

**LES METHODES D'ANALYSE
DES MATIERES HUMIQUES UTILISEES A L'O.R.S.T.O.M.**

- = -

Revue sommaire rédigée par B. Dabin, chef de laboratoire
aux S.S.C. Bondy - France,

avec la collaboration pour les travaux récents de Brion J. C., Bellier G.,
Gavinelli E., Verdoni J.

Plan

- 1 - Introduction**
- 2 - Principales méthodes d'extraction.**
- 3 - Quelques résultats obtenus avec les différentes méthodes et discussion**
- 4 - Méthode de dosage du carbone par voie sèche**
- 5 - Conclusion.**

LES METHODES D'ANALYSE DES MATIERES

HUMIQUES UTILISEES A L'ORSTOM

1. Introduction.

L'étude des matières humiques effectuée au cours des dernières années par les pédologues de l'ORSTOM, n'a pas été orientée vers une analyse biochimique détaillée de ces composés, mais a cherché à utiliser des techniques d'extraction et de fractionnement plus ou moins standardisées, permettant d'isoler des groupes de substances présentant ces propriétés différentes, et de les mettre en relation au point de vue qualitatif ou quantitatif avec certaines propriétés des sols ou des climats, telles que : classement pédogénétique, variations climatiques générales, variations saisonnières, évolution en fonction de la culture, variations de structure et de fertilité. Le travail présent rappelle les principales méthodes utilisées, et quelques uns de leurs résultats.

2. Principales méthodes d'extraction.

Pendant de nombreuses années, on s'est limité aux dosages globaux de Carbone par les méthodes de Anne et Walkley et Black et d'Azote par la technique de Kjeldahl, quelques extractions d'acides humiques ont été effectuées par un réactif à l'Oxalate d'ammonium (Chaminade, 1945). C'est surtout à la suite du travail de Thomann Ch. (1963) sur la méthode Kononova (1961) utilisant le pyrophosphate de sodium 0,1 N que des analyses systématiques d'humus ont été pratiquées sur les sols. Par la suite des fractionnements plus poussés ont été entrepris à l'aide de la méthode de Tiurin (1951) modifiée par Duchaufour (1960). Cette méthode comporte plusieurs fractions

F1. Les acides fulviques libérés extraits par H_2SO_4 0,05 N.

F2 et F3. Les acides fulviques liés aux acides humiques : ils sont extraits par la soude diluée en même temps que les différents acides humiques, et séparés après précipitation à $pH = 1$ des acides humiques.

H1. Les acides humiques libérés, extraits par la soude diluée sans prétraitement.

H2. Les acides humiques liés à l'argile par Ca^{++} : on fait une attaque acide si le sol est calcaire, ou bien on déplace Ca^{++} par une solution

de $\text{SO}_4 \text{Na}^2$ avant de faire agir la soude diluée.

H3. Les acides humiques liés à l'argile par l'intermédiaire des sesquioxides, on fait agir $\text{SO}_4 \text{H}^2 \frac{\text{N}}{10}$ à chaud à plusieurs reprises et la soude.

On peut considérer que cette dernière fraction fait déjà partie de l'humine.

Cette méthode ne diffère pas fondamentalement dans son principe de la méthode de Tiurin d'origine, mais chaque technique particulière peut amener une certaine variation dans les résultats.

Puis, c'est surtout la méthode Duchaufour et Jacquin (1966) qui a été appliquée. Cette méthode utilise une séparation densimétrique préalable d'après la technique de Monnier et al. (1962) aux liquides organiques (éthanol-bromoforme d #1.8) suivie de plusieurs extraits successifs :

- un mélange pyrophosphate de soude et sulfate de soude à pH = 7
- pyrophosphate de soude 0,1 N à pH 9,8.
- soude 0,1 N.

Sur les divers extraits est pratiquée une électrophorèse sur papier d'après la méthode de Jacquin (1963). Cette méthode consiste à faire migrer une solution concentrée d'acides humiques (6 mg C ml dans NaOH N) sur une bande de papier imprégnée d'un tampon pH = 7,4, sous l'action d'un courant de 10 V cm.

