

RÉSULTATS DES RECHERCHES RÉCENTES SUR L'ÉVOLUTION DE LA MATIÈRE ORGANIQUE DANS LES SOLS *

par Ph. DUCHAUFOUR,
Centre de Pédologie C.N.R.S., Nancy.

et F. JACQUIN,
Ecole Nationale Supérieure Agronomique, Nancy.

La plupart des auteurs ont distingué, de longue date, la matière organique fraîche, proche de la matière première végétale et à structure encore plus ou moins organisée, des composés humiques de néoformation chimique ou biologique (« humus » au sens le plus strict du terme) : alors que la première, au moins en conditions écologiques favorables, se décompose, se « minéralise », rapidement dans le sol, l'humus au contraire, contractant des liaisons plus ou moins stables avec les éléments minéraux (tels que les argiles, les sesquioxides), résiste à l'action microbienne et ne se décompose que lentement.

Deux questions se posent alors aux pédologues : comment séparer l'humus de la matière organique fraîche ? Quels sont les constituants de l'humus et est-il possible de les fractionner ? Nous essayerons de répondre d'abord brièvement à ces deux questions. Ensuite, tout en laissant à des spécialistes tels SAVAGE (1962), FLAIG (1963) le soin de déterminer la structure chimique détaillée des molécules humiques, nous chercherons quels en sont les composants principaux. Enfin nous tirerons une conclusion.

1° EXTRACTION ET FRACTIONNEMENT DES COMPOSÉS HUMIQUES

La séparation de l'« humus » et de la matière organique fraîche, peu transformée, n'a pas encore été résolue de manière satisfaisante; elle se heurte, en effet, à des difficultés presque insurmontables, dont nous signalerons quelques-unes : 1) existence de produits intermédiaires entre la matière première originelle et l'humus; 2) existence de complexes organo-minéraux dans le sol qui résistent à tout réactif d'extraction; 3) impossibilité de trancher le dilemme suivant : ou bien on n'extrait que les composés les plus solubles en respectant leur structure — mais alors on n'a qu'une idée très incomplète de la matière humique des sols — ou bien on tente d'extraire le maximum d'humus présent dans les sols, mais alors on utilise des réactifs trop violents qui transforment chimiquement ces composés, et même en augmentent artificiellement le taux par attaque de la matière organique fraîche (D. et JACQUIN, 1963).

Il n'est pas possible de passer en revue dans cette courte note, les multiples tentatives effectuées par de très nombreux auteurs, d'extraction de l'humus par des produits très divers. Disons seulement que nos recherches récentes ainsi que celles de C. THOMANN (1963) ont montré que les réactifs alcalins à pH trop élevé, étaient doués d'un pouvoir d'extraction important, mais présentaient l'inconvénient de « fabriquer » des composés humiques qui ne préexistaient pas dans le sol; inversement, les sels neutres, tels que le fluorure de sodium n'extraient qu'une fraction insuffisante des composés humiques. Aussi convient-il, selon nous, de s'en tenir à une solution moyenne en utilisant le pyrophosphate de Na, à un pH compris entre 9 et 10 : encore ce procédé, malgré son efficacité certaine et son pouvoir dispersant et solubilisant élevé, n'extrait-il qu'une fraction incomplète des composés humiques les plus polymérisés.

Les produits ainsi obtenus ont été classés et dénommés, par différents auteurs, essentiellement en fonction de leurs propriétés fondamentales : solubilité ou insolubilité dans l'eau ou dans les acides minéraux. Cela semble correspondre, *grosso modo*, à la grosseur des molécules de composés humiques extraits : nous en rappelons la nomenclature maintenant très classique.

- 1) *Acides créniques* : composés solubles dans l'eau.
- 2) *Acides fulviques* : fraction soluble dans les solutions alcalines, non précipitables par HCl ou SO₄H₂.

* Cet article sera également publié dans les Comptes rendus des Séances de l'Académie d'Agriculture.

3) *Complexes humo-lignines* ou *composés humo-fulviques* : composés intermédiaires ne précipitant que par SO_4H_2 suffisamment concentré, appelés souvent « précurseurs » des acides humiques et difficiles à séparer et à distinguer de ces derniers.

