

INFLUENCE DE L'HYGROTHERMOPERIODISME SUR LA STABILITE DE LA MATIERE ORGANIQUE DU SOL MESUREE PAR RESPIROMETRIE

NGUYEN KHA, Y. DOMMERGUES

Centre de Pédologie Biologique du C.N.R.S.

54 - VANDŒUVRE-LES-NANCY

SOMMAIRE

Un pélosol tempéré (des Basses-Vosges) et un vertisol subtropical (du Sénégal) ont été soumis à des variations périodiques de température et d'humidité simulant les conditions thermiques et hydriques d'un climat subtropical à saison sèche et saison humide nettement marquées : après chaque phase sèche ou humide, les échantillons de sol ont été analysés au point de vue de leur activité respirométrique, de leur teneur en acides fulviques et acides humiques bruns et gris. Les résultats obtenus ont été les suivants :

1° *Les acides fulviques sont plus sensibles à l'oxydation microbienne que les acides humiques ;*

2° *Les alternances de phases sèches et humides tendent à augmenter la sensibilité de la matière organique à l'oxydation microbienne en même temps qu'elles exaltent les processus de polymérisation aboutissant à accroître la teneur relative de la matière organique résiduelle du sol en fractions stables ;*

3° *Les deux sols, appartenant à l'origine à deux types pédologiques très différents, convergent en fait vers le même type, à la suite de ces alternances de phases sèches et humides : à la fin de l'expérience, les courbes respirométriques*

ainsi que les rapports $\frac{\text{acides fulviques}}{\text{acides humiques}}$ *et* $\frac{\text{acides humiques bruns}}{\text{acides humiques gris}}$ *caractérisant*

la matière organique du pélosol se rapprochent beaucoup de ceux caractérisant la matière organique du vertisol,

I. — INTRODUCTION.

Dans une note publiée par ailleurs (NGUYEN KHA et DUCHAUFOR, 1969), nous avons étudié l'évolution des différentes fractions de la matière organique de deux sols (un pélosol et un vertisol), soumis à des incubations simulant les conditions thermiques et hydriques d'un climat tempéré et d'un climat tropical. Cette étude **chimique** a mis en particulier en évidence l'influence favorable des alternances de phases humides et sèches sur la néoformation des acides humiques, notamment des acides humiques gris fortement polymérisés, dont la quantité augmente régulièrement dans le sol. Parallèlement aux analyses chimiques, nous avons effectué des analyses **respirométriques** dont nous rendons compte ici. Celles-ci ont consisté à déterminer l'activité respiratoire des deux types de sol considérés à la fin de chaque phase d'incubation, en vue de préciser l'action des alternances thermiques et hydriques sur la sensibilité de la matière organique à l'oxydation microbienne ou, inversement, sur sa stabilité, c'est-à-dire sa résistance à l'oxydation microbienne.

II. — MATERIEL ET METHODE.

2.1. MATERIEL.

Rappelons brièvement que les horizons humifères étudiés appartiennent, l'un à un **pélosol** tempéré, de la forêt de Padoux (Vosges), l'autre à un **vertisol** subtropical, du Cap Vert (Dakar). Ces deux horizons de surface se rapprochent sous beaucoup de rapports, surtout en ce qui concerne leurs caractères morphologiques (structure grumeleuse à tendance polyédrique, couleur noire à noirâtre), leur teneur en argile (65 % pour le pélosol, 41 % pour le vertisol), leur taux d'humification (84 % pour le premier, 90 % pour le second). Mais ils s'opposent principalement par une différence très marquée du degré de polymérisation des composés humiques. Pour le pélosol, AF/AH = 1,23 et AH Bruns/AH Gris = 2,9 (fraction liée). Pour le vertisol, AF/AH = 0,56 et AH Bruns/AH Gris = 0,2 (fraction liée).

Notons que si les deux taux d'humification sont presque aussi élevés l'un que l'autre (les pélosols se caractérisent en effet par un degré de transformation humique relativement poussé par rapport aux autres sols du même groupe, d'après WAGNER, 1968), il n'en est pas de même des valeurs caractérisant la polymérisation, c'est-à-dire les rapports AF/AH et AH Bruns/AH Gris.

2.2. PROTOCOLE EXPERIMENTAL.

Des lots de sol d'un poids égal (250 g) sont placés dans des pots en polystyrène, puis humidifiés avec 300 ml d'eau distillée. Chaque pot est relié à la base par un tuyau souple à un ballon de verre par le jeu duquel on règle l'humidité de l'échantillon.

