles :

- Pédologie (1) — Sciences humaines
- Océanographie — Hydrologie
- Hydrobiologie — Entomologie médicale et Parasitologie

Abonnement : France 95 F ; Etranger 115 F ; le numéro 25 F.

b) Série semestrielle :

- Géologie.

Abonnement : France 75 F ; Etranger 80 F ; le numéro 40 F.

c) Séries non encore périodiques :

- Biologie (3 ou 4 numéros par an)
- Géophysique

Prix selon les numéros

II. BULLETIN ANALYTIQUE D'ENTOMOLOGIE MÉDICALE ET VÉTÉRINAIRE

Abonnement : France 75 F ; Etranger 85 F ; le numéro 8 F.

(1) Masson et Cie, 120, bd Saint-Germain, Paris-VI^e, dépositaires de cette série à compter du Vol. VIII, 1970.

Abonnement : France 96 F ; Etranger 134 F.

Nous vous rappelons, parus dans nos Collections :

MEMOIRES ORSTOM :

n° 30 — BACHELIER (G.) — 1968 — *Contribution à l'étude de la minéralisation du carbone des sols.* 145 p. 50 F.

INITIATIONS/DOCUMENTATIONS TECHNIQUES :

n° 3 — BACHELIER (G.) — 1963 — *La vie animale dans les sols.* 280 p. 20 F.

n° 16 — DABIN (B.) et THOMANN (Ch.) — 1971 — *Etude comparative de deux méthodes de fractionnement des composés humiques.* 66 p. 20 F.

TRAVAUX ET DOCUMENTS DE L'O.R.S.T.O.M.

N°14

O. R. S. T. O. M.

PARIS

1972

ÉTUDE EXPÉRIMENTALE
DE L'ACTION DES ANIMAUX SUR L'HUMIFICATION
DES MATÉRIAUX VÉGÉTAUX

1 - PREMIÈRES EXPÉRIENCES ET CONCLUSIONS PRÉLIMINAIRES

par

G. BACHELIER

avec la collaboration technique de R. GAVINELLI

.....
" La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41,
" d'une part, que les "copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du co-
" piste et non destinées à une utilisation collective" et, d'autre part, que les analyses et les
" courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, "toute représentation ou reproduc-
" tion intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit
" ou ayants cause, est illicite" (alinéa 1er de l'article 40).

" Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc
" une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code Pénal."
.....

SOMMAIRE

Introduction _____	7
TECHNIQUES UTILISEES _____	13
Expérimentation _____	13
Remarques sur la nature des acides humiques _____	15
Expression des résultats _____	18
RESULTATS DES DIVERSES EXPERIENCES _____	21
Série d'expériences H 1 sur une litière de pommier _____	21
Série d'expériences H 2 " " " _____	26
Série d'expériences H 3 sur du foin _____	28
Série d'expériences H 4 sur des feuilles de lierre et de ronce _____	31
Série d'expériences H 5 sur des racines de maïs _____	38
Série d'expériences H 6 sur de la sciure de bois de diverses essences _____	43
Série d'expériences H 7 sur de la sciure de chêne _____	50
CONCLUSIONS GENERALES _____	65
Action des animaux sur l'humification des matériaux végétaux _____	65
Action du climat et des argiles _____	68
Bibliographie _____	69
Annexes — 1. Evolution du pH des divers matériaux végétaux utilisés _____	74
2. Composition de la solution de Heller _____	75

Introduction

Dans le cadre des études de pédologie, une des questions encore assez controversée demeure celle de savoir si les animaux de la faune des sols ont une action positive ou négative sur les processus d'humification des débris végétaux. Il serait, en effet, intéressant de connaître les animaux dont l'action est la plus favorable pour, si possible, en analyser le mécanisme d'action en vue d'applications pratiques ultérieures.

Concernant la dégradation normale des litières en milieu aéré et saisonnièrement ou constamment humide, et en se basant sur la consommation des diverses faunes édaphiques, on en est arrivé à la conclusion que dans la quasi-totalité des sols, toute la litière végétale pouvait être entièrement ingérée par la faune avant d'être pour sa partie restante définitivement minéralisée par la microflore, celle-ci utilisant en moyenne à son profit 80% de l'apport énergétique initial (MACFADYEN, 1961). Dans nos forêts tempérées, pour un apport annuel de 20 à 400 g de litière au mètre carré, on estime que les vers peuvent en ingérer 250 g, les Acariens 30 à 40 g et les Collembolés 50 à 60 g. Non seulement toute la litière végétale peut passer par le tube digestif des animaux du sol, mais elle y passe même plusieurs fois avant d'être complètement dégradée. Les vers détruisent les litières environ trois fois plus rapidement que les petits invertébrés (Collembolés, Acariens, Enchytréides et larves de Diptères), mais le tannage des feuilles en limite l'ingestion (EDWARDS et HEATH, 1962).

KURCHEVA (1960), en utilisant dans des parcelles expérimentales le naphthalène pour chasser les animaux et réduire l'activité biologique de ces parcelles aux seules bactéries et champignons, a pu montrer que, sans la faune du sol, les litières disparaissaient environ cinq fois plus lentement et donnaient beaucoup moins de composés humiques. Inversement, KURCHEVA (1967) en apportant au sol des animaux (vers de terre, Enchytréides, Diplopodes et Isopodes) a pu mettre en évidence une augmentation de la destruction des litières de 7% par rapport aux parcelles témoins.

La litière ingérée par la faune, pour sa partie non digérée, est fragmentée, biochimiquement enrichie, fortement modifiée du point de vue bactérien et, selon les espèces, plus ou moins intimement mélangée au sol.

D'après un calcul théorique assez facile à faire (BACHELIER, 1963 b), il apparaît qu'au cours de la réduction mécanique des débris végétaux par la faune, et compte tenu des aliments utilisés, la multiplication des surfaces végétales pourrait être de l'ordre de 50 à 250 selon les cas. Les microarthropodes (Collembolés et Acariens) jouent un rôle particulièrement important dans cette fragmentation ; VAN DER DRIFT (1951) estime que la faune en fragmentant la litière en multiplie la surface par 50.

VAN DER DRIFT et WITKAMP (1960) ont montré sur des excréments de larves d'*Enoicyla pusilla* Burm. (Trichoptère) que l'attaque microbienne des boulettes fécales mesurée par le dégagement de CO₂ était égale à sept fois celle des feuilles entières, mais peu supérieure à ces mêmes feuilles broyées mécaniquement, ce qui souligne l'importance de la multiplication des surfaces et de la libération des contenus cellulaires dans l'attaque microbienne des débris végétaux.

En même temps que la faune fragmente les débris végétaux, elle en favorise la dégradation chimique et, par ses déjections, elle enrichit les matières organiques du sol de divers enzymes. Cette fragmentation et cette modification chimique des débris végétaux s'accompagnent d'un développement des micro-organismes qui trouvent au sein des excréments des conditions de vie généralement favorables.

Mais, en fragmentant les divers débris végétaux, en accélérant la dégradation de leurs divers composés et en favorisant l'activité de la microflore, les animaux de la faune du sol ne favorisent cependant pas obligatoirement les processus d'humification, car ces derniers sont liés à tout l'ensemble des facteurs biotiques et abiotiques du milieu (JONGERIUS et SCHELLING, 1960 ; BACHELIER, 1963 a). Ceci explique que de nombreux auteurs ont déjà pu observer que la faune du sol, loin d'accroître les acides humiques, en déterminait au contraire la diminution (FRANZ, 1942 ; VAN DER DRIFT, 1951 ; DUNGER, 1958 ; NAGLITSCH, 1965).

Rappelons brièvement en quoi consiste l'humification, renvoyant pour plus de détails au livre de PREVOT (1970).

La dégradation des substances organiques d'origine végétale conduit, d'une part à du gaz carbonique et à de l'eau, et d'autre part à des éléments minéraux, à des substances énergétiques et à des composés azotés simples qui sont lessivés par les eaux de pluie, absorbés par les plantes ou retenus par les sols (absorption des argiles).

À côté de cette dégradation directe des débris végétaux, existe conjointement une plus ou moins importante resynthèse de certains des produits de la dégradation. Cette resynthèse qui s'effectue en milieu humide, en aérobiose et le plus souvent à l'intérieur des tissus végétaux en décomposition correspond à la formation d'un plasma bactérien. Celui-ci se transforme en acides préhumiques de couleur brune qui, par hétéropolycondensation, donnent ensuite des acides humiques beaucoup plus stables.

D'après les différents travaux sur la chimie de l'humus, l'humification correspond à la fixation en chaînes latérales (en milieu basique et par voie bactérienne) de protéines et d'acides aminés sur des noyaux quinoniques dérivant des composés aromatiques sous l'influence des oxydases végétales et animales. L'azote ammoniacal rend le milieu basique et peut lui-même se fixer en forme hétérocyclique. Les acides humiques ainsi formés peuvent réagir avec les cations échangeables ou les sesquioxydes hydratés de fer et d'alumine pour donner des composés organo-minéraux. Ces derniers à leur tour peuvent s'agréger avec des argiles et des acides humiques simples pour donner des colloïdes organo-minéraux énergiquement flocculables par le calcium (ALEXANDROVA, 1960 ; KONONOVA, 1961).

Une grande partie des acides humiques du sol dérive aussi de la lignine (HURST et BURGESS, 1967). La lignine, à l'air et en milieu humide, est dégradée par les champignons, les actinomycètes et plusieurs groupes de bactéries. Ses molécules très complexes se fragmentent en éléments plus simples qui donnent, après oxydations et déméthylations successives des noyaux aromatiques à fonction acide, puis à fonctions phénoliques et quinoniques. Ces noyaux aromatiques subissent alors des condensations secondaires, fixent des composés azotés (dont des acides aminés) et donnent des acides humiques ou des complexes humoligneux. Les acides humiques ainsi formés peuvent en effet inclure des fragments de lignine plus ou moins clivée, déméthylée et oxydée. MANSKAYA et KODINA (1968) ont fait ressortir le rôle des structures aromatiques dans la formation des acides humiques. FLAIG et HAIDER (1968) ont montré l'importance des phénols issus de la lignine dans la structure des acides humiques.

Exception faite pour les tourbières, les matières humiques dans les sols sont annuellement détruites en quantités approximativement égales à celles qui sont synthétisées, puisqu'il n'y a pas accumulation de matières humiques dans les sols, mais simplement un temps mort plus ou moins long entre leur synthèse et leur dégradation qui conduit tout naturellement à du gaz carbonique, à de l'eau et à divers produits solubles, dont des composés azotés.

La nature et l'importance des diverses substances humiques dans les sols dépendent étroitement du climat, de la nature des sols, de leur microflore et de leur végétation, aussi les substances humiques sont-elles caractéristiques des divers équilibres pédologiques.

La microflore des sols ferrallitiques favorise les acides fulviques aux dépens des acides humiques. Un climat chaud et humide constant favorise la déshumification des sols. Inversement, EL HALFAWI, VAN CLEEMPUT et VAN DEN HENDE (1969) ont observé sur une litière de ray-grass que des conditions alternées d'humidité et de sécheresse y favorisaient la minéralisation de l'azote, la diminution du rapport C/N et la formation des acides humiques.

Une richesse en bases et un pH proche de la neutralité, ou même très légèrement basique, peuvent aussi influencer favorablement sur l'humification des sols.

Nous voyons que dans ce schéma de l'humification, la faune peut a priori intervenir favorablement en aidant, par ses déjections et ses cadavres, à enrichir le sol en composés azotés et en enzymes divers. En même temps, elle neutralise les sols acides et favorise l'adsorption (et donc la protection) des substances humiques par les argiles. En isolant dans leurs excréments la lignine, et en l'abandonnant à l'air dans un milieu humide et basique, les animaux devraient aussi favoriser la formation des acides humiques pour autant toujours que l'ensemble des conditions biotiques et abiotiques du milieu le permette.

DUNGER (1958) a ainsi montré que si des feuilles riches en azote voyaient leur teneur en acides humiques croître au cours de leur passage dans l'intestin de divers microarthropodes, dont notamment *Cylindroiulus*, par contre les feuilles pauvres en azote subissaient au cours de ce passage une très nette déshumification. La faune des sols catalyserait donc plus la dynamique des sols qu'elle n'en modifierait l'orientation des fonctions.

On peut néanmoins distinguer dans la faune des sols certains groupes fauniques ou certaines espèces animales dont l'action sur l'humification des débris végétaux apparaît maintenant assez connue, encore que toutes ces actions doivent souvent se manifester par des voies très indirectes.

Dans les diverses expériences faites avec les Cloportes (Isopodes), il a le plus souvent été observé une diminution des matières humiques dans les excréments de ces animaux, par rapport à la somme de matières humiques présentes dans les feuilles ingérées. STRIGANOVA (1968) a ainsi montré que, dans la dégradation du bois, les Cloportes (*Porcellio scaber*, *Tracheoniscus rathkei* et *Armadillidium pulchellum*) manifestaient une action pulvérisatrice importante, mais avaient par contre une action totalement négative sur l'humification de ce matériel végétal.

Les Collemboles et les Acariens paraissent par leur activité accélérer les diverses fonctions bactériennes des sols et favoriser aussi bien les processus d'humification que ceux de déshumification selon les divers équilibres pédologiques. NAGLITSCH (1965) a ainsi observé une action déshumifiante ou neutre de *Folsomia fimetaria* vis-à-vis de diverses feuilles.

A l'opposé de ces divers animaux, généralement jugés comme défavorisant l'humification des débris végétaux, il en est d'autres qui ont une action positive bien reconnue sur cette humification, tels sont les vers de terre et peut-être les nématodes.

Pour les Vers de terre, tous les auteurs s'accordent à leur trouver une action nettement favorable à l'humification des sols, tout au moins dans les régions tempérées (FRANZ, 1955, par exemple).

HEUNGENS (1969) a ainsi observé qu'en Belgique de nombreux vers de terre peuvent accélérer les processus d'humification et de minéralisation de la litière de conifères. Introduits dans les composts, les vers favorisent aussi l'évolution des matières organiques et donnent un terreau à rapport C/N plus faible que celui obtenu avec les seuls micro-organismes (MEYER, 1943).

Nous avons nous-mêmes jadis observé que des vers de terre (*L. terrestris*) placés dans de la sciure de bois humidifiée depuis un mois en avaient favorisé l'humification. Au cours d'une expérience de laboratoire, en deux mois et demi et pour 100 g de sciure colonisés par 4 vers, les acides humiques étaient passés de 3 à 8%, alors que dans le témoin ils n'avaient pas varié (BACHELIER, 1963b). STRIGANOVA (1968) a de même trouvé une augmentation substantielle des acides humiques et des acides fulviques dans les bois en décomposition colonisés par les vers de terre (*Dendrobaena rubida*). Ce même auteur, rappelons-le, avait au contraire observé une action négative des Isopodes dans l'humification des bois.

Mme JEANSON (1960) a montré que les vers accélèrent la disparition de la matière organique libre du sol, en même temps qu'augmentait la teneur en carbone de la fraction lourde de ce sol, par suite d'une fixation de la matière organique humifiée sur la partie minérale. L'action des vers a ainsi permis la fixation d'une quantité moyenne de carbone de 25% supérieure à celle fixée par les seules fermentations, ce qui a par ailleurs influencé fortement la stabilisation de la structure (MONNIER et JEANSON, 1965).

Les vers contribuent, par mixage des débris végétaux avec la terre, à la stabilisation des acides humiques nouvellement formés dans des complexes colloïdaux qui enrobent les particules minérales en donnant un humus doux au toucher, ou "mull".

En fait, l'action favorable très souvent observée des vers sur l'humification de leur milieu s'effectue essentiellement par des voies secondaires, car la concentration des substances humiques varie en général peu durant le passage des diverses substances végétales à travers le tube digestif des vers (DUNGER, 1962).

Par leur activité mécanique et leur rôle dans la dégradation des substances végétales, les vers ont une action maintenant bien démontrée sur les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques des sols (FRANZ, 1955), aussi est-il souvent observé un accroissement considérable de l'activité biologique des milieux travaillés par les vers.

De nombreux auteurs ont mis en évidence, en fonction des milieux et de la nature des matières organiques, les modifications quantitatives et qualitatives apportées par les vers à la microflore du milieu (DAY, 1950 ; RUSCHMANN, 1953 ; SCHUTZ et FELBER, 1956 ; PARLE, 1963 ; KOZLOVSKAJA, 1969). Une accumulation de vitamine B12 a été constatée dans les sols à vers de terre des régions tempérées et a été rapportée plus à la quantité de vers présents qu'à la nature des espèces (ATLAVINYTE et DACIULYTE, 1969). Les vers peuvent facilement doubler l'absorption d'oxygène des sols qu'ils colonisent (SACHELL, 1960). Même après retrait des vers, les milieux végétaux dans lesquels ils ont vécu conservent une activation de leur décomposition liée à une population bactérienne plus importante, comme ceci a notamment été observé par ANSTETT (1951) dans une expérience sur la décomposition de sarments de vigne en présence d'*Eisenia foetida*.

L'importance des vers morts sur la fertilité des sols a aussi souvent été soulignée (RUSSELL, 1910 ; DREIDAX, 1931 ; HOPP et SLATER, 1948 et 1949). Les protéines constituant 55 à 70% du poids sec des vers de terre, leur nitrification a le plus souvent servi à expliquer leur action fertilisante.

Les Nématodes, de leur côté, peuvent, grâce à leur petite taille, pénétrer dans les plus fins capillaires du sol et se trouver dans les cellules des débris végétaux en cours d'altération directement au contact des plasmas bactériens synthétisant les acides humiques. Nous avons plusieurs fois constaté une synthèse accrue des acides humiques dans les débris végétaux après un développement massif des nématodes.

Sont à considérer à part les larves d'insectes et notamment celles de Diptères qui s'avèrent généralement très influentes sur la décomposition des débris végétaux, d'autant plus qu'elles peuvent mélanger activement ceux-ci avec le sol minéral, souvent même plus activement que les Enchytréides. Des milieux herbacés peuvent être réduits en bouillie en quelques jours par des larves de *Sciaridae* ou de *Scatopsidae*. Des litières feuillues ou des pailles peuvent être rapidement transformées en terreau par des larves de Bibions ou des larves de

Tipules. KURCHEVA (1960) a même observé une synthèse favorisée des substances humiques dans l'intestin des larves de *Tipula scripta*.

On sous-estime trop souvent l'importance des larves de Diptères dans les sols car, si leur action est limitée dans le temps et l'espace, elle est par contre extrêmement importante et, en quelques jours, un pullulement de ces larves peut modifier une litière plus profondément que ne le ferait en de nombreux mois une population normale de microarthropodes.

Enfin, il ne faut pas oublier les Termites des régions intertropicales qui, en ingérant souvent plus de la moitié des apports végétaux et en poussant très loin la dégradation chimique des matières organiques, contrecarrent nettement les synthèses humiques.

Les termites assimilent surtout les hémicelluloses, l'amidon, les sucres, tous corps plus abondants dans l'aubier et les bois morts déjà fortement colonisés par les bactéries et les champignons. Les termites du bois possèdent pour la digestion de la cellulose des protozoaires flagellés très particuliers dans leur panse rectale. Les *Termitidae* possèdent des bactéries cellulolytiques dans leur intestin postérieur. Les termites champignonnistes utilisent des champignons pour dégrader la lignine et démasquer la cellulose (GRASSE, 1959).

De nombreux termites ouvriers paraissent aussi pouvoir détruire les matières humiques déjà existantes dans les horizons supérieurs des sol et n'excréter qu'un sol libre d'humus ; tel serait le cas des *Cubitermes*, des *Apicotermes*, des *Thoracotermes* (*Microcapritermitinae*) et de certains *Cornitermes* (*Nasutitermitinae*) d'Amérique du Sud.

Ainsi, mis à part quelques animaux bien précis (Vers de terre et peut-être Nématodes d'une part, Termites d'autre part), la faune des sols paraîtrait donc pouvoir influencer quantitativement et qualitativement l'humification des débris végétaux, mais cela en fonction des équilibres pédologiques, et il n'apparaît guère encore possible dans les conditions actuelles de pouvoir agir sur l'humification des sols en agissant directement et uniquement sur la faune, étant donné le déterminisme même de cette faune. Seuls, à l'heure actuelle, des apports chimiques, des modifications dans la nature des apports végétaux et des modifications du microclimat peuvent pratiquement déplacer dans le sol l'équilibre de la fonction humifiante ; les modifications artificielles (et encore expérimentales) de la faune ne peuvent actuellement être tentées que compte tenu de ces premières modifications du milieu.

Nous savons - et des travaux antérieurs nous l'ont confirmé (BACHELIER, 1963 a repris dans BACHELIER, 1968) - que les processus d'humification et de déshumification dépendent de tout l'ensemble des différents facteurs de l'écosystème qu'est un sol. Aussi, nous sommes-nous ici volontairement limités à l'humification des matériaux végétaux en dehors des sols, pour mieux juger de la seule action possible de la faune.

Les expériences qui font l'objet de ce travail ont été voulues assez variées pour, dans un premier temps, pouvoir faire un examen assez large de la question et dégager si possible certaines lignes préférentielles de recherche en vue d'un second travail plus analytique, qui fera suite à celui-ci, et offrira peut-être, comme nous l'espérons, des applications pratiques.

Il nous a paru nécessaire pour notre expérimentation de ne prendre en considération que les quatre principales variables suivantes, à savoir :

- 1 - la nature du matériel végétal ;
- 2 - les conditions climatiques de l'humification de ce matériel ;
- 3 - les espèces animales, les produits de leur métabolisme, leurs déjections ou leurs cadavres ;
- 4 - la nature des argiles, éventuellement introduites dans certaines expériences.

Techniques utilisées

EXPÉRIMENTATION

Ce travail rassemble les résultats de plusieurs séries d'expériences portant sur l'évolution de divers matériaux d'origine végétale (litière humifiée, feuilles vertes, racines et sciures de bois), dans des conditions de température et d'humidité bien définies, en présence d'animaux variés, et après addition ou non de diverses argiles. Toutes ces expériences ont été conduites avec témoins.

Ces expériences se sont toutes terminées, après bilan global, par le dosage quantitatif des acides humiques et des acides fulviques, et qualitativement par l'électrophorèse des acides humiques et la recherche du pourcentage de sucres présent dans les acides fulviques.

Pour de nombreuses expériences, les pH des milieux ont été suivis, des photographies prises et diverses autres analyses complémentaires éventuellement réalisées : rapport C/N, activité biologique par l'absorption d'oxygène en flacon d'eau (BACHELIER, 1960), acides humiques insolubles dans la soude 5N, ... etc. Le test de KEULS a été utilisé dans la dernière expérience pour y vérifier statistiquement les divers groupements d'échantillons (KEULS, 1952).

Le plan des expériences se résume ainsi :

- . Série d'expériences H1 portant sur l'évolution d'une litière de pommier récoltée en hiver, et donc fortement humifiée ; cette litière a été maintenue constamment humide au cours des expériences.
Celles-ci ont été conduites à 7°, 17°, 25° et 30° avec des Enchytréides, des Isopodes (*Armadillidium vulgare*, *A. nasutum*, l'association *Porcellio scaber*-*Porcellio laevis*), un Myriapode (*Polydesmus angustus*) et un Collembole (*Tullbergia krausbaueri*).
- . Série d'expériences H2 portant sur l'évolution de la même litière de pommier, mais cette fois maintenue constamment à sec.
- . Série d'expériences H3 portant sur l'évolution d'une litière de foin assez riche en luzerne, réhumidifiée et maintenue constamment humide au cours des expériences.

Les expériences des séries H2 et H3 ont été conduites à 7°, 17° et 25 à 28° avec *A. nasutum* (Isopode) et *Polydesmus angustus* (Myriapode).

- . Série d'expériences H4 portant sur l'évolution de feuilles vertes.
 - Expérience H4-1. Nous avons pour cette expérience utilisé deux phasmes : *Carausus morosus* se nourrissant de lierre et *Medaura brunneri* (phasme de l'Inde) se nourrissant de ronce. Le bilan alimentaire a été accompagné des dosages habituels.
 - Expérience H4-2. Cette expérience, faisant suite à l'expérience H4-1, avait pour but d'étudier l'évolution des feuilles de ronce, des feuilles de lierre et des excréments issus de l'un ou l'autre phasme, broyés ou non broyés, conservés à 25° à sec, conservés constamment humides ou conservés sous un régime à dessiccation périodique.

- . Série d'expériences H5 portant sur l'évolution de racines de maïs.
 - Expérience H5-1. Conduite à 7°, 17° et 25° avec divers cloportes et sous régime d'humidité constante ou sous régime à dessiccation périodique.
 - Expérience H5-2. Conduite à 17° avec des *Oniscus* (Isopode) et sous régime d'humidité constante ou sous régime à dessiccation périodique. Enrichissement des milieux en kaolin ou en montmorillonite pour étude de l'action possible des argiles.

- . Série d'expériences H6 portant sur l'évolution d'un mélange de sciures de divers feuillus.
 - Expérience H6-1. Conduite à 7° et 17° avec des vers de terre et sous régime d'humidité constante. Mesure de l'activation biologique causée par la présence des vers dans la sciure.
 - Expérience H6-2. Conduite aux champs et portant sur l'évolution d'une sciure d'origine mixte en présence ou non de vers de terre et après enrichissement ou non des milieux en kaolin ou en montmorillonite.
 - Expérience H6-3. Conduite à 17° avec des larves de *Scarabeidae* et sous régime d'humidité constante. Enrichissement des milieux (sauf témoins) en kaolin ou en montmorillonite.
 - Expérience H6-4. Conduite à 17° avec des *Oniscus* (Isopodes) et sous régime d'humidité constante ou sous régime à dessiccation périodique. Enrichissement des milieux (sauf témoins) en kaolin, montmorillonite ou vermiculite.

- . Série d'expériences H7 portant sur l'évolution de diverses sciures.

Après les expériences H6, nous avons pensé utile d'étudier, à côté de l'action des animaux vivants, l'action possible des cadavres animaux ou de certains excréta d'origine animale, tels que par exemple les turricules ou le mucus des vers de terre.

 - Expérience H7-1. Portant sur l'évolution de la sciure d'origine mixte utilisée dans les expériences H6. Série conduite avec arrosage de la sciure par une eau de lavage des vers, une solution de nitrate d'ammonium, une solution ammoniacale, une solution potassique ou l'addition de vers morts réduits en poudre. Dosage de l'azote dans chaque cas, et expériences conduites sous régime d'humidité constante ou régime à dessiccation périodique.
 - Expérience H7-2. Portant sur l'évolution d'une sciure de chêne. Série conduite à 17° avec, d'une part, addition de solutions basiques (NH₄OH et KOH) ou addition de vers morts différemment préparés et, d'autre part, apport ou non de substances énergétiques ou minérales. Ceci, sous régime d'humidité constante et avec mesure régulière des pH. L'humification des vers morts, soumis à des conditions expérimentales identiques, a été étudiée séparément.

REMARQUES SUR LA NATURE DES ACIDES HUMIQUES

Diversité des acides humiques dans les matériaux végétaux

Une difficulté sérieuse existe dans l'étude de l'évolution des substances humiques au sein des débris végétaux, à savoir la définition même des acides humiques.

Dans les sols, ces substances colloïdales sont solubilisées par le pyrophosphate de sodium, précipitées par l'acide sulfurique concentré et, après séparation et lavage, redissous dans de la soude N/10 pour donner une solution brune, dont on dose le pouvoir réducteur. Le fractionnement des acides humiques peut s'effectuer par électrophorèse, chromatographie sur gel (à porosité éventuellement croissante), analyse spectrale aux infra-rouges ou autres techniques.

La séparation des acides humiques par électrophorèse distingue les acides humiques peu mobiles des acides humiques mobiles avec entre eux des acides dits intermédiaires. En Pédologie, les acides humiques peu mobiles correspondent aux acides humiques gris et les acides humiques mobiles aux acides humiques bruns. Nous avons utilisé ces qualificatifs de "gris" et de "bruns" dans nos illustrations pour la seule raison qu'ils sont plus courts, mais nous avons préféré parler dans le texte d'acides humiques "peu mobiles" et d'acides humiques "mobiles".

L'ensemble de l'extrait au pyrophosphate, après retrait des acides humiques, a reçu l'appellation d'acides fulviques.