Les substances humiques sont fractionnées en fonction de leur mobilité. Plusieurs taches colorées se séparent sur le papier et sont mesurées au densitomètre. La méthode Duchaufour et Jacquin permet d'une part de séparer une fraction légère non liée à la matière minérale et contenant surtout des débris végétaux peu transformés et une fraction lourde contenant les matières les plus humifiées. Sur ces dernières, extraites par les réactifs alcalins, on peut séparer une fraction acide fulvique soluble en milieu acide à pH = 1, et une fraction acide humique insoluble. La fraction acide humique est fractionnée par électrophorèse en acides humiques mobiles (AH Bruns) moyennement mobiles (AH intermédiaires) peu ou non mobiles (AH Gris).

La fraction non extractible par les réactifs alcalins et demeurant dans le résidu représente l'humine.

Sur des sols tropicaux, Dabin et Thomann (1970) ont pratiqué une méthode simplifiée, consistant en une extraction unique au pyrophosphate de sodium 0,1 N, et complétée par un fractionnement par électrophorèse des acides humiques. Cette méthode a été comparée à la méthode chimique de fractionnement de Tiurin.

Cette méthode simplifiée pyrophosphate et électrophorèse a été appliquée pour un certain nombre de travaux : Thèse de Négarestan (1970) sur les sols isohumiques subtropicaux, publication de Turenne (1970) sur les acides humiques des sols de Guyane.

Perraud A. dans une thèse présentée en 1971 sur la matière organique des sols forestiers de Côte d'Ivoire a utilisé une méthode analogue mais précédée d'une séparation densimétrique selon la technique Monnier-Duchaufour.

En outre, dans ce travail Perraud a pratiqué un fractionnement complémentaire sur le résidu non extractible en humine.

- Il a séparé une fraction liée au fer après traitement à chaud par H_2SO_4 concentré puis extrait à la soude.
- Une fraction liée à l'argile après traitement par Hcl - HF N et extrait à la soude.

Sur cette fraction il a pu distinguer une partie peu transformée et proche de la lignine, par une séparation densimétrique et une dissolution dans le Bromure d'acétyl.

Dans cette période plus récente, l'attention a été attirée sur l'importance de la fraction non extractible ou humine, et actuellement son étude est poursuivie tout particulièrement par l'équipe de Duchaufour.

En 1971, B. Dabin a cherché à mettre au point une méthode simplifiée, plus spécialement adaptée aux sols tropicaux, et l'analyse en série, permettant d'obtenir un taux d'extraction des matières humiques comparable à la méthode Tiurin et à la méthode Duchaufour.

Un prétraitement à l'acide phosphorique 2 M, réalise une décalcification complète, et sépare assez bien les brindilles de matière organique libre, enfin il permet le dosage de la fraction acide fulvique libre.

Après lavage à l'eau, le sol est soumis à plusieurs extractions successives avec la soude 0,1 N où le pyrophosphate 0,1 M suivi de soude 0,1 N jusqu'à épuisement des matières humiques alcalinosolubles. Les valeurs obtenues pour le résidu non extractible ou humine, sont comparables à celles obtenues avec la méthode de Duchaufour.

Les acides humiques extraits sont fractionnés par électrophorèse, enfin certains essais de fractionnement ont été effectués avec les gels séphadex G 25 et G 50. Dans cette dernière technique une solution d'acide humique concentrée identique à celle utilisée pour l'électrophorèse, est éluée sur des colonnes de 50 cm x 3 cm, contenant les gels. Les éluats sont recueillis dans des tubes par volumes successifs de 10 ml grâce à un collecteur automatique de fraction. La densité optique de chaque fraction est mesurée.

3. Quelques résultats obtenus avec les différentes méthodes et discussion.

a) Méthode simple au pyrophosphate.

Il est difficile de tester la valeur comparative des différentes méthodes, toutes sont d'ailleurs imparfaites, mais elles ont néanmoins permis de cerner certaines tendances quant à la nature et aux propriétés des matières humiques des sols, ce qui, malgré tout, est une attitude plus productive que celle qui consiste à ne rien faire, du moment que les méthodes sont réputées mauvaises. C'est d'ailleurs au travers de ces tentatives que peu à peu des améliorations technologiques ont pu survenir. Néanmoins, seules des conditions strictement standardisées permettent de faire quelques comparaisons valables.