Les conditions d'incubation sont les suivantes. Les sols sont soumis à des variations périodiques de température et d'humidité rappelant dans une certaine mesure les variations saisonnières sous un climat subtropical à saison humide et saison sèche nettement marquées. Ces alternances d'humidité et de température se sont succédé au cours de trois cycles, chaque cycle comportant deux phases :

- une phase d'incubation à 25° C, à **humidité constante** (correspondant à 150 % de l'humidité au pF 4,2), appelée pour simplifier « phase humide » ;
- une phase d'incubation à 40° C, sans apport d'eau, d'où **dessiccation progressive** (taux d'humidité initial : 150 % et taux d'humidité final : 9 % de l'humidité au pF 4,2). Cette phase est appelée dans ce qui suit « phase sèche ».

Les analyses ont été effectuées à la fin de chaque phase de chaque cycle. Le schéma ci-dessous résume la marche de notre expérience.

Cycle	Phase	Désignation	Durée en jours	Température	Humidité exprimée en fonction de l'humidité au pF 4,2
I	Humide	I-h	30	25°C	150 %
	Sèche	I-s	60	40°C	Initiale:150 % Finale:9%
II	Humide	II-h	30	25°C	150 %
	Sèche	II-s	60	40°C	Initiale:150 % Finale:9%
III	Humide	III-h	30	25°C	150 %
	Sèche	III-s	60	40°C	Initiale:150 % Finale:9%

2.3. TECHNIQUE RESPIROMETRIQUE.

Nous avons utilisé le microrespiromètre GILSON aménagé pour l'étude prolongée des échantillons de sol suivant une technique décrite par ROGER et DOMMERGUES (1969). Alors que l'appareil de WARBURG fonctionne à volume constant, le microrespiromètre GILSON donne des mesures différentielles à pression constante.

Les fioles classiques de WARBURG y sont remplacées par des fioles DROBNIK modifiées. Chacune renferme une même quantité de sol (8 g) prélevé au terme de

chaque phase d'incubation et ramené ensuite à un taux d'humidité proche de l'humidité équivalente ($pF = 2,8$). Le gaz carbonique dégagé est absorbé par une solution de KOH (1 ml à 20 %) placée dans un puits à l'intérieur de la fiole. Les mesures de volume d'oxygène consommé se font par lecture directe sur un volumètre à affichage digital. Afin d'assurer une oxygénation adéquate et d'éviter les phénomènes d'anoxibiose, on renouvelle périodiquement l'atmosphère des fioles au moyen d'air préalablement humidifié et porté à la température du bain thermostaté (30° C). Les mesures se font régulièrement toutes les 30 ou 60 minutes et se poursuivent en général pendant 50 heures.

2.4. EXPRESSION ET SIGNIFICATION DES RESULTATS.

Nos mesures effectuées au microrespiromètre GILSON portent sur la consommation d'oxygène par le sol et non sur sa production de CO_2 . Ce sont des mesures d'**intensité respiratoire** qui donnent le volume d'oxygène consommé en fonction du temps :

$$IR = \frac{dY}{dt}$$

Elles sont exprimées en microlitres de O_2 absorbé par heure et par gramme

de carbone organique ($\mu l O_2/h/gC$). L'intensité respiratoire est essentiellement fonction de la teneur du sol en matière organique facilement oxydable par voie microbienne.

III. — RESULTATS DE L'ETUDE RESPIROMETRIQUE.

Les résultats de nos mesures synthétisés par les fig. I, II, III et IV montrent qu'on est en présence de deux types de courbes différents :

- droite à faible pente négative dans le cas des sols en fin de phase humide ;
- courbe en forme de cloche dissymétrique dans le cas des sols en fin de phase sèche.

3.1. DROITE A FAIBLE PENTE NEGATIVE.

Le fait que les variations de l'intensité respiratoire se traduisent par une droite à faible pente signifie que la matière organique du sol est, sur le plan de l'oxydation biologique, constituée par un ensemble de composés assez homogène.

3.1.1. Pélosol à la fin des phases humides (fig. I).

La succession des courbes de la fig. I montre que l'intensité respiratoire du pélosol baisse d'une phase humide à la suivante. Cette baisse est plus sensible entre les phases I-h et II-h qu'entre cette dernière et la phase III-h.

3.1.2. Vertisol à la fin des phases humides (fig. II).

Comparé au pélosol, le vertisol se caractérise par une intensité respiratoire plus faible à l'origine, de sorte que la baisse entre les phases I-h et III-h est moins importante.