4) *Acides humiques* : précipitant par SO_4H_2 à une concentration plus faible (p. ex. pH 2,5).

— Les **acides humiques bruns** sont peu polymérisés et faiblement liés à la matière minérale.

— Les **acides humiques gris** sont très polymérisés et fortement liés à la matière minérale.

— Les **acides hymatomélaniques** sont des acides humiques solubles dans l'alcool : peu polymérisés, ce sont des acides humiques bruns encore très proches des précurseurs.

5) *L'Humine* : constitue la masse de matière organique évoluée, mais insoluble dans les réactifs alcalins; donc mal connue puisque inséparable pratiquement de la matière organique fraîche; il s'agit d'un ensemble de complexes dont une partie est hydrolysable par HCl 6 N, une partie non hydrolysable.

D'après TIURIN et GUTKINA (1940), il s'agit d'acides humiques semblables aux autres, mais non extractibles en raison de leur liaison très intime avec les argiles.

D'autres complexes présents dans l'humine seraient des polyuronides en chaînes très polymérisées.

2° ÉTUDE PARTICULIÈRE DES FRACTIONS ACIDES FULVIQUES ET HUMIQUES

a) Fractionnement et électrophorèse.

Des recherches récentes ont traité une classification plus fine de ces composés en fonction de leur degré de polymérisation.

Ainsi TIURIN (1951) sépare les acides fulviques libres les plus solubles à propriétés très acides (extraits par une solution acide), de ceux qui sont combinés aux acides humiques, qui sont donc beaucoup moins actifs et qu'on extrait par les réactifs alcalins en même temps que les acides humiques.

D'autre part, il distingue trois grandes catégories d'acides humiques, à polymérisation croissante des molécules :

1) les acides humiques libres peu polymérisés, extraits directement par la soude diluée;

2) les acides humiques liés à l'argile par le calcium, extraits par la soude après décalcification préalable;

3) les acides humiques liés à l'argile par les ions Fe^{+++} et Al^{+++} ; ils ne se dissolvent dans la soude qu'après les traitements précédents, suivis d'une élimination des sesquioxydes par SO_4H_2 à chaud.

Mais cette méthode de séparation, quoique très efficace, présente un inconvénient majeur : elle utilise la soude comme réactif d'extraction, qui est un agent beaucoup trop violent ainsi que nous l'avons dit : elle donne des « taux d'humification » (carbone des composés humiques/carbone total) nettement trop élevés pour certains sols.

De leur côté, certains auteurs allemands ont distingué deux types d'acides humiques, les *acides humiques bruns* et les *acides humiques gris* :

Les acides humiques bruns de couleur relativement claire, peu polymérisés, sont assez mobiles dans le sol. Ils sont faiblement liés aux argiles et flocculent lentement par l'ion calcium à concentration élevée; lors de l'électrophorèse sur papier, ils migrent vers l'anode.

Les acides humiques gris, plus foncés, plus fortement polymérisés, liés intimement à l'argile; flocculation très rapide sous l'influence de l'ion calcium, même à faible concentration; migration très faible ou nulle lors de l'électrophorèse sur papier.

Nous avons utilisé précisément cette différence de comportement des deux types d'acides humiques lors de l'électrophorèse sur papier pour les séparer, et en faire une évaluation quantitative : on peut utiliser soit l'électrophorèse seule (JACQUIN, 1963), soit l'électrophorèse combinée avec une méthode chimique, qui opère déjà une séparation approximative : on procède alors à quatre extractions successives; les deux premières à l'aide de pyrophosphate à 1 % + 5 % ClNa extraient surtout les acides humiques bruns (avec les acides fulviques libres); les deux autres à l'aide de pyrophosphate seul extraient surtout les gris (avec les acides fulviques qui leur sont liés). L'électrophorèse des fractions obtenues montre que cette séparation chimique n'est efficace que sur les complexes argilo-humiques évolués; d'autre part, elle permet de corriger, par lecture des électrophorégrammes au densitomètre optique, les chiffres approximatifs obtenus chimiquement et d'effectuer un calcul précis du % d'acides humiques bruns et gris, par fractions d'abord, et ensuite global (DUCHAUFOR et JACQUIN, 1963).