En ce qui concerne la méthode la plus simple d'extraction au pyrophosphate 0,1 M suivie de la séparation en A.F et AH, il a été possible d'établir des corrélations entre les fractions et les indices d'instabilité structurales IS d'après la méthode de S. Hénin.

$$IS = - 2,01 (C \text{ total} - C \text{ M.H.}) + 3,16 \quad 42 \text{ ech. } r = 0,727$$

$$IS = 0,26 \frac{\text{acides fulviques}}{C \text{ total}} - 0,65 \quad r = 0,95$$

(Combeau et Quantin, 1964)

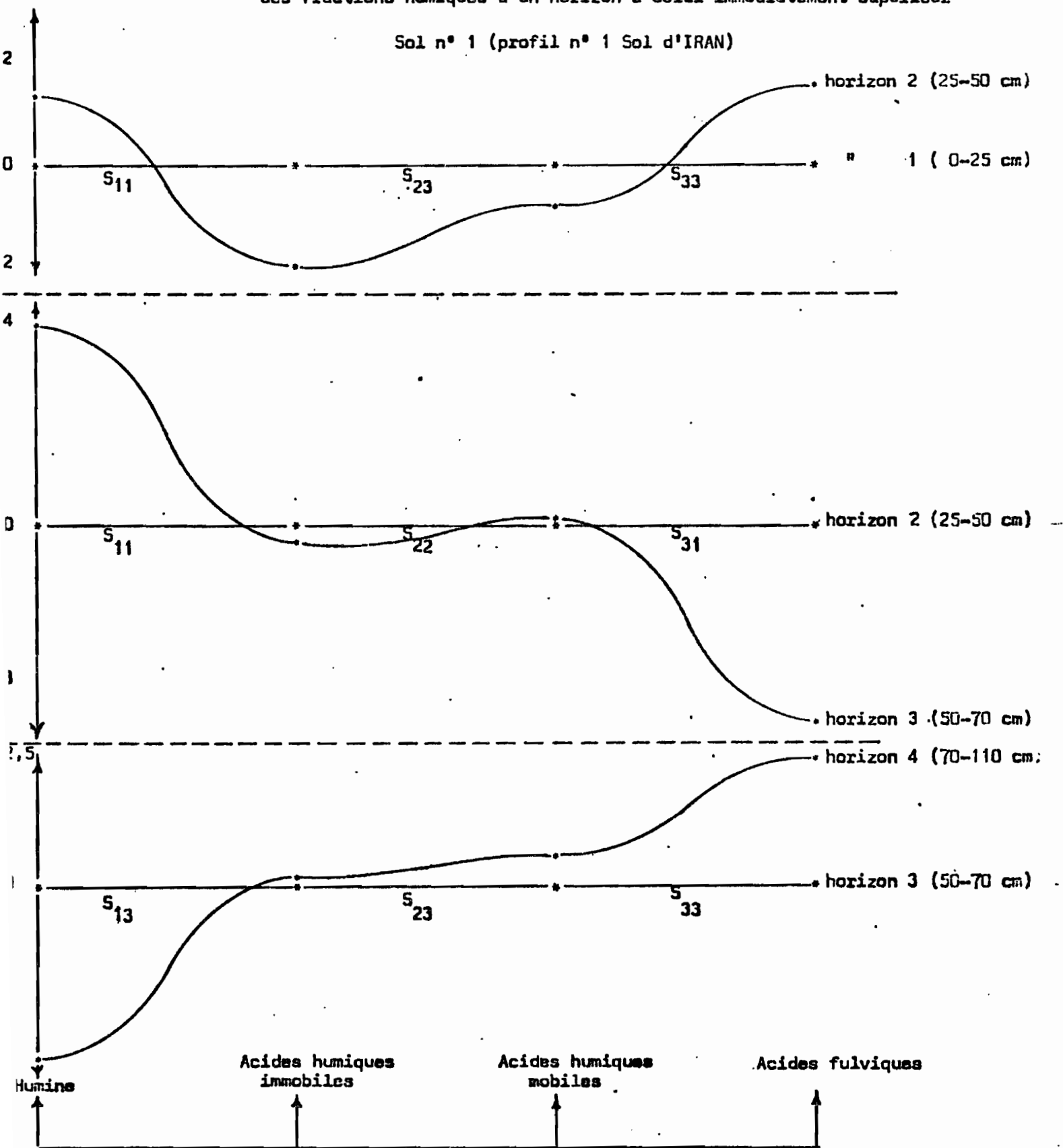
Bien que le taux d'extraction avec cette méthode soit faible, généralement inférieur à 20 % du C total, cela a permis de faire apparaître l'importance de la fraction non extractible ou "humine" dans la stabilité structurale, ainsi que le degré de dépolymérisation de l'humus dans la dégradation de cette structure.