3.2. COURBES EN FORME DE CLOCHE DISSYMETRIQUE.

Ces courbes ont l'allure de celles qu'on obtient à partir de sols enrichis en substrats exogènes facilement métabolisables. Elles comportent chacune trois portions AB, BC et CD. L'intensité respiratoire traduite par les deux premières portions AB et BC correspond, dans le cas d'incorporation d'un substrat dont l'oxydation microbienne est rapide, à ce que DROBNIK (1960) appelle l'**oxydation primaire**. Dans notre expérience, ces portions AB et BC traduisent l'oxydation des composés facilement oxydables, que nous désignons sous le nom de **fractions labiles**. La portion de courbe CD caractérise l'**oxydation secondaire**, dans le cas d'un substrat incorporé au sol (DROBNIK, 1960). Dans notre expérience, elle correspond à l'oxydation des composés résiduels difficilement oxydables, que nous désignons sous le nom de **fractions stables**.

Nous appellerons d'autre part, **intensité respiratoire maximale** (IRM), celle qui est déterminée graphiquement sur les courbes des fig. III et IV, et **intensité respiratoire minimale** (IRm), l'intensité respiratoire correspondant sur les courbes à la 50° heure d'incubation. Sur la fig. III, on a fait figurer en ordonnée l'intensité respiratoire maximale (IRM) et minimale (IRm) correspondant à la courbe d'intensité respiratoire du pélosol obtenue après la première phase sèche (I-s).

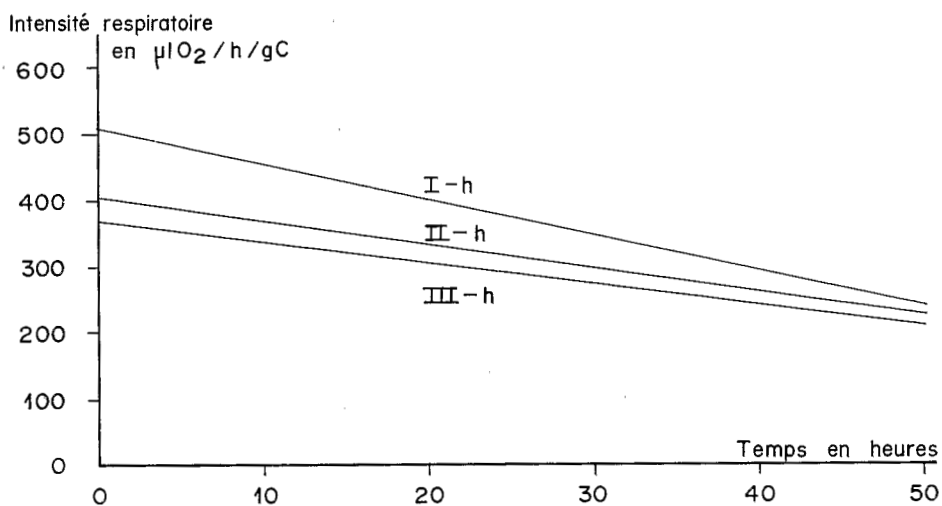


FIGURE I. — Intensité respiratoire du pélosol après chacune des trois phases humides (I-h, II-h, III-h)

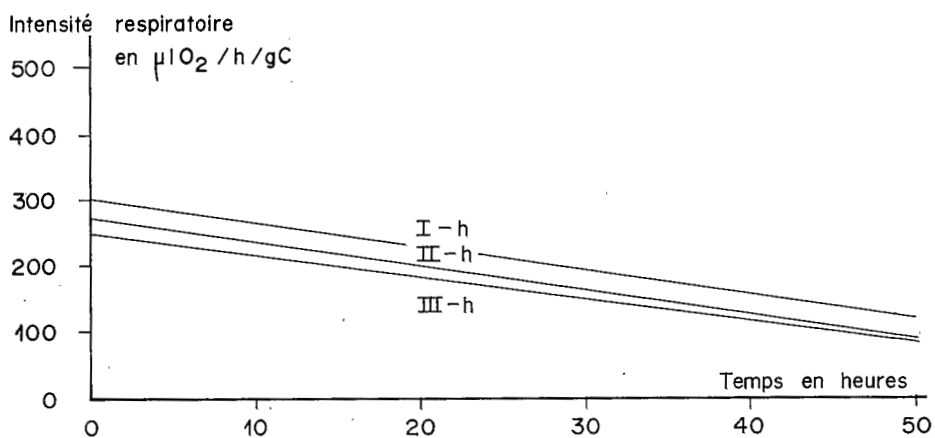


FIGURE II. — Intensité respiratoire du vertisol après chacune des trois phases humides (I-h, II-h, III-h)