Le pourcentage des deux types d'acides humiques, le rapport acides fulviques/acides humiques, et enfin le taux d'humification permettent de caractériser avec une précision suffisante les différents types de sols. Nous donnons dans le tableau joint les résultats obtenus pour quelques types de sols caractéristiques (moyenne de 5 à 8 profils).

CARACTÈRES DES COMPOSÉS HUMIQUES DE DIFFÉRENTS SOLS

	Horizon	Acides humiques Gris (% des acides humiques)	AF/AH	Taux d'hum.
Sol brun à mull	A ₁	19	1,4	15
Rendzine	A ₁	30	1,2	27
Podzol	A ₀	7	0,5	7
	Bh	11	0,5	67
	Bfe	20	4,5	59,5
Chernozem	A ₁	55	0,3	51
Argile noire tropicale	A ₁	77	0,2	40
Sol ferrugineux tropical	A ₁	66	0,6	36
Sol ferrallitique	A ₁	34	1,2	20

b) Caractérisation complémentaire des acides humiques.

Deux méthodes classiques permettent de caractériser les acides humiques :

— L'observation des valeurs de la densité optique à différentes longueurs d'ondes; cette méthode nécessite des solutions d'acides humiques dialysées et de même titre en carbone.

— La mesure du « seuil de floculation »; par ce procédé il est possible de mesurer la sensibilité des acides humiques non seulement vis-à-vis des ions calcium mais également d'autres cations (Fe⁺⁺⁺, Al⁺⁺⁺) (MISTERKY et LOGINOV, 1959).

Nos recherches (JACQUIN, 1963, J. et MANGENOT, 1960) mettent en relief un parallélisme constant entre ces deux méthodes; aussi préférons-nous la première d'un emploi plus rapide. A partir des courbes de densité optique on déduit le rapport Q 4/6 de WELTE (1955) : celui-ci correspond au rapport des densités observées à 472 et à 665 m μ . WELTE estime que le Q 4/6 présente une relation inverse avec le taux d'azote présent dans les acides humiques. KONONOVA et BELCHIKOVA, dès 1956, constatent que les substances les moins colorées correspondent aux composés les moins polymérisés. Actuellement, nombreux sont les adeptes de cette méthode; citons SAEKI et AZUMA (1960), CORNFIELD (1960), TAN et VAN SCHUYLENBORGH (1961). KONONOVA, BELCHIKOVA et ALEXANDROVA (1960) conseillent aux pédologues russes d'employer systématiquement ce rapport pour caractériser les types d'acides humiques.

Cette méthode d'étude des propriétés optiques de substances humiques mérite également de retenir l'attention des pédologues français et ceci quel que soit le réactif d'extraction des acides humiques. Cependant, nos observations (1963) nous obligent à apporter une restriction sur leur emploi dans la caractérisation des humus à minéralisation rapide (Mull).

3° ÉTUDE CHIMIQUE

L'emploi des méthodes analytiques permet une dissociation plus ou moins poussée de la molécule humique. SCHARPENSEEL (1960) procède à l'identification des composés phénoliques après fusion alcaline. COULSON et al (1959) préconisent une hydrolyse à l'acide chlorhydrique 6 N. Il est certain que l'emploi des moyens les moins énergiques permet d'obtenir des constituants dont la structure est moins altérée; dans nos recherches nous avons donc employé la deuxième méthode. Les composés humiques semblent essentiellement formés de deux groupes de composés chimiques phénols et acides aminés. Les principales recherches relatives à la structure des acides humiques se rapportent à ces éléments :

Acides aminés.

La plupart des recherches effectuées à leur sujet, montrent une analogie qualitative de la fraction aminée hydrolysable des acides humiques. Dans les différents humus, ils correspondent sensiblement à ceux identifiés dans les sols par CARLÈS et DECAU (1960). Par contre, quantitativement, on observe d'importantes variations. SCHARPENSEEL et KRAUSSE (1962) signalent que les acides humiques bruns libèrent par hydrolyse beaucoup plus d'acides aminés que les gris; ceci correspond certainement à une importance relative plus élevée des chaînes latérales par rapport au noyau aromatique; l'azote des acides humiques les plus polymérisés se trouve donc essentiellement sous la forme hétérocyclique (SCHOBINGER, 1958).