Dans les matériaux d'origine végétale, ce processus d'extraction des substances humiques donne des solutions de couleur différente (cf Tableau I).

	extrait pyrophosphate Na	"acides préhumiques" ou humiques	"acides fulviques"
Litière de pommier (H1-H2)	brun-rouge	brun-jaune à rouille	jaune
Foin (H3)	madère	madère	jaune paille
Feuilles de lierre (H4)			
. jeunes feuilles	vert sale	vert jaune	rosé de Provence
. vieilles feuilles	vert bouteille	vert bouteille	rosé de Provence
. feuilles conservées	vert bouteille fumé	à sépia clair	rosé plus foncé
Feuilles de ronce (H4)	brun-jaune	ambre jaune foncé	jaune d'or
Racines de maïs (H5)	brun-jaune clair	jaune pâle	jaune paille
Sciure de bois (H6-H7)	jaune-brun clair	jaune très pâle	jaune paille
-----	-----	-----	-----
Sol brun calcaire	sépia	sépia	ambre jaune

Tableau I -- Couleur des substances humiques des divers matériaux végétaux utilisés. Comparaison avec un sol brun calcaire.

De même dans les expériences de la série H4, les feuilles de lierre conservées un peu plus d'un mois à l'humidité et à 17° renfermaient des acides humiques de couleur brun-jaune olive, alors que les excréments des phasmes qui s'en étaient nourris offraient des acides humiques de couleur brun-rouge. Les feuilles de ronce de leur côté renfermaient des acides humiques de couleur ambre-jaune assez foncé et les excréments des phasmes qui s'en étaient nourris des acides humiques à tonalité rouge.

Fractionnement des acides humiques par la soude 5 N

Ayant souvent constaté dans les solutions sodiques d'acides humiques issus de matériaux végétaux l'apparition de dépôts insolubles à l'alcool, mais plus ou moins rapidement solubles à l'eau et très facilement solubles à l'ammoniaque, nous avons recherché à accroître ces dépôts dans le but de trouver un fractionnement chimique possible des acides humiques.

Ceci nous a amenés à constater qu'une fraction importante des acides humiques précipités par l'acide sulfurique, était, après séparation, très souvent insoluble dans la soude 5 N ou 10 N.

Il a été possible de filtrer ces solutions très basiques sur filtre en laine de verre et d'obtenir ainsi deux types d'acides humiques que l'on a pu ensuite étudier séparément.

L'électrophorèse des acides humiques insolubles dans la soude 5 N a montré que ces acides migraient plus facilement que les autres et devaient donc être beaucoup moins condensés.

Dans le cas de la sciure de bois utilisée dans la série d'expériences H6 et renfermant 2‰ de C acides humiques, il a été trouvé :

0,05‰	de C	acides humiques insolubles avec	NaOH	N/5
0,07‰	"	"	NaOH	N/2
0,08‰	"	"	NaOH	N
0,10‰	"	"	NaOH	2,5 N
0,25‰	"	"	NaOH	5 N

Dans le cas des feuilles de lierre et de ronce utilisées dans les séries d'expériences H4, 37% des acides humiques des feuilles de lierre sont apparus insolubles dans la soude 5 N et 19% dans le cas des feuilles de ronce. Ces pourcentages ont été retrouvés dans les excréments des phasmes qui se sont respectivement nourris de ces deux types de feuilles : 35,5% d'acides humiques insolubles dans les excréments des phasmes nourris avec les feuilles de lierre et 20% d'acides humiques insolubles dans les excréments des phasmes nourris avec les feuilles de ronce. Mais, l'électrophorèse des acides humiques insolubles a montré que, par rapport aux feuilles, on avait dans les excréments, une nette évolution des acides humiques vers les acides humiques bruns plus mobiles (Tableau II).

		Acides humiques		
		% gris	% interm.	% bruns
feuilles de lierre	ac. humiques totaux	10	5	85
	" solubles	13	10	77
	insolubles	51	49	0
excréments lierre	ac. humiques totaux	14	7	79
	" solubles	14	7	79
	insolubles	15,5	5	79,5
feuilles de ronce	ac. humiques totaux	15	6	79
	solubles	9,5	3,5	87
	insolubles	56	44	
excréments ronce	ac. humiques totaux	21	6	73
	solubles	6	5	89
	insolubles	18,5	34,5	47

Tableau II — Electrophorèse d'acides humiques solubles ou insolubles dans la soude 5 N

Les acides humiques insolubles dans les solutions de soude concentrées paraissent, dans le cas des racines, provenir de composés cellulosiques ; ils semblent par contre, dans le cas des feuilles, correspondre à des substances préhumiques et à des composés chlorophylliens qu'il ne faut pas confondre avec les acides humiques verts de type P étudiés par KUMADA et SATO (1965, 1967), SATO et KUMADA (1967), GRATH (1967), HURST (1967), KUMADA et HURST (1967) et qui paraissent liés à la présence de certains sclérotés fongiques.

Ces diverses substances préhumiques tendent à disparaître avec le brunissement des feuilles. Il en est de même dans les sols avec leur dessiccation prolongée.

Nous avons en effet essayé de fractionner par la soude 10N les acides humiques d'un sol brun calcaire très organique prélevé humide et les acides humiques de ce même sol conservé à sec depuis plusieurs années. La fraction des acides humiques insolubles à la soude 10N s'est avérée très difficilement soluble à l'eau avec le sol frais, mais par contre très facilement soluble avec le sol conservé à sec.

Le tableau III suivant résume l'importance relative, chiffrée de 1 à 4 des acides humiques insolubles dans la soude N, 5N ou 10N, pour les divers matériaux végétaux utilisés par la suite.

	NaOH		
	N	5 N	10 N
litière de pommier (H1 - H2)	2	4	4
foin (H3)	3	4	2
feuilles de lierre séchées (H4)		1	4
feuilles de ronce broyées (H4)	3	3	2
racines de maïs (H5)	1	1	1
sciure (H6 - H7)			1
sol brun calcaire			4

Tableau III — Importance relative des acides humiques insolubles dans la soude N, 5N ou 10N pour divers matériaux végétaux.

Les acides hymatomélaniques

Les acides hymatomélaniques correspondent à la fraction des acides humiques solubles dans l'alcool éthylique après agitation.

L'expérience nous a montré qu'ils étaient particulièrement importants dans les sciures où ils pouvaient représenter jusqu'à 75% des acides humiques : 72% dans le cas de la sciure mixte des expériences H6 et H7-1, 38,5% dans le cas de la sciure de chêne de la série H7-2.

Conclusions

Il est évident que les acides humiques, qui correspondent à toute une famille de composés chimiques très diversifiés (FLAIG, 1955 ; KONONOVA, 1961 et 1968 ; HURST et BURGESS, 1967), ne sont pas les mêmes dans les divers végétaux dont nous avons suivi l'évolution en présence ou non d'animaux.

Il est non moins certain que ce que nous appelons "acides humiques" dans le cas des végétaux verts ou peu humifiés (foin de la série H3, feuilles de lierre ou de ronce de la série H4) correspond en fait à des substances préhumiques, et même à des composés labiles qui ne donneront pas de substances humiques.

Cependant, ces réserves étant faites, il n'en reste pas moins que nous pouvons toujours comparer l'humification d'un matériel végétal en présence ou non d'animaux et juger ainsi de l'action possible de ces derniers. Mais, pour estimer le développement de l'humification des matériaux végétaux au cours des expériences, et ceci surtout pour les matériaux végétaux encore plus ou moins verts, nous ne pouvons que comparer les "acides humiques" extraits en fin d'expérience aux "substances préhumiques et humiques" incluses dans le matériel végétal de départ.

EXPRESSION DES RESULTATS

Le mode d'expression des résultats analytiques mérite d'être explicité, de nombreux résultats dans la littérature n'étant souvent contradictoires que par suite d'un mode d'expression différent.

Dans les expériences que nous avons faites, et où il s'agissait essentiellement de suivre les variations des substances humiques (acides humiques et acides fulviques) au cours de l'évolution d'un matériel végétal quantitativement défini, il nous est apparu intéressant d'exprimer les résultats de deux manières différentes.

D'une manière absolue, nous avons exprimé en mg de carbone les substances humiques présentes en début et en fin d'expérience et nous les avons comparées graphiquement entre elles. Il a pu y avoir absence de variation, augmentation ou, au contraire, diminution de ces substances.

D'une manière relative, nous avons aussi représenté graphiquement les pourcentages d'augmentation ou de diminution des substances humiques, mais en tenant compte cette fois de la diminution de poids du matériel végétal au cours de l'expérience. C'est-à-dire qu'on a comparé les substances humiques encore présentes dans le milieu en fin d'expérience à celles existant en début d'expérience, non pas dans la totalité du matériel végétal mais "dans un poids égal à ce qu'il en reste en fin d'expérience".

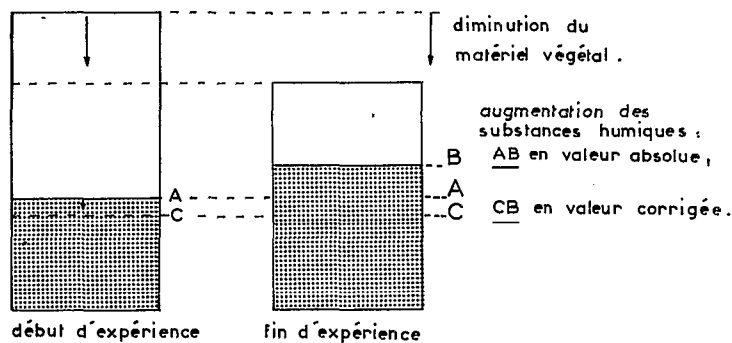
Quand, au cours d'une expérience, un poids de matériel végétal se trouve réduit, on ne peut savoir, *a priori*, si les substances humiques présentes dans le matériel végétal disparu ont été conservées ou au contraire ont été minéralisées.

Si elles ont été minéralisées et qu'on les considère arbitrairement comme conservées (expression absolue des résultats) on fait une erreur par défaut sur l'accroissement des substances humiques au cours de l'expérience, ou inversement une erreur par excès s'il s'agit d'une diminution de ces mêmes substances.

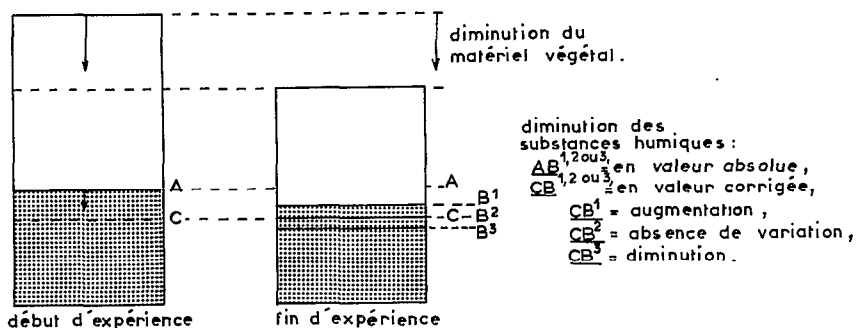
Par contre, si on considère comme entièrement minéralisées les substances humiques de la matière végétale disparue (expression des résultats par rapport à la valeur des substances humiques "dans un poids de matériel végétal de départ identique à celui existant en fin d'expérience") et qu'il n'en soit pas ainsi, on fait une erreur par excès dans l'accroissement des substances humiques au cours de l'expérience, ou inversement une erreur par défaut s'il s'agit d'une diminution de ces mêmes substances.

Dans le cas d'une augmentation des substances humiques au cours de l'expérience, l'expression absolue des résultats exprimera donc un minimum d'augmentation possible et l'expression relative des résultats (telle que nous l'avons définie) un maximum d'augmentation possible (cf. Figure 1, a).

Dans le cas d'une diminution des substances humiques au cours de l'expérience, l'expression absolue des résultats exprimera un maximum de diminution possible et l'expression relative des résultats (telle que nous l'avons définie) un minimum de diminution possible, une absence de variation possible ou même, dans certains cas, un maximum d'augmentation possible, ce dernier restant cependant toujours faible (cf. Figure 1, b).



a/ Augmentation des substances humiques dans le matériel végétal.



b/ Diminution des substances humiques dans le matériel végétal.

. Figure 1 — Expression des résultats

Dans la plupart des graphiques qui illustrent ce travail et en présentent les résultats, nous donnons d'abord en valeur absolue (et en mg de carbone) les teneurs en acides humiques et en acides fulviques dans le matériel de départ et dans les divers échantillons en fin d'expérience, puis, après avoir considéré la perte en poids du matériel végétal étudié, nous donnons pour les acides humiques et les acides fulviques leur pourcentage d'accroissement ou de diminution calculé par rapport à la valeur de ces acides "dans un poids de matériel végétal de départ identique à celui existant en fin d'expérience".

En bas des graphiques, sont donnés les résultats d'électrophorèse des acides humiques et le pourcentage de carbone glucidique présent dans les acides fulviques.

Des trames différentes soulignent dans les graphiques les valeurs respectives des divers échantillons. Par exemple, nous aurons un grisé quand l'action des animaux se sera avérée négative pour les substances humiques et un hachuré oblique et gras quand cette action se sera avérée positive. Les différentes trames utilisées seront précisées pour chaque expérience soit à la présentation des résultats, soit directement sur les figures.

Résultats des diverses expériences

Nous envisagerons successivement chacune des expériences ou séries d'expériences en suivant toujours le même plan, à savoir d'abord un bref rappel des conditions d'expérience, puis la présentation des résultats sous forme de graphiques (ou plus rarement de tableaux), l'interprétation de ces résultats et, pour finir, les conclusions qu'on peut en tirer.

Les conclusions générales feront la synthèse de ces diverses conclusions partielles en s'efforçant d'en dégager l'essentiel.

SÉRIE D'EXPÉRIENCES H 1

Conditions d'expérience

. Matériel végétal et dispositif d'expérience

2 g de litière de pommier récoltée à la fin de l'hiver, broyée entre 0,05 et 2 mm, séchée à 50° et reposant humidifiée sur le fond de plâtre d'une boîte de Pétri. Cette litière à C/N de 21,3 renfermait, exprimés en carbone, 48,5‰ d'acides humiques et 28,4‰ d'acides fulviques dont 30% de nature glucidique (1). Son pH a varié de pH 5,3 à pH 6 en 1 mois 1/2 (cf. Figure 20, annexe 1).

. Variables

— addition ou non d'animaux : Enchytréides, *Tullbergia krausbaueri* (Collembole), *Porcellio scaber* et *P. laevis*, *Armadillidium nasutum*, *Armadillidium vulgare* (Isopodes), *Polydesmus angustus* (Myriapode).

— températures de 7°, 17°, 25° et 30° en laboratoire, et voisine d'une moyenne de 7° sur le terrain.

— humidité continue.

(1) Après huit mois de conservation à 25° et à l'humidité de l'air ambiant du laboratoire, cette même litière ne renfermait plus que 36,2‰ de C acides humiques et 22,2‰ de C acides fulviques, dont toujours 30% étaient de nature glucidique.

. Durée

avec les divers cloportes : 1 mois
avec les enchytréides..... : 2 mois et 10 jours
avec *Polydesmus angustus*... : 2 mois et 15 jours
avec *Tullbergia krausbaueri* : 3 mois

. Analyses

sur échantillons broyés au sable.

Présentation des résultats

Les figures 2 à 7 rassemblent les résultats de cette série d'expériences.

Interprétation des divers graphiques (cf. Figures 2 à 7)

1 - La diminution du poids de la litière s'est accrue en passant de 7° à 25° et a atteint pour cette dernière température 25% à 30% en un mois. Cette diminution de poids ne s'est poursuivie ensuite que très lentement et les expériences ayant duré deux et trois mois n'ont pas offert de pertes de litière beaucoup plus élevées. De 25° à 30°, l'activité biologique peut continuer à s'accroître, à plafonner ou, au contraire, à rétrograder, en fonction des déséquilibres qui s'y instaurent.

2 - En valeur absolue, il a partout été constaté une diminution des acides humiques et des acides fulviques, diminution d'autant plus forte que la litière a évolué à une température plus élevée et a donc été plus minéralisée.

3 - En valeur relative, et par rapport aux valeurs en substances humiques d'un poids de matériel végétal de départ égal à celui demeurant en fin d'expérience, ces diminutions sont partout confirmées. Les quelques petites exceptions constatées (comme par exemple dans l'expérimentation avec *A. nasutum*) l'ont toujours été dans les échantillons témoins et non dans ceux avec animaux.

4 - Cette diminution des acides humiques et des acides fulviques a toujours été très faible dans les boîtes de terrain et a correspondu alors approximativement aux boîtes conservées en laboratoire à 7°.

5 - Concernant l'action de la faune, aucun des animaux avec lesquels nous avons travaillé n'a favorisé les processus d'humification, mais certains ont freiné les processus de déshumification ; d'autres au contraire les ont accélérés.

Paraissent avoir freiné les processus de déshumification : *Polydesmus angustus*.

Ont accéléré les processus de déshumification les divers cloportes : *P. scaber*, *P. laevis*, *A. nasutum* (très petite exception à 7° et sur le terrain pour les acides humiques), *A. vulgare* (petite exception à 25°). Les ont aussi accélérés les Enchytréides.

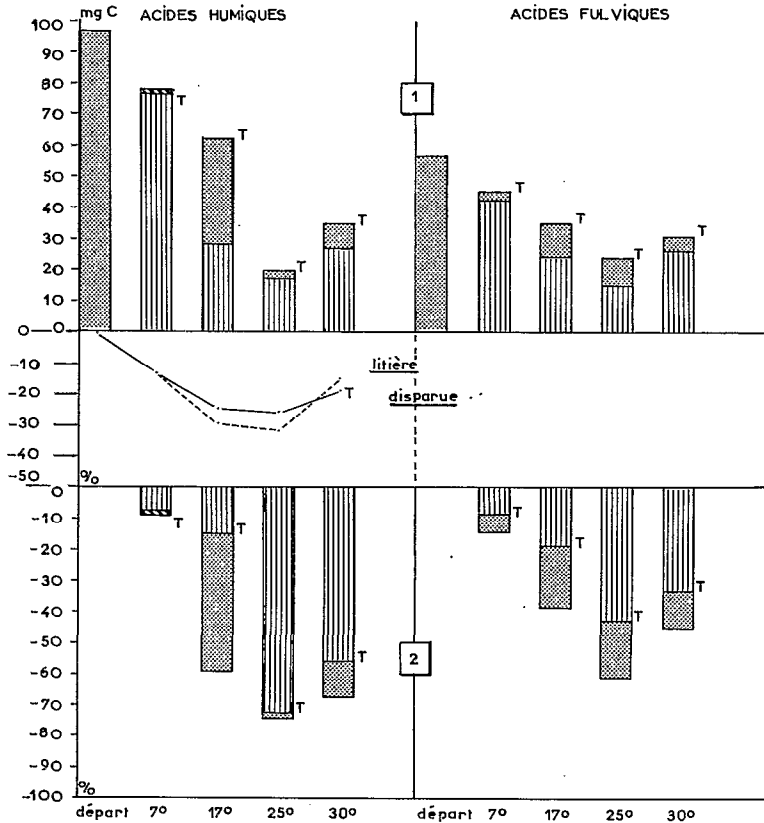
A eu une action négative ou insignifiante le Collembole *Tullbergia krausbaueri*.

6 - Qualitativement, d'après les électrophorèses des acides humiques, les divers animaux ne paraissent pas avoir modifié sensiblement la nature des acides humiques, à l'exception peut-être des Enchytréides et des *Porcellio*, dont la présence dans les boîtes à 7°, 17° et 25° semble avoir favorisé l'évolution des acides humiques vers les acides bruns.

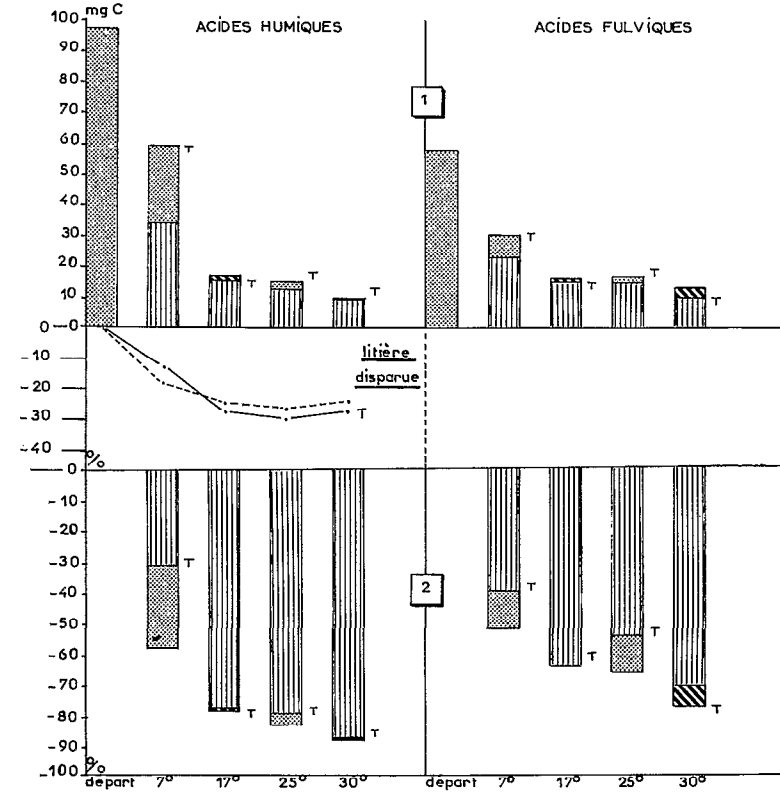
7 - Le rapport $\frac{C \text{ glucides}}{C \text{ ac. fulviques}} \times 100$, égal à 29,5 dans la litière de départ, tend généralement à se maintenir ou à diminuer au cours des expériences. Ce rapport n'augmente que rarement (cas des échantillons de terrain) et sa variation, quel qu'en soit le sens, ne dépasse qu'exceptionnellement 30%.

Polydesmus angustus et *A. nasutum* seuls semblent dans nos expériences avoir légèrement favorisé la richesse en glucides des acides fulviques par rapport aux témoins.

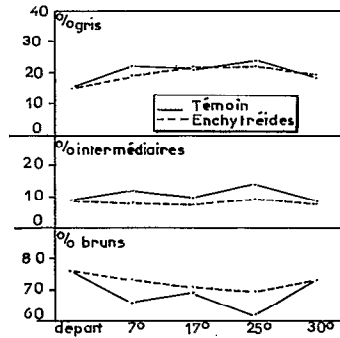
Variation des acides humiques et fulviques 1/ en valeur absolue et 2/ par rapport à la valeur de ces acides dans un poids de matériel végétal de départ identique à celui existant en fin d'expérience.



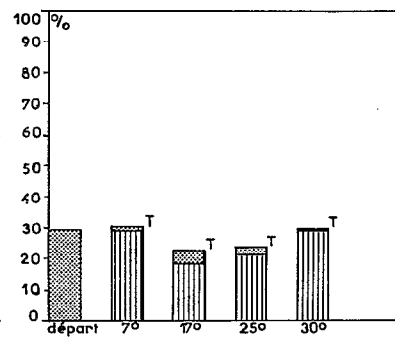
Variation des acides humiques et fulviques 1/ en valeur absolue et 2/ par rapport à la valeur de ces acides dans un poids de matériel végétal de départ identique à celui existant en fin d'expérience.



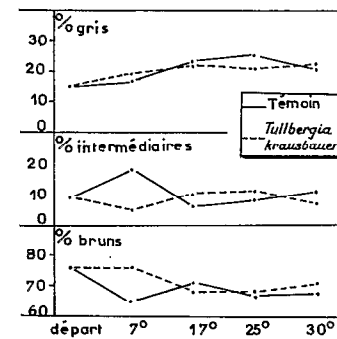
Composition des acides humiques



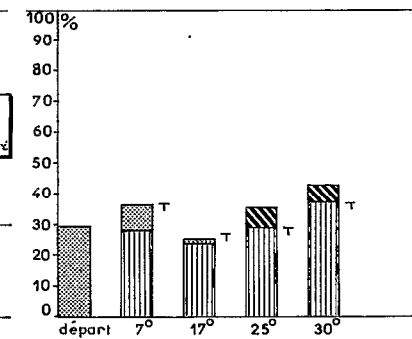
C glucidique dans les acides fulviques



Composition des acides humiques



C glucidique dans les acides fulviques

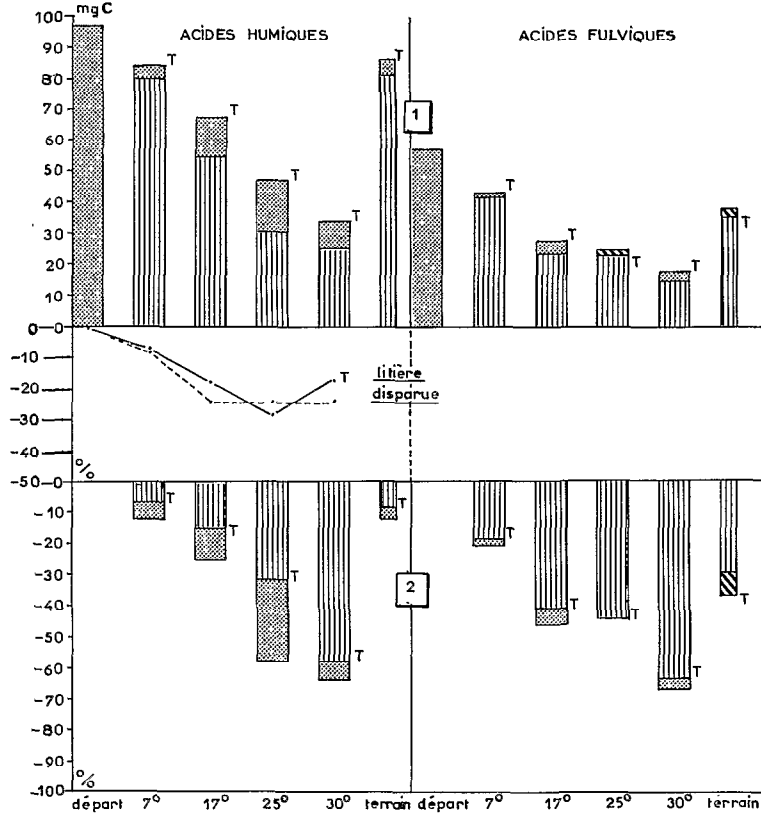


. Figures 2 et 3 - Evolution des substances humiques dans une litière de pommier (2g) soumise, sous humidité permanente, à des températures différentes.

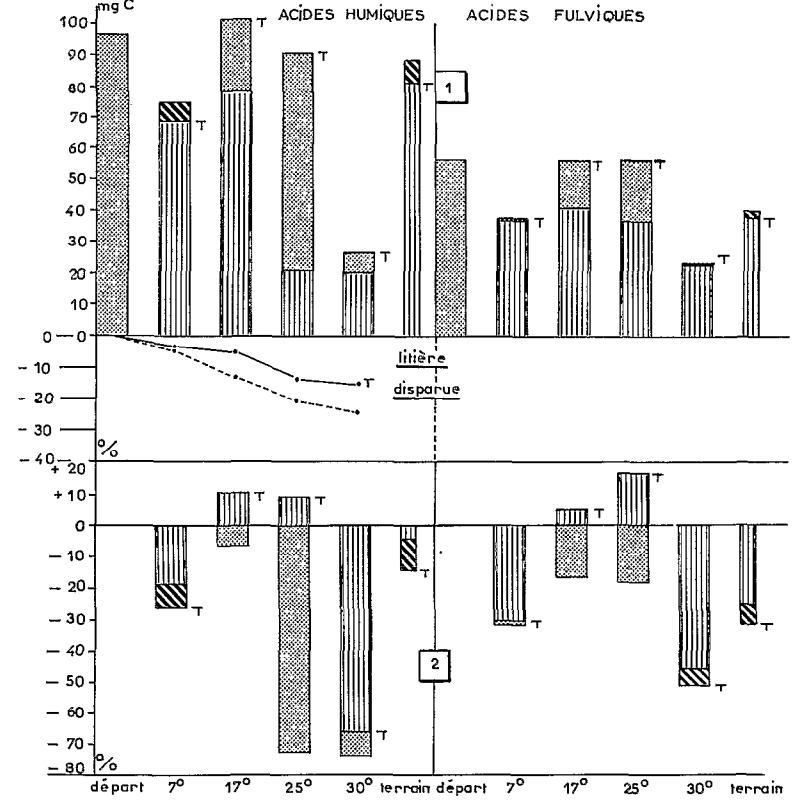
. Figure 2 : en présence ou non (T) d'Enchytraeides

. Figure 3 : en présence ou non (T) de *Tullbergia krausbaueri* (Collembole).

