

Composition organique et décomposition dans le sol de boues mixtes de station d'épuration urbaine

G. HIROUX, G. LEFEVRE, M.-A. GAFFET

I.N.R.A., Station d'Agronomie, Amiens

I. — INTRODUCTION.

La suppression de l'élevage dans les anciens systèmes de polyculture-élevage semble entraîner une baisse du taux de matières organiques des sols cultivés. Ceci pourrait provenir de ce que, d'une part, l'exploitation sans élevage augmente la proportion de la production organique exportée et que, d'autre part, le rendement humique des organes végétaux enfouis dans le sol pourrait être plus faible que celui obtenu par la transformation partiellement anaérobie subie par les fumiers avant leur incorporation. Par contre, la décomposition en place des résidus végétaux permet de bénéficier de produits, intermédiaires et de néosynthèse, peu durables, mais très efficaces vis-à-vis de certaines propriétés physico-chimiques des sols.

Il est donc intéressant de rechercher les moyens d'utiliser au mieux le comportement complémentaire de ces deux types d'agents structuraux, l'un très actif et peu durable, l'autre moins actif mais plus stable.

Il est aussi nécessaire de savoir si les deux composantes de cet équilibre fragile sont à la fois bien réparties et suffisantes à l'intérieur des divers systèmes culturels. Des cas existent où il « semble » que les apports soient globalement déficitaires. Il devient alors nécessaire d'avoir recours à des fournitures extérieures qui pratiquement ne peuvent être trouvées que parmi les sous-produits ou résidus des exportations agricoles elles-mêmes.

En première analyse, ces fournitures se présentent sous deux formes :

— l'une n'est qu'une partie de la production. Ce sont des résidus de fabrication dont la composition est celle de produits végétaux. Leur effet dans le sol se rapproche de celui des résidus directs : action au cours de la décomposition et résidu humique ;

— l'autre est constituée par les déchets de consommation, animale et/ou humaine, avant ou après épuration, aérobie et/ou anaérobie. L'épuration ayant pour objectif et conséquence d'éliminer la partie la plus facilement dégradable de la matière organique, on a tendance à considérer que le produit final obtenu, les boues, est, plus ou moins, assimilable aux produits humiques.

Cependant cette déduction ne peut être utilisée pour déterminer la valeur « humique » de l'ensemble des boues de stations d'épuration.

Il est en effet nécessaire de tenir compte, en premier lieu, de la diversité que recouvre le vocable « Boues », en se référant à une typologie faisant intervenir la nature des produits épurés, le mode de traitement (aérobie, anaérobie), les procédés de stabilisation et d'extraction (2, 3, 6, 8).

On peut ensuite explorer diverses propriétés du complexe humique :

— Minéralisation plus ou moins rapide de l'azote de la boue et effet sur le milieu auquel on l'ajoute (1,4,5) ;

— Efficacité d'autres éléments nutritifs en particulier de phosphore (17, 18) ;

— Complexation des métaux lourds (10) ;

— Action sur la structure des sols (16). Cet effet, bien spécifique, est difficile à mettre en évidence dans les conditions de la pratique, se traduisant par des apports sporadiques, étrangers au système cultural proprement dit. De plus, dans de nombreux cas, les boues résiduelles sont floculées par la chaux dont l'effet interfère avec celui des matières humiques.

Toutes ces considérations permettent de dégager une valeur globale, individuelle, des boues (11, 12, 14, 15) mais ne fournissent toujours pas une mesure de la valeur humique telle qu'elle peut être déterminée par une analyse directe.

— Les extractions classiques faisant intervenir un réactif alcalin, puis une précipitation acide, ne conviennent pas à des boues pouvant contenir des produits aliphatiques et, en particulier, des acides gras.

Pour éviter de telles interférences, il a paru nécessaire de recourir à une analyse organique globale — type Waksman — qui, après séparation de divers composés organiques types, classe les matières humiques, avec la lignine, dans la fraction résistante.