Composés phénoliques.

Après avoir mis au point une méthode de dosage des acides phénols par chromatographie allée à une mesure photodensimétrique (JACQUIN, 1962), nous avons constaté les faits suivants :

1° Les deux composés phénoliques les plus abondants dans les humus naturels correspondent à l'acide *p*-hydroxybenzoïque et à l'acide vanillique.

2° D'autre part, la somme de ces acides-phénols libérés par hydrolyse diminue des acides humiques bruns de podzol aux acides humiques gris de chernozem. Cette variation peut s'expliquer par un degré de polymérisation plus intense des acides humiques gris, ne permettant plus un fractionnement par simple hydrolyse. Néanmoins la nature de la source organique, donc du substrat végétal, joue certainement aussi un rôle non négligeable comme vient de le confirmer BURGÈS (1963).

4° ORIGINE DES ACIDES HUMIQUES

Les acides humiques bruns et les acides humiques gris semblent avoir une origine différente.

Les acides humiques bruns dériveraient essentiellement d'une transformation des tissus lignifiés. Plusieurs théories concernant le mode de participation de la lignine à la synthèse des composés humiques s'affrontent. Pour LYNCH et al (1958), JENKINSON et TINSLEY (1960), les composés ligno-protéines seraient des intermédiaires effectifs et importants entre la lignine originelle et les composés humiques. JANSON (1960) décrit des phénomènes d'auto-oxydation de la lignine accompagnés d'une fixation de NH_3 . Cependant certains auteurs tels HÉNIN (1950) et KONONOVA (1961) suggèrent qu'une dégradation profonde de la lignine précède la participation de ce composé aux synthèses humiques.

Il vient d'être démontré (JACQUIN et MANGENOT, 1959), SHIVRINA (1962), qu'en présence d'une pourriture blanche, on assiste à une néoformation de composés humiques après une fragmentation très poussée de la lignine, fragmentation atteignant le stade de monomères aromatiques. La polymérisation pourrait être plus ou moins rapide, presque immédiate dans les mull acides et certains moder; elle serait retardée dans les mor en présence d'une microflore fongique et lignivore. Le passage de la lignine par un état soluble favoriserait alors les processus d'entraînement du fer (COULSON et al, 1960) avec formation de complexes pseudo-solubles conduisant au processus de podzolisation. La polymérisation de ces éléments serait favorisée par une activité biologique suffisante, par des variations microclimatiques marquées et enfin par la présence de fixateurs d'humus minéraux, tels que l'argile.

Dans les milieux riches en calcium et en azote favorisant le développement d'une microflore plus complexe, l'évolution de la lignine se traduirait par une transformation rapide, sans fragmentation poussée de la molécule, avec possibilité d'une formation directe d'acides humiques bruns voire même d'humine insoluble dans les solvants habituels des acides humiques (BONNEAU, DUCHAUFOR, MANGENOT, 1964). Ces substances insolubles permettraient l'édification d'un complexe argilo-humique stable et freineraient le phénomène de lessivage.

Acides humiques gris. L'origine de ces composés de poids moléculaire élevé n'est pas encore complètement élucidée : plusieurs théories sont en présence et il est probable que des processus variés interviennent.

— Il peut s'agir d'une transformation physico-chimique accompagnée de polymérisation de certains acides humiques bruns. Dès 1959, DUCHAUFOR et JACQUIN remarquent l'influence de la dessiccation sur la formation abiologique de substances humiques. BURGÈS (1960) constate, par étude électrophorétique, une évolution de la fraction brune des acides humiques soumis à dessiccation avec comme conséquence une augmentation de la taille des particules. Sur le terrain, les observations d'AUBERT (1959), BACHELIER (1960) appuient ces faits et montrent l'influence du climat, principalement des alternances d'humidité et de sécheresse sur l'accumulation d'horizons humiques caractéristiques.