Les taux d'extraction ($\frac{C_{MHT}}{C \text{ total}}$) sont souvent plus faibles dans les sols bien saturés en bases et plus élevés dans les sols désaturés, l'électrophorèse a montré que la diminution du taux d'extraction était souvent lié à la dominance d'acides humiques peu mobiles ou acides humiques Gris et son augmentation à la présence de composés plus mobiles, acides fulviques et acides humiques libres.

| | Taux d'extraction | A H % | | | |
|--|-------------------|-------------------|-------|----------------|------|
| | | $\frac{A F}{A H}$ | bruns | intermédiaires | gris |
| Sols ferrallitiques faiblement désaturés | 11.4 | 1.22 | 36.7 | 11.1 | 52.2 |
| Sols ferrallitiques fortement désaturés | 28 | 0.96 | 38 | 15 | 46 |
| | 40 | 0,91 | 47.8 | 20.7 | 31.3 |
| | 61 | 1 | 64 | 15 | 21 |

Graphique de la variation de valeur relative au carbones total
des fractions humiques d'un horizon à celui immédiatement supérieur

Sol n° 1 (profil n° 1 Sol d'IRAN)



Negarestan 1970

De même dans les sols ferrallitiques le taux d'extraction et le rapport $\frac{AF}{AH}$ augmentent presque toujours avec la profondeur, ce qui indique soit un phénomène de dépolymérisation soit un processus de lessivage des acides fulviques.

Négarestan dans sa thèse sur la matière organique des sols isohumiques d'Iran, du Maroc, de Tunisie, du Niger, utilise l'extraction simple au pyrophosphate suivie d'électrophorèse des acides humiques.

Une étude systématique des divers horizons de chaque profil, comparés deux à deux, à partir de la surface, permet d'interpréter la répartition du Carbone total dans ces divers horizons en fonction de l'évolution des pourcentages des différentes fractions de la surface vers la profondeur. Il considère en particulier la différence positive ou négative de chaque fraction humique par rapport à la fraction correspondante de l'horizon immédiatement sous-jacent.

Une diminution rapide du taux de Carbone total correspond généralement à une augmentation relative importante des acides fulviques et à une diminution presque symétrique du taux d'humine ; les rapports acides humiques gris et acides humiques bruns restent plus constants, mais leurs variations relatives avec la profondeur permet de se rendre compte du passage d'une fraction à l'autre dans le sens de la polymérisation ou de la dépolymérisation.

Une augmentation importante d'acide fulvique en profondeur qui ne s'accompagne pas d'un mouvement général de dépolymérisation indique une accumulation par lessivage. La logique des différentes représentations graphiques ainsi que des corrélations avec diverses propriétés des sols ont permis de se rendre compte de la valeur au moins relative de ces mesures.

Turenne a appliqué la même méthode aux "Sols des savanes côtières de la Guyane", et il a établi une relation entre l'humidité aux champs et les variations des différentes fractions de la matière humique en fonction des saisons. Les résultats sont présents dans une communication à "Caribbean Food Crops Societe 10 th annual Meeting".

La part exprimée en % du C total des différentes fractions varie suivant la saison et en considérant les valeurs moyennes on peut situer deux grands moments climatiques.