L'analyse n'est donc pas encore totalement spécifique. Mais utilisée sur un mélange de boues et de terre, elle permet de suivre, après diverses durées d'incubation à l'étuve, l'évolution séparée de chaque composant, et en particulier de leur fraction résistante.

II. — MATERIEL ET METHODES.

a) MATERIAUX UTILISES.

Boues :

Elles proviennent de la station d'épuration de la ville d'Amiens qui en produit 10.000 t/an. Elles font partie de la catégorie des boues mixtes (boues de décantation + boues biologiques), floculées chimiquement par la chaux et le chlorure ferrique.

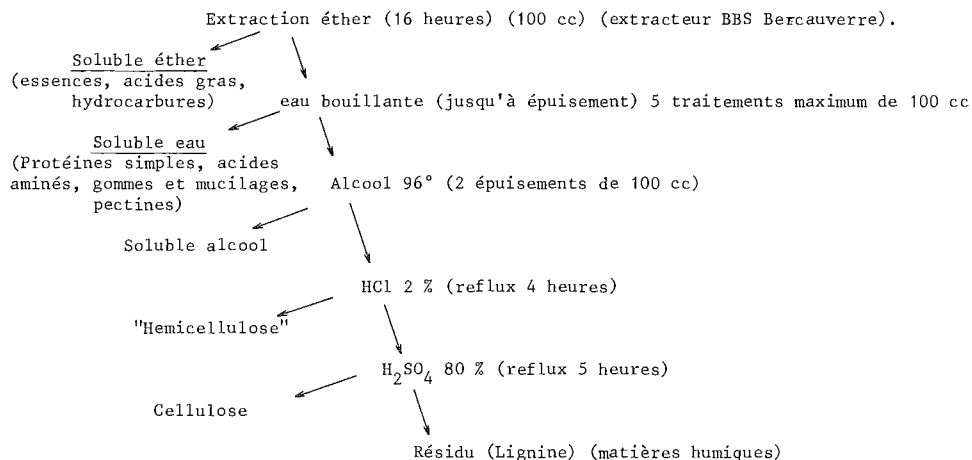
Sol :

La terre utilisée pour réaliser les essais de minéralisation à l'étuve provient d'un sol de Limon Moyen Sableux du Sud d'Amiens. Elle a, au départ, une réaction acide (pH : 5.5).

b) FRACTIONNEMENT DE LA MATIERE ORGANIQUE.

La technique de fractionnement est celle de Waksman (19) dans son principe et son déroulement, avec la succession classique des extractions aux solvants organiques et à l'eau bouillante et d'hydrolyses acides, laissant finalement un résidu résistant.

Le fractionnement est effectué sur 10 g de matériel (boue, sol et sol + boue).



Le carbone total et l'azote total sont dosés sur chaque fraction extraite.

Chaque fraction résiduelle est pesée.

c) INCUBATION A L'ETUVE.

10 g de boue fraîche (équivalent à 2 g de matière sèche) sont intimement mélangés avec 50 g de terre. Les échantillons ainsi préparés sont conservés à l'étuve à 28°, à humidité constante égale aux 2/3 de la capacité de rétention du milieu. L'incubation est poursuivie pendant 3, 6, 9, 12 et 15 semaines, avec une analyse Waksman à chaque période, en commençant par le temps 0.

Une série d'échantillons témoins (50 g de sol seul) est prévue avec les mêmes durées d'incubation.

Chaque traitement, avec et sans boue, est répété 20 fois, afin de réaliser, après chacune des 5 périodes d'incubation, l'analyse organique, le pH, et caractériser la structure (4), selon le test de Féodoroff (9).

III. — RESULTATS.

A. CARACTERISATION DE LA BOUE.

a) Composition globale (Tableau 1) :

— La teneur en matière sèche, 20 à 21 %, est voisine du minimum permettant de bonnes conditions d'épandage. Elle est obtenue par filtration, sous vide partiel, de la boue floculée.

— La teneur en cendres, plus de 36 % de la matière sèche, est élevée. Un quart (9 %) de ces cendres, insoluble dans les acides, est constitué par des matières terreuses provenant du décanteur primaire. Un tiers (12,9 %) représente de la chaux, utilisée comme floculant.