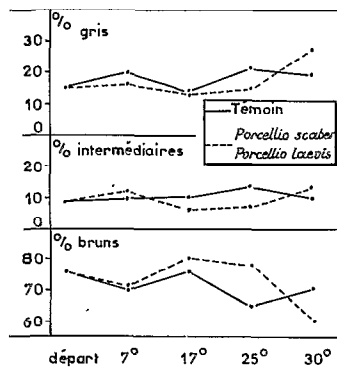
Variation des acides humiques et fulviques 1/ en valeur absolue et 2/ par rapport à la valeur de ces acides dans un poids de matériel végétal de départ identique à celui existant en fin d'expérience.



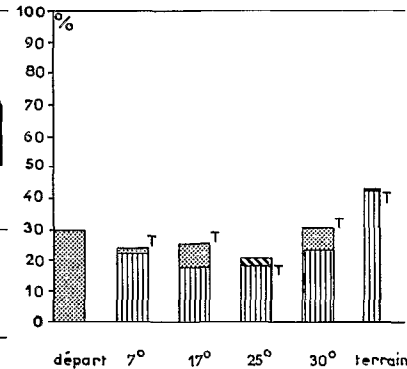
Variation des acides humiques et fulviques 1/ en valeur absolue et 2/ par rapport à la valeur de ces acides dans un poids de matériel végétal de départ identique à celui existant en fin d'expérience.



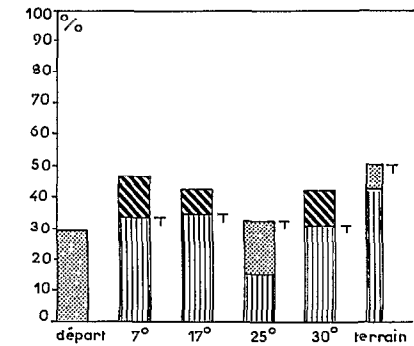
Composition des acides humiques



C glucidique dans les acides fulviques

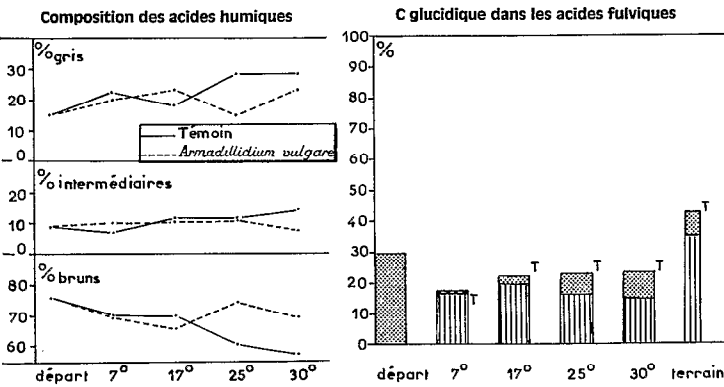
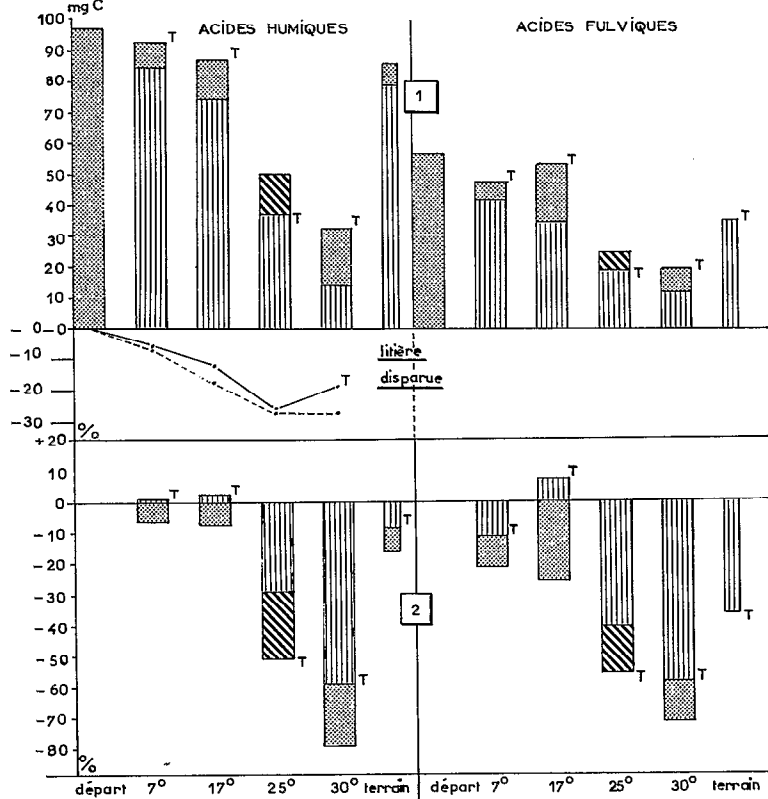


C glucidique dans les acides fulviques

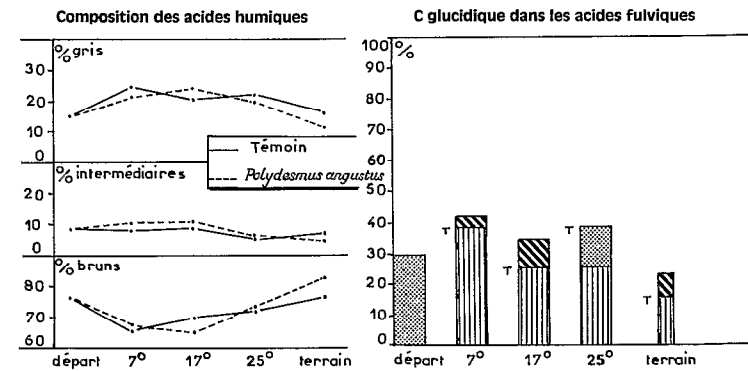
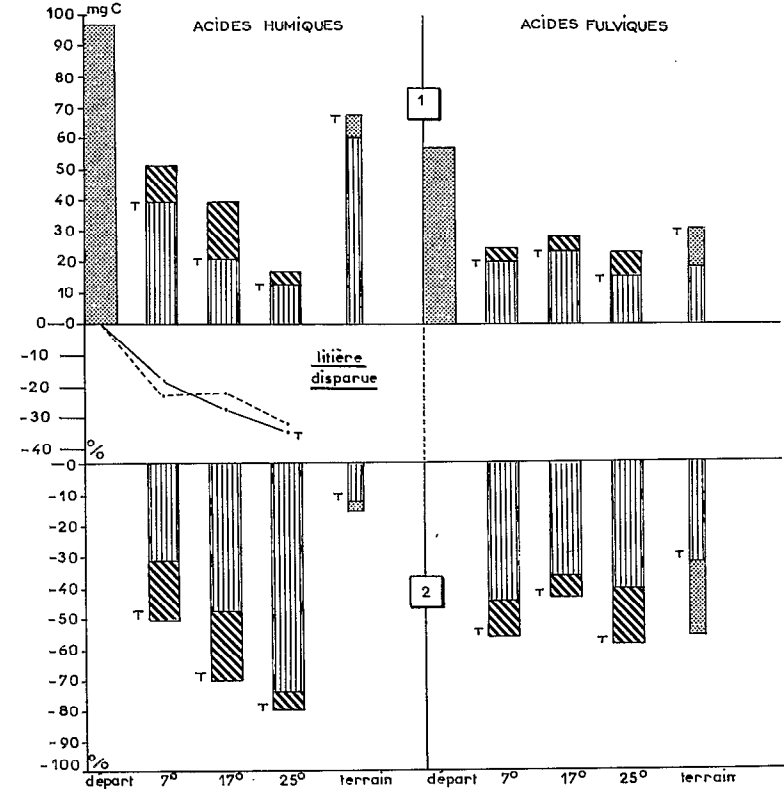


. Figures 4 et 5 - Evolution des substances humiques dans une litière de pommier (2g) soumise, sous humidité permanente, à des températures différentes.
 . Figure 4 : en présence ou non (T) de l'association *Porcellio scaber*-*Porcellio laevis* (Isopodes)
 . Figure 5 : en présence ou non (T) d'*Armadillidium nasutum* (Isopode).

Variation des acides humiques et fulviques 1/ en valeur absolue et 2/ par rapport à la valeur de ces acides dans un poids de matériel végétal de départ identique à celui existant en fin d'expérience.



Variation des acides humiques et fulviques 1/ en valeur absolue et 2/ par rapport à la valeur de ces acides dans un poids de matériel végétal de départ identique à celui existant en fin d'expérience.



. Figures 6 et 7 - Evolution des substances humiques dans une litière de pommier (2g) soumise, sous humidité permanente, à des températures différentes.
 . Figure 6 : en présence ou non (T) d'Armadillidium vulgare (Isopode) . Figure 7 : en présence ou non (T) de Polydesmus angustus (Diplopede).

Conclusions

La litière de pommier, récoltée à la fin de l'hiver et donc déjà très fortement humifiée, a vu dans toutes nos expériences, tant en valeur absolue qu'en valeur relative et corrigée, ses teneurs en acides humiques et acides fulviques diminuer. Les divers cloportes et Enchytréides utilisés n'ont fait qu'accélérer cette déshumification. Seul *Polydesmus angustus* (Myriapode) paraît l'avoir ralentie.

L'humification des matériaux végétaux feuillus s'effectue à l'intérieur des feuilles dès leur jaunissement et leur chute. Elle se développe pendant la saison automnale. Les gels de l'hiver, en créant des conditions de pseudo-dessiccation, favorisent "l'hétéropolycondensation" des substances humiques ou préhumiques. Le début du printemps voit la fin de l'humification des litières et l'accélération de leur lessivage.

Dans cette optique, et d'après nos résultats expérimentaux, il apparaît que la faune des Microarthropodes et des Enchytréides qui fragmente cette litière humifiée, ne peut qu'en faciliter la "digestion" par le sol sans en accroître davantage les substances humiques, ni en valeur absolue, ni en valeur relative et corrigée. Ces substances humiques iront au contraire toujours en diminuant mais, rendues plus accessibles, elles seront alors dans la nature plus facilement entraînées par les eaux de pluie et plus ou moins temporairement retenues par les colloïdes argileux.

Cette libération favorisée des substances humiques par la faune peut parfois s'accompagner d'un accroissement relatif des acides humiques bruns aux dépens des autres formes d'acides humiques.

SÉRIE D'EXPÉRIENCES H2

Conditions d'expérience

. Matériel végétal et dispositif d'expérience

2 g de litière de pommier, la même que celle utilisée pour la série d'expérience H 1, mais cette fois placée dans un petit cristalliseur renfermant un coton humide ne touchant pas à la litière de pommier qui reste donc sèche.

. Variables

— addition ou non d'*Armadillidium nasutum* (Isopode) ou de *Polydesmus angustus* (Myriapode).

— températures de 7°, 17° et 25-28°.

— sécheresse continue.

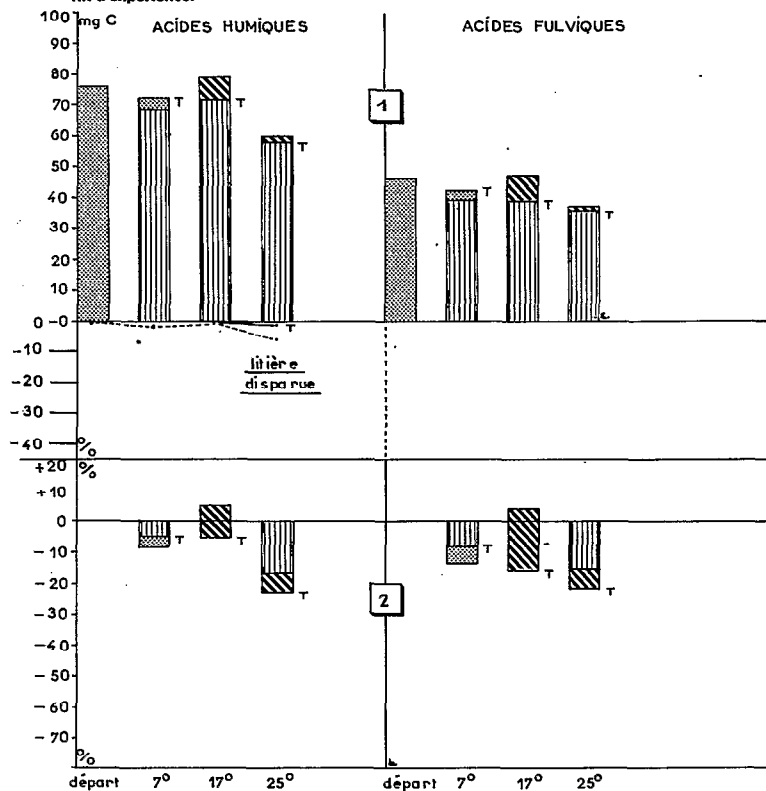
. Durée : 3 mois.

. Analyse : sur échantillons broyés au sable.

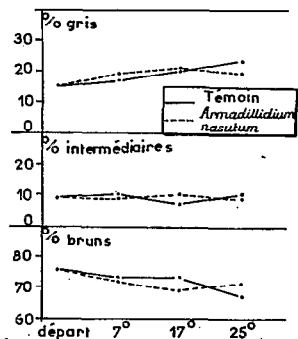
Présentation des résultats

Les figures 8 et 9 rassemblent les résultats de cette série d'expériences.

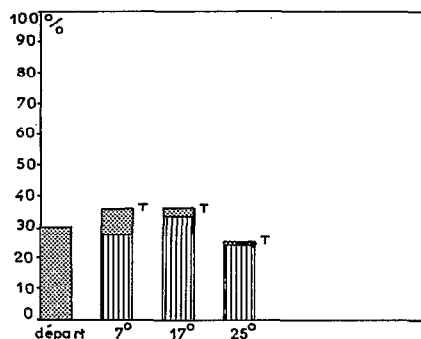
Variation des acides humiques et fulviques 1/ en valeur absolue et 2/ par rapport à la valeur de ces acides dans un poids de matériel végétal de départ identique à celui existant en fin d'expérience.



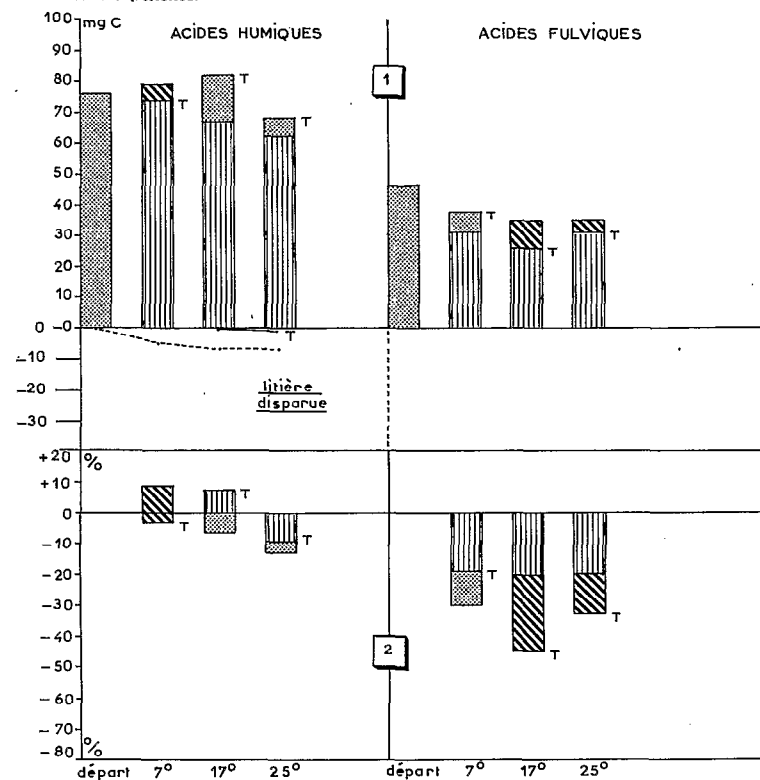
Composition des acides humiques



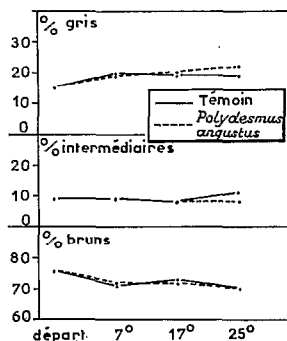
C glucidique dans les acides fulviques



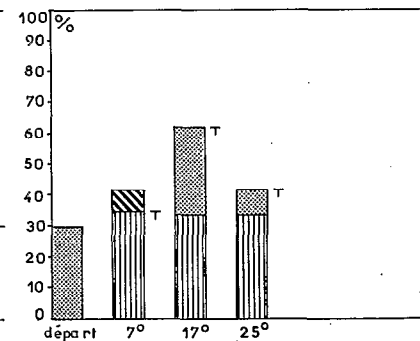
Variation des acides humiques et fulviques 1/ en valeur absolue et 2/ par rapport à la valeur de ces acides dans un poids de matériel végétal de départ identique à celui existant en fin d'expérience.



Composition des acides humiques



C glucidique dans les acides fulviques



Figures 8 et 9 — Evolution des substances humiques dans une litière de pommier (2 g) soumise, sous humidité permanente, à des températures différentes.
 Figure 8 : en présence ou non (T) d'*Armadillidium nasutum* (Isopode).
 Figure 9 : en présence ou non (T) de *Polydesmus angustus* (Diplopode).

Interprétation des graphiques

1 - La diminution en 3 mois du poids de la litière sèche, sous la seule action de la microflore, a été insignifiante et n'a été en fait observée qu'à 25°, ce qui va d'ailleurs dans le sens de l'observation précédemment faite d'une déshumification partielle de cette même litière conservée à sec 8 mois en laboratoire et à cette même température de 25° (cf. note en bas de page 21).

Seuls les animaux utilisés ont participé, bien que faiblement cependant, à la dégradation et à la perte de poids des litières : 6% de perte en 3 mois à 25° contre 1% pour le témoin.

2 - Compte tenu de la multiplicité et de la variabilité possible des facteurs biotiques et abiotiques présents dans ce genre d'expérience, et donc de la marge d'imprécision dont il faut nécessairement tenir compte dans les résultats, il apparaît que les acides humiques ont seulement diminué à 25-28°, conjointement à la réduction de poids de la litière. Ceci, tant en valeur absolue qu'en valeur relative et par rapport aux valeurs en substances humiques d'un poids de matériel de départ égal à celui demeurant en fin d'expérience. Les acides fulviques, aux composants dans leur ensemble plus labiles, ont diminué aux diverses températures de l'expérience.

3 - Concernant l'action possible de la faune, *Armadillidium nasutum* et *Polydesmus angustus* paraissent, bien que faiblement, avoir plus freiné la diminution des acides fulviques que celle des acides humiques.

4 - Sur le plan qualitatif, les électrophorèses des acides humiques et l'analyse du rapport $\frac{C \text{ glucides}}{C \text{ ac. fulviques}} \times 100$ ne mettent pas en évidence de différences notables entre les divers échantillons.

Conclusions

La litière de pommier, récoltée humifiée à la fin de l'hiver et broyée, subit à partir de 25°, même conservée à sec, une déshumification naturelle.

Il apparaît que la faune des Microarthropodes ne freine pas plus la déshumification de la litière de pommier conservée à l'état sec qu'elle ne freine celle de cette même litière maintenue à l'état humide. La seule différence entre ces deux évolutions, en dehors évidemment de l'aspect quantitatif du phénomène, est peut-être à l'état sec une très légère libération d'acides fulviques dans les excréments de la faune ; libération qui ne compense cependant pas la diminution par voie bactérienne de ces mêmes acides, comparaison faite avec le matériel végétal de départ.

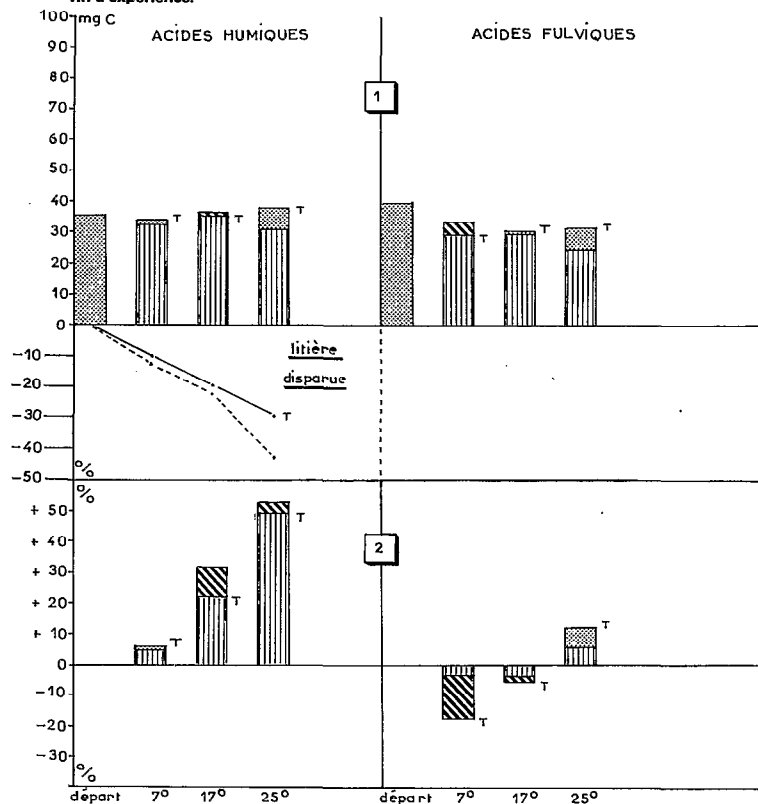
SÉRIE D'EXPÉRIENCES H3

Conditions d'expérience

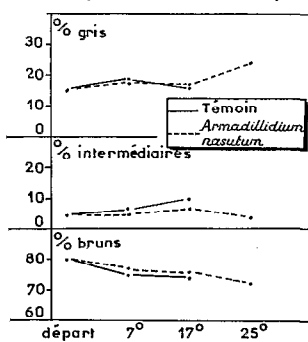
Matériel végétal et dispositif d'expérience

2 g de foin, broyé entre 0,05 et 2 mm, séché à 50°, et reposant humidifié sur le fond de plâtre d'une boîte de Pétri. Ce foin à C/N de 44,7 renfermait, exprimés en carbone, 8,90% d'acides humiques et 9,86% d'acides fulviques dont 40,4% de nature glucidique. Son pH primitivement de 5,4 est tombé à 4,6 en une semaine, puis s'est maintenu ensuite à cette valeur pendant un mois 1/2 (cf. figure 20, annexe 1).

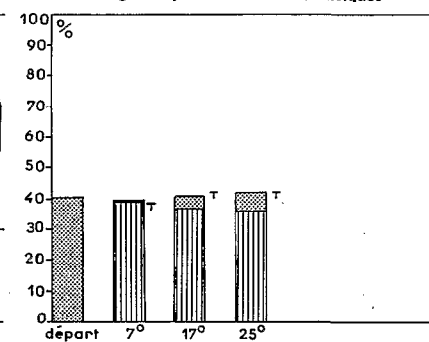
Variation des acides humiques et fulviques 1/ en valeur absolue et 2/ par rapport à la valeur de ces acides dans un poids de matériel végétal de départ identique à celui existant en fin d'expérience.



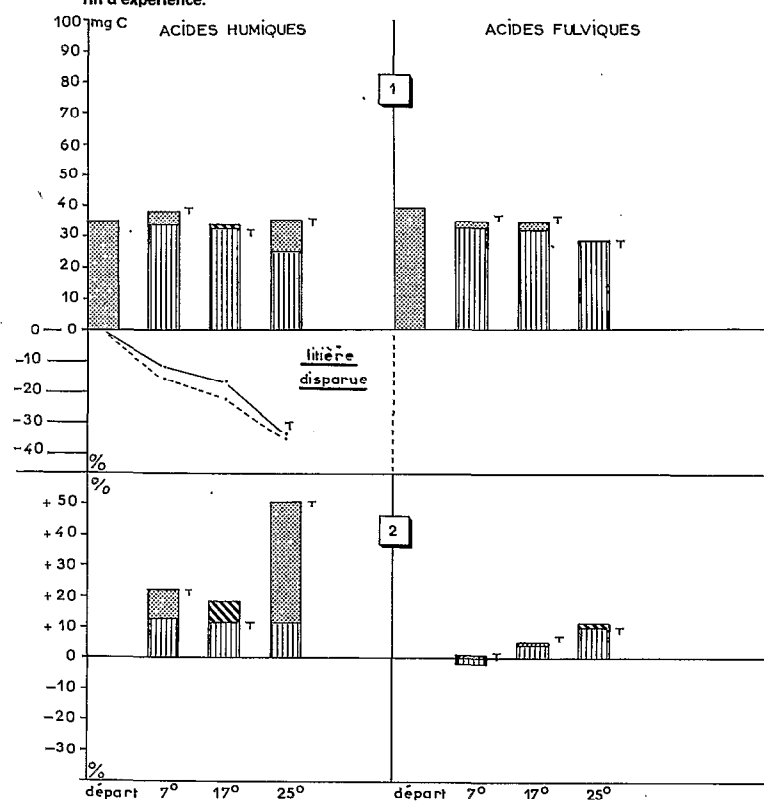
Composition des acides humiques



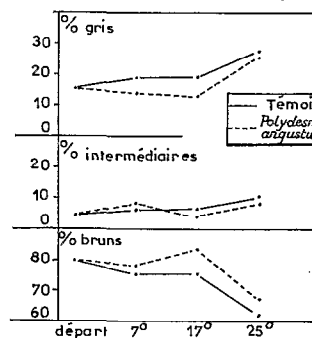
C glucidique dans les acides fulviques



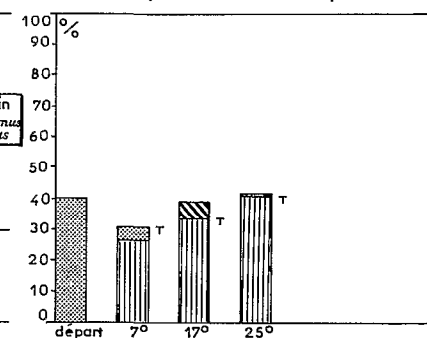
Variation des acides humiques et fulviques 1/ en valeur absolue et 2/ par rapport à la valeur de ces acides dans un poids de matériel végétal de départ identique à celui existant en fin d'expérience.



Composition des acides humiques



C glucidique dans les acides fulviques



Figures 10 et 11 — Evolution des substances humiques dans une litière de foin (4 g) soumise, sous humidité permanente, à des températures différentes.

Figure 10 : en présence ou non (T) d'Armadillidium nasutum (Isopode).

Figure 11 : en présence ou non (T) de Polydesmus angustus (Diplopede).

. Variables

— addition ou non d'animaux : *Armadillidium nasutum* (Isopode), *Polydesmus angustus* (Myriapode).

— températures de 7°, 17° et 25-28°.

— humidité constante.

. Durée : 1 mois 1/2

. Analyse : sur échantillons broyés au sable.

Présentation des résultats

Les figures 10 et 11 rassemblent les résultats de cette série d'expériences.

Interprétation des graphiques

1 - La perte de litière végétale au cours de l'expérience a été, comme on pouvait s'y attendre, plus élevée que celle de la litière de pommier humifiée. Augmentant régulièrement avec la température, cette perte à 25-28° a atteint 30-34% dans le témoin, 35% dans les boîtes à *P. angustus* et 33% dans les boîtes à *A. nasutum*.

La présence des animaux, aux diverses températures, a accru la perte de poids de la litière.

2 - Aussi bien à 7° qu'à 17° et 25-28°, les acides humiques en valeur absolue n'ont pratiquement pas varié et les acides fulviques n'ont que légèrement diminué.

3 - Ce qui fait qu'en valeur relative et par rapport aux valeurs en substances humiques d'un poids de matériel végétal de départ égal à celui demeurant en fin d'expérience, on peut constater avec l'élévation de la température une augmentation des acides humiques et même, aux températures les plus élevées, une légère augmentation des acides fulviques.

4 - Concernant l'action de la faune, *Armadillidium nasutum* et *Polydesmus angustus*, ne semblent pas avoir eu d'influence sur l'humification du foin humide (peut-être cependant *A. nasutum* l'a-t-il légèrement favorisée) mais ils paraissent, notamment *P. angustus*, avoir favorisé l'évolution des acides humiques en acides humiques bruns.

5 - Qualitativement, il semble qu'avec la température croissante et la plus forte humification qui l'accompagne, la proportion d'acides humiques gris a augmenté aux dépens des acides humiques bruns. Le rapport $\frac{C \text{ glucides}}{C \text{ ac. fulviques}} \times 100$, tout en demeurant voisin de sa valeur de départ, a crû aussi très légèrement avec la température.