— Une seconde hypothèse réside dans la transformation d'éléments au contraire très peu polymérisés voire même solubles dans l'eau tels les acides aminés. En effet, HODGE (1953) met en évidence, lors des phénomènes de brunissement chez les végétaux, le mécanisme de transformation des acides aminés en polymères renfermant des noyaux aromatiques et des hétérocycles azotés. Dans les sols nous avons constaté l'une des premières étapes de cette transformation avec formation d'osamines (JACQUIN, 1963).

— Enfin, récemment, en collaboration avec F. MANGENOT (1964), l'un de nous vient de démontrer la néoformation de composés de types humiques à partir d'éléments organiques issus de simples extraits aqueux de végétaux. Par divers processus d'oxydation et de dessiccation, nous obtenons à partir d'extraits aqueux chloroformés des composés présentant les caractéristiques d'acides humiques très polymérisés. Cette transformation abiologique, obtenue dans des délais très rapides, interviendrait dans la formation de complexes organo-minéraux plus ou moins stables.

CONCLUSION

Ainsi, bien que l'origine et la formation des composés humiques paraissent très variées, leurs molécules présenteraient une structure très semblable et différeraient essentiellement par leur degré de polymérisation et par leur liaison plus ou moins étroite avec la matière minérale : l'unité de structure, le « matériau de base », serait essentiellement constitué de molécules aromatiques plus ou moins sphériques formées d'éléments phénoliques ou quinoniques. A ce noyau sphérique s'unirait latéralement des chaînes aliphatiques formées de saccharides et d'acides aminés; cette union, parfois peu solide, pourrait se détruire lors des processus d'extraction et libérer certains « acides fulviques », alors que d'autres acides fulviques préexisteraient dans le sol et seraient essentiellement constitués par des noyaux aromatiques de poids moléculaires plus faibles que ceux des acides humiques proprement dits.

Les types d'humus des différents sols se caractérisent parfaitement par la nature de leurs composés humiques, leur degré de polymérisation et aussi leur quantité qui résulte nécessairement d'un équilibre entre la vitesse de leur édification (ou polymérisation) et celle de leur minéralisation.

Une forte activité biologique, liée à une teneur élevée du milieu en *azote* et en *bases* (notamment en calcium) est une condition nécessaire à une forte humification; mais ce n'est pas une condition suffisante car certains micro-organismes exercent une action « minéralisante » très active à l'égard des acides humiques formés (BACHELIER, 1963).

Il semble que les conditions qui favorisent une forte humification dépendent plus étroitement encore des conditions de milieu local (la « station ») que de la « matière première », des débris végétaux qui sont à l'origine de l'humus. Deux facteurs paraissent essentiels : 1) les alternances microclimatiques saisonnières très accentuées, avec opposition de phases d'humectation (voire de saturation par l'eau avec anaérobiose partielle) et d'aérobiose ou même de dessiccation complète du profil (D. et JACQUIN, 1959, JACQUIN, 1963); 2) l'influence de certains éléments minéraux dans le sol, qui agissent comme « stabilisateurs d'humus » et retardent sa minéralisation : ce sont les argiles, les hydroxydes de fer et d'aluminium, le calcaire actif; ces éléments « protègent » efficacement les composés humiques contre la décomposition bactérienne. Il est significatif à ce point de vue que la matière organique des composts artificiels soit toujours peu humifiée par opposition à celle des sols évoluant dans des conditions analogues : cette différence a été surtout attribuée à l'action des « stabilisateurs d'humus » dans les sols (BONNEAU, DUCHAUFOR, MANGENOT, 1964).

L'activité biologique intervient alors indirectement en favorisant une liaison précoce entre l'humus formé et les éléments minéraux du sol : c'est le rôle du lombric dans les mull et plus encore dans les mull calciques formés en présence de calcaire (rendzines); les alternances microclimatiques accentuées et la présence de stabilisateurs d'humus très efficaces (les argiles gonflantes) dans les Vertisols et les Chernozems favorisent, dans ces sols, une humification et une polymérisation qui atteignent le maximum observé. Au contraire, dans les sols très acides, à faible activité biologique, et dépourvue de stabilisateurs d'humus (podzols sur sables filtrants), la polymérisation ne dépasse guère le stade d'acides humiques bruns et n'intervient que lentement, après migration des éléments solubles et accumulation dans l'horizon B.