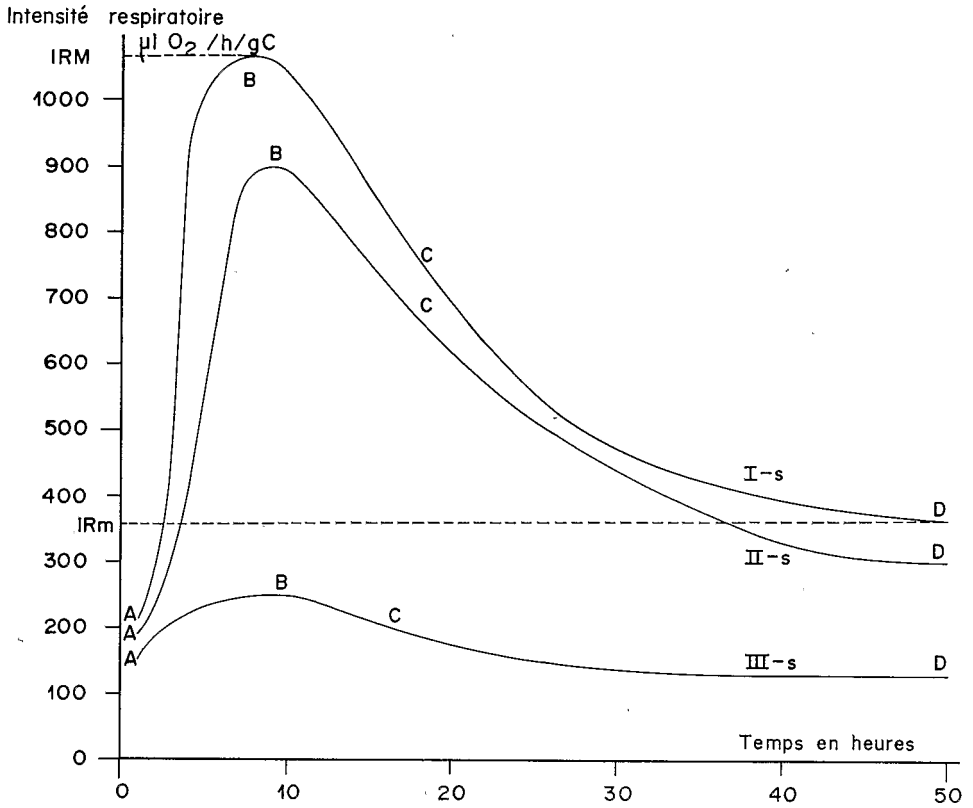


FIGURE III. — Intensité respiratoire du pélosol après chacune des trois phases sèches (I-s, II-s, III-s)
 IRM = Intensité respiratoire maximale
 IRm = Intensité respiratoire minimale

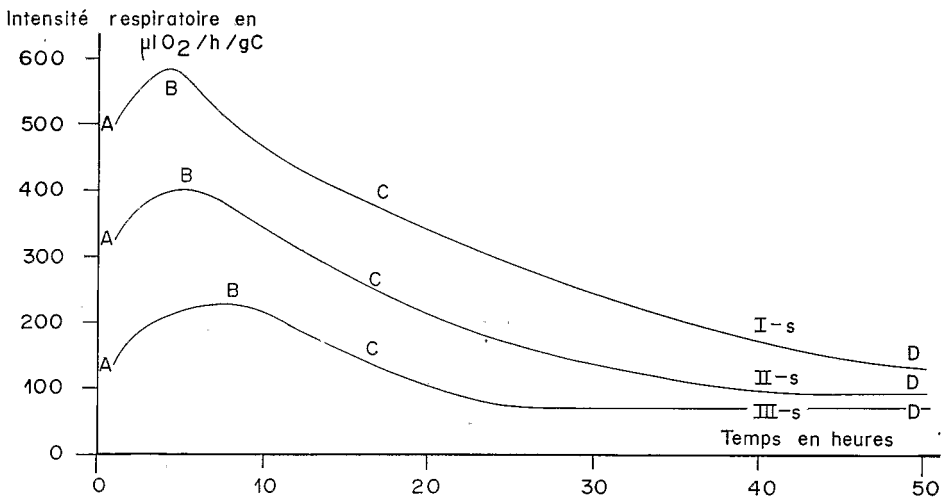


FIGURE IV. — Intensité respiratoire du vertisol après chacune des trois phases sèches (I-s, II-s, III-s)

3.21. Pélosol à la fin des phases sèches (fig. III).

L'examen des portions de courbe AB et BC montre qu'à la fin de la première phase sèche (I-s), la consommation d'oxygène présente un maximum particulièrement élevé : 1075 $\mu\text{l/h/gC}$ (au bout de 7 h), ce qui indique l'existence dans ce sol d'importantes fractions facilement oxydables par voie microbienne. A la fin de la phase sèche suivante (II-s), l'intensité respiratoire maximum (IRM) tombe à 900 $\mu\text{l/h/gC}$ (au bout de 9 h). A l'issue de la phase III-s, IRM atteint seulement 250 $\mu\text{l/h/gC}$ (au bout de 10 h). On note que les IRM sont atteintes de plus en plus tardivement lorsque l'on passe du premier au troisième cycle. Les pointes d'activité respiratoire maximum (IRM) correspondraient ainsi aux moments où la teneur du sol en fractions facilement accessibles à la microflore est maximum.