Conclusions

Le foin, qui est un matériel encore vert, bien moins riche en substances humiques que la litière de pommier d'hiver (2), a subi, surtout à 17° et plus encore à 25-28°, une humification qui, compensant la minéralisation du matériel végétal, a maintenu à peu près constante la quantité totale d'acides humiques et a donc donné un produit évolué relativement beaucoup plus humifié. Dans ce matériel, semble-t-il, la proportion d'acides humiques gris s'est légèrement accrue aux dépens des acides humiques bruns et les acides fulviques s'y avèrent faiblement plus glucidiques.

Les Microarthropodes introduits dans l'expérience ont favorisé la minéralisation de la litière ; mais, par rapport aux témoins, ne paraissent pas avoir eu d'influence notable sur l'importance de l'humification. Ils semblent toutefois, toujours par rapport aux témoins, avoir favorisé dans les acides humiques la proportion d'acides humiques bruns.

(2) 8,90‰ de C acides humiques dans le foin contre 48,5‰ dans la litière de pommier et 9,86‰ de C acides fulviques à 40,5% de glucides contre 28,4‰ de C acides fulviques à 30,5% de glucides.

SÉRIE D'EXPÉRIENCES H 4

La série d'expériences H 4 a été faite en deux temps :

Dans un premier temps (expérience H4-1), des feuilles vertes de lierre ou de ronce, dans des conditions contrôlées, ont été ingérées pendant un mois par des phasmes : *Carausius morosus* pour les feuilles de lierre et *Medaura brunneri* pour les feuilles de ronce (3).

Ce qui a donné les deux bilans pondéraux suivants :

. Lierre : 199 g feuilles humides (= 62 g feuilles sèches à 50°)

$$\begin{array}{r}
 199,0 \text{ g feuilles} \left\{ \begin{array}{l} + 12,88 \text{ g d'œufs} \\ + 37,42 \text{ g d'excréments} \end{array} \right\} 50,3 \text{ g} \\
 \hline
 - 161,5 \text{ g} \qquad \qquad \qquad 161,50 \text{ g} \\
 \hline
 37,5 \text{ g} \text{ ---}(28,5\%) \longrightarrow 10,7 \text{ g de phasmes en plus en fin d'expérience}
 \end{array}$$

. Ronce : 242 g feuilles humides (= 91,6 g feuilles sèches à 50°)

$$\begin{array}{r}
 242 \text{ g feuilles} \left\{ \begin{array}{l} + 2,22 \text{ g d'œufs} \\ + 50,38 \text{ g d'excréments} \end{array} \right\} 52,6 \text{ g} \\
 \hline
 - 139 \text{ g} \qquad \qquad \qquad 139,00 \text{ g} \\
 \hline
 103 \text{ g} \text{ ---}(31,16\%) \longrightarrow 32,1 \text{ g de phasmes en plus en fin d'expérience}
 \end{array}$$

Pour l'analyse, les feuilles ont été soit fragmentées à la main, soit broyées à 2 mm ou broyées au sable ; les excréments ont été laissés tels quels, ou ont été broyés au sable.

Présentation des résultats

Les résultats d'analyse correspondant à ce premier temps d'expérience sont regroupés sur la figure 12.

Compte tenu des réserves précédemment faites sur la nature humique des substances qu'on isole des matériaux végétaux encore plus ou moins verts (cf. chap. II, par. 2), nous avons préféré qualifier ici ces substances d'"acides préhumiques et humiques".

(3) Les feuilles de lierre à C/N de 15 (feuilles âgées) à 16,5 (feuilles jeunes) renfermaient, exprimés en carbone, 33% de substances préhumiques ou humiques et 82% d'acides fulviques, dont 45% de nature glucidique. Leur pH est devenu rapidement basique. Les feuilles de ronce à C/N de 15,8 renfermaient, exprimés en carbone, 16% de substances préhumiques ou humiques et 58,5% d'acides fulviques, dont 52,6% de nature glucidique. Leur pH s'est maintenu très légèrement acide.

Variation des acides humiques et fulviques 1/ en valeur absolue et 2/ par rapport à la valeur de ces acides dans un poids de matériel végétal de départ identique à celui existant en fin d'expérience.

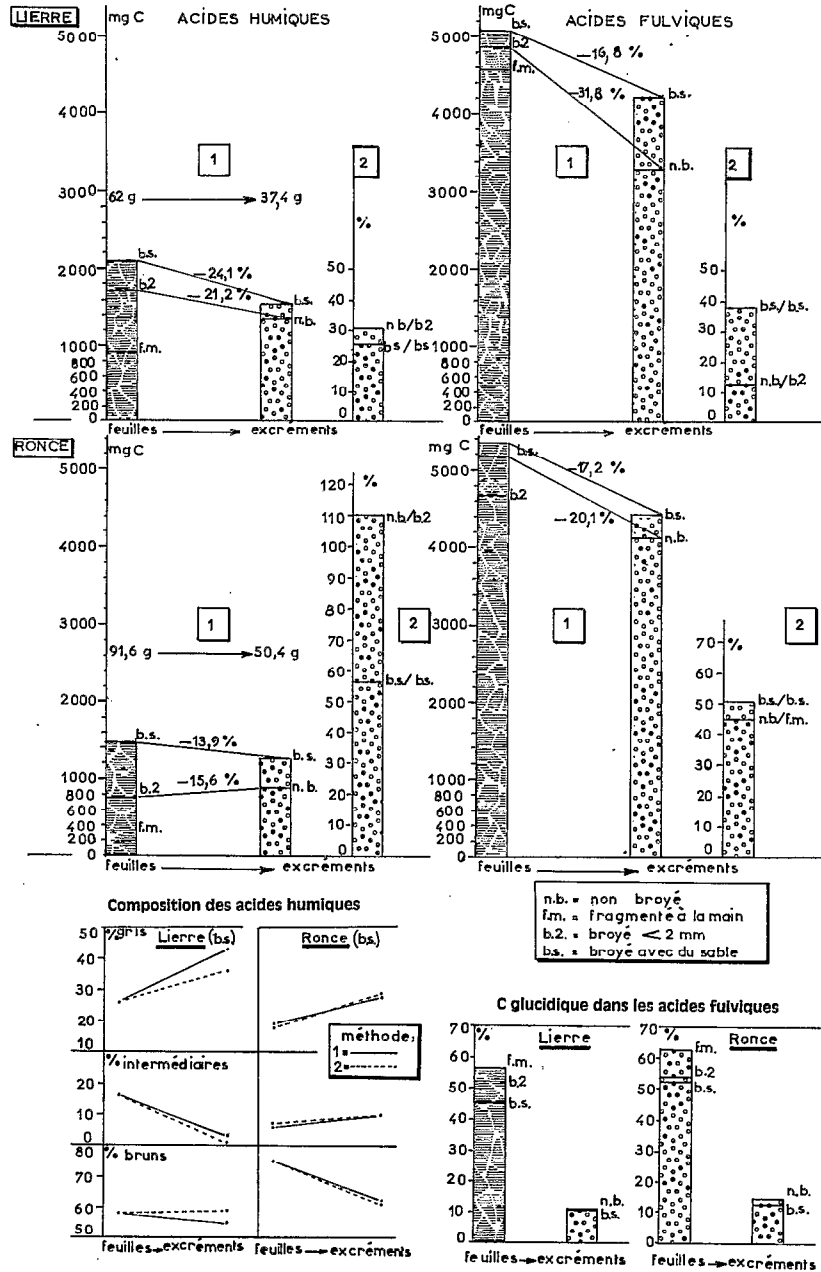


Figure 12 — Bilan de l'ingestion de feuilles de lierre et de ronce par des phasmes et comparaison des substances préhumiques et humiques incluses dans les feuilles ingérées et les excréments correspondants.

Interprétation des divers graphiques

Aussi bien pour le lierre que pour la ronce, les acides préhumiques ou humiques et les acides fulviques sont, en valeur absolue, moins importants dans les excréments des phasmes que dans le total des feuilles ingérées. Mais, compte tenu de la diminution de poids de ces feuilles au cours de la digestion des animaux, les excréments s'avèrent en fait à poids égal plus humiques que les feuilles dont ils sont issus.

Pour le lierre, 62 g de feuilles ont donné 37,4 g d'excréments avec une diminution en valeur absolue de 24,1% des acides préhumiques ou humiques et de 16,8% des acides fulviques. Toutefois, les excréments, par rapport à un égal poids de feuilles, renfermaient 25,7% de plus d'acides préhumiques ou humiques et 37,9% de plus d'acides fulviques.

Pour la ronce, 91,6 g de feuilles ont donné 50,4 g d'excréments avec une diminution en valeur absolue de 13,9% des acides préhumiques ou humiques et de 17,2% des acides fulviques. Toutefois, les excréments, par rapport à un égal poids de feuilles, renfermaient 56,6% de plus d'acides préhumiques ou humiques et 50,6% de plus d'acides fulviques.

Le fait que, à poids égal, les excréments non broyés par rapport aux feuilles broyées à 2 mm (nb/b2) renferment un pourcentage plus élevé d'acides préhumiques ou humiques que les excréments broyés au sable par rapport aux feuilles broyées au sable (bs/bs), montre que les phasmes en fragmentant les feuilles facilitent la libération des substances préhumiques incluses dans les tissus végétaux.

Qualitativement, la fragmentation des feuilles de lierre ou de ronce et leur passage à travers le tube digestif des phasmes diminuent fortement le pourcentage des glucides dans les acides fulviques et accroît le pourcentage des acides humiques gris aux dépens des autres acides humiques (acides humiques intermédiaires pour le lierre ou acides humiques bruns pour la ronce). Il y a eu consommation de substances énergétiques facilement assimilables (glucides) et formation ou simple libération de substances préhumiques.

Dans un second temps (expérience H4-2) ont été suivies, pendant 40 jours, à 25°, l'évolution des divers excréments et l'évolution d'un même poids de feuilles fragmentées à la main (f.m.) ou broyées mécaniquement à moins de 2 mm (b.2.). Ceci, en régime de sécheresse continue (S.), en régime d'humidité continue (H.) ou en régime d'humidité et sécheresse alternées, avec deux jours de dessiccation par semaine (A.).

Les échantillons, à l'exception de ceux soumis au régime de sécheresse continue, reposaient sur de la laine de verre humide dans de petits cristallisoirs coiffés d'un couvercle en verre.

En fin d'expérience, en dehors d'une partie des échantillons soumis au régime de sécheresse continue, tous les échantillons ont été directement analysés sans broyage.

Présentation des résultats

Les résultats d'analyse correspondant aux expériences H4-2 sont regroupés sur les Figures 13 et 14.

L'évolution du pH des feuilles et des excréments de phasmes en régime d'humidité continue est donnée dans la Figure 20 (annexe 1).

Variation des acides humiques et fulviques 1/ en valeur absolue et 2/ par rapport à la valeur de ces acides dans un poids de matériel végétal de départ identique à celui existant en fin d'expérience. [2a. matériel végétal fragmenté à la main ou broyé < 2 mm, 2b matériel végétal broyé au sable.]

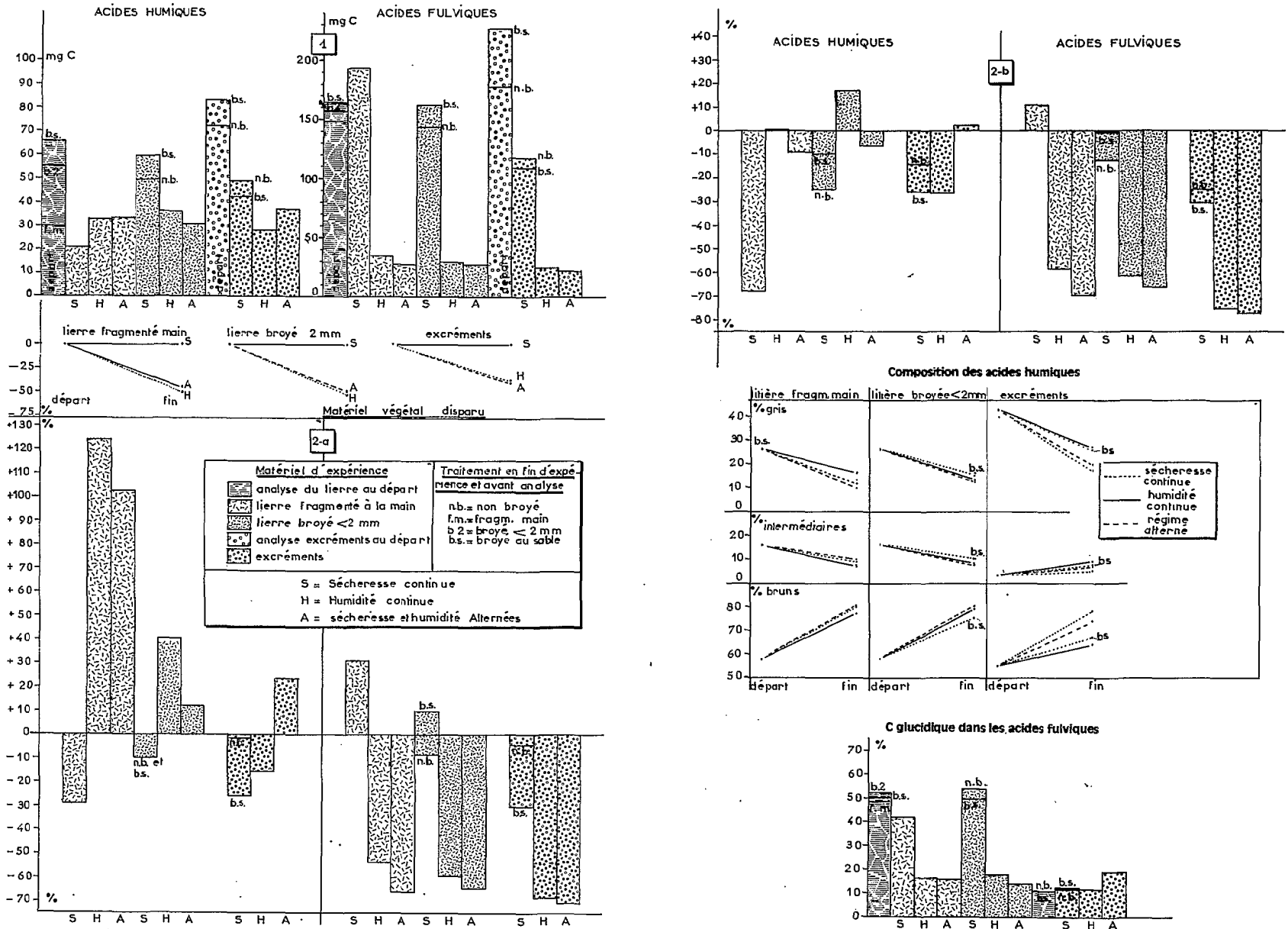


Figure 13 - Evolution à 17° des substances humiques dans des feuilles de lierre (2g) et des excréments de *Carausius morosus* (Phasmoptère) (2g avec les œufs, soit sans les œufs 1,386 g pour les échantillons soumis au régime S et 1,489 g pour les échantillons soumis aux régimes H et A). Influence du régime hydrique et du broyage.

Interprétation des divers graphiques

Les feuilles de lierre (fragmentées ou broyées à moins de 2 mm) et les excréments de *Carausius morosus* conservés à sec n'ont pas varié de poids au cours des 40 jours d'expérience, mais se sont fortement réduits en régime d'humidité ou en régime d'humidité et sécheresse alternées : d'environ 50% pour les feuilles de lierre et d'environ 37% pour les excréments.

Les acides humiques et fulviques en valeur absolue se sont conservés à sec dans les feuilles, mais non dans les excréments. Ils ont diminué dans les deux matériaux en régime d'humidité et en régime à dessiccation périodique.

Par rapport à un poids égal de matériel de départ (préparé pour analyse de façon identique) (cf. figure 13, 2-a) les feuilles fragmentées à la main en fin d'expérience renferment 100% à 120% d'acides humiques en plus et les feuilles broyées à moins de 2 mm, 10% à 40% en plus, les valeurs les plus faibles correspondant au régime à dessiccation périodique et les valeurs les plus fortes au régime d'humidité continue.

Les excréments ne sont légèrement plus riches en matières humiques qu'après le régime à dessiccation périodique. Les acides fulviques sont partout inférieurs, sauf pour les feuilles fragmentées et conservées à sec.

Toutefois, si l'on compare les teneurs en acides humiques des feuilles et des excréments en fin d'expérience, non plus à un même poids de matériel de départ fragmenté à la main ou broyé à moins de 2 mm, mais à un même poids de ce matériel broyé au sable (figure 13, 2-b), on voit que l'enrichissement relatif en acides humiques de ces matériaux disparaît. Cet enrichissement en acides humiques correspond donc, vraisemblablement plus à une libération des acides inclus dans les tissus végétaux qu'à une synthèse biochimique.

Si au cours des 40 jours d'expérience les feuilles de lierre et les excréments de *Carausius morosus* ne se sont pas enrichis en acides humiques, toutes les électrophorèses montrent par contre que ces acides ont évolué et que des acides humiques bruns se sont formés aux dépens des acides humiques gris.

Par ailleurs, en régime d'humidité continue ou en régime à dessiccation périodique, les glucides ont diminué dans les acides fulviques des feuilles mais n'ont pas varié, ou se sont même légèrement accrus, dans les acides fulviques des excréments.

Les feuilles de ronce et les excréments de *Medaura brunneri* conservés à sec n'ont, pas plus que les feuilles de lierre et les excréments de *C. morosus*, varié de poids au cours des 40 jours d'expérience, mais, comme eux, se sont aussi fortement réduits en régime d'humidité continue et en régime à dessiccation périodique : d'environ 50% pour les feuilles de ronce et d'environ 31% pour les excréments.

Les acides humiques et les acides fulviques en valeur absolue se sont conservés à sec dans les feuilles mais, contrairement à ce qui a été observé avec les feuilles de lierre, les acides humiques ont légèrement augmenté au cours de l'expérience dans les feuilles de ronce maintenues en régime d'humidité continue ou alternée ; les acides humiques se sont de même conservés dans les excréments. Les acides fulviques ont par contre, là aussi, généralement diminué (exception faite pour les feuilles de ronce broyées à 2 mm).

Par rapport à un poids égal de matériel de départ (préparé pour analyse de façon identique), les feuilles fragmentées à la main en fin d'expérience (cf. figure 14, 2-a) renferment 1 000% de plus d'acides humiques après le régime d'humidité continue et environ 900% de plus après le régime à dessiccation périodique. Les feuilles broyées à 2 mm en renferment 400% de plus après le régime d'humidité continue et 250% de plus après le régime à dessiccation périodique. Les excréments ne sont légèrement plus riches en acides humiques qu'après le régime d'alternance (82% de plus d'acides humiques). Les acides fulviques ne s'avèrent supérieurs que dans les matériaux conservés à sec.

De plus, si là aussi, on compare les teneurs en acides humiques des feuilles et des excréments en fin d'expérience, non plus à un même poids de matériel de départ fragmenté à la main ou broyé à moins de 2 mm, mais à un même poids de ce matériel broyé au sable (cf. figure 14-2b), on voit que les acides humiques des feuilles, et à un degré moindre ceux

Variation des acides humiques et fulviques 1/ en valeur absolue et 2/ par rapport à la valeur de ces acides dans un poids de matériel végétal de départ identique à celui existant en fin d'expérience. (2-a : matériel végétal fragmenté à la main ou broyé <2mm, 2b matériel végétal broyé au sable.)

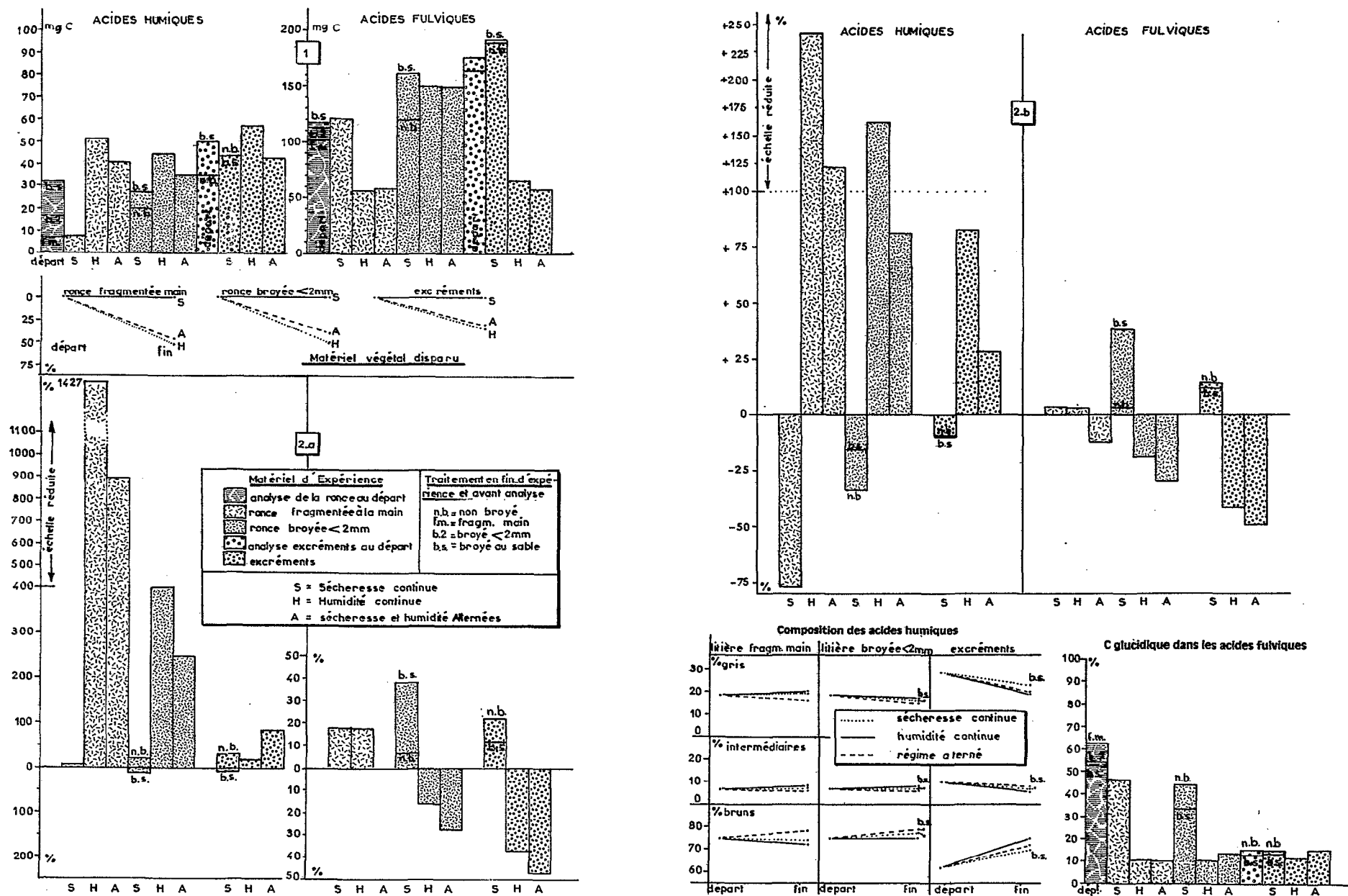


Figure 14 — Evolution à 17° des substances humiques dans des feuilles de ronce (2 g) et des excréments de *Medaura brunneri* (Phasmoptère) (2 g avec les œufs et 1,915 g sans les œufs). Influence du régime hydrique et du broyage.

des excréments, se trouvent inférieurs après le régime de sécheresse continue, mais par contre très nettement supérieurs après le régime d'humidité continue ou alternée.

Pour la litière fragmentée à la main, il existe 242% en plus d'acides humiques après le régime d'humidité continue et 122% en plus après le régime à dessiccation périodique. Pour la litière broyée à moins de 2 mm, il existe 162% en plus d'acides humiques après le régime d'humidité continue et 81% en plus après le régime à dessiccation périodique. Pour les excréments, il existe 82% en plus d'acides humiques après le régime d'humidité continue et 28% en plus après le régime à dessiccation périodique.

Il ne peut donc dans ce cas s'agir, comme pour le lierre, de la seule libération d'acides humiques inclus dans les tissus végétaux, et l'on doit admettre là l'existence d'une synthèse active des acides humiques dans les feuilles de ronce et les excréments de phasmes maintenus en conditions d'humidité constante ou périodique.

De plus, il apparaît clairement, en considérant les feuilles fragmentées à la main, les feuilles broyées à moins de 2 mm ou les excréments de phasmes, que cette synthèse des acides humiques bruns est d'autant plus marquée que les tissus végétaux ont été moins lésés. L'humification a été plus forte dans les feuilles fragmentées à la main que dans les feuilles broyées à moins de 2 mm et elle a été la plus faible dans les excréments. Pour chacun de ces trois matériaux, l'humification a été plus prononcée en régime d'humidité qu'en régime de sécheresse. Ceci confirme l'existence, maintenant assez connue, d'une synthèse très importante des composés préhumiques par voie biologique à l'intérieur des cellules végétales mortes, et antérieurement à la crevaisson de leurs parois par les protozoaires et les nématodes.

La légère augmentation des acides fulviques dans les matériaux conservés à sec et la diminution de ces mêmes acides dans les matériaux conservés en régime d'humidité continue ou alternée se trouvent confirmées.

Qualitativement, les acides humiques n'ont guère changé de nature dans les feuilles, encore que le régime d'alternance paraisse avoir très légèrement favorisé la synthèse des acides humiques bruns. Par contre, dans les excréments et, quel qu'en soit le régime d'évolution, des acides humiques bruns se sont formés aux dépens des acides humiques gris et des acides humiques intermédiaires.

Comme dans le cas du lierre, ici aussi les glucides en régime d'humidité continue ou alternée ont diminué dans les acides fulviques des feuilles, mais n'ont pas varié dans les acides fulviques des excréments.

Conclusions de l'ensemble des expériences de la série H4

Ainsi, il apparaît après cette série d'expériences H4, que :

1 — les phasmes, en ingérant et en fragmentant les feuilles vertes, diminuent la quantité totale de composés organiques de nature humique mais apportent à la surface du sol un matériel comparativement plus humique et surtout plus riche en substances énergétiques immédiatement disponibles.

2 — Pour les feuilles de lierre (fragmentées ou broyées à moins de 2 mm) et les excréments de *Carausius morosus*, en conditions de sécheresse permanente, les acides humiques et fulviques se sont conservés dans les feuilles mais ont diminué dans les excréments. En régime d'humidité et en régime d'alternance, il semble qu'il y ait eu libération des substances préhumiques et humiques incluses dans les feuilles fragmentées ou les excréments, puis évolution de ces substances en acides humiques plus stables de type brun.

Tant en valeur absolue qu'en valeur relative (et par rapport à la valeur des acides humiques dans un poids de matériel de départ broyé au sable, identique à celui existant en fin d'expérience) il y a eu déshumification des feuilles et des excréments.

3 — Pour les feuilles de ronce (fragmentées ou broyées à moins de 2 mm) et les excréments de *Medaura brunneri*, en conditions de sécheresse permanente, les acides humiques et fulviques se sont conservés dans les feuilles et ont légèrement augmenté dans les excréments. En régime d'humidité continue et en régime de dessiccation périodique, si les acides fulviques

ont diminué, par contre les acides humiques, en valeur absolue et donc aussi en valeur relative (et par rapport à la valeur de ces acides dans un poids de matériel de départ broyé au sable, identique à celui existant en fin d'expérience), ont fortement augmenté, plus dans les feuilles que dans les excréments, et ceci d'autant plus que les matériaux végétaux étaient moins lésés. Les acides fulviques ont par contre aussi bien diminué dans les feuilles que dans les excréments.

Les feuilles de lierre, riches en substances énergétiques glucidiques, en substances cellulosiques et en substances préhumiques, n'ont pas tendance à s'humifier, alors que les feuilles de ronce moins "succulentes" s'humifient facilement.

Le fait que ces feuilles de lierre ou de ronce soient ingérées par des insectes (ici des phasmes) et, après fragmentation et digestion partielle, soient transformées en excréments, n'en favorise pas l'humification naturelle.

Qualitativement cependant, nous avons déjà vu au chapitre II (par. 2-b, tableau 2) que les acides humiques insolubles à la soude 3N étaient dans les excréments comparativement plus riches en acides humiques bruns que dans les feuilles, dont une grande partie des acides dits humiques n'était en fait que des substances préhumiques.

Au cours de l'évolution expérimentale des feuilles de lierre et des excréments de phasmes correspondants, les acides humiques paraissent subir une évolution plus poussée dans les feuilles que dans les excréments. Par contre, au cours de l'évolution expérimentale des feuilles de ronce et des excréments de phasmes correspondants, la proportion d'acides humiques bruns a peu varié dans les feuilles, mais s'est nettement accrue dans les excréments.