Enfin, l'influence du climat général et son action sur le microclimat des sols bien drainés, est démontrée par la comparaison entre les sols ferrugineux tropicaux, à saison sèche accentuée et les sols ferrallitiques formés sous climat constamment humide : la polymérisation des composés humiques est plus marquée dans les premiers que dans les seconds.

BIBLIOGRAPHIE

- AUBERT G. (1959). — Influence des divers types de végétation sur les caractères de l'évolution des sols en régions équatoriales et sub-équatoriales, ainsi que leurs bordures tropicales semi-humides.
Tropical Soils and Veget. Symposium Abidjan, U.N.E.S.C.O., Paris, 1961, 41-47.
- BACHELIER G. (1960). — Sur l'orientation différente des processus d'humification dans les sols bruns tempérés et les sols ferrallitiques des régions équatoriales.
Agro. Trop., XV, n° 3, 320-324.
- BACHELIER G. (1963). — Influence du climat sur les processus pédobiologiques de l'humification et de la deshumification.
Pedobiologia, 2, 153-163.
- BONNEAU M., DUCHAUFOR Ph., MANGENOT F. (1964). — Etude de l'humification de composts de sciure.
Ann. Inst. Pasteur, sous presse.
- BURGES A. (1960 a). — Physico-chemical investigations of humic acid.
VII^e Congr. Inter. Soil Sci., Madison, II, 18, 128-133.
- BURGES A., HURST H. M., WALKDEN S. B., DEAN F. M., HIRST M. (1963). — Nature of humic acids.
Nature, 199 (4894), 696-697.
- CARLES J., DECAU J. (1960 b). — De quelques conditions susceptibles de modifier les proportions des acides aminés du sol.
Ann. Agro., 11, 557-575.
- CORNFIELD A. H. (1960). — Studies on straw and composts : 1° Characterising straw composts and bulky organic manures by optical extinction of alkaline extracts and cation-exchange capacity measurements.
J. Sci. Food Agric., 11, 3, 125-128.
- COULSON C. B., DAVIES R. I., KHAN E. J. A. (1959 c). — Humic acid investigations. III. Studies on the chemical properties of certain humic acid preparations.
Soil Sci., 88, 4, 191-195.
- COULSON C. B., DAVIES R. I., LEWIS D. A. (1960 b). — Polyphenols in plant, humus and soil. II. Reduction and transport by polyphenols of iron in model soil columns.
J. Soil Sci., G.-B., 11, 1, 30-44.
- DUCHAUFOR Ph., JACQUIN F. (1959). — Note sur l'évolution de la matière organique dans les sols.
Ann. Agro., 14, 6.
- DUCHAUFOR Ph., JACQUIN F. (1963). — Recherche d'une méthode d'extraction et de fractionnement des composés humiques contrôlés par l'électrophorèse.
Ann. Agro., 16, 6.
- FLAIG W. (1963). — The chemistry of humic substances.
Communication au Technical meeting on the use of isotopes in soil organic matter studies Brunswick, septembre 1963. 11 p. (sous presse).
- HÉNIN S. (1958). — Remarques sur l'humus et la matière organique des sols.
C. R. Acad. Agric., 44, 36-41.
- HODGE J. E. (1953). — Chemistry of browning reactions in model systems.
Agric. and Food Chem., 1, 15, 928-943.
- JACQUIN F. (1962). — Etude quantitative de deux phénols issus de l'hydrolyse d'acides humiques naturels.
C. R. Acad. Sci., 254, 2623-2625.
- JACQUIN F. (1963). — Contribution à l'étude des processus de formation et d'évolution de divers composés humiques.
Bull. E.N.S.A.N., V, 1, 1-156.
- JACQUIN F., MANGENOT F. (1959). — Populations microbiennes des bois. III. Humification *in vitro* d'une sciure de hêtre.
Plant and Soil, IX, 4, 377-391.
- JACQUIN F., MANGENOT F. (1960). — Populations microbiennes des bois. IV. Humification de copeaux dans la nature.
Plant and Soil, XII, 3, 276-284.
- JANSON S. L. (1960). — On the humus properties of organic manures. I. Actual humus properties. II. Potential humus properties.
H. Lantbrhögök, Ann., 26, 51-75 et 135-172, d'après Soils and Fertilizers, 1961, XXIV (1550).