— Les teneurs relativement élevées en azote total et en acide phosphorique total (3 % sec) sont caractéristiques de ces boues urbaines qui peuvent ainsi être proposées comme sources d'azote et de phosphore.

Les doses d'emploi agricole de l'acide phosphorique — 100 à 200 unités/ha au maximum — plus faibles que celles d'azote, limitent le tonnage des apports de boues aux

Tableau 1

ANALYSE GLOBALE

	Composition centésimale du produit	
	Frais	séché à 105°
Matières sèches.....	20.75	
Cendres totales.....	7.59	36.57
Cendres insolubles acides.....	1.85	8.89
Matières organiques - Pertes au feu.....	13.16	63.43
Carbone total (Méthode Anne).....	7.58	36.52
N Kjeldahl.....	0.64	3.10
C/N.....		11.8
C/M.O.		0.576
N minéral ($\text{NO}^3 + \text{NH}^4$).....	0.011	0.052
Acide phosphorique total (P^2O^5).....	0.67	3.214
Chaux totale (CaO).....	2.69	12.96
Chaux combinée au CO^2	1.94	9.44
Oxydes M^2O^3 (Fe + Al).....	1.41	6.80

environs de 6 t/ha de matière sèche, soit 30 t/ha de boues fraîches. Cet apport fournit 4 t de matières organiques et 200 kg d'azote.

Ces doses ont l'avantage de limiter l'importance des métaux lourds dont on ne tient pas compte ici.

Le rapport C/N est voisin de 12, avec une richesse en carbone de la matière organique égale à près de 58 %.

b) Composition de la fraction organique :

1. La somme des carbones contenus dans les fractions fournit une teneur globale du produit de 35,2 % (au lieu de 36,5 en mesure directe), répartis en 8 % dans les molécules azotées et 27 % dans les produits non azotés (*).

2. On relèvera l'importance de la fraction soluble dans l'éther-alcool. Elle représente 28 % du carbone total et plus du tiers du carbone non inclus dans des molécules azotées. Cela justifie la remarque, faite dans l'introduction, sur la signification d'un dosage basé sur une extraction alcaline.

Cette fraction est très riche en carbone puisque sa teneur est de 87,5 %. Elle est caractéristique de produits de nature aliphatique, de cires et résines... peu fréquents ordinairement dans le sol. Ce fort pourcentage fait que la fraction ne représente que 11 % de la matière sèche totale et est à l'origine de son C/N assez élevé (11,8).

3. Le décapage par les solvants volatils permet l'extraction d'une fraction soluble à l'eau, importante — 18 % de la masse totale — dosant 31,4 % (seulement) de carbone et très riche en azote : 6,59 % (C/N de 4,75). Les deux tiers du carbone de cette fraction sont inclus dans des protides simples, l'azote minéral restant très faible.

(*) Pour simplifier, il est admis que l'azote total se trouve en grande majorité sous forme de protéines ($\text{N} \times 6.25$) et le carbone « protéique » a été évalué à 50 % de ce produit.

TABLEAU 2. — Analyse organique.

	Poids (g) des fractions pour 100 g de M.S.		Teneur des différentes fractions en					C N	Répartition dans les fractions du carbone, de l'azote et des cendres en pour cent de leur total			
	Total	Cendres	Carbone total %	Carbone "non prot." %	Carbone "prot." %	azote	Carbone total		Carbone "non prot."	Carbone "prot." ou Azote	Cendres	
Soluble éther-alcool	11	-	87.5	= 87.5	-	-	-	28	35	-	-	
Soluble eau bouillante	18	7.3	31.4	= 10.8	+ 20.6	6.6	4.75	16	7	46	20	
HCl 2 %	36.4	15.3	10	= 5.8	+ 4.2	1.3	7.7	10	8	19	42	
H ² SO ⁴ 80 %	13.9	4.1	38	= 26.6	+ 11.4	3.6	10.5	15	14	20	11	
Résidu	16.5	9.9	67	= 60.2	+ 6.8	2.2	30.45	31	36	15	27	
Total cumulé	95.8	36.6	35.2	= 27.2	+ 8.0	2.52	11.8	100	100	100	100	

Variations, au cours du temps, des quantités de carbone et d'azote des diverses fractions organiques extraites de sols, avec et sans boues.