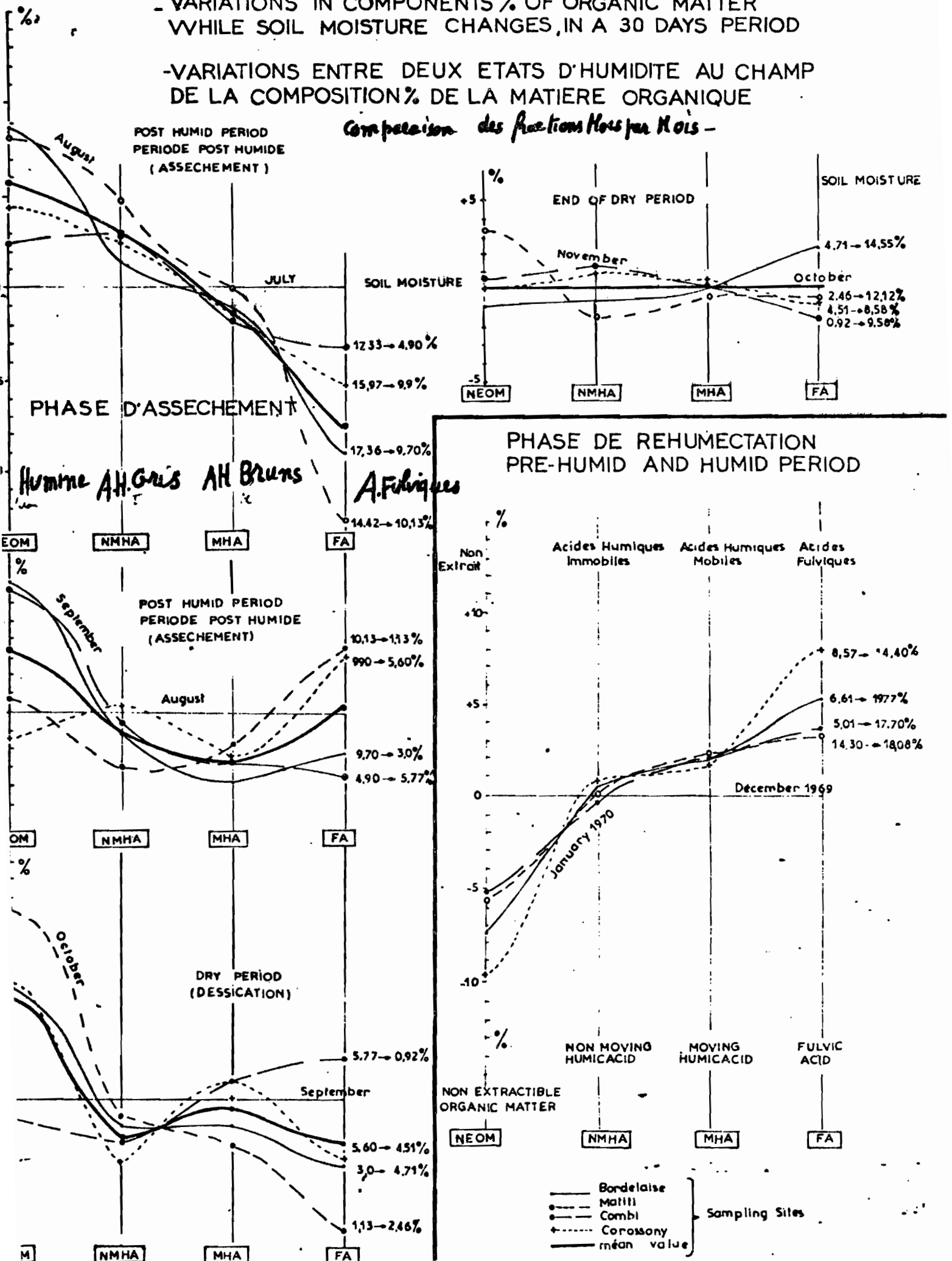
En période post-humide une diminution significative de la part des acides fulviques, une diminution de la part des acides humiques mobiles à l'électrophorèse, et lorsque l'assèchement s'accroît (septembre-octobre) une diminution du taux d'acides humiques immobiles, alors que l'on note l'augmentation significative du taux d'humine. Ces variations s'accompagnent d'une hausse du taux de Carbone.

Fig 4

- VARIATIONS IN COMPONENTS % OF ORGANIC MATTER WHILE SOIL MOISTURE CHANGES, IN A 30 DAYS PERIOD

- VARIATIONS ENTRE DEUX ETATS D'HUMIDITE AU CHAMP DE LA COMPOSITION % DE LA MATIERE ORGANIQUE

Comparison des fractions Mois par Mois -



Solde Sarane - Guyane. - J.F. Tuzenne.
 "Caribbean Food Crops Society" - 10th Annual Meeting.