3.22. Vertisol à la fin des phases sèches (fig. IV).

Les courbes respirométriques du vertisol sont du même type. Au début de l'expérience, l'intensité respiratoire du vertisol est manifestement inférieure à celle du pélosol. Mais au cours des différentes phases sèches, ces deux groupes de courbes se rapprochent de plus en plus et, à la fin de la phase III-s, ils tendent presque à se superposer (fig. IX).

IV. — COMPARAISON DES RESULTATS DE L'ETUDE RESPIROMETRIQUE ET CHIMIQUE.

Cette comparaison s'établit entre IRM, IRm et le rapport AF/AH d'une part, entre IRM, IRm et le rapport AH Bruns/AH Gris de l'autre. Nous nous sommes limités à l'interprétation des données concernant les sols parvenus en fin de phase sèche, les résultats obtenus en fin de phase humide étant peu significatifs.

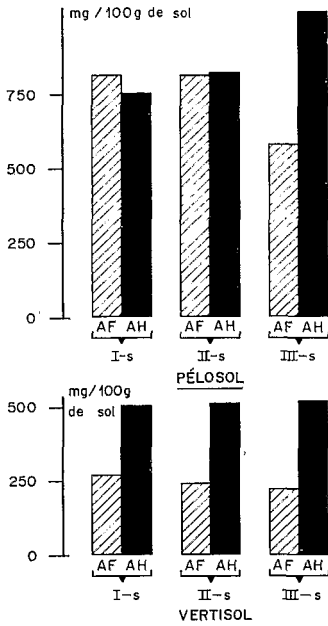


FIGURE V. — Teneur du sol en acides fulviques (AF) et en acides humiques (AH) en mg pour 100 g de sol sec à 105° C, après chacune des trois phases sèches (I-s, II-s, III-s)

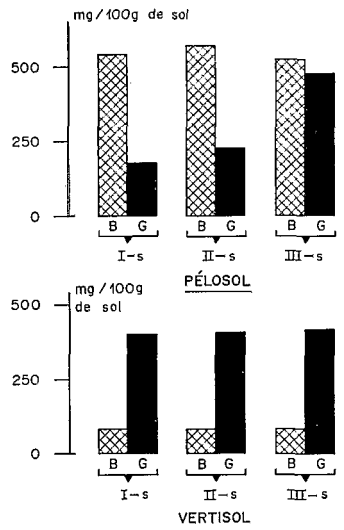


FIGURE VI. — Teneur du sol en acides humiques bruns (B) et en acides humiques gris (G) en mg pour 100 g de sol sec à 105° C, après chacune des trois phases sèches (I-s, II-s, III-s)

Les données de l'analyse chimique ont fait l'objet d'une note publiée antérieurement (NGUYEN KHA et DUCHAUFOR, 1969), mais il nous est apparu nécessaire de rappeler les résultats obtenus dans les fig. V et VI. Ces diagrammes montrent que les conditions

climatiques très contrastées de notre expérience ont pour effet une polymérisation de plus en plus accentuée des composés humiques, ceci étant surtout visible pour le

pélosol. Les rapports $\frac{AF}{AH}$ et $\frac{AH\text{ Bruns}}{AH\text{ Gris}}$ diminuent progressivement du 1^{er} au 3^e cycle.

A l'occasion de cette note, nous avons également fait observer que cette diminution n'apparaît pas lorsque les sols sont soumis à une incubation sans alternances de phases humides et phases sèches marquées.

4.1. CORRELATION ENTRE LE RAPPORT AF/AH ET LES INTENSITES RESPIRATOIRES MAXIMALE (IRM) ET MINIMALE (IRm).

Il résulte de la fig. VII que, pour chacun des deux types de sols considérés en fin de phase sèche, IRM et IRm sont sensiblement proportionnelles au rapport AF/AH. On peut grosso modo assimiler les portions de courbes obtenues à des droites et écrire :

$$IRM = k \times \frac{AF}{AH} \qquad IRm = k' \times \frac{AF}{AH}$$

Ces relations indiquent que les acides fulviques sont plus sensibles à l'oxydation microbienne que les acides humiques.

Du fait que $k > k'$ on peut déduire que IRM varie plus rapidement en fonction du rapport AF/AH que IRm.

La fig. VII montre aussi que les caractéristiques respirométriques (IRM IRm) et chimiques (AF/AH) des deux sols, soumis aux mêmes traitements thermiques et hydriques, tendent à se rapprocher progressivement du cycle I au cycle III.