CARBONE

AZOTE

Total

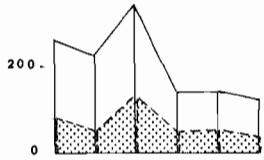
Non proteique

Proteique

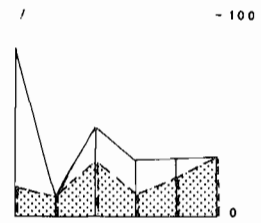
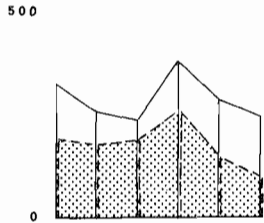
Total

mg / 100 g

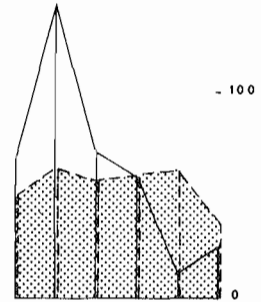
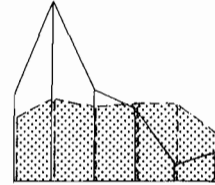
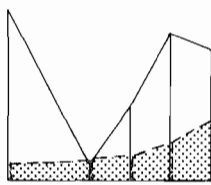
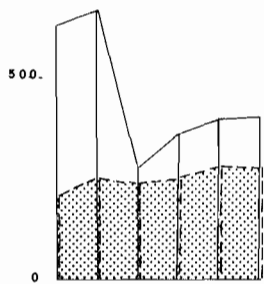
N mg / 100 g Sol



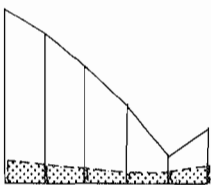
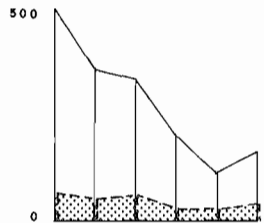
SOLUBLE ETHER - ALCOOL



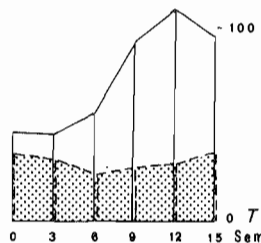
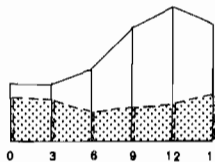
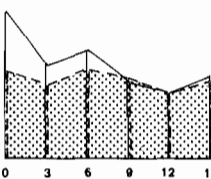
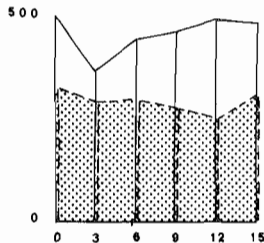
SOLUBLE EAU



HYDROLYSABLE HCL 2%



HYDROLYSABLE H2 SO4 80%



FRACTION RESISTANTE

C ET N PAR FRACTION

0 3 6 9 12 15 Semaines



4. Plus du tiers de la masse totale (36,4 %) est ensuite hydrolysé par l'acide chlorhydrique à 2 %, cette attaque récupérant 40 % des cendres et en particulier toute la fraction calcique. La fraction organique, constituée en majorité d'hemicelluloses, ne représente au total que 10 % du carbone total. C'est la fraction la moins azotée (1,34 %).

5. L'hydrolysable dans l'acide sulfurique 80 % (fraction cellulosique) représente 14 % de la masse totale ; dosant 38 % de carbone, elle contient 15 % du carbone total ; sa teneur en azote (3,64 %) est forte.