SÉRIE D'EXPÉRIENCES H 5

Cette série d'expériences H 5 a été faite sur des racines de maïs à C/N de 15,5 et renfermant, exprimés en carbone, 1,5% d'acides humiques et 16% d'acides fulviques essentiellement de nature glucidique.

Elle se subdivise en deux : d'une part, l'expérience H 5-1 qui avait pour but d'étudier, comme précédemment, l'évolution d'un matériel végétal dans des conditions climatiques définies et en présence ou non d'animaux. D'autre part, l'expérience H 5-2 où ont été introduits, en plus, divers types d'argile, afin de se rapprocher des conditions naturelles. Cette influence possible des argiles sera à nouveau étudiée dans les expériences H 6-2, H 6-3 et H 7-2.

Expérience H 5-1

Conditions d'expérience

. Matériel végétal et dispositif d'expérience

2 g de racines de maïs broyées entre 0,05 et 2 mm, séchées à 50° et reposant sur 1 g de laine de verre dans une boîte de Pétri. Le pH initialement proche de la neutralité (pH 6,8) devient rapidement basique en une semaine et se maintient ensuite aux environs de 8,5 (cf. figure 20, annexe 1).

. Variables :

— addition ou non d'une population diversifiée de cloportes (*Porcellio scaber*, *P. rathkei*, *Armadillidium nasutum* et *A. vulgare*). 6 individus par boîte.

— températures de 7°, 17° ou 25°.

— régime d'humidité continue ou régime d'humidité et de sécheresse alternées (2 jours de dessiccation par semaine).

. Durée : 2 mois et 1 semaine.

. Analyses : sur échantillons tels quels.

Présentation des résultats

Les résultats d'analyse correspondant à cette expérience sont donnés sur la figure 15.

Interprétation des graphiques

1 - La diminution de poids du matériel végétal a été de 20% à 7° et de 22-30% à 17°. A 25°, elle a été plus forte en régime d'humidité continue qu'en régime à dessiccation périodique et, avec chacun de ces régimes, supérieure en présence de cloportes. Elle a été, par exemple, en régime d'humidité continue de 37% pour le témoin et de 45% en présence d'animaux.

2 - En valeur absolue, les acides humiques se sont accrus dans toutes les boîtes, alors qu'inversement les acides fulviques ont partout diminué. Ceci d'autant plus que les échantillons ont été soumis à une température plus élevée. De plus, à chaque température (7°, 17° ou 25°), l'augmentation des acides humiques et la diminution des acides fulviques a toujours été plus forte en régime d'humidité continue qu'en régime à dessiccation périodique.

3 - En valeur relative, et par rapport aux valeurs en substances humiques d'un poids de matériel de départ égal à celui demeurant en fin d'expérience, l'accroissement des acides humiques et la diminution des acides fulviques apparaissent encore plus nets. Par exemple, en régime d'humidité continue, les acides humiques se sont accrus à 17° de 326% dans le témoin et de 402% dans l'échantillon avec cloportes. A 25°, ces augmentations sont respectivement passées à 792% et 1249%.

4 - Concernant l'action de la faune, il apparaît en effet qu'à 17° et surtout 25°, l'addition de cloportes a favorisé la minéralisation des racines, la synthèse des acides humiques et la diminution des acides fulviques.

5 - Pour les électrophorèses des acides humiques, un regroupement des échantillons soumis à des régimes identiques a été effectué. La comparaison entre les acides humiques des témoins et les acides humiques des échantillons à cloportes a montré peu de différences, mais le régime à dessiccation périodique paraît par contre avoir plus favorisé la formation des acides humiques bruns que le régime à humidité continue.

6 - Le pourcentage de carbone glucidique dans les acides fulviques, qui est voisin de 100 dans les racines de maïs de départ, est tombé à une valeur voisine de 30 en fin d'expérience, sauf en régime d'humidité continue où il est tombé à environ 40 à 17° et en présence de cloportes, et à environ 50 à 25° avec ou sans addition d'animaux.

Conclusions

Les racines de maïs s'humifient fortement tout en se dégradant et cette humification apparaît d'autant plus importante que le milieu demeure plus chaud et plus constamment humide, comme c'est généralement le cas dans les sols. Une importante diminution des acides fulviques et des substances énergétiques (glucides) accompagne inversement cette évolution des racines.

Les Isopodes, tout en accélérant la dégradation des racines, en ont cependant favorisé l'humification.

Variation des acides humiques et fulviques 1/ en valeur absolue et 2/ par rapport à la valeur de ces acides dans un poids de matériel végétal de départ identique à celui existant en fin d'expérience.

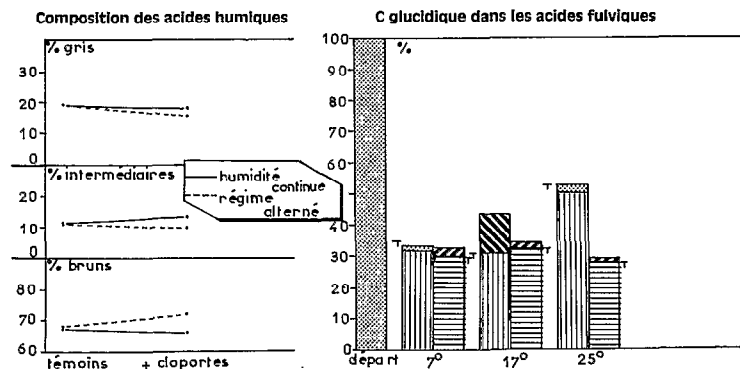
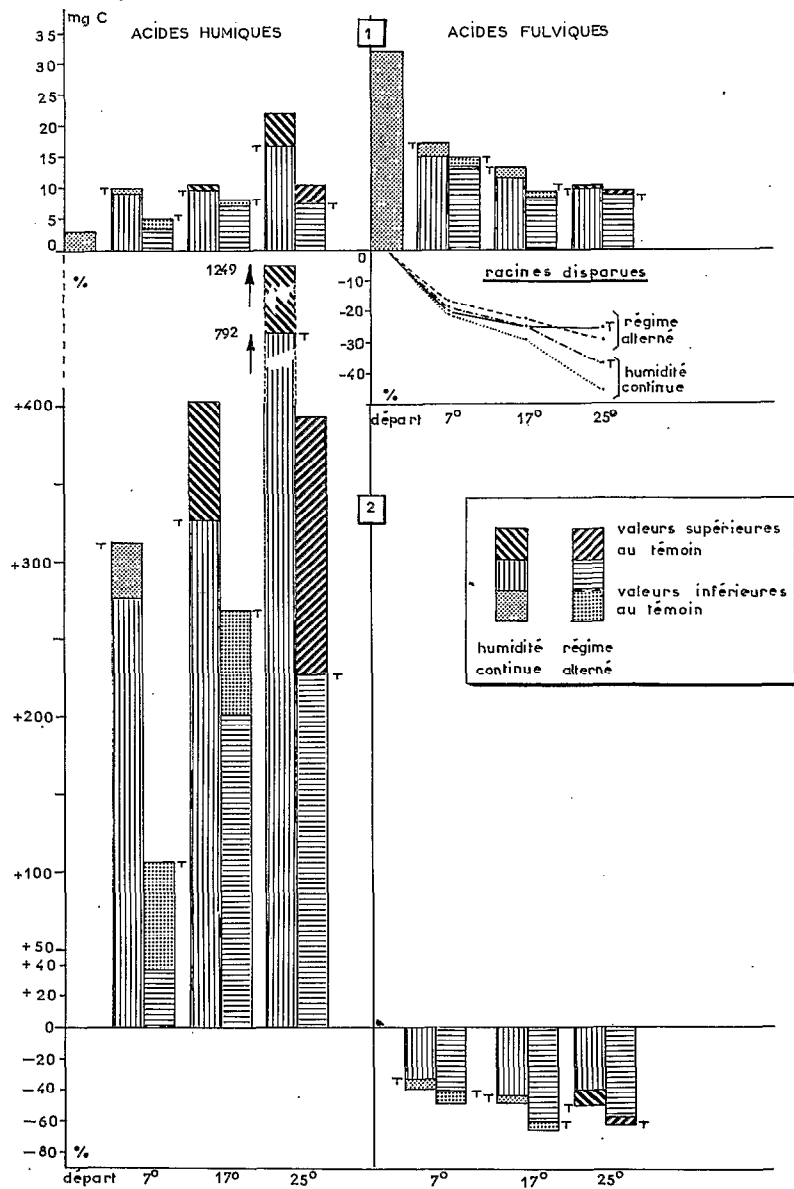


Figure 15 — Evolution des substances humiques dans des racines de maïs (2 g) soumises, sous humidité permanente ou périodique, à des températures différentes, et en présence ou non (T) de divers cloportes.

Expérience H5-2

Conditions d'expérience

. Matériel végétal et dispositif d'expérience

2 g de racines de maïs broyées entre 0,05 et 2 mm, séchées à 50° et reposant sur 1 g de laine de verre humide dans une boîte de Pétri.

. Variables

- addition ou non de 0,5 g de kaolinite ou de montmorillonite.
- addition ou non de 3 *Oniscus asellus* L.
- température 17°.
- régime d'humidité continue ou régime d'humidité et sécheresse alternées (2 jours de dessiccation par semaine).

. Durée : 1 mois et 20 jours.

. Analyses : sur échantillons tels quels.

Présentation des résultats

Les résultats d'analyse correspondant à cette expérience sont donnés sur la figure 16.

Interprétation des graphiques

1 - La diminution de poids du matériel végétal a été en régime d'alternance d'environ 25% à 17°. Elle a été plus forte en régime d'humidité continue, sans toutefois dépasser 35% en absence d'argile et 27 à 31% avec addition d'argiles ; celles-ci ont joué un rôle protecteur vis-à-vis de la matière organique.

2 - Confirmant les résultats à 17° de l'expérience H5-1 exprimés en valeur absolue, les acides humiques dans cette expérience se sont aussi accrus et les acides fulviques ont de même diminué. Là aussi, les acides humiques se sont davantage accrus en régime d'humidité continue qu'en régime à dessiccation périodique.

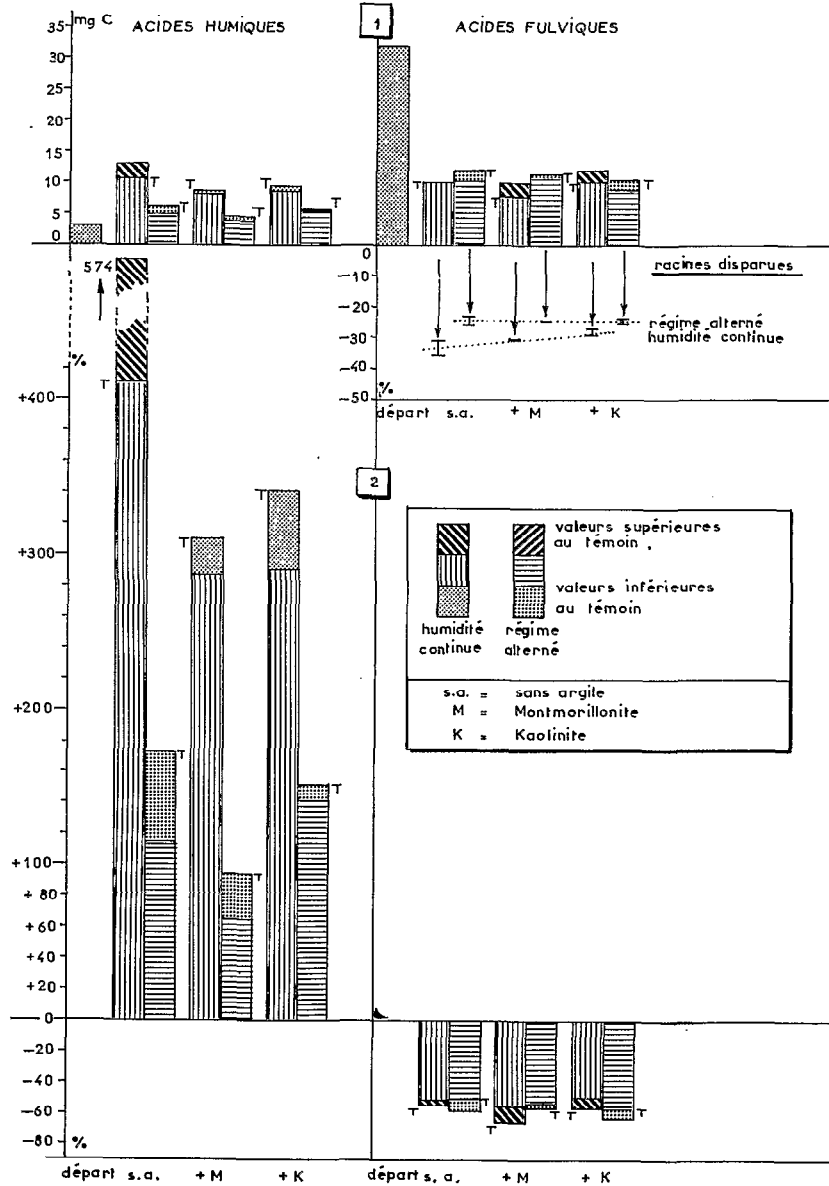
3 - En valeur relative, et par rapport aux valeurs en substances humiques d'un poids de matériel végétal de départ égal à celui demeurant en fin d'expérience, l'accroissement des acides humiques et la diminution des acides fulviques ont aussi été confirmés. En régime d'humidité continue, les acides humiques se sont accrus de 412% dans le témoin et de 574% dans l'échantillon avec *Oniscus*.

Dans les échantillons avec addition d'argile, il apparaît que les argiles, en freinant la dégradation des racines, en ont aussi limité l'humification et qu'elles ont, semble-t-il, supprimé l'action favorable des *Oniscus* vis-à-vis de l'humification.

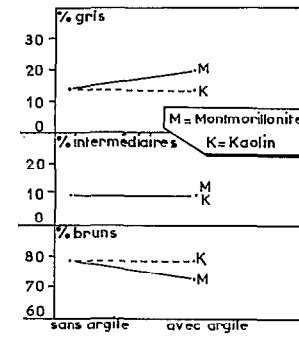
4 - Pour les électrophorèses des acides humiques, un regroupement des échantillons enrichis avec les mêmes argiles a été effectué. La comparaison entre les acides humiques des témoins et les acides humiques des échantillons enrichis en kaolinite ou en montmorillonite a montré que si l'addition de kaolinite n'a pas eu d'effet sur la nature des acides humiques, il semble par contre que celle de montmorillonite ait favorisé les acides humiques gris aux dépens des acides humiques bruns.

5 - Le rapport $\frac{C \text{ glucides}}{C \text{ ac. fulv.}} \times 100$, égal à 121 dans les racines de départ, est tombé là aussi en fin d'expérience à une valeur voisine de 30 pour les divers échantillons.

Variation des acides humiques et fulviques 1/ en valeur absolue et 2/ par rapport à la valeur de ces acides dans un poids de matériel végétal de départ identique à celui existant en fin d'expérience.



Composition des acides humiques



% C glucidique dans les acides fulviques

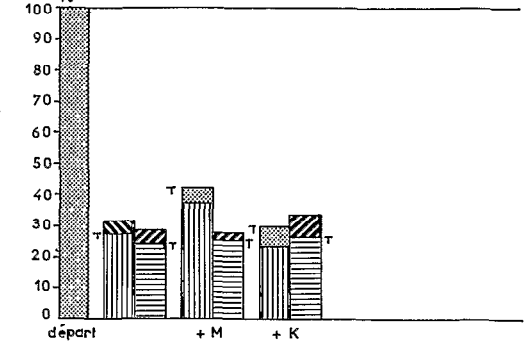


Fig. 16 — Evolution à 17 des substances humiques dans des racines de maïs (2 g) enrichies ou non en argiles (montmorillonite ou kaolinite), sous humidité permanente ou périodique, et en présence ou non (T) d'*Oniscus asellus* L. (Isopode).

Conclusions

Cette expérience confirme les résultats obtenus dans la précédente expérience pour les échantillons maintenus à 17°. Elle fait de plus ressortir l'action négative de la kaolinite et de la montmorillonite dans les processus d'humification, tels que ces processus ont pu se manifester dans les conditions de l'expérience.

SÉRIE D'EXPÉRIENCES H6

Cette série d'expériences H6 a été faite avec une sciure de bois de diverses essences à rapport C/N de 250 (1,8‰ seulement d'azote) et renfermant, exprimés en carbone, 2,2‰ d'acides humiques constitués à 70% d'acides hymatomélaniques et 5,8‰ d'acides fulviques dont 28% étaient de nature glucidique. Le pH de cette sciure s'est maintenu pendant plus d'un mois et demi à la valeur 4,8 quand elle a été humidifiée (cf. figure 20, annexe 1).

Cette série se subdivise en quatre expériences, selon les animaux utilisés et les traitements :

. L'expérience H6-1 correspond à des élevages de vers de terre dans des cylindres de sciure humide en laboratoire (4).

. L'expérience H6-2 correspond aussi à des élevages de vers de terre dans des cylindres de sciure humide, mais cette fois la sciure a été enrichie ou non en diverses argiles et les cylindres ont été enfouis dans le sol. Il s'agit donc là d'une expérience de terrain.

. L'expérience H6-3 correspond à des élevages de larves de *Gnorimus nobilis* (*Scarabeidae*) dans des cristallisoirs de sciure humide enrichie ou non de diverses argiles.

. L'expérience H6-4 correspond à des élevages d'*Oniscus* (*Isopodes*) dans des boîtes de Pétri remplies de sciure enrichie ou non en diverses argiles.

Expérience H6-1

Conditions d'expérience

. Matériel végétal et dispositif d'expérience

160 g de sciure dans 6 cylindres de verre munis aux deux extrémités d'une toile de nylon et reposant à la base dans une soucoupe d'eau.

100 g de sciure dans 4 grands cristallisoirs, où la sciure a été régulièrement retournée et maintenue constamment humide au cours de l'expérience.

. Variables

— addition de 5 vers de terre (*Lumbricus terrestris*), pesant ensemble approximativement 4 g, dans 4 cylindres de verre. Restaient donc 2 cylindres et 4 cristallisoirs dépourvus de vers.

— température 7° ou 17°.

— humidité constante.

(4) Les vers de terre ne peuvent être introduits dans la sciure de bois qu'après que celle-ci ait été maintenue humide et bien aérée pendant au moins 1 mois 1/2.

- . Durée : 5 mois, de la mi-novembre à la mi-avril.
- . Analyses : sur échantillons homogénéisés.

Présentation des résultats

Les principaux résultats de cette expérience sont donnés ci-dessous dans le tableau IV:

	perte de sciure %	C %		O ₂ absorbé flacon eau mg p.litre* 100	Observations	
		acides humiques	acides fulviques			
Sciure au départ		2,20	5,80			
après humidification		1,45	4,00			
1 mois 1/2						
à 7°		1,204	2,632	58	partie supér. zone réduction	
Témoin { en cylindre	6,80	1,376	4,030			
	aéré	0,709	3,400	160		
+ vers de terre n° 1	6,87	0,836	2,543	247		
n° 2	7,50	1,228	2,700	246		
à 17°		0,730	2,172	89	partie supér. zone réduction	
Témoin { en cylindre	6,25	0,808	2,400	168		
	aéré	0,702	2,470	119		
+ vers de terre n° 1	8,75	1,339	3,341	188		vers morts
n° 2	8,12	0,738	1,936	180		

Tableau IV - Action des *Lumbricus terrestris* sur l'évolution d'une sciure de bois en laboratoire.

* cf. pour technique BACHELIER, 1960, 1968.

Interprétation des résultats

On peut voir que dans cette expérience :

1 - la sciure de bois maintenue constamment humide, aérée ou non, n'a fait que se déshumifier.

2 - les acides humiques et fulviques dans les cylindres témoins étaient plus importants en fin d'expérience dans les zones de réduction que dans les parties supérieures des cylindres. Nous pensons que cet état de choses est dû à une déshumification ralentie en milieu anaérobie.

3 - les vers de terre vivants n'ont pas freiné la déshumification naturelle de la sciure humide. Un mois et demi après le début de l'expérience, on pouvait cependant observer un noircissement très net de la sciure autour des galeries de vers, mais une observation plus fine nous a montré que ce noircissement était dû au développement d'un champignon et non à l'humification du matériel.

Cependant, par leur travail de fouissage, les vers de terre ont empêché à la base de leurs cylindres le développement de la zone de réduction. Ils ont surtout eu une action positive sur l'activité bactérienne du milieu, comme le montrent à la fois la diminution de poids de la sciure et la mesure en fin d'expérience de l'absorption d'oxygène en flacon d'eau par 0,5 g de sciure.

Le pH de la sciure en fin d'expérience variait de 5 à 6 autour des galeries et était de 4,5 à 5 ailleurs.

4 - les vers de terre morts ont eu une influence plus forte sur les processus biologiques du milieu que les vers de terre vivants ; la perte de poids de la sciure a été plus importante et la déshumification plus freinée. Cette action est peut-être due, entre autres choses, à un apport d'azote et à un pH rendu plus basique.

Expérience H6-2.

Conditions d'expérience

. Matériel végétal et dispositif d'expérience

La sciure de bois des témoins de l'expérience H 6-1 a été récupérée et homogénéisée pour être utilisée dans cette nouvelle expérience ; l'échantillon moyen ainsi obtenu renfermait au départ 1,12‰ de C acides humiques et 4,76‰ de C acides fulviques.

100 g de cette sciure ont été placés dans 7 allonges de verre sciées à la base. Ces allonges, munies d'une toile nylon à leurs deux extrémités, ont été disposées la tête en bas dans de petits béciers en plastique fixés solidement au verre par une toile adhésive. Après quoi, les allonges ainsi préparées ont été enfoncées dans le sol sous pommiers jusqu'au niveau de la sciure dans des trous de tarière d'égal diamètre. Une toile légère recouvrait l'ensemble pour éviter les apports de détritux végétaux.

. Variables

Les 7 allonges ont été ainsi préparées :

Témoin	éch. T
+ 3 vers de terre	éch. V 1
+ " "	éch. V 2
+ 20% de kaolinite	éch. K
+ " " + 3 vers de terre	éch. KV
+ 20% de montmorillonite	éch. M
+ " " + 3 vers de terre	éch. MV

. **Durée** : 6 mois 1/2, de la fin avril à la mi-novembre.

. **Analyses** : sur échantillons homogénéisés.

Présentation des résultats

- A l'arrêt de l'expérience et avant toute analyse, il apparaît que :
- . le travail des vers, en aérant la profondeur des colonnes de sciure, y a empêché la formation d'un gley à la base ;
 - . la sciure des colonnes à montmorillonite apparaît nettement plus brune que celle des autres colonnes.

Les résultats d'analyse de cette expérience sont donnés ci-après dans le tableau V.

Interprétation des résultats

On peut voir dans cette expérience que :

1 - la minéralisation de la sciure de bois a été freinée par la kaolinite, très légèrement accrue par la montmorillonite et doublée par les vers de terre. L'apport de montmorillonite a fait passer le pH de la sciure de 4,5 à 6.

2 - l'absorption d'oxygène en flacon d'eau additionnée de 0,5 g de sciure fait ressortir, comme dans l'expérience précédente, l'action stimulante des vers sur l'activité biologique

du milieu. Cet effet est toutefois limité en présence de montmorillonite, mais pas en présence de kaolinite, argile à bien plus faible pouvoir adsorbant.

3 - comme dans l'expérience H 6-1 conduite en laboratoire, la sciure, maintenue dans cette expérience au champ et le plus souvent à l'état humide, a vu sa teneur en acides humiques diminuer, sauf en présence de montmorillonite ou de vers morts qui, au contraire, ont eu une action positive sur cette humification.

Les vers vivants paraissent, là encore, n'avoir pas eu d'action ou même avoir légèrement accéléré la déshumification. Le noircissement qui s'est développé autour des galeries de vers est dû essentiellement, comme dans l'expérience H 6-1, au développement d'un champignon.

4 - avec la kaolinite, il a été observé que cette argile rend les acides humiques plus difficilement précipitables, ce qui se traduit par l'apparition, au cours de la semaine qui suit la séparation des acides fulviques, d'un floculat plus ou moins abondant en leur sein. Nous pensons que cette difficulté à précipiter les acides humiques doit être due à une première altération de leurs molécules et doit donc aller dans le sens de la déshumification.

	perte de sciure %	C %		% glucides dans ac. fulv.	O ₂ absorbé mg / 100 p. litre	Observations
		acides humiques	acides fulviques			
Sciure au départ		1, 120	4, 760			
Témoin (sciure seule)	3, 00	0, 777	2, 194	36, 7	- 8	
+ 3 vers de terre (V1)	6, 00	1, 515	1, 614	40, 8	180	2 vers morts
+ 3 vers de terre (V2)	6, 00	0, 724	1, 903	44, 7	168	3 vers en vie
+ montmorillonite (M)	3, 12	1, 317	1, 527	31, 3	19	
+ mont. et 3 vers (MV)		1, 422	1, 432	24, 8	62	3 vers morts
+ kaolinite (K)	2, 16	↓ 0, 378 ↓ 1, 280	↓ 2, 743 ↓ 1, 996	29, 7	30	*
+ kaol. et 3 vers (KV)	6, 40	0, 755	2, 232	32, 4	169	3 vers en vie

Tableau V - Action de *Lumbricus terrestris* et d'argiles sur l'évolution au champ d'une sciure de bois.

* après une précipitation de plusieurs jours des acides humiques.

Expérience H6-3

Conditions d'expérience

. Matériel végétal et dispositif d'expérience

7 g de la sciure déjà utilisée dans l'expérience H 6-1, après 1 mois 1/2 d'humidification et séchage final à 40°, ont été disposés dans de petits cristallisoirs.

. Variables

- addition ou non d'1,5 g de kaolinite ou de montmorillonite.
- addition ou non de larves de *Gnorumus nobilis* (*Scarabeidae*) ayant séjourné au préalable plusieurs jours dans de la sciure pour renouvellement du contenu de leur tube digestif.
- température 17°
- humidité continue.

. Durée : 5 mois 1/2, de la fin novembre à la mi-mai.

Les larves durant cette période n'ont manifesté qu'une activité assez faible en décembre, après quoi elles ont vécu au ralenti avant de se nymphoser en mai. On pouvait donc penser *a priori* que cette expérience serait plus intéressante pour l'étude de l'action des argiles que pour l'étude de l'action des animaux.

. Analyses : sur échantillons homogénéisés.

Les principaux résultats de cette expérience sont donnés dans le tableau VI :

	Perte de sciure %	C mg		% diminution		pH	Observations
		acides humiques	acides fulviques	acides humiques	acides fulviques		
7 g de sciure au départ		15,750	40,600				
Témoin sciure non aérée	2,50	4,645	15,500	-69,77	-60,85	5	
sciure aérée	2,44	4,331	17,301	-71,83	-56,34	"	
+ 2 larves	6,79	10,412	17,226	-29,40	-54,69	"	
+ 1,5 g kaolinite	2,68	4,312	18,000	-71,89	-54,47	"	
+ 2 larves	3,64	6,153	19,100	-59,51	-51,24	"	
+ 1,5 g montmorillonite	2,11	11,706	19,461	-24,10	-51,05	6	
+ 2 larves	4,57	13,357	21,064	-11,11	-45,75	"	1 larve morte

Tableau VI - Evolution des substances humiques dans les divers échantillons de l'expérience H 6-3.

L'expression de la diminution des acides humiques "par rapport aux valeurs en substances humiques d'un poids de sciure de départ égal à celui demeurant en fin d'expérience" n'offrait que peu de différence, compte-tenu de la faible diminution de poids de la sciure au cours de l'expérience. Ainsi, dans l'échantillon "témoin + larves", où la perte de sciure est de 6,79%, la diminution des acides humiques serait de -33,89% au lieu de 29,40%, et dans l'échantillon "montmorillonite + larves", où la perte de sciure est de 4,57%, la diminution serait de -15,19% au lieu de -11,11%. Partout ailleurs, la différence est encore plus faible. Nous n'avons donc pas retenu ce mode d'expression des résultats pour l'expérience H 6-3.

Interprétation des résultats

1 - Comme dans l'expérience H 6-1, la mauvaise aération de la sciure en a limité la minéralisation et en a freiné la déshumification.

2 - Concernant les argiles, la kaolinite paraît avoir accéléré la déshumification de la sciure, alors que la montmorillonite l'a au contraire fortement freinée. Il est à noter que le pH de la sciure a été d'une unité plus élevé en présence de montmorillonite.