En période préhumide une diminution significative de la part non extraite au pyrophosphate (humine principalement), donne une augmentation significative des acides humiques mobiles à l'électrophorèse et des acides fulviques. Ces variations s'accompagnent d'une baisse du taux de carbone.

L'enchaînement continu de ces différentes transformations, et leur répétition dans le temps, montrent également que ces mesures ont au moins une valeur comparative.

b) Utilisation de la méthode Tiurin (modifiée Duchaufour)

C'est Thomann Ch. qui a appliqué systématiquement la méthode Tiurin à différents types de sols, En 1964 elle a montré une relation entre les différentes fractions et les grands types pédogénétiques en ce qui concerne les rapports $\frac{AH}{AF}$ ou

encore les rapports $\frac{H1 + H2 + H3}{F1 + F2}$ elle indique la relation suivante :

| | |
|---|-----|
| Sol brun aride argileux | 6.7 |
| Sol brun aride sableux | 4.6 |
| Sols brun rouges | 3.2 |
| Sols ferrugineux tropicaux non lessivés | 2 |
| Sols ferrugineux tropicaux lessivés | 0.7 |

elle montre ainsi la prédominance des acides humiques plus polymérisés dans les sols des régions à climats contrastés avec longue saison sèche.

En collaboration avec B. Dabin en 1970 elle a voulu comparer cette méthode avec la technique simplifiée d'extraction au pyrophosphate de soude suivie d'électrophorèse des acides humiques, et l'a appliquée à de nombreuses ^{sols des} régions tempérées, méditerranéennes et tropicales.

Trois cas se présentent. Dans le premier cas, il existe dans les pourcentages relatifs des différentes fractions, une assez bonne concordance ; d'une part entre la fraction acide humique liée (H2 + H3) de Tiurin et la fraction acide humique gris de l'électrophorèse, les acides humiques (H1) correspondant par ailleurs aux acides humiques bruns.

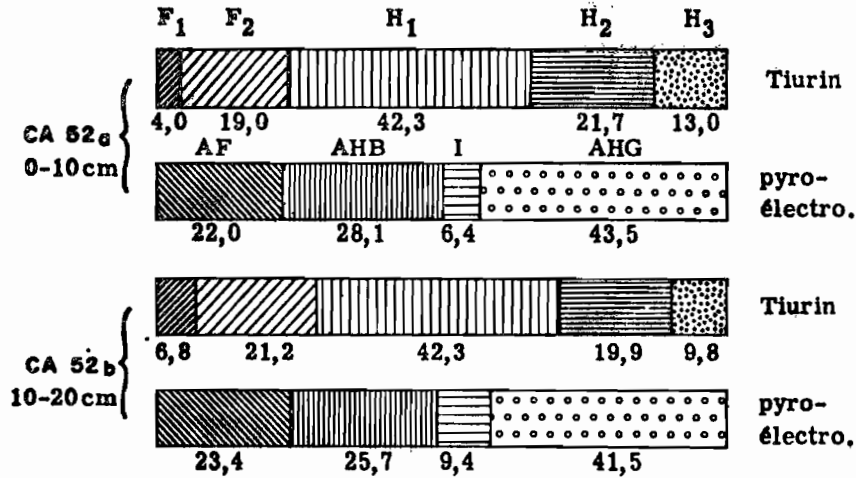
Dans le 2ème cas, les acides humiques liés de Tiurin sont en proportion nettement plus importante que les acides gris de l'électrophorèse.

Dans le 3ème cas au contraire les acides humiques gris sont en proportion plus faible, par contre les acides humiques libres (H1) sont nettement supérieurs

Comparaison méthode Tiurin, méthode Electrophorèse

Sol ferrugineux tropical lessivé

Schéma de répartition des différentes fractions humiques (ramenées à 100 de l'humus total) pour chacune des méthodes