6. Le résidu final, résistant à tous les traitements, représente 16,5 % du total. Il est très riche en carbone (67 %), un peu moins cependant que la fraction soluble aux solvants volatils ; son C/N est de 30. Ce résidu est donc très peu azoté au départ. En appliquant la formule utilisée par Waksman pour évaluer le pourcentage de lignine dans l'humus du sol, ce résidu serait constitué par 54 % de lignine ?

B. EFFET DES BOUES SUR LES CARACTERISTIQUES DU SOL.

a) Effet sur l'évolution des constituants organiques du sol :

Cette évolution est mesurée par les variations quantitatives et la répartition des fractions carbonées et azotées.

Les résultats sont regroupés et schématisés dans le graphique en annexe.

Discussions des résultats :

1. Plus de 80 % des composés de la fraction 1 disparaissent en 9 semaines dans le sol, entraînant la perte de 50 % du carbone.

C'est une constatation importante, révélant l'aptitude du milieu à métaboliser ce type de produits.

Au cours de cette période, 87 % de la masse extraite par l'éther sont consommés, ainsi que le carbone correspondant, alors que celle extraite par l'alcool résiste plus, le carbone de cette fraction fluctuant au cours du temps, pour finalement se fixer à une valeur peu différente de celle du départ.

Le peu d'azote contenu dans la fraction disparaît dès la 3^e semaine d'incubation.

2. Les composés azotés et non azotés du carbone de la fraction hydrolysable par HCl 2 % (hemicelluloses et protéines simples) évoluent en sens inverse au cours des 15 semaines d'étuve.

Au cours des six premières semaines, le carbone non protéique chute à près du sixième de sa valeur, alors que le carbone protéique (déduit de la teneur en azote) double dès le premier contrôle. Puis le phénomène s'inverse : le carbone non protéique se met à croître jusqu'en 15^e semaine, alors que, pendant ce même temps, les protéines tombent à 17 % de leur valeur maximum (de 147 mg à 25 mg N).

Ces fluctuations semblent devoir être attribuées à une activité microbienne intense révélée par la variation des composants de cette fraction, en début de décomposition. Par la suite, la composition de cette fraction pourrait rendre compte des variations de la population microbienne elle-même en même temps que de son activité.

3. Les matières cellulosiques, hydrolysables par H₂SO₄ 80 %, apportées en quantités importantes par la boue (373 mg de carbone) sont consommées au cours des 12 premières semaines d'étuve. A ce moment précis de l'incubation, on ne retrouve que 36 mg de carbone non protéique, soit à peine 10 % de la valeur initiale. Dans cette fraction, on ne recense que peu de composés azotés au départ, et leur teneur fluctue en dents de scie à un faible niveau.

4. Le fait essentiel de cette évolution à l'étuve réside dans l'accumulation de l'azote au niveau du résidu non hydrolysable. Du départ de l'essai au temps T 15, l'azote total de cette ultime fraction passe (essai avec boue) de 46 à 108 mg d'azote alors que le

DECOMPOSITION DE BOUES D'EPURATION

carbone non protéique de cette fraction, apporté par la boue, disparaît, si bien que l'on se retrouve, en 15^e semaine, au même niveau de carbone non protéique que celui du sol témoin (195 mg contre 187 mg). Pour ce dernier, l'ensemble de la fraction ne présente que de faibles fluctuations.

b) Effet sur le pH du sol :

Nous avons vu que le produit apporte une quantité de chaux importante. On constate effectivement un effet neutralisant immédiat sur le milieu sol + boue.

Temps Traitement	T 0	T 3	T 6	T 9	T 12	T 15
Sol témoin	5.5	5.35	4.92	5.00	4.95	4.95
Sol + boue	7.2	8.30	8.15	8.40	8.02	7.70

Avec le temps, l'effet se poursuit et le pH se maintient au voisinage de 8.0. Au contraire, on observe, dans le sol témoin, une baisse de pH, à partir de 5.5, avec augmentation de l'acidité dans le temps.

c) Effet sur la structure du sol :

On note une nette amélioration de l'état structural, testé par la méthode Féodoroff (1960) (S de Féodoroff), avec des effets spectaculaires sur la restructuration du sol, battant à l'origine.