3 - Les larves de *Scarabeidae*, bien qu'elles aient été très peu actives, ont eu cependant une action nettement favorable sur l'activité biologique du milieu, comme le montre la perte de poids accrue de la sciure, et elles ont, autant que la montmorillonite, freiné la déshumification de la sciure.

4 - Dans l'échantillon "montmorillonite + larves", où la déshumification a été la plus freinée, on ne peut malheureusement pas dire, une larve étant morte, si l'action des larves s'est additionnée à celle de la montmorillonite ou si c'est le cadavre de la larve qui, par son apport et son influence locale sur le pH, a eu une action favorable vis-à-vis de l'humification.

Expérience H6-4

Conditions d'expérience

. Matériel végétal et dispositif d'expérience

5 g de sciure dans 6 boîtes de Pétri. L'aération du milieu a été entretenue par un brassage hebdomadaire de la sciure.

. Variables

– addition dans 8 boîtes de Pétri de 3 *Armadillidium vulgare* puis, après un mois, de 6 *Oniscus asellus* (Isopodes).

– température constante de 17°.

– humidité constante pour 8 boîtes et régime à dessiccations périodiques de fin de semaine pour les 8 autres boîtes.

– addition d'1 g d'argile dans 12 boîtes : 4 boîtes avec de la kaolinite, 4 boîtes avec de la montmorillonite et 4 boîtes avec de la vermiculite.

Le schéma suivant résume la diversité des échantillons :

humidité continue	T	I	K	IK	M	IM	V	IV
régime alterné	T	I	K	IK	M	IM	V	IV

(T = Témoin, I = Isopodes, K = Kaolinite, M = Montmorillonite, V = Vermiculite)

. Durée : 2 mois 1/2

. Analyses : sur échantillons homogénéisés.

Présentation des résultats

Les résultats d'analyse correspondant à cette expérience sont donnés sur la figure 17.

Interprétation des graphiques

On peut observer sur les graphiques de cette figure 17 que :

1 - en régime d'humidité continue, la kaolinite a freiné la minéralisation de la sciure, la vermiculite et la montmorillonite l'ont peu modifiée (à l'exception de l'échantillon IV jugé non caractéristique).

En régime à dessiccation hebdomadaire, la kaolinite a encore faiblement freiné la minéralisation de la sciure, la vermiculite et surtout la montmorillonite l'ont accrue.

2 - la présence des animaux en régime d'humidité continue a accru de 1 à 1,5% la minéralisation de la sciure.

3 - quel que soit le mode d'expression des résultats, il a été constaté une diminution des acides humiques et fulviques dans tous les échantillons.

4 - la kaolinite et la montmorillonite paraissent avoir favorisé la diminution des acides humiques, surtout en régime d'humidité continue.

5 - la présence des animaux a partout accru la déshumification de la sciure.

6 - le pourcentage de carbone glucidique présent dans les acides fulviques (26,25% au départ) n'a que faiblement varié au cours de l'expérience dans les divers échantillons. Les argiles ont peu modifié ce pourcentage, mais les animaux, par rapport aux témoins, l'ont légèrement diminué.

Variation des acides humiques et fulviques 1/ en valeur absolue et 2/ par rapport à la valeur de ces acides dans un poids de matériel végétal de départ identique à celui existant en fin d'expérience.

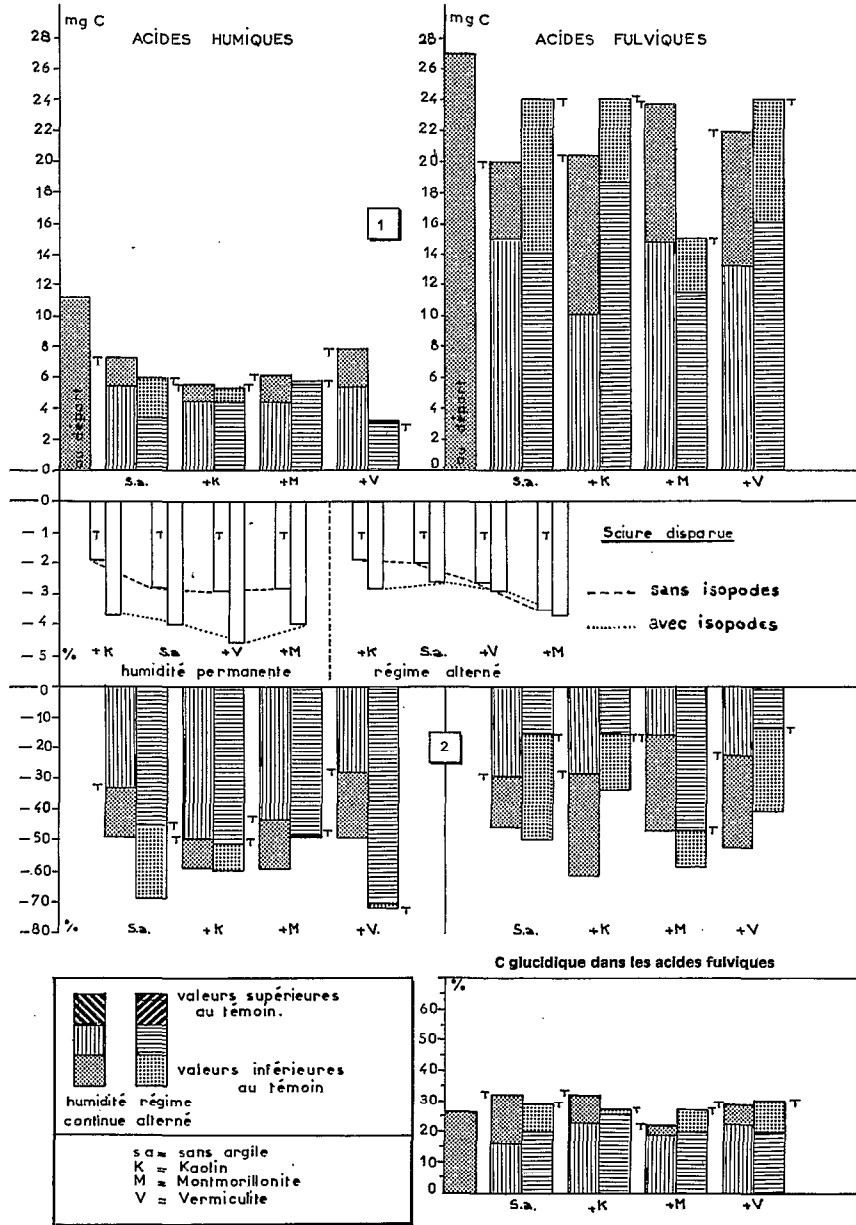


Figure 17 — Evolution à 17° des substances humiques dans de la sciure de bois (5g) enrichie ou non en argiles (kaolinite, montmorillonite ou vermiculite), sous humidité permanente ou périodique, et en présence ou non (T) d'*Oniscus asellus* L. (Isopode).

Conclusions de l'ensemble des expériences de la série H6

Si l'on compare entre eux les différents résultats de cette série d'expériences H6 sur l'évolution de la sciure de bois, on peut en tirer les enseignements suivants, à savoir que :

- la sciure de bois étudiée, qu'elle soit maintenue jusqu'à 6 mois 1/2 constamment humide, qu'elle soit périodiquement desséchée et qu'elle soit régulièrement retournée ou non, n'a fait dans toutes ces conditions que se déshumifier ; la déshumification paraît toutefois ralentie dans les zones de réduction, où la minéralisation de la sciure demeure par ailleurs beaucoup plus faible ;

- les vers de terre vivants n'ont pas limité cette déshumification, le noircissement périphérique des galeries étant essentiellement dû au développement d'un champignon ;

- cependant, les vers de terre ont une action stimulante sur l'activité bactérienne au sein de la sciure et favorisent fortement la minéralisation de celle-ci. Par leur travail de fouissage et l'aération du milieu qui en résulte, ils peuvent aussi empêcher la formation des zones de réduction. Ils tendent encore à remonter légèrement le pH naturellement acide de la sciure ;

- les vers de terre morts ont sur l'activité biologique de la sciure, sur la conservation de ses acides humiques, ou même sur l'accroissement de son humification, une action positive que n'ont pas les vers de terre vivants ;

- les Isopodes (*Armadillidium vulgare* et *Oniscus asellus*) accroissent de même l'activité biologique et la minéralisation de la sciure, mais en favorisent la déshumification.

- les larves de *Scarabeidae*, bien que peu actives, ont eu une action nettement favorable sur l'activité biologique du milieu et ont freiné la déshumification de la sciure ;

- concernant les argiles, la kaolinite paraît freiner la minéralisation de la sciure et en favoriser la déshumification. La montmorillonite au contraire augmenterait plus ou moins la minéralisation de la sciure et favoriserait la conservation des acides humiques ou même parfois leur synthèse, surtout en régime à dessiccation périodique. Il est à noter que le pH de la sciure se trouve relevé (ici de 4,6 à 6) par l'apport de montmorillonite.

Cependant, alors que la kaolinite, argile à faible pouvoir adsorbant, ne paraît pas limiter l'action stimulante des vers sur l'activité biologique du milieu, la montmorillonite, argile à fort pouvoir adsorbant, limite en milieu liquide cette activation.

SÉRIE D'EXPÉRIENCES H7

Cette dernière série d'expériences H7 a été faite non plus avec addition d'animaux vivants mais avec des vers morts déshydratés et réduits en poudre.

L'expérience H7-1 a été faite avec la même sciure de bois d'origine mixte que celle utilisée dans les expériences H6.

L'expérience H7-2 a été faite avec une sciure de chêne à rapport C/N voisin de 500 (traces d'azote) et renfermant, exprimées en carbone, 4 ‰ d'acides humiques à 37,7 % d'acides hymatomélaniques et 24,2 ‰ d'acides fulviques dont 11,7 % étaient de nature glucidique. Le pH de cette seconde sciure est plus acide que celui de la sciure mixte des expériences H6 et H7-1 : pH de 3,5 à 4 au lieu de 4,8 à 5.

Expérience H 7-1

Conditions d'expérience

. Matériel végétal et dispositif d'expérience

5 g de sciure dans 20 boîtes de Pétri. L'aération du milieu a été entretenue par un brassage hebdomadaire de la sciure.

. Variables

10 boîtes ont été maintenues à humidité continue et 10 boîtes ont subi une dessiccation hebdomadaire à chaque week-end.

Dans chacune de ces deux séries de 10 boîtes, on avait :

- une boîte avec addition de 20 ml d'eau distillée
- une boîte avec addition de 20 ml d'une solution de mucus
- une boîte avec addition de 20 ml d'une solution de nitrate d'ammonium N/100
- une boîte avec addition de 20 ml d'une solution de nitrate d'ammonium N/1 000
- une boîte avec addition de 216 mg de nitrate d'ammonium
- deux boîtes avec addition de vers de terre desséchés et broyés (5) : une boîte avec 1 g de poudre de vers mélangée à la sciure et une boîte avec 0,5 g de poudre de vers disposée en un tas bien localisé sur la sciure
- une boîte avec addition de 20 ml d'une solution d'ammoniaque à 2,5 %
- une boîte avec addition de 20 ml d'une solution potassique N/10
- une boîte avec addition de 20 ml d'une solution potassique N/100.

Les boîtes à dessiccation périodique ont été réhumidifiées, soit avec de l'eau distillée, soit avec la solution d'origine pour les boîtes à mucus, les boîtes à nitrate d'ammonium et les boîtes à ammoniaque.

Au total, les diverses boîtes ont reçu les apports d'azote suivants (exprimés en N mg) (cf. tableau VII).

	eau dist.	mucus	NH ₄ NO ₃		vers broyés		NH ₄ NO ₃ 216 mg	NH ₄ OH à 2,5%	KOH N/10	KOH N/100
			N/100	N/1 000	1 g	0,5 g				
humidité continue	0	0,50	5,6		76	38	75,6	38	0	0
régime alterné	0	6 x 0,5 = 3,00	44,8	4,48	76	38	75,6	8 x 38	0	0

Tableau VII - Apports d'azote dans les divers échantillons de l'expérience H 7-1

Les diverses boîtes ont été conservées à 17°. Les boîtes à humidité continue ont été placées à la température du laboratoire pendant le séchage hebdomadaire des boîtes à dessiccation périodique.

. Durée : 2 mois et 10 jours.

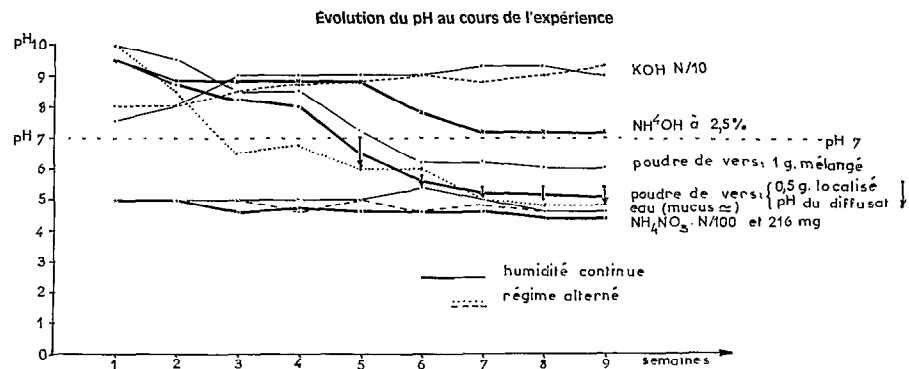
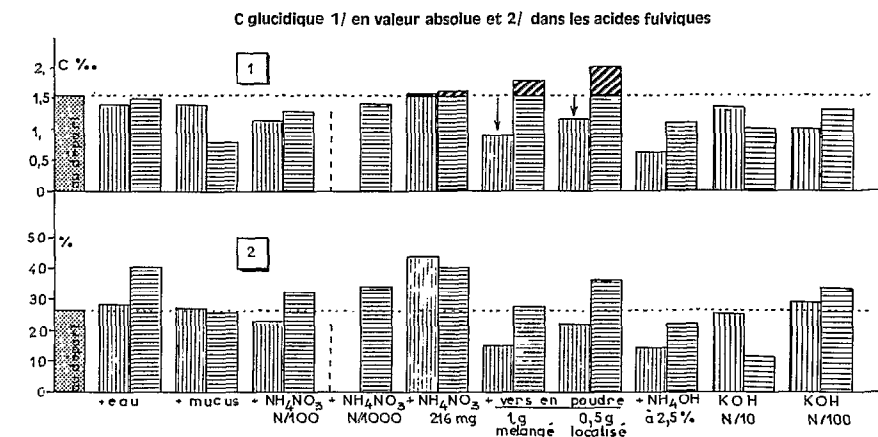
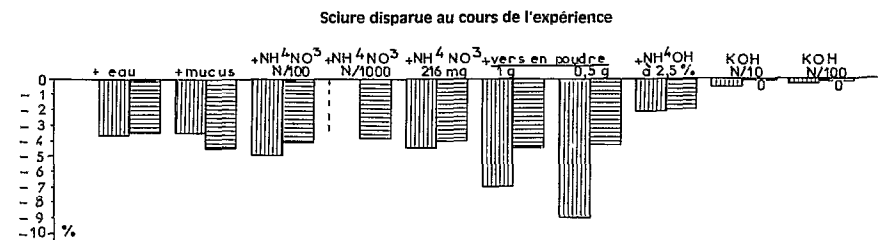
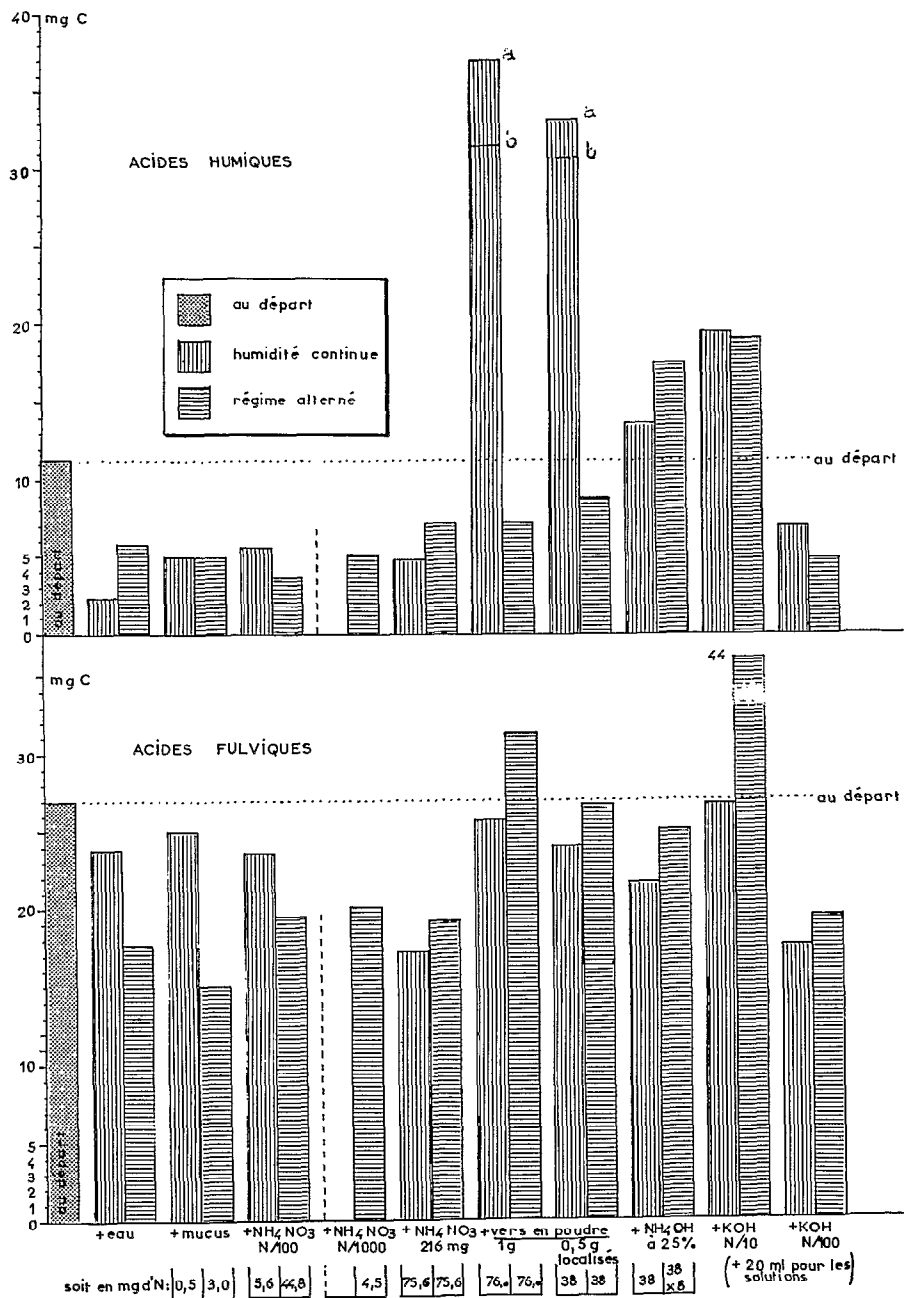
. Analyses : sur échantillons homogénéisés.

Présentation des résultats

Les résultats d'analyse de cette expérience sont donnés sur les figures 18a et 18b.

(5) Cette poudre de vers de terre renfermait au départ plus de 40% d'éléments minéraux, 20% de carbone acides humiques et 95% de carbone acides fulviques à 1,16% seulement de nature glucidique. Après 2 mois et 10 jours, cette poudre de vers étudiée seule renfermait encore 5,48% de carbone acides humiques en régime d'humidité continue et 10,4% en régime à dessiccation périodique. Les corps réducteurs rentrant dans la catégorie des acides fulviques représentaient alors respectivement 35,8% et 31,9% de carbone.

Variation des acides humiques et fulviques en valeur absolue



Figures 18a et 18b -- Evolution à 20° des substances humiques dans de la sciure de chêne (5g), sous humidité permanente ou périodique, avec addition de solutions azotées, de solutions basiques, ou apport de vers morts réduits en poudre.

Interprétation des graphiques

Il apparaît dans cette expérience que :

1 - la diminution de poids de la litière, par rapport aux témoins, s'est trouvée accrue par les vers de terre broyés et réduite par les solutions ammoniacales et surtout les solutions potassiques. Ceci traduit un accroissement de l'activité biologique dans le premier cas et une diminution ou même une suppression de cette activité dans le second cas. Si l'azote ammoniacal anhydre ne fait en effet que réduire temporairement l'activité microbienne (MULLER et GRUHN, 1969), l'eau ammoniacale par contre s'avère un agent de stérilisation partielle (ZRAZHEVSKIY et SERYY, 1969) et la potasse un agent de stérilisation encore plus efficace.

Tous les autres échantillons ont présenté une diminution du poids de la sciure, voisine de celle des témoins à l'eau distillée.

2 - cette activation des processus biologiques par les vers de terre morts n'apparaît pas proportionnelle au poids de vers, puisque la minéralisation de la sciure est égale ou même supérieure avec un apport localisé de 0,5 g de poudre de vers à celle observée avec 1 g de cette même poudre bien mélangée à la sciure.

3 - une augmentation des acides humiques a été observée, quel que soit le régime d'humidité, avec la solution ammoniacale et les solutions potassiques N/10 et N/100. Mais c'est surtout avec les vers de terre morts, et en régime d'humidité continue, que l'augmentation des acides humiques a été la plus forte.

De plus, si on tient compte, en les soustrayant, des acides humiques présents dans la poudre de vers témoin (soumise seule aux mêmes conditions expérimentales que les échantillons de sciure enrichis avec cette poudre), les acides humiques en régime d'humidité continue ne s'en trouvent que faiblement diminués (passage des valeurs a aux valeurs b sur la figure 18a), alors qu'en régime à dessiccation périodique, ces acides s'y trouvent pratiquement supprimés.

L'augmentation des acides humiques en présence de vers morts ne s'est pas en effet manifestée en régime à dessiccation périodique, car les périodes de sécheresse ont nui à l'action humifiante des vers de terre morts.

4 - dans les échantillons à dessiccation périodique, la poudre de vers semble avoir accru ou pratiquement conservé les acides fulviques de la sciure de départ. Une légère augmentation des glucides peut aussi y être notée.

Mais si on tient compte, là aussi, des acides fulviques présents dans la poudre de vers témoin (soumise seule aux mêmes conditions expérimentales que les échantillons de sciure enrichis avec cette poudre), les acides fulviques restants pourraient tous être constitués par les produits de décomposition des vers.

Le nitrate d'ammonium en poudre de son côté a accru le pourcentage des glucides au sein des acides fulviques.

5 - si l'on considère l'évolution des pH dans les divers échantillons au cours de l'expérience, on observe que pour les échantillons à apport de potasse N/10, quel que soit le régime d'humidité, le pH s'est maintenu basique et s'est même légèrement accru (?) au cours des neuf semaines de l'expérience. On constate aussi que dans les échantillons à ammoniacale, le pH de 9 au départ a progressivement diminué pour atteindre 7,2 de la septième à la neuvième semaine.

Dans les échantillons à poudre de vers, le pH de 9 à 10 au départ est devenu neutre vers la cinquième semaine puis ensuite acide : pH de 6 la huitième semaine pour l'échantillon à 1 g de poudre de vers mélangée et, à la même date, pH de 5 pour l'échantillon à 0,5 g de poudre de vers localisée. Mais, pour les échantillons subissant des dessiccations périodiques, le pH diminue beaucoup plus rapidement, puisqu'il est déjà redevenu acide (pH 6,5) la troisième semaine et qu'il descend ensuite régulièrement jusqu'à pH 4,8 vers la huitième semaine.

Les échantillons simplement humidifiés, à apport de solution muqueuse (pH 5,0), à apport de nitrate d'ammonium en solution (pH 4,8) ou à apport de nitrate d'ammonium en poudre.

sont demeurés acides tout au long de l'expérience passant de pH 5,0 au départ à pH 4,6 - 4,8 en fin d'expérience.

6 - l'électrophorèse des acides humiques pour les sciures enrichies en vers morts et les sciures ammoniacuées a montré que la composition des acides humiques était voisine dans les deux cas : 16% d'acides humiques gris, 9,5% d'acides humiques intermédiaires et 74,5% d'acides humiques bruns pour l'échantillon à vers, 15% d'acides humiques gris, 11% d'acides humiques intermédiaires et 74% d'acides humiques bruns pour l'échantillon ammoniacué.

Les acides humiques formés consécutivement à l'activation biologique par les vers morts apparaissent de même nature que ceux formés suite à l'action chimique de l'ammoniaque.

Conclusions

Ainsi, il ressort de ces constatations :

. que les vers de terre desséchés et broyés ont accru l'activité biologique de la sciure et favorisé son humification en milieu constamment humide.

. que cette activation de l'humification de la sciure par les vers morts pourrait être liée à l'apport d'azote ou au pH basique, mais :

Concernant l'azote, l'apport de cet élément par les vers morts a été égal à celui effectué avec le nitrate d'ammonium en poudre, or dans ce dernier cas, les acides humiques ont diminué de moitié au cours de l'expérience. De plus, l'apport d'azote ammoniacal (important dans l'échantillon à dessiccation périodique) n'a que faiblement favorisé l'humification. Enfin, cet apport d'azote par les vers de terre morts n'a pas empêché la déshumification de la sciure dans les échantillons à dessiccation périodique.

Concernant le pH, celui-ci est demeuré cinq semaines basique dans l'échantillon à vers soumis au régime d'humidité continue et seulement deux semaines et demie dans l'échantillon à vers soumis au régime à dessiccation périodique. Par contre, le pH est demeuré constamment basique dans les échantillons à apport ammoniacal ou potassique où l'humification a été beaucoup moins forte que dans les échantillons à poudre de vers.

On pourrait penser que l'apport d'azote des vers morts n'a été efficace qu'en milieu basique, mais il semble bien que même en considérant à la fois azote et pH, on ne puisse expliquer cette action humifiante des vers de terre desséchés et broyés.

Tout se passe comme s'il y avait dans les vers de terre morts un ou plusieurs composés labiles, se détruisant à la chaleur ou à la dessiccation, et qui favoriseraient à la fois l'activité biologique du milieu et directement ou indirectement son humification. Ce ou ces composés, qui ne se localisent pas dans le mucus des vers, seraient vraisemblablement des composés organiques azotés de type protidique.

Pour vérifier l'hypothèse de ces composés labiles, nous avons réalisé une autre expérience (H7-2), où les vers ont été cette fois déshydratés selon plusieurs processus.

Expérience H7-2

Conditions d'expérience

. Matériel végétal et dispositif d'expérience

10g de la sciure de chêne définie plus haut (cf. début du parag. 7) ont été placés dans 24 boîtes de Pétri.

. Variables

— Humidité continue et température constante de 17° C.

— Le dispositif expérimental, les divers apports et les témoins de cette expérience sont résumés dans le tableau VIII ; tableau dont nous utiliserons par la suite le cadre pour la présentation des résultats.

10 g de sciure plus		Solution de glucose à 1%	Solution de Heller *	Solution de Heller à 1% de glucose
NH ₄ OH à 2,5% (40 ml = 76 mgN)		NH ₄ OH 2,5% à 1% de glucose	Solution de Heller à 2,5% d'NH ₄ OH	Solution de Heller à 2,5% d'NH ₄ OH et 1% de glucose
KOH N/10		KOH N/10 à 1% de glucose	Solution de Heller à 2,5% de KOH 4N	Solution de Heller à 2,5% de KOH 4N et 1% de glucose
Poudre de vers lyophilisés P1	eau distillée	Solution de glucose à 1%	Solution de Heller	Solution de Heller à 1% de glucose
Poudre de vers séchés 35-40° P2	"	"	"	"
Poudre de vers séchés 105° P3	"	"	"	"
Sciure seule	"	"	"	"
Poudre de vers P1 seule	"	"	"	"
Poudre de vers P2 seule	"	"	"	"
Poudre de vers P3 seule	"	"	"	"

Tableau VIII - Dispositif expérimental de l'expérience H 7-2. Définition des 40 ml de solution humidifiant soit les 10 g de sciure, enrichis ou non d'1 g de poudre de vers, soit les poudres de vers témoins elles-mêmes.

* La composition de la solution de Heller est donnée dans l'annexe II.

Les trois poudres de vers, utilisées pour enrichir la sciure à raison de 1 g de poudre pour 10 g de sciure, ont été préparées à partir d'une même population de vers séparée en trois fractions. La première fraction (P1) a été lyophilisée, la seconde fraction (P2) a été séchée à l'air à 30-40° C et la troisième fraction (P3) a été séchée à 105° C ; après quoi, chacune de ces trois fractions a été réduite en poudre.