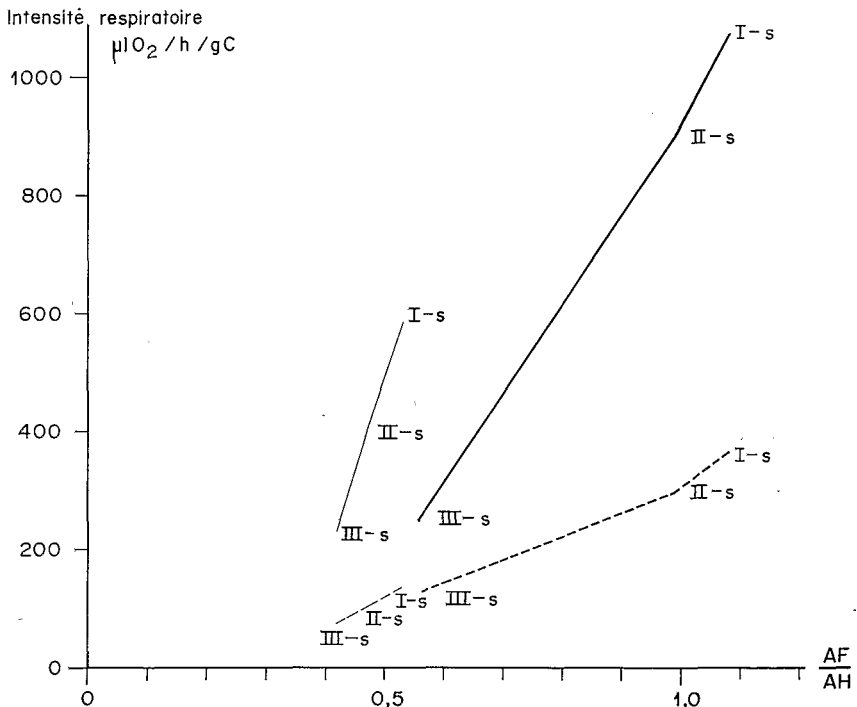


FIGURE VII. — Variations de l'intensité respiratoire après chacune des trois phases sèches (I-s, II-s, III-s) en fonction du rapport AF/AH

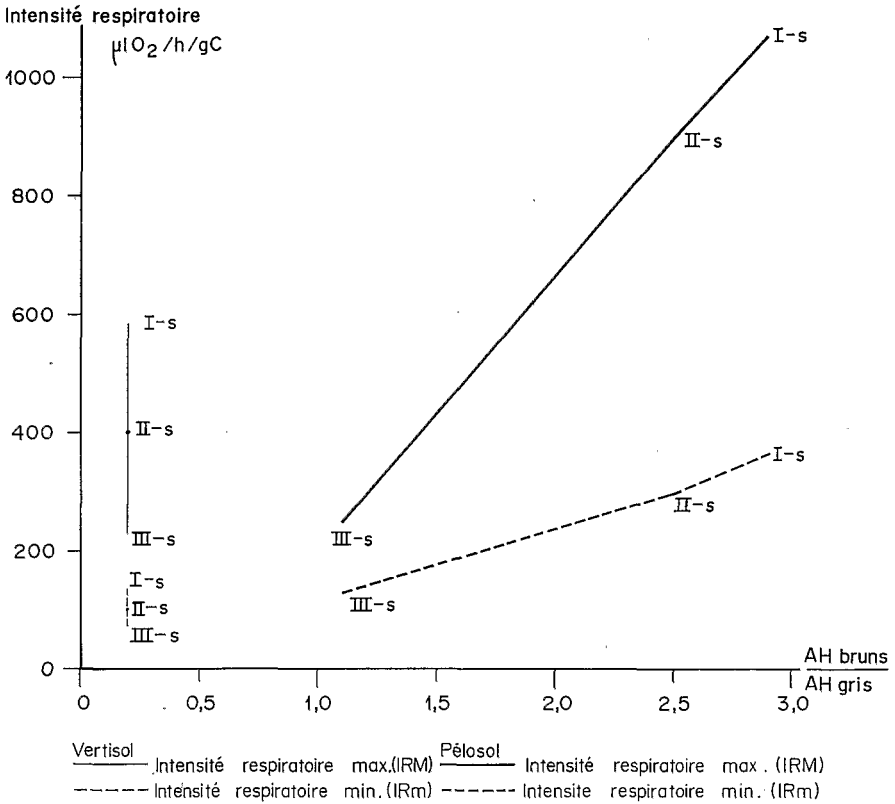


FIGURE VIII. — Variations de l'intensité respiratoire après chacune des trois phases sèches (I-s, II-s, III-s) en fonction du rapport AH bruns/AH gris

4.2. CORRELATION ENTRE LE RAPPORT AH BRUNS/AH GRIS ET LES INTENSITES RESPIRATOIRES MAXIMALE (IRM) ET MINIMALE (IRm).

Il existe pour le pélosol une corrélation positive entre le rapport AH Bruns/AH Gris et IRM ou IRm (fig. VIII). On peut donc, en première approximation, écrire que, dans ce type de sol,

$$IRM = K \times \frac{AH\ Bruns}{AH\ Gris} \qquad IRm = K' \times \frac{AH\ Bruns}{AH\ Gris}$$

La fraction acides humiques bruns apparaît plus sensible à l'oxydation microbienne que la fraction acides humiques gris.