Temps Traitement	T 0	T 3	T 6	T 9	T 12	T 15
Sol témoin	14.5	8.93	6.86	5.80	6.99	8.12
Sol + boue	3.89	0.46	0.44	0.60	0.52	0.59

L'action de l'apport est très rapide. Au temps 0, le taux d'agrégation des éléments fins de la granulométrie augmente après l'addition de boue, et cette action se poursuit, le « S » de Féodoroff s'abaissant et se maintenant autour de 0.5 par la suite.

Donc, en dehors de l'effet calcique noté précédemment dans les traitements avec boue, on peut noter une amélioration plus modeste, mais effective, de la structure du sol témoin. Cette amélioration est maximum avec le traitement boue. On serait alors tenté de la rattacher à un effet « humique ». Or, les données analytiques montrent que, même dans les sols traités, il n'y a pas globalement d'augmentation de la fraction carbonée résistante, la diminution de sa partie « non protéique » étant progressivement compensée par l'augmentation de sa partie protéique.

Cet enrichissement en azote de la fraction résistante et l'« activité » importante de la fraction hémicellulosique, facilement hydrolysable, constituent les faits essentiels susceptibles de rendre compte des mécanismes d'action de ces matières organiques de composition différente de celles utilisées habituellement.

IV. — CONCLUSION.

Les données analytiques, permettant de suivre l'évolution des composants organiques d'une boue et ses effets sur la structure du sol, font ressortir quelques faits importants :

— Plus du tiers de la boue utilisée est constitué par des cendres, dont un tiers est lui-même sous forme de chaux.

— Plus de 10 % du carbone organique se trouvent sous forme de produits aliphatiques. Ils disparaissent rapidement lorsqu'ils sont incorporés au sol.

— Le supplément de carbone apporté sous forme de produits résistants aux diverses extractions est conservé au cours de la décomposition, mais on observe, à l'intérieur de cette fraction, la disparition du supplément des molécules non azotées et une augmentation équivalente des produits azotés. Il en résulte une baisse du C/N de cette fraction (de 10.9 à 5.2).

Ce fait serait à rapprocher de la baisse significative du C/N des sols qui ne peut provenir que d'une meilleure conservation de l'azote que du carbone. Les protéines pourraient-elles se fixer directement sur l'argile, sans passer par l'intermédiaire du « noyau » humique ?

— La décomposition s'accompagne de fluctuations importantes de la fraction la plus facilement hydrolysable correspondant théoriquement à des hemicelluloses.

Ces évolutions pourraient rendre compte de l'intervention de produits intermédiaires de décomposition ou de synthèse microbienne dont l'action structurale intense, mais fugitive, peut être prépondérante à certaines époques critiques pour le comportement cultural.

Il résulte de cette étude que la boue utilisée, floculée à la chaux, représente donc bien un amendement calcaïque et organique, sans que l'on puisse réellement en connaître la valeur spécifiquement humique.