- JENKINSON D. S., TINSLEY G. (1960). — A comparison of the ligno-protein isolated from a mineral soil and from a straw compost.
Sci. Proceed. Royal Dublin Soc., Série A, 1, 4, 141-148.
- KONONOVA M. M. (1961). — Soil organic matter : its nature, its role in soil formation and in soil fertility, 450 p.
Pergamon Press., London.
- KONONOVA M. M., BELCHIKOVA N. P. (1956). — Humus der Böden der U.D.S.R.R. seine Natur und Rolle in Bodenbildungsprozessen.
Vf Congr. Inter. Sci. Soil Paris, II, 22, 557-565.
- KONONOVA M. M., BELCHIKOVA N. P., ALEXANDROVA I. V. (1960). — Conference on methods of studying humus.
Pochvovedenie (Soviet Soil Sci.), 11, 110-113.
- LYNCH D. L., LYNCH C. C. (1958). — Resistance of protein-lignin complexes, lignins and humic acids to microbial attack.
Nature, G.-B., 181, 1478-1479.
- MANGENOT F., JACQUIN F. (1964). — Humification biologique et abiotique.
Communication Congrès Bucarest, 1964.
- MISTERKI W., LOGINOV W. (en russe). — Etude de quelques caractères physico-chimiques des acides humiques.
Pochvovedenie, 2, 39-51.
- SAEKI H., AZUMA J. (1960). — The oxidation stability light absorbing power and component of humic acids from different origins and mutual relations.
Soil plant, Food, 6, 49-58.
- SAVAGE M. (1962). The chemistry of soil humic acids.
Dissert, Abstracts, XXII, 10, 3329-3330.
- SCHARPENSEEL H. W. (1960). — Papierchromatographische Untersuchungen an Humussubstanzen sowie Huminsäureaufschlüssen und Modellsbstanzten.
Z. Pflanz. Düngung Bodenkunde, 88, 2, 97-115.
- SCHARPENSEEL H. W., KRAUSSE R. (1962). — Aminosäureuntersuchungen an verschiedenen organischen Sedimenten, besonders Grau- und Braunhuminsäurefraktionen verschiedener Bodentypen.
Z. Pflanz. Düngung Bodenkunde, 96, 1, 11-34.
- SCHOBINGER (1958). — Chemische Untersuchungen über die Umwandlung von Weizenstrohlignin im Laufe der Vorrötung.
Verl. H. Schellenberg, Winterthur, 80 p.
- SHIVRINA A. N. (1962) (en russe). — Caractères chimiques et spectrophotométriques des composés hydrosolubles analogues à l'humus et formés par le champignon *Inonotus obliquus* (Pers.) Pil.
Pochvovedenie, 11, 51-60.
- TAN K. H., VAN SCHUYLENBORGH J. (1961). — On the organic matter in tropical soils.
Netherl. J. Agric. Sci., 9, 3, 174-180.
- THOMANN Ch. (1963). — Quelques observations sur l'extraction de l'humus dans les sols : méthode au pyrophosphate de sodium.
Cahier de l'O.R.S.T.O.M., Pédologie, 3, 43-72.
- THURIN T. V. (1951) (en russe). — Vers une méthode d'analyse par l'étude comparative des constituants de l'humus du sol.
Trav. Inst. des Sol. Dokuichaïev, XXXVIII, 32 p.
- WELTE E. (1955). — Neue Ergebnisse der Humus Forschung.
Z. Angew. Chem., 67, 5, 153-155.

BULLETIN BIBLIOGRAPHIQUE DE PÉDOLOGIE

rédigé par

LA SECTION DE PÉDOLOGIE
DE L'O.R.S.T.O.M.

Tome XIII — Fascicule 1
1^{er} trimestre 1964

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

Direction Générale :
24, rue Bayard, PARIS-8^e

Service Central de Documentation :
80, route d'Aulnay, BONDY (Seine)

Rédaction du Bulletin : C. S. T., 80, route d'Aulnay, BONDY (Seine)