Il n'en est pas de même pour le vertisol, où, pour un même rapport AH Bruns/AH Gris, IRM et IRm sont très variables. En d'autres termes, dans ce sol, ni la fraction acides humiques bruns, ni la fraction acides humiques gris, ne renferment de composés facilement oxydables par voie microbienne.

La convergence observée dans la fig. VII se retrouve également dans la fig. VIII. Les IRM et IRm, de même que les rapports AH Bruns/AH Gris des deux sols, tendent à se rapprocher au fur et à mesure de la répétition des cycles de phases sèches et humides.

V. — DISCUSSION ET CONCLUSION.

De cette étude on peut tirer les trois conclusions suivantes :

5.1. SENSIBILITE A L'OXYDATION MICROBIENNE DES DIFFERENTES FRACTIONS HUMIQUES DU SOL.

La comparaison des caractéristiques chimiques des fractions humiques (notamment les rapports AF/AH), avec les caractéristiques respirométriques, confirme l'hypothèse communément admise, à savoir que les acides fulviques, c'est-à-dire les composés les moins polymérisés, sont plus sensibles à l'oxydation microbienne que les composés fortement polymérisés.

5.2. EFFET DES ALTERNANCES DE PHASES SECHES ET HUMIDES.

Les alternances de phases sèches et humides exercent une double incidence sur le métabolisme général du sol :

1° Elles tendent à augmenter la sensibilité de la matière organique à l'oxydation microbienne, en provoquant la libération dans le sol de composés facilement métabolisables (BIRCH, 1958; ENWEZOR, 1967). Cette action est d'ailleurs largement fonction de la nature de la matière organique elle-même : plus le degré de transformation humique d'un sol est avancé, plus cette libération de fractions facilement assimilables se trouve réduite ;

2° Parallèlement, les alternances microclimatiques exaltent les phénomènes de polymérisation et de synthèse des composés humiques (DUCHAUFOR, 1960; DUCHAUFOR et DOMMERGUES, 1963), qui tendent au contraire à augmenter leur résistance à l'attaque microbienne.

Ces deux processus exercent par conséquent leur influence dans deux directions opposées, mais concourent, en fait, à accroître la teneur relative de la matière organique résiduelle du sol en fraction stables. En effet, les fractions labiles apparaissant au cours de la dessiccation sont rapidement détruites lorsque les conditions d'humidité redeviennent normales.

5.3. CONVERGENCE DES CARACTERISTIQUES DE LA MATIERE ORGANIQUE DES SOLS SOUS L'INFLUENCE DES CONTRASTES MICROCLIMATIQUES.

Les résultats obtenus montrent que deux sols appartenant à l'origine à deux types pédologiques très éloignés par leurs fractions organiques, tendent à converger vers le même type caractérisé par une très grande stabilité de la matière organique résiduelle, lorsqu'ils sont soumis aux mêmes conditions de fortes oppositions climatiques (fig. IX).

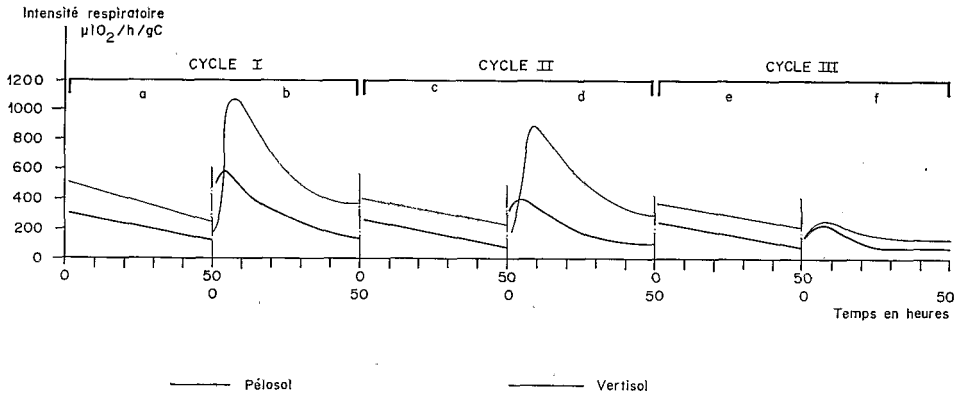


FIGURE IX. — Intensité respiratoire du pélosol et du vertisol après chacune des phases d'incubation

- a = Après incubation à humidité constante à 25° C (phase I-h).
- b = Après incubation sous dessiccation progressive à 40° C (phase I-s).
- c = Après incubation à humidité constante à 25° C (phase II-h).
- d = Après incubation sous dessiccation progressive à 40° C (phase II-s).
- e = Après incubation à humidité constante à 25° C (phase III-h).
- f = Après incubation sous dessiccation progressive à 40° C (phase III-s).