Bibliographie

1. BENISTANT D., NICOLARDOT B., GERMON J.-C., CHAUSSOD R., CATROUX G. — Caractérisation de la maturation des composants d'ordures ménagères. Ministère de l'Environnement.
2. BRAME V., FEUTRY Ph. — Les boues résiduaires des stations d'épuration. Mémoire I.S.A. Lille, octobre 1974.
3. BRAME V., LEFEVRE G. — Asepts qualitatifs de l'utilisation agronomique des boues résiduaires des stations d'épuration. *Science du Sol*, A.F.E.S., n° 3, 1977, pp. 125-140.
4. CHAUSSOD R., CATROUX G. — Evolution dans le sol de l'azote des boues résiduaires. Influence du type de boue et de l'humidité du sol. Ministère de l'Environnement, I.N.R.A., Laboratoire de microbiologie des sols, Dijon, 56 p. Comité « Sol et déchets solides ».
5. CHAUSSOD R., GERMON J.-C., CATROUX G. — Essai de détermination au laboratoire de l'aptitude à la minéralisation d'azote des boues résiduaires urbaines. *C.R. Ac. Agr.*, 1981, 67, n° 9, pp. 782 à 790.
6. COLIN F. — Typologie et caractérisation des boues résiduaires. I.N.P. Nancy, mars 1975.
7. COPPENET. — Fumiers et lisiers : leur valeur agronomique. *Cultivar*, septembre 1980, pp. 57-59.
8. C.T.G.R.E.F. — Utilisation agricole des boues produites par les stations d'épuration. *Etude n° 7*, novembre 1975.
9. FEODOROFF. — Evaluation de la stabilité structurale d'un sol (indice S). Nouvelles normes d'emploi pour l'appareil à tamiser. *Ann. Agron.*, n° 6, 1960, pp. 651-158.
10. GÓMEZ A., JUSTE C. — Influence de la fraction anodique d'un extrait aqueux de boue résiduaire de station d'épuration urbaine sur l'absorption et le transfert en temps court du cadmium par des plantules de maïs. *Agronomie*, n° 6, pp. 463-466.
11. GUCKERT A., MOREL J.-L., SIBOUT V., JACQUIN F. — Possibilités de valorisation agricole de boues résiduaires urbaines. Etude de la valeur agronomique des boues. *Bull. E.N.S.A., Industries alimentaires* ISSN 0374.6003, 22, pp. 83-91.
12. JACQUIN F., VONG P.-C. — Etude de la valeur des résidus de la fermentation méthanique. *E.N.S.A., Industries alimentaires*, D.G.R.S.T. 78, 72 908, 30 p.

DECOMPOSITION DE BOUES D'EPURATION

13. JUSTE C., DUREAU, LASSERRE. — Etude de la valeur agronomique des résidus de la fermentation méthanique. D.G.R.S.T. Paris. Actions concertées : valorisation énergétique des déchets agricoles.
14. JUSTE C., DUREAU P., LASSERRE M. — Influence de la digestion méthanique sur la valeur fertilisante de divers déchets organiques. C.R. Ac. Agr., 1981 (67), n° 9, pp. 782-790.
15. LEFEVRE G. — L'utilisation agricole des boues résiduaires des stations d'épuration. I.N.R.A., Station d'agronomie d'Amiens, Agence de Bassin Artois-Picardie. Fasc. 41 pages.
16. MOREL J.-L., JACQUIN F. — Utilisation agricole des boues résiduaires urbaines chaulées et non chaulées. Incidence de trois années d'épandage sur la fertilité d'un sol neutre de limons. Ecole nationale supérieure d'agronomie et des industries alimentaires, Nancy, E.N.V., 75 155 (4), pp. 29-100. (N humique - N total - chaulage).
17. POMMEL. — Détermination au moyen d'un test biologique de la cénétique de libération du phosphore à partir d'une boue résiduaire. Agronomie, n° 6, pp. 467-472.
18. POMMEL. — Phosphorus value of sludges related to their metal content. Comm. Eur. Communities Coord. Agr. Res. Eur. NLD (1981), pp. 137-146.
19. WAKSMAN S.A. — « Humus ». Origine, chemical composition and importance in nature. The Williams and Wilkins Co Baltimore (1938).

SUMMARY

ORGANIC COMPOSITION AND DEGRADATION IN SOIL OF URBAN SLUDGES

For fifteen weeks the evolution of urban sludges has been studied every three weeks by mean of organic analysis of its mixture with soil.

Raw sludges are rich (Table 1) in ashes, calcium carbonate and (Table 2) in ether soluble, carbon rich, compounds. This aliphatic part is « normaly » used.

The evolution of the other organic compounds is characteristic (Fig. 1).

— The nitrogenous and non nitrogenous parts of « hemicellulose » fraction move in opposite ways: when one increases the other decreases. This behaviour could suggest a relation with biomass evolution.

— Cellulosic compounds decrease regularly.

— The carbon content of lignin fraction, including humic fractions, remains nearly the same resulting from the disappearance of nitrogen free constituents and from a large increase of nitrogen compounds.