Les résultats d'analyse de ces trois poudres sont donnés dans le tableau IX.

	résidu de calcination %	C‰	N‰	C/N	C acides humiques %	C acides fulviques %	C glucides %	C gluc. / C ac. fulv. x 100
Sciure de chêne		454	0,90	500	4,0	24,2	2,8	11,7
Poudres de vers de H 7-2								
P1	24,8	422	7,31	58	21,2	124,5	12,3	4,8
P2	16,3	577	10,07	57	20,9	135,8	8,4	3,0
P3	13,3	459	9,35	49	9,5	87,7	6,3	3,6
Poudre de vers de H 7-1	40,0				20,0	95,0	1,1	1,2

Tableau IX - Analyse de la sciure de chêne et des diverses poudres de vers utilisées dans les expériences H 7..

. Durée : 1 mois 1/2

. Analyses : sur échantillons homogénéisés.

Présentation des résultats

En fin d'expérience, le simple examen des échantillons nous montre des différences de couleur significatives. Les échantillons à ammoniacque sont de couleur brun-rouge foncé, les échantillons à potasse sont de couleur acajou (couleur qu'ils ont eu tout au long de l'expérience), les échantillons à poudre de vers lyophilisés sont bruns, les échantillons à poudre de vers séchés à l'air ou à 105° sont bruns à brun-jaune, les sciures témoins sont brun-jaune.

Les divers résultats d'analyse sont donnés dans les tableaux X à XVII.

Interprétation des résultats

. Perte de sciure. Rapport C/N et consommation d'oxygène en flacon d'eau (tableaux X à XII).

1 - Le tableau X montre que la perte de sciure a été inférieure à 7% pour les échantillons de sciure seule ou les échantillons de sciure humidifiée par les solutions d'ammoniacque ou de potasse.

Elle a été de 7 à 14% pour les échantillons enrichis en poudre de vers séchés à 105°, elle a été de 14 à 21% pour les échantillons enrichis en poudre de vers séchés à 35-40° et elle a été de 21 à 30% pour les échantillons enrichis en poudre de vers lyophilisés.

Les solutions basiques n'ont donc que très faiblement accru la minéralisation de la sciure alors que les poudres de vers l'ont d'autant plus favorisée qu'elles avaient été préparées à plus faible température.

2 - Il est aussi possible d'observer sur ce même tableau X que le glucose a freiné la disparition de la sciure, alors que la solution minérale de Heller l'a favorisée ; dans la solution de Heller glucosée, le glucose a limité l'action favorisante de la solution de Heller.

3 - Concernant les diverses valeurs du rapport C/N, le tableau XI montre que dans la sciure seule ce rapport est passé au cours de l'expérience de 500 à 350 en présence de glucose et de 500 à approximativement 240 avec l'apport minéral de la solution de Heller ; les teneurs en azote ont presque doublé dans ce dernier cas. En présence de potasse N/10, ce rapport C/N est tombé selon les cas à 200-260, les teneurs en carbone étant légèrement plus faibles et les teneurs en azote légèrement plus fortes que dans les échantillons de sciure seule. Enfin, en présence de poudre de vers, ce rapport C/N s'est effondré à 35-40, et même en dessous de 30 avec les vers lyophilisés ; ceci, soustraction faite du carbone et de l'azote apportés par les poudres de vers.

Dans les échantillons à poudre de vers, le carbone a diminué d'environ 20%, alors que l'azote y est devenu selon les cas 10 à 12 fois plus important.

4 - Le tableau XII, qui rassemble les résultats d'absorption d'oxygène en flacon d'eau des divers échantillons en fin d'expérience, traduit en fait le potentiel d'activité biologique de ces échantillons, étroitement dépendant de leur activité biologique passée.

Les solutions d'ammoniacque et de potasse ont considérablement limité l'activité biologique de la sciure qui, seule, a manifesté une évolution beaucoup plus prononcée.

Par contre, les poudres de vers ont très nettement accru cette activité biologique, et ceci d'autant plus que les vers avaient été déshydratés à plus faible température.

Ainsi, les résultats de la perte de sciure, du rapport C/N et de l'absorption d'oxygène en flacon d'eau s'accordent pour montrer que les solutions basiques d'ammoniacque et de potasse ont limité l'activité biologique de la sciure et que très légèrement accru sa minéralisation. Les poudres de vers, par contre, ont fortement accru l'activité biologique de la sciure et, par voie cette fois biochimique, elles ont d'autant plus accru sa minéralisation que les vers avaient été déshydratés à plus faible température.

Test de Keuls					
	10g sciure avec	+ eau	+ Solution de glucose 1%	Solution de Heller	+Solution de Heller glucosée
NH ₄ OH à 2,5%	1,30	0,48	4,06	2,12	
KOH N/10	2,95	0,93	6,17	2,86	
poudre de vers liophilisés	29,49	24,88	27,39	21,60	
poudre de vers séchés 35°	14,21	17,91	20,68	16,59	
poudre de vers séchés 105°	12,04	9,57	11,79	11,26	
sciure seule	1,78	0	2,74	0,28	

Tableau X - Pourcentage de perte de sciure (soustraction faite des apports minéraux effectués par les solutions et les poudres de vers).

de 0 à 7%	
de 7 à 14%	
de 14 à 21%	
de 21 à 30%	

Test de Keuls			10g sciure avec	+ eau	+Solution de glucose 1%	+Solution de Heller	+Solution de Heller glucosée
C	N	C/N					
			NH ₄ OH à 2,5%	4058 = 38,6 105,2	4121 = 34,9 117,9	3985 = 38,9 102,4	4100 = 39,5 103,8
			KOH N/10	4100 = 201,0 20,4	4159 = 241,8 17,2	3918 = 261,2 15,0	4115 = 223,6 18,4
			poudre de vers liophilisés	3021 = 27,9 108,2	3271 = 27,8 117,7	3209 = 29,0 110,8	3434 = 30,9 111,2
			poudre de vers séchés 35°	2599 = 25,7 100,9	2849 = 25,8 110,4	2787 = 26,9 103,5	3012 = 29,0 103,9
			poudre de vers séchés 105°	3670 = 38,1 96,2	3544 = 44,2 80,4	3409 = 29,1 117,3	358,5 = 36,8 97,4
			sciure seule	3093 = 35,9 86,1	2977 = 42,3 70,3	2832 = 26,4 107,2	3008 = 34,4 87,3
			sciure seule	3796 = 40,2 94,5	3842 = 43,0 89,4	3816 = 39,2 97,4	3812 = 36,5 104,3
			sciure seule	3337 = 39,2 85,1	3383 = 42,3 80,0	3357 = 38,1 88,0	3353 = 35,5 92,9
			sciure seule	4125 = 49,7 8,5	4488 = 350,6 12,8	4138 = 249,3 16,6	3946 = 232,1 17,0
			sciure départ	4540 = 500 9,0			

Tableau XI - Teneur en carbone et en azote (en mg) et rapport C/N dans les divers échantillons en fin d'expérience.

de 500 à 350	
de 350 à 200	
de 45 à 31	
de 31 à 27	

(1) soustraction faite du C et de l'N apportés par les poudres de vers au départ de l'expérience.

Test de Keuls	10g sciure avec	Eau	Solution glucose 1%	Solution de Heller	Solution de Heller glucosée
	NH ₄ OH à 2,5 %	207	241	142	169
	KOH N/10	186	248	245	201
	poudre de vers lyophilisés	811	824	713	762
	poudre de vers séchés 35°	595	662	725	756
	poudre de vers séchés 105°	556	563	604	712
	sciure seule	249	260	341	299
	sciure départ	464			

Tableau XII - Absorption d'oxygène en flacon d'eau (en mg/100 par litre) pour 250 mg de sciure en fin d'expérience.

de 100 à 248	
de 249 à 350	
de 351 à 464	
de 465 à 550	
de 551 à 650	
de 651 à 760	
> 760	

10g sciure avec	Eau	Solution glucose 1%	Solution de Heller	Solution de Heller glucosée
NH ₄ OH à 2,5 %	184,3	210,9	235,9	236,9
KOH N/10	102,7	126,6	113,3	131,9
poudre de vers lyophilisés	106,8	116,5	106,1	116,1
poudre de vers séchés 35°	103,	121,2	109,4	127,3
poudre de vers séchés 105°	94,4	90,	93,8	89,2
sciure seule	60,9	34,2	74,9	42,1
sciure départ	40,			

Tableau XIII - Teneur en acides humiques (en mg de C) dans les divers échantillons en fin d'expérience. (Soustraction a été faite pour les échantillons à poudre de vers des acides humiques demeurant en fin d'expérience dans les poudres de vers témoins).

de 0 à 75	
de 75 à 100	
de 100 à 125	
de 125 à 175	
de 175 à 250	

10g sciure avec	Eau	Solution glucose 1%	Solution de Heller	Solution de Heller glucosée
NH ₄ OH à 2,5 %	366,8	+429,8	+514,7	+505,0
KOH N/10	+164,6	+219,6	+204,5	+239,6
poudre de vers liophilisés	+278,7	+287,7	+265,3	+270,2
poudre de vers séchés 35°	+200,2	+269,1	+244,8	+281,5
poudre de vers séchés 105°	+168,3	+148,8	+165,8	+151,3
sciure seule	+55,1	-15,4	+92,6	+5,5

Tableau XIV - Variation des acides humiques par rapport à la valeur de ces acides dans un poids de matériel végétal de départ identique à celui demeurant en fin d'expérience.

de - 20 à 0	
de 0 à +100	
de 100 à 200	
de 200 à 250	
de 250 à 300	
de 300 à 515	

10g sciure avec	Eau	Solution glucose 1%	Solution de Heller	Solution de Heller glucosée
NH ₄ OH à 2,5 %	112,9	116,1	92,8	94,1
KOH N/10	169,0	167,6	175,1	153,1
poudre de vers liophilisés	72,5	132,7	114,7	91,0
poudre de vers séchés 35°	52,9	118,0	71,0	112,2
poudre de vers séchés 105°	86,4	110,0	99,9	108,6
sciure seule	153,0	160,0	147,9	134,4
sciure départ	212,0			

Tableau XV - Teneur en acides fulviques (en mg de C) dans les divers échantillons en fin d'expérience. (Soustraction a été faite pour les échantillons à poudres de vers des acides fulviques demeurant en fin d'expérience dans les poudres de vers témoins).

de 50 à 125	
de 125 à 150	
de 150 à 175	
de 175 à 200	
de 200 à 250	

10g sciure avec	Eau	Solution de glucose à 1%	Solution de Heller	Solution de Heller glucosée
NH ₄ OH à 2,5 %	-527	-518	-60	-60
KOH N/10	-28	-50,1	-22,2	-62
poudre de vers liophilisés	-575	-27	-34,7	-52
poudre de vers séchés 35°	-74,5	-40,6	-65	-44,4
poudre de vers séchés 105°	-59,4	-543	-532	-49,4
sciure seule	-356	-34,7	-37,2	-437

Tableau XVI - Variation des acides fulviques par rapport à la valeur de ces acides dans un poids de matériel végétal de départ identique à celui demeurant en fin d'expérience (même remarque que pour le tableau XIV).

de -75 à -60	
de -60 à -50	
de -50 à -40	
de -40 à -30	
de -30 à -20	

10g sciure avec	Eau	Solution de glucose à 1%	Solution de Heller	Solution de Heller glucosée
NH ₄ OH à 2,5 %	28/20/52	25/11/64	27/11/62	28/10/62
KOH N/10	83/10/7	14/15/74	72/10/18	12/6/82
poudre de vers liophilisés	19/10/71	23/14/63	27/8/65	22,5/25/56
poudre de vers séchés 35°	10/7/83	9/6/85	5/4/91	12/9/79
poudre de vers séchés 105°	10/6/84	8/10/82	10/8/82	13/6/81
sciure seule	54/19/27	25/13/62	60/16/24	38/10/43
sciure départ	22/9/59			

Tableau XVII - Electrophorèse des acides humiques des divers échantillons en fin d'expérience.

acides humiques gris	
- - intermédiaires	
- - bruns	

. Acides humiques et acides fulviques (tableaux XIII à XVII)

5 - Le tableau XIII, concernant les teneurs en acides humiques dans les divers échantillons en fin d'expérience, montre que la sciure seule s'est peu humifiée au cours de l'expérience, mais que les poudres de vers et surtout les solutions basiques ont fortement accru cette humification. Pour les poudres de vers, soustraction a été faite des acides humiques demeurant en fin d'expérience dans les poudres de vers témoins. Les poudres de vers ont été d'autant plus efficaces que les vers ont été déshydratés à plus faible température et ont donc eu une action plus forte sur l'activité biologique du milieu.

Les solutions de potasse et surtout d'ammoniaque, bien qu'agissant, comme nous l'avons déjà vu, essentiellement par voie chimique, semblent avoir été encore plus efficaces que les poudres de vers. Toutefois, si nous prenons en considération les pertes de sciure intervenues au cours de l'expérience et que nous exprimons les variations des teneurs en acides humiques en valeur relative et par rapport à la valeur des acides humiques présents dans un poids de sciure de départ égal à celui demeurant en fin d'expérience (cf. tableau XIV), nous constatons que les vers lyophilisés et même les vers séchés à 35 - 40° ont eu une action plus humifiante que la potasse N/10, mais non supérieure à celle de l'ammoniaque à 2,5%. L'expérience nous a montré que la courbe de solubilisation et de synthèse des acides humiques par l'ammoniaque à 2,5% atteignait son plafond après une semaine.

6 - Le glucose n'a favorisé l'humification de la sciure qu'en présence de potasse ou de poudre de vers lyophilisés ou séchés à 35 - 40°. La solution de Heller n'a pas eu d'effet.

7 - Pour ce qui est des acides fulviques, ces derniers (cf. tableau XV) ont partout fortement diminué au cours de l'expérience, mais principalement en milieu ammoniacal et en présence des diverses poudres de vers, soustraction faite des acides fulviques demeurant en fin d'expérience dans les poudres de vers témoins ; si l'on ne tient pas compte de cette correction, les acides fulviques demeurant en fin d'expérience dans les échantillons à poudres de vers apparaissent du même ordre de grandeur que ceux demeurant dans les échantillons à solution potassique.

Si on exprime en valeur relative les variations des teneurs en acides fulviques au cours de l'expérience, compte tenu des pertes en sciure (et donc pour chaque échantillon par rapport aux acides fulviques présents dans un poids de sciure de départ égal à ce qu'il en reste en fin d'expérience), on obtient un tableau approximativement identique, mais où cependant les actions respectives des trois poudres de vers apparaissent peut-être mieux (cf. tableau XVI).

8 - Les électrophorèses des divers acides humiques (cf. tableau XVII) nous montrent des différences qualitatives assez intéressantes.

La sciure seule, maintenue humide, s'est peu humifiée, et principalement au profit des acides humiques gris. La potasse a accéléré cette simplification des acides humiques. L'ammoniaque a par contre favorisé la libération ou la synthèse des acides humiques bruns, mais ce sont surtout les poudres de vers, et principalement les poudres de vers séchés à 35 - 40° ou à 105° qui ont favorisé cette synthèse des acides humiques bruns. Les vers lyophilisés favorisent donc fortement l'activité biologique de la sciure et aussi son humification, mais s'avèrent inférieurs aux vers séchés à plus forte température pour ce qui est de la synthèse des acides humiques bruns.

Il est aussi intéressant d'observer l'action très nette du glucose qui, en présence de potasse et même seul, accroît considérablement dans la sciure la synthèse des acides humiques bruns. A l'action humifiante du glucose en présence de potasse, que nous avons déjà notée plus haut, s'ajoute une action favorable du mélange de ces substances vis-à-vis de la synthèse des acides humiques bruns. Par contre, la solution de Heller n'a pas eu plus d'action sur la nature des acides humiques qu'elle n'en a eu sur l'humification même de la sciure.

9 - Le pourcentage de glucides présents dans les acides fulviques, qui était de 11,7% dans la sciure de départ, s'est accru dans tous les échantillons au cours de l'expérience. Il est

passé à environ 21% dans les échantillons de sciure à solution ammoniacale, à environ 30% dans les échantillons de sciure à solution potassique et à 35 - 50% dans les échantillons de sciure à poudres de vers.

Nota — Nous n'avons pas jugé utile de donner ici le tableau détaillé des résultats concernant le pourcentage de glucides présents dans les acides fulviques des divers échantillons en fin d'expérience.

. pH (figure 19)

10 - La figure 19 résume l'évolution du pH des divers échantillons au cours de l'expérience.

La solution ammoniacale a maintenu la sciure basique pendant deux semaines, puis ensuite à pH 7 jusqu'à la fin de l'expérience.

La solution potassique n'a maintenu la sciure basique que pendant 4 jours, puis l'a ensuite stabilisée à pH 5,7 - 6.

Les poudres de vers qui, seules, par le jeu de l'ammonification se sont maintenues basiques tout au long de l'expérience, n'ont fait dans la sciure à pH 4 qu'en accroître pendant trois à quatre jours le pH d'une unité. Par suite d'une activation biologique plus poussée, l'échantillon de sciure avec poudre de vers lyophilisés s'est maintenu ensuite à pH 4 au lieu de pH 3,5, comme cela a été le cas avec les sciures enrichies de poudres de vers séchés à température plus élevée.

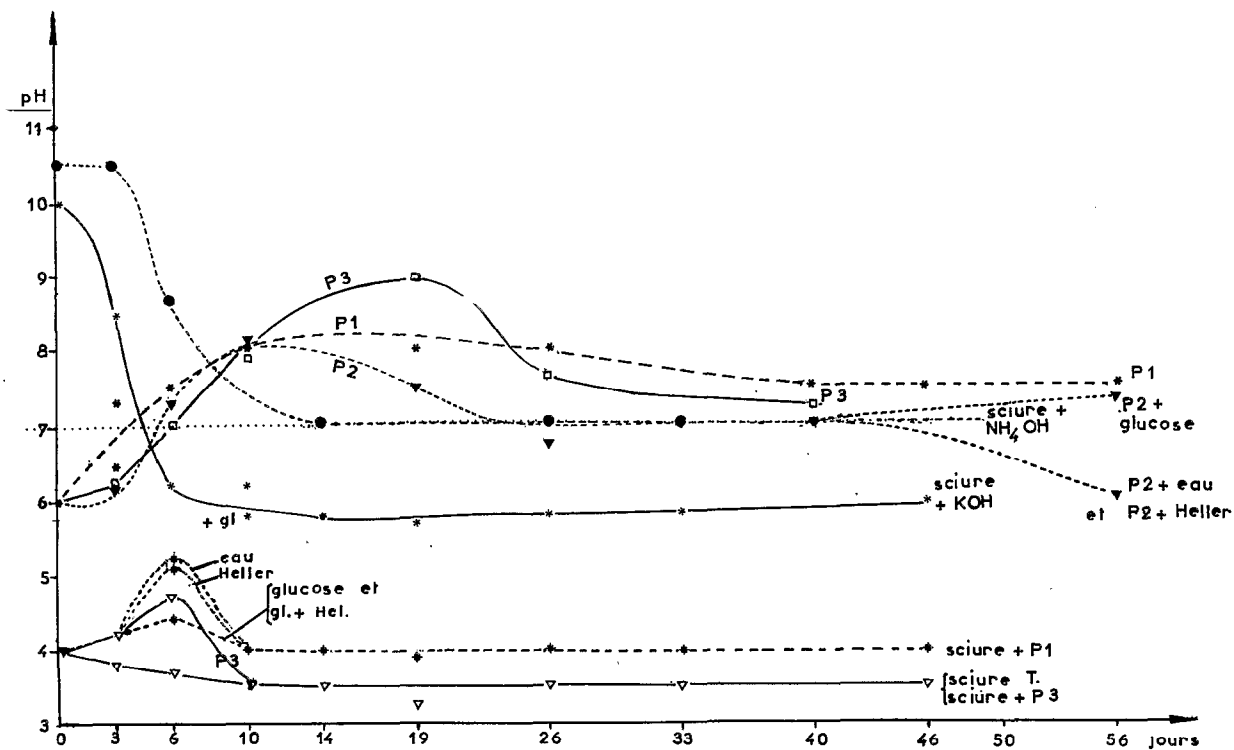


Figure 19 — Evolution du pH dans les divers échantillons au cours de l'expérience H7-2.

Conclusions

De ces diverses observations, il nous apparaît plus particulièrement intéressant de retenir que :

. les poudres de vers ont eu une action importante sur l'activité biologique du milieu et son humification, et ceci d'autant plus que les vers ont été déshydratés à plus faible température. Toutefois, c'est surtout avec les vers séchés à 35 - 40° ou à 105° que le pourcentage d'acides humiques bruns est apparu le plus élevé.

Les acides fulviques dans les échantillons à poudres de vers ont fortement diminué, mais le pourcentage de glucides s'y est accru.

. les solutions basiques d'ammoniaque et de potasse ont limité l'activité biologique de la sciure, et que très faiblement accru sa minéralisation (accroissement non significatif). Ces solutions ont par contre fortement favorisé l'humification de la sciure. La solution ammoniacale a fortement humifié la sciure et a nettement accru le pourcentage d'acides humiques bruns. La solution de potasse N/10, bien que moins efficace que l'ammoniaque, a cependant plus favorisé l'humification de la sciure que les poudres de vers déshydratés, et elle a fortement accru le pourcentage d'acides humiques gris.

La solution ammoniacale a favorisé la disparition des acides fulviques et des glucides, dont seulement environ 21% demeuraient dans les acides fulviques en fin d'expérience. La solution de potasse a maintenu un taux élevé d'acides fulviques à environ 30% de glucides.

. le glucose, bien que n'ayant pas du tout accru la minéralisation de la sciure, paraît cependant en avoir favorisé l'humification en présence de potasse ou de poudres de vers séchés à basse température. En présence de potasse ou même seul, mais à un degré moindre, le glucose a aussi très fortement favorisé la synthèse des acides humiques bruns. La solution minérale de Heller a eu peu d'action sur l'humification de la sciure.

. l'ammoniaque a maintenu deux semaines la sciure à un pH basique, puis l'a ensuite stabilisée à pH 7. La potasse N/10 ne l'a maintenue basique que pendant quatre jours, puis l'a ensuite stabilisée à pH 5,7 - 6. Les poudres de vers n'ont fait qu'accroître pendant trois à quatre jours d'une unité le pH naturel de la sciure humidifiée, voisin de 3,5. La poudre de vers lyophilisés semble par la suite avoir maintenu la sciure à pH 4 au lieu de 3,5.

Conclusions de l'ensemble des expériences de la série H7

Si l'on compare les conclusions de l'expérience H7-1 avec celles de l'expérience H7-2, on voit que :

1 - les vers de terre morts, desséchés et broyés, stimulent l'activité biologique au sein des sciures, augmentent le taux de minéralisation de ces sciures, en favorisent l'humification et accroissent le pourcentage des acides humiques bruns.

Il apparaît qu'un ou plusieurs composés organiques azotés, se détruisant facilement à la chaleur ou à la dessiccation, favoriseraient à la fois l'activité biologique au sein des sciures et directement ou indirectement leur humification. Ce ou ces composés ne se localiseraient pas dans le mucus des vers et seraient vraisemblablement de nature protidique.

2 - les solutions basiques d'ammoniaque à 2,5% ou de potasse N/10 accroissent aussi fortement l'humification des sciures, mais à la différence des poudres de vers, ces solutions stérilisent partiellement le milieu et en limitent fortement la minéralisation.

Les solutions ammoniacales ont été particulièrement efficaces avec la sciure de chêne, libérant surtout des acides humiques bruns.

Les solutions potassiques, en solubilisant les composés celluloseux, déterminent des teneurs assez fortes en acides fulviques, par ailleurs riches en glucides, et elles accroissent secondairement aussi le pourcentage d'acides humiques gris.

3 - quel que soit le pH de l'échantillon de sciure étudié, une augmentation de ce pH paraît toujours favoriser les processus d'humification, mais le pH n'est qu'un facteur secondaire de l'humification, jouant plus ou moins selon les conditions de milieu et dont l'action ne dépend pas obligatoirement de ses variations.

4 - l'apport énergétique de glucose paraît aussi avoir favorisé l'humification de la sciure de chêne en présence de potasse ou de vers morts, tout en accroissant, d'une manière plus générale, le pourcentage d'acides humiques bruns.

Les apports minéraux, sels d'azote compris, ne paraissent pas avoir eu une efficacité bien grande sur l'humification de cette sciure.

Conclusions générales

Des diverses conclusions acquises au cours de ce premier travail sur l'action de la faune dans les processus naturels d'humification de quelques matériaux végétaux, nous pensons utile d'en reprendre pour finir les quelques points qui nous paraissent plus particulièrement importants.

ACTION DES ANIMAUX SUR L'HUMIFICATION DES MATÉRIAUX VÉGÉTAUX

Nous savons que l'humification des matériaux végétaux feuillus s'effectue à l'intérieur des feuilles dès leur jaunissement et leur chute. Elle se développe pendant la saison automnale. Les gels de l'hiver, en créant des conditions de pseudo-dessiccation, favorisent l'hétéropolycondensation des substances humiques ou préhumiques. Le début du printemps voit la fin de l'humification des litières, le début de leur lessivage et la reprise de leur fragmentation par la faune.

La litière de pommier humifiée, récoltée à la fin de l'hiver, donc fortement humifiée et encore peu lessivée, subit, même à sec, une déshumification naturelle, évidemment beaucoup plus marquée en conditions humides. Cette déshumification est favorisée par la température et paraît accrue par la présence des Isopodes (*Porcellio scaber*, *P. laevis*, *Armadillidium nasutum*, *A. vulgare*) celle des Collemboles (*Tullbergia krausbaueri*) et celle des Enchytréides. Seul dans nos expériences, le Myriapode *Polydesmus angustus* semble avoir légèrement freiné cette déshumification.

La libération favorisée des acides humiques par la faune et la minéralisation accrue qui en résulte par la suite peuvent souvent s'accompagner d'un accroissement des acides humiques bruns aux dépens des acides humiques gris. En milieu sec, une légère augmentation des acides fulviques peut aussi s'observer.

Le foin est un matériel encore vert et peu humifié, et bien qu'à l'état humide son pH puisse demeurer acide et voisin de 5, il présente une humification nettement favorisée par la température. Cette humification, compensant la minéralisation du matériel végétal, maintient à peu près constante la quantité totale d'acides humiques et donne donc un produit évolué beaucoup plus humifère.

L'apport de microarthropodes (*A. nasutum*, *P. angustus*) ne semble pas avoir eu d'influence notable sur l'humification du foin, bien que là encore la faune paraisse avoir favorisé la proportion d'acides humiques bruns.

Les feuilles vertes, si elles conservent une humidité suffisante, tendent normalement à s'humifier en donnant des acides humiques de plus en plus stables (accroissement de la proportion d'acides humiques bruns).

Les feuilles cireuses de lierre, riches en substances énergétiques de nature glucidique, en substances cellulosiques et en substances préhumiques, n'ont pas tendance à s'humifier malgré un pH qui devient rapidement basique. Au cours de l'évolution de ces feuilles broyées, on a une forte minéralisation des substances préhumiques et une faible synthèse des acides humiques stables de type brun.

Pour les feuilles de ronce, beaucoup moins "succulentes" que les feuilles de lierre, la synthèse des acides humiques y est rapide et bien marquée ; cette humification s'effectue à un pH acide de 6 à 7 et elle est d'autant plus importante que les tissus végétaux des feuilles sont moins lésés, ce qui correspond à la synthèse classique des composés humiques par voie biologique, à l'intérieur des cellules végétales mortes et antérieurement à la déchirure de leurs parois.

Les phasmes *Carausius morosus* pour le lierre et *Medaura brunneri* pour la ronce), en ingérant et en fragmentant ces feuilles, diminuent la quantité totale de composés organiques de nature préhumique, mais apportent à la surface du sol un matériel comparativement plus humique et surtout plus riche en substances énergétiques immédiatement disponibles.

Les substances humiques incluses dans les excréments de *Carausius morosus* (phasme du lierre) maintenus humides ou sous régime à dessiccation périodique, tendent à diminuer tant en valeur absolue qu'en valeur relative et corrigée, c'est-à-dire compte tenu de la minéralisation des excréments.

Les substances humiques incluses dans les excréments de *Medaura brunneri* (phasme de la ronce) maintenus humides ou sous régime à dessiccation périodique, tendent au contraire à s'accroître, même en ne tenant pas compte de la minéralisation partielle de ces excréments.

Qualitativement, les acides humiques subissent aussi une évolution plus poussée dans les feuilles de lierre que dans les excréments de *Carausius morosus*, alors que la proportion d'acides humiques bruns varie peu dans les feuilles de ronce mais s'accroît nettement dans les excréments de *Medaura brunneri*.