Alors que le vertisol évolue relativement peu, l'application de conditions tropicales à un échantillon de pélosol conduit à transformer sa matière organique en une matière organique de type « vertique », nettement plus stable et plus fortement polymérisée. L'accroissement de la résistance à l'oxydation microbienne de la matière organique résiduelle du pélosol s'explique d'une part, par l'élimination sélective des composés humiques faiblement polymérisés, en particulier des acides fulviques qui sont les plus facilement biodégradables, et d'autre part, par la transformation progressive des composés à petite molécule en composés à grosse molécule, peu accessibles à la microflore.

Reçu pour publication le 9 décembre 1969.

Bibliographie

- BIRCH H.F. (1958). — The effect of soil drying on humus decomposition and nitrogen availability. *Plant Soil*, 10, 9-31.
- DOMMERGUES Y. (1968). — Dégagement tellurique de CO₂. Mesure et signification. Rapport général. *Annales de l'Institut Pasteur*, 115, 627-656.
- DROBNIK J. (1960). — Primary oxidation of organic matter in the soil. *Plant Soil*, 12, 199-220
- DUCHAUFOR Ph. (1960). — Note sur l'influence des variations du microclimat du sol dans les processus d'humification. *C.R. heb. Acad. Sci.*, 250, 4422-4424.
- DUCHAUFOR Ph. et DOMMERGUES Y. (1963). — Etude des composés humiques de quelques sols tropicaux et subtropicaux. *Sols Africains*, 8, 5-39.
- ENWEZOR W.O. (1967). — Soil drying and organic matter decomposition. *Plant Soil*, 26, 269-276.
- NGUYEN KHA et DUCHAUFOR Ph. (1969). — Etude comparative de l'évolution de la matière organique du sol en conditions tempérées et tropicales. *Pédologie Gand* 19, 1, 49-64.
- ROGER P. et DOMMERGUES Y. (1969). — Utilisation du microrespiromètre GILSON pour l'étude d'échantillons de sol. *Rev. Ecol. Biol. Sols*, 6 (3), 299-313.
- WAGNER A. (1968). — Humus forms in the heavy soils of Franconia. *Sonderh. bayer. landw. Jb.*, 3, vol. 45, 53-62. *Soils Fertil.*, 1969, 32, (2), résumé n° 1, 162.

INFLUENCE OF HYGROTHERMOPERIODISM ON ORGANIC MATTER STABILITY MEASURED BY RESPIROMETRY

SUMMARY

A temperate pelosol (from Eastern France) and a subtropical vertisol (from Senegal) were incubated under alternate wet and dry conditions, simulating a subtropical pedoclimate with distinct wet and dry seasons : at the end of each wet and dry phase, the soil samples were studied for their respirometric activity and their content in fulvic acids, humic acids, brown and grey humic acids. The following facts have been demonstrated :

- 1) *Fulvic acids are more susceptible to microbial oxidation than humic acids.*
- 2) *Cyclic wetting and drying increases the susceptibility of organic matter to microbial oxidation and simultaneously induces polymerisation of humic acids, so that the relative content of soil stable organic fractions is increased.*
- 3) *Though both soils initially belong to very different pedological types, they converge towards the same one under the effect of the cyclic treatment : at the end of the experiment, the respirometric curves as well as the ratios*

$\frac{\text{fulvic acids}}{\text{humic acids}}$	and	$\frac{\text{brown humic acids}}{\text{grey humic acids}}$
--	-----	--

characterising the pelosol organic matter are very close to the respirometric curves and the homologous ratios characterising the vertisol organic matter.

BIO. 002.

Extrait de « Science du Sol » n° 1-1970
Supplément au Bulletin de l'Association Française pour l'Etude du Sol

Influence de l'hygrothermopériodisme sur la stabilité de la matière organique du sol mesurée par respirométrie

[NGUYEN KHA.] Y. DOMMARGUES

Centre de Pédologie Biologique du C.N.R.S.
54 - VANDŒUVRE-LES-NANCY

2 IIIII. 1970

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

Collection de Référence

n° 14170