Ainsi, un matériel végétal vert difficilement humifiable (le lierre) et un matériel végétal vert facilement humifiable (la ronce), ingérés par deux insectes de la même famille, n'ont pas vu leur humification favorisée dans les excréments de ces insectes. Toutefois, si la proportion d'acides humiques bruns s'est davantage accrue dans les feuilles de lierre que dans les excréments d'insectes, son évolution dans le cas de la ronce s'est par contre trouvée moins marquée dans les feuilles que dans les excréments d'insectes.

Les racines de maïs ont un pH voisin de la neutralité, devenant rapidement basique. Elles s'humifient fortement en se décomposant, et cette humification apparaît d'autant plus importante que le milieu demeure plus chaud et constamment humide, comme c'est généralement le cas dans les sols. Une importante diminution des acides fulviques et des glucides accompagne cette évolution.

Les Isopodes (association de quatre espèces ou *Oniscus asellus* seul), tout en accélérant la dégradation des racines, peuvent en favoriser l'humification, même sans tenir compte de la fraction de racines minéralisées.

La sciure de bois (sciure mixte de divers feuillus ou sciure de chêne) maintenue constamment humide ou non, régulièrement retournée ou pas, a conservé un pH de 4,5 à 5 et a subi une déshumification (cas de la litière mixte) ou une légère humification (cas de la sciure de chêne), d'autant plus fortes que la température était plus élevée et le milieu bien aéré.

Les Isopodes (*A. vulgare*, *O. asellus*) ont accru l'activité biologique et la minéralisation de la sciure, mais en ont aussi favorisé la déshumification.

Les larves de Scarabéides ont au contraire freiné cette déshumification.

Les vers de terre vivants ont aussi une action stimulante sur l'activité biologique au sein des sciures ; ils en remontent le pH et en favorisent fortement la minéralisation. Par leur

travail de fouissage, ils peuvent contrecarrer la formation des zones de réduction, mais rappelons que par l'enfouissement des matières organiques fermentescibles dans les sols lourds, ils peuvent au contraire en créer.

Les vers de terre vivants n'ont pas limité la déshumification de la sciure mixte, le noircissement du milieu étant dû au développement d'un champignon.

Les vers de terre morts, desséchés et broyés, ont stimulé encore plus que les vers vivants l'activité biologique au sein des sciures, la minéralisation de celles-ci et leur taux d'humification, et ceci d'autant plus que les vers ont été déshydratés à plus faible température. L'apport d'azote et les changements de pH ne paraissent pas à eux seuls expliquer cette action stimulante et humifiante, et on pense qu'un ou plusieurs composés organiques azotés thermo et xérolabiles seraient directement ou indirectement en cause. Ce (ou ces) composés, que nous n'avons pas encore identifiés, ne se localiseraient pas dans le mucus des vers. Des expériences antérieures nous font penser que l'on a affaire à des composés de nature protidique.

Il apparaît donc que ces quelques conclusions vont dans le sens des divers travaux rappelés en introduction et permettent parfois de mieux les comprendre.

Il est d'abord essentiel quand on parle d'humification ou de déshumification d'un matériel végétal de préciser si l'on en juge simplement d'après les variations globales des acides humiques ou en tenant compte de la fraction de matériel qui s'est minéralisée. Nous pensons avoir montré l'importance de cette expression des résultats pour une interprétation plus exacte des faits. Il est en effet possible qu'un animal puisse donner des excréments très riches en acides humiques à partir d'un matériel végétal peu humique, mais si cet animal favorise aussi fortement la minéralisation de ce matériel végétal, il se peut qu'en fin de compte le bilan humique global soit négatif, alors que le matériel végétal, pour sa partie non assimilée ou non minéralisée, se trouvera fortement humifié après le passage à travers le tube digestif de l'animal.

Le plus souvent, la faune du sol n'agit pas directement sur l'humification des matériaux végétaux, mais y accroît l'activité biologique et y développe donc les diverses réactions biochimiques qui s'y réalisent habituellement, y compris celles qui participent aux processus d'humification ou de déshumification. Un même animal peut ainsi, en activant simplement les processus biochimiques naturels, favoriser l'humification d'un matériel végétal en voie d'humification ou, au contraire, activer la déshumification d'un matériel végétal en voie de décomposition. Dans ce dernier cas cependant, et bien que les acides humiques totaux puissent parfois subir une forte diminution, la proportion d'acides humiques bruns se trouve souvent accrue.

Tel serait généralement le cas avec les Collemboles, les Isopodes et les insectes phytophages.

Mais inversement, pour un même matériel végétal de départ, deux animaux différents pourraient *a priori* avoir une action opposée sur l'humification de ce matériel si les modifications que l'un d'eux apportait au milieu suffisaient à y créer des conditions favorables à un changement de l'équilibre humification-déshumification.

Diverses observations antérieures à ces travaux nous laissent supposer que les larves de Diptères favoriseraient la déshumification des matériaux végétaux qu'elles réduisent en bouillie, si le produit de leur ingestion ne se trouve pas bien incorporé au sol et ne bénéficie pas d'une aération suffisante. L'action déshumifiante des termites est aussi bien connue. Par contre, les grosses larves de Scarabéides et certains escargots (expérience non décrite dans ce travail, car à revoir) favoriseraient peut-être l'humification des milieux ligneux où ils demeurent. Les vers de terre de même (tout au moins dans nos régions tempérées) sont connus comme stimulant incontestablement les processus d'humification. En fait, nous avons vu qu'ils pouvaient fort bien favoriser l'humification d'une sciure ou en accélérer la déshumification selon la nature même de la sciure et les conditions de son évolution. Le résultat de leur action tend cependant le plus souvent à créer des conditions favorables aux processus d'humification.

Par leurs cadavres, les vers morts favorisent fortement l'humification des sciures. Le déterminisme de cette action peut être lié simplement à l'apport de certains protides : protéines ou simples acides aminés. L'action des cadavres et des protéines animales sur l'humification des matériaux végétaux fait maintenant l'objet de nos recherches et fournira plus tard, nous l'espérons, la suite logique de ce travail.

Rappelons enfin pour finir que nous nous sommes volontairement limités dans ce travail à l'humification des matériaux végétaux en dehors des sols. Dans la nature, le problème est en fait beaucoup plus complexe et le résultat de l'humification des apports végétaux y dépend de tout l'ensemble de l'écosystème que constitue le sol. La faune n'est le plus souvent dans le sol qu'un simple élément agissant en interdépendance avec l'ensemble des autres éléments pédologiques (BACHELIER, 1963 a, 1968, 1971).

ACTION DU CLIMAT ET DES ARGILES

Concernant les autres variables, quelques conclusions méritent peut-être aussi d'être retenues.

L'élévation de température accélère les divers processus biologiques, dont notamment ceux de l'humification ou de la déshumification, sans en modifier apparemment l'orientation. Elle accroît aussi fortement la minéralisation des substances végétales, ce qui peut indirectement favoriser l'humification de la fraction restante.

Les dessiccations périodiques ont freiné la disparition des matériaux végétaux et en ont diminué l'humification. Elles ont même dans le cas de la sciure mixte accéléré la déshumification de cette dernière. Par contre, elles ont parfois légèrement favorisé la synthèse des acides humiques bruns (cas de la ronce par exemple). Nous retrouvons là les conclusions auxquelles nous étions déjà précédemment parvenus (BACHELIER, 1963 a), de même que VAN SCHREVEN, 1967.

Un pH neutre ou basique favorise dans les sols la synthèse des acides humiques, comme nous l'ont montré divers travaux antérieurs résumés dans BACHELIER (1968), mais dans les matériaux végétaux se décomposant en dehors de l'écosystème pédologique, le pH n'est qu'un facteur secondaire jouant plus ou moins selon les conditions du milieu et dont l'action n'apparaît que peu liée à ses variations. Les variations de pH des divers matériaux végétaux utilisés (cf. figure 20, annexe 1) nous montrent ainsi que le foin, qui dans nos expériences s'est nettement humifié, conserve au cours de son évolution un pH de 4,5 très voisin de celui de la sciure mixte qui, elle, s'est déshumifiée. De même, pour les racines de maïs et les feuilles de lierre qui, bien que présentant entre elles des humifications toutes différentes, acquièrent cependant toutes deux rapidement un pH de 8. Néanmoins, il est vraisemblable que les animaux, en rendant les pH moins acides, puissent très souvent favoriser les processus d'humification.

Enfin, si nous avons volontairement conduit nos expériences en dehors du facteur sol, nous y avons parfois cependant introduit diverses argiles (expériences H 5-2, H 6-2, H 6-3 et H 6-4).

La kaolinite a souvent eu une action négative sur la minéralisation des matériaux végétaux et en a limité leur humification. Cette argile semble même parfois pouvoir faciliter la dégradation des acides humiques (expérience H 6-2). Par contre, à taux raisonnable, elle ne contrarie guère l'activité biologique des milieux et elle n'a pas limité dans nos expériences l'action stimulante des vers de terre sur l'activité biologique des sciures.

La montmorillonite, par son seul apport, accroît le pH des sciures d'une unité et demie. Elle peut en accroître légèrement la minéralisation, mais n'en favorise généralement pas l'activité biologique en milieu liquide, comme c'est le cas dans la mesure de l'absorption d'oxygène en flacon d'eau. Cette argile a dans nos expériences fortement limité l'action stimulante des vers sur l'activité biologique des sciures. Elle a aussi freiné l'humification des racines, mais elle a par contre très fortement contrecarré la déshumification de la sciure mixte, surtout en régime à dessiccation périodique. FILIP (1968) avait déjà montré que la bentonite pouvait freiner l'humification des matières organiques dans les cultures liquides des divers microorganismes du sol et la favoriser au contraire dans les cultures sur sable.

Bibliographie

- ALEXANDROVA (L.N.) - 1960 - On the decomposition of humus substances and the nature of organo-mineral colloids in soil. *Trans. 7th. Internation. Congr. Soil Sci.* (Madison, U.S.A.), vol. II, pp. 74-81.
- ANSTETT (A.) - 1951 - Sur l'activation microbiologique des phénomènes d'humification. *C.R. Acad. Agric. (Fr.)*, 37, pp. 262-264.
- ATLAVINYTE (O.) et DACIULYTE (J.) - 1969 - The effect of earthworms on the accumulation of vitamin B12 in soil. *Pedobiologia* (Iena), 9, 1/2, pp. 165-170.
- BACHELIER (G.) - 1960 - Détermination biologique du pouvoir nutritif d'un sol par développement conditionné des microorganismes et dosage de l'oxygène qu'ils absorbent. *Agron. trop.*, 5, pp. 525-542.
- BACHELIER (G.) - 1963a - Influence du climat sur les processus pédobiologiques de l'humification et de la déshumification. *Pedobiologia* (Iena), 2, 2, pp. 153-163.
- BACHELIER (G.) - 1963b - La vie animale dans les sols. *Init. Doc. tech.*, n° 3, ORSTOM, Paris, 279 pages.
- BACHELIER (G.) - 1968 - Contribution à l'étude de la minéralisation du carbone des sols. *Mém. ORSTOM*, Paris, n° 30, 145 pages.
- BACHELIER (G.) - 1971 - La vie animale dans les sols. 1/ Déterminisme de la faune des sols. 2/ Action de la faune dans l'évolution des sols considérés en tant qu'équilibres naturels. dans "La Vie dans les Sols", Gauthier Villars éd., Paris, 472 pages, 1-44 et 45-82.
- DAY (G.) - 1950 - Influence of earthworms on soil microorganisms. *Soil. Sci.*, 69, 3, pp. 175-184.
- DREIDAX (L.) - 1931 - Untersuchungen über die Bedeutung der Regenwürmer für den Pflanzenbau. *Arch. Pflanzenbau*, 7, pp. 413-467.
- DUNGER (W.) - 1958 - Über die Veränderung des Fallaubes im Darm von Bodentieren. *Z. Pflanzenernähr. Düngung Bodenkd.*, Dtsch., 82 (2/3), pp. 174-193.
- DUNGER (W.) - 1962 - Leistungsspezifität bei streuzersettern. *Soil Organisms* (Doeksen J., Van der Drift J. éd.), Amsterdam, pp. 92-102.
- EDWARDS (C.A.) et HEATH (G.W.) - 1962 - The role of soil animals in breakdown of leaf material. *Soil Organisms* (North-Holland Publ. Co., Amsterdam), pp. 76-84.
- EL HALFAWI (M.H.), VAN CLEEMPUT (O.) et VAN DEN HENDE (A.) - 1969 - Mineralization and humification of soil organic matter following alternate wet and dry conditions. *Pédologie* (Gand), XVIII, 3, pp. 322-332.

- FILIP (Z.) - 1968 - Growth of microorganisms and formation of humic substances in media containing varying amounts of bentonite. *Soviet Soil Sci.* (Madison), 9, pp.1243-1250.
- FLAIG (W.) - 1955 - Contribucion al estudio de los acidos huminicos. *Monogr. Ci. mod.* n° 46, Instituto de Edafologia y Fisiologia vegetal, Madrid.
- FLAIG (W.) et HAIDER (K.) - 1968 - Uber die beteiligung von phenolem am aufbau von humin-säuren. *Trans. 9th. Internation. Congr. Soil Sci.* (Adelaïde, Australie), III, pp. 175-182.
- FRANZ (H.) - 1942 - Untersuchungen über die Bedeutung der Bodentiere für die Erhaltung und Steigerung der Bodenfruchtbarkeit. *Forschungsdienst* n° 13.
- FRANZ (H.) - 1955 - Die Bedeutung der Kleintiere für die Humusbildung. *Z. Pflanzenernähr. Düngung Bodenkd., Dtsch.*, 69, pp. 176-181.
- GRASSE (P.P.) - 1959 - Un nouveau type de symbiose : la meule alimentaire des Termites champignonnistes. *La Nature* (Fr.), n° 3293, pp.385-389.
- GRATH Mc (D.) - 1967 - A soil Pigment. *Studies about humus* (Trans. Inter. Symp. "Humus et Planta IV", Prague, sept.1967), 316 pages, 236-239.
- HEUNGENS (A.) - 1969 - The physical decomposition of pine litter by earthworms. *Plant and Soil* (La Hague), XXXI, 1, pp.22-30.
- HOPP (H.) et SLATER (Cl.S.) - 1948 - Influence of Earthworms on soil productivity. *Soil Sci.* 66, 6, pp. 421-428.
- HOPP (H.) et SLATER (Cl.S.) - 1949 - The effect of Earthworms on the productivity of agricultural soil. *J. Agric. Research*, 78, 10, pp.325-341.
- HURST (H.M.) - 1967 - Processes occurring during the formation of humic substances. *Studies about humus* (Trans. Inter. Symp. "Humus et Planta IV", Prague, sept.1967), 316 pages, 23-38.
- HURST (H.M.) et BURGESS (N.A.) - 1967 - Chapitre "Lignin and humic acids", dans *Soil Biochemistry* (Mc. Laren et Peterson éd.), New-York, pp. 260-286.
- JEANSON (C.) - 1960 - Evolution de la matière organique du sol sous l'action de *Lumbricus herculeus* Savigny (Oligochète Lumbricidae). *C.R. Ac. Sci.* (Fr.), t.250, n° 21, pp. 3500-3502.
- JONGERIUS (A.) et SCHELLING (J.) - 1960 - Micromorphology of organic matter, formed under the influence of soils organisms, especially the soil fauna. *Trans. 7th. Internation. Congr. Soil Sci.* (Madison, U.S.A.), V. II, Comm.III, 35, pp.702-710.
- KEULS (M.) - 1952 - The use of the "studentized range" in connection with an analysis of variance. *Euphytica*, 1, pp. 112-122.
- KONONOVA (M.M.) - 1961 et 1966 (2ème éd. rev. et corr.) - *Soil organic matter*, its nature, its role in soil formation and in soil fertility. Pergamon Press éd. (Oxford, Londres, New-York, Paris), 450 p. (1961) et 544 p. (1966).
- KONONOVA (M.M.) - 1968 - Transformations of organic matter and their relation to soil fertility. *Soviet Soil Sci.* (Madison), 8, pp. 1047-1055.
- KOZLOVSKAJA (L.S.) - 1969 - Der Einfluss der Exkrememente von Regenwürmern auf die Aktivierung der mikrobiellen Prozesse in Torfböden. *Pedobiologia* (Iena), 9, 1/2, pp. 158-164.
- KUMADA (K.) et SATO (O.) - 1965 - Humus composition of podzols. *Studies on P-type Humic Acids* (Part.2). *J. Soc. Soil. Manure*, Japon, 36, pp. 373-378.

- KUMADA (K.) et SATO (O.) - 1967 - Studies on the chemical properties of P type humic acid. *Studies about humus* (Trans. Inter. Symp. "Humus et Planta IV", Prague, sept. 1967) 316 pages, 131-133.
- KUMADA (K.) et HURST (H.M.) - 1967 - Green humic acid and its possible origin as a Fungal Metabolite. *Nature* (Lond.), 214, pp.631-633.
- KURCHEVA (G.F.) - 1960 - Role of invertebrates in the decomposition of oak litter. *Soviet Soil Sci.* (Madison), 4, 360-365.
- KURCHEVA (G.F.) - 1967 - Influence des invertébrés du sol sur l'intensité de la dégradation de la litière dans une forêt de chênes de la région de Koursk (Etude expérimentale). (en russe). *Pedobiologia* (Iena), 7, 2/3, pp.228-238.
- MACFADYEN (A.) - 1961 - Metabolism of soil invertebrates in relation to soil fertility. *Ann. appl. Biol.*, 49, pp.215-218.
- MANSKAYA (S.M.) et KODINA (I.A.) - 1968 - Aromatic structures of lignins and their role in the formation of humic acids. *Soviet Soil Sci.* (Madison), 8, pp.1102-1107.
- MEYER (L.) - 1943 - Experimenteller Beitrag zu makrobiologischen Wirkungen auf Humus und Bodenbildung. *Z. Pflanzenernähr. Düngung Bodenkd., Dtsch.*, 29, 74, pp.119-140.
- MONNIER (G.) et JEANSON (C.) - 1965 - Studies on the stability of soil structure : influence of moulds and soil fauna. *Experimental Pedologie. Proc. 11th Easter School in Agric. Sci.*, Univ. Nottingham, pp.244-254.
- MULLER (G.) et GRUHN (M.) - 1969 - Effet de l'application d'ammoniac anhydre sur les microorganismes du sol (en allemand). *Zentbl. Bakteriologie Parasitenkd. Abt., II*, 123, pp. 667-676.
- NAGLITSCH (F.) - 1965 - Methodische Untersuchungen über den Einfluss von Bodenarthropoden auf die Humifizierung organischer Substanzen. *Pedobiologia* (Iena), 5, 1/2, 50-64.
- PARLE (J.N.) - 1963 - Microorganisms in the intestines of earthworms. *J. gen. Microbiol.*, 31, pp. 1-11.
- PREVOT (A.R.) - 1970 - Humus. Biogenèse, Biochimie, Biologie. Ed. de la Tourelle (Paris) 242 pages.
- RUSCHMANN (G.) - 1953 - Über Antibiosen und Symbiosen von Bodenorganismen und ihre Bedeutung für die Bodenfruchtbarkeit.
3 - Regenwurm-Symbiosen und Antibiosen. *Z. Acker-u. Pflanzenbau*, 96, pp.201-218.
4 - Die symbiotischen und antibiotischen Regenwurm-Aktinomyzeten. *Z. Acker-u. Pflanzenbau*, 97, pp. 101-114.
- RUSSELL (E.J.) - 1910 - *J. agric. Sci.*, 3, 246 ; cité dans RUSSELL (E.J.), 1950. *Soil conditions & Plant growth*, 8ème éd., p.187. Longmans, Green and Co. éd. (London, New-York, Toronto).
- SATCHELL (J.E.) - 1960 - Earthworms and soil fertility. *New Scientist*, 7, 165, pp.79-81.
- SATO (O.) et KUMADA (K.) - 1967 - The chemical nature of the green fraction of P type humus acid. *Soil Sci. and Plant Nutr.*, 13, 4, pp.121-122.
- SCHUTZ (W.) et FELBER (E.) - 1956 - Welche Mikroorganismen spielen im Regenwurmdarm bei der Bildung von Bodenkrümeln eine Rolle ? *Z. Acker-u. Pflanzenbau*, 101, pp. 471-476.
- STRIGANOVA (B.R.) - 1968 - Study of the role of wood-lice and earthworms in the formation of decomposing wood. *Soviet Soil Sci.* (Madison), 8, pp.1108-1112.

- VAN DER DRIFT (J.) - 1951 - Analysis of the animal community in beach forest floor. *Meded. Inst. Toegep. biol. Onderz. Nat.*, 9, pp. 1-168.
- VAN DER DRIFT (J.) et WITKAMP (M.) - 1960 - The significance of the breakdown of oak litter by *Enoicyla pusilla* Burm. *Arch. néerl. Zool.*, XIII, pp. 486-492.
- VAN SCHREVEN (D.A.) - 1967 - The effect of intermittent drying and wetting of a calcareous soil on carbon and nitrogen mineralization. *Plant and Soil*, XXVI, 1, pp. 14-32.
- ZRAZHEVSKIY (A.I.) et SEYY (A.I.) - 1969 - Ammonia water as an agent of partial sterilization of soil. *Soviet Soil Sci.* (Madison), n°3, pp.294-301.

annexes

Annexe 1

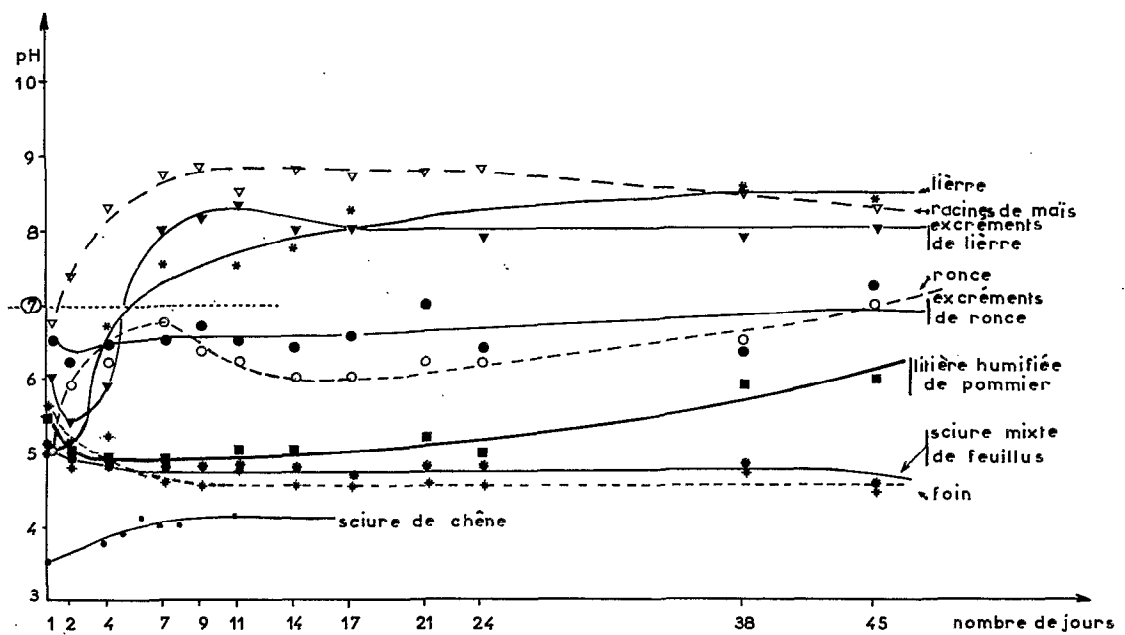


Figure 20 — Evolution du pH, sous humidité constante et à 17°, des divers matériaux utilisés dans nos expériences.

Annexe 2

SOLUTION MINÉRALE DE HELLER

Macroéléments

eau	1 000 ml
K Cl	0, 750 g
Na NO ₃	0, 600 g
Mg SO ₄ , 7 H ₂ O	0, 250 g
Na PO ₄ H ₂ , 2 H ₂ O	0, 125 g
Ca Cl ₂ , 2 H ₂ O	0, 075 g

Microéléments (1 ml par litre de la solution de macroéléments)

eau	1 000 ml
Fe Cl ₃ , 6 H ₂ O	1, 00 mg
Zn SO ₄ , 7 H ₂ O	1, 00 mg
H ₃ BO ₃	1, 00 mg
Mn SO ₄ , 4 H ₂ O	0, 10 mg
Cu SO ₄ , 5 H ₂ O	0, 03 mg
Al Cl ₃	0, 03 mg
Ni Cl ₂ , 6 H ₂ O	0, 03 mg
K I	0, 01 mg

Les Editions de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer tendent à constituer une documentation scientifique de base sur les zones intertropicales et méditerranéennes et les problèmes que pose le développement des pays qui s'y trouvent.

CAHIERS ORSTOM.

— Séries périodiques :

- **entomologie médicale et parasitologie** : articles relatifs à l'épidémiologie des grandes endémies tropicales transmises par des invertébrés, à la biologie de leurs vecteurs et des parasites, et aux méthodes de lutte.
- **géologie** : études sur les trois thèmes suivants : altération des roches, géologie marine des marges continentales, tectonique de la région andine.
- **hydrobiologie** : études biologiques des eaux à l'intérieur des terres, principalement dans les zones intertropicales.
- **hydrologie** : études, méthodes d'observation et d'exploitation des données concernant les cours d'eau intertropicaux et leurs régimes en Afrique, Madagascar, Amérique du Sud, Nouvelle-Calédonie...
- **océanographie** : études d'océanographie physique et biologique dans la zone intertropicale, dont une importante partie résulte des campagnes des navires océanographiques de l'ORSTOM ou utilisés par lui.
- **pédologie** : articles relatifs aux problèmes soulevés par l'étude des sols des régions intertropicales et méditerranéennes (morphologie, caractérisation physico-chimique et minéralogique, classification, relations entre sols et géomorphologie, problèmes liés aux sels, à l'eau, à l'érosion, à la fertilité des sols) ; résumés de thèses et notes techniques.
- **sciences humaines** : études géographiques, sociologiques, économiques, démographiques et ethnologiques concernant les milieux et les problèmes humains principalement dans les zones intertropicales.

— Séries non périodiques :

- **biologie** : études consacrées à diverses branches de la biologie végétale et animale.
- **géophysique** : données et études concernant la gravimétrie, le magnétisme et la sismologie.

MÉMOIRES ORSTOM : consacrés aux études approfondies (synthèses régionales, thèses, ...) dans les diverses disciplines scientifiques (53 titres parus).

ANNALES HYDROLOGIQUES : depuis 1959, deux séries sont consacrées : l'une, aux Etats africains d'expression française et à Madagascar, l'autre aux Territoires et Départements français d'Outre-Mer.

FAUNE TROPICALE : collection d'ouvrages principalement de systématique, couvrant ou pouvant couvrir tous les domaines géographiques où l'ORSTOM exerce ses activités (18 titres parus).

INITIATIONS/DOCUMENTATIONS TECHNIQUES : mise au point et synthèses au niveau, soit de l'enseignement supérieur, soit d'une vulgarisation scientifiquement sûre (18 titres parus).

TRAVAUX ET DOCUMENTS DE L'ORSTOM : cette collection, diverse dans ses aspects et ses possibilités de diffusion, a été conçue pour s'adapter à des textes scientifiques ou techniques très variés quant à leur origine, leur nature, leur portée dans le temps ou l'espace, ou par leur degré de spécialisation (10 titres parus).

L'HOMME D'OUTRE-MER : cette collection, publiée chez Berger-Levrault, est exclusivement consacrée aux sciences de l'homme, et maintenant réservée à des auteurs n'appartenant pas aux structures de l'ORSTOM (13 ouvrages parus).

De nombreuses **CARTES THÉMATIQUES**, accompagnées de **NOTICES**, sont éditées chaque année intéressant des domaines scientifiques ou des régions géographiques très variées.

BULLETIN ANALYTIQUE D'ENTOMOLOGIE MÉDICALE ET VÉTÉRINAIRE : (périodicité mensuelle - ancienne dénomination jusqu'en 1970 : Bulletin signalétique d'entomologie médicale et vétérinaire), XIX^{ème} année .

O. R. S. T. O. M.

Direction générale :

24, rue Bayard, PARIS 8^e

Services Scientifiques Centraux :

Service Central de Documentation :

70-74, route d'Aulnay - 93 - BONDY

IMP. S. S. C. Bondy
O. R. S. T. O. M. Éditeur
Dépôt légal : 1^{er} trim. 1972