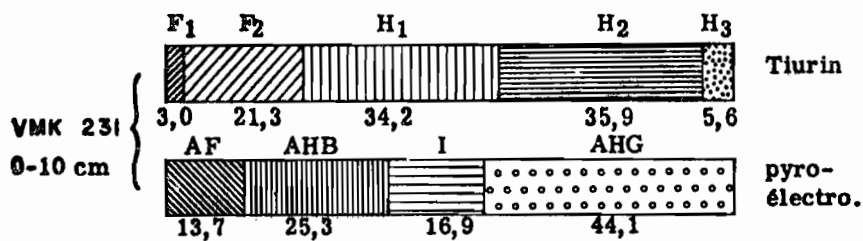


| Nos | C total % | Méthode TIURIN | | | | | | Pyro-électrophorèse | | | | H2+H3/AH AHG/AH' |
|---------|-----------|----------------|-------|----------|----------|-----------|-------|---------------------|---------|---------|----------|------------------|
| | | Taux d'hum. % | AH/AF | H2+H3/H1 | H2+H3/AH | H2+H3/MHT | H2/AH | Taux d'hum. % | AHG/AHB | AHG/AH' | AHG/MHT' | |
| CA 52 a | 18,5 | 38,8 | 3,3 | 0,82 | 45% | 35% | 28% | 19,6 | 1,55 | 56% | 44% | 0,81 |
| 52 b | 8,5 | 38,4 | 2,6 | 0,70 | 41% | 30% | 28% | 20,1 | 1,61 | 54% | 42% | 0,76 |

(voir Fig. 6)

Sol Brun-entrophe Vertique.

Schéma de répartition des différentes fractions humiques (ramenées à 100 de l'humus total) pour chacune des méthodes



| N° | C total % | Méthode TIURIN | | | | | | Pyro-électrophorèse | | | | H2+H3/AH AHG/AH' |
|---------|-----------|----------------|-------|----------|----------|-----------|-------|---------------------|---------|---------|----------|------------------|
| | | Taux d'hum. % | AH/AF | H2+H3/H1 | H2+H3/AH | H2+H3/MHT | H2/AH | Taux d'hum. % | AHG/AHB | AHG/AH' | AHG/MHT' | |
| VMK 231 | 13,1 | 55,6 | 3,1 | 1,22 | 55% | 42% | 47% | 35,7 | 1,75 | 51% | 44% | 1,07 |

(voir Fig. 6)

aux acides humiques bruns.

Les sols du premier cas sont généralement des sols neutres, ceux du second cas sont des sols riches en calcium et ceux du troisième cas sont des sols acides. Ch. Thomann donne plusieurs interprétations, mais la principale paraît la suivante : dans les sols bien équilibrés au point de vue cationique (Ca - Fe - Al), il existe une relation entre liaison des acides humiques et degré de polymérisation. Dans les sols calciques ou calcaires, les acides humiques même peu polymérisés forment avec le Ca^{++} des complexes peu solubles dans la soude, enfin dans les sols acides les complexes de liaison humus-fer même fortement polymérisés sont aisément solubles dans la soude ; la comparaison de ces deux méthodes fournit par ailleurs d'intéressants renseignements sur la nature des humus dans les différents types de sol.

Il apparaît cependant une différence importante entre les deux méthodes, en ce qui concerne le taux d'humification qui est en fait le taux d'extraction, la méthode Tiurin donne des résultats qui sont systématiquement environ deux fois plus élevés que ceux de la technique d'extraction simple au pyrophosphate de soude.

C'est donc dans le but d'obtenir un taux d'extraction des matières humiques plus important que nous avons essayé une méthode comportant un prétraitement acide.

c) Application de la méthode simplifiée avec prétraitement acide.

Comme nous l'avons vu précédemment, cette méthode comporte un prétraitement $\text{PO}_4\text{H}^3_{2M}$ jusqu'à décalcification complète.

Généralement on pratique trois extractions successives avec un rapport

$\frac{\text{Sol}}{\text{liquide}} = \frac{40}{200}$. Les extraits sont centrifugés et filtrés.

Le filtrat contient des acides fulviques solubles en milieu acide que l'on peut appeler acides fulviques libres. Sur le filtre on recueille des fragments de matière organique peu transformée, non liée à la matière minérale.

Le culot de centrifugation est lavé à l'eau jusque vers $\text{pH} = 5$, puis on effectue plusieurs extraits pyrophosphate 0,1 M suivis de plusieurs extraits NaOH 0,1 N. On peut d'ailleurs faire uniquement des extraits NaOH 0,1 N.

- on poursuit les extractions, tant que les extraits sont fortement colorés. Lorsque la coloration des extraits devient faible on arrête les extractions

Jusqu'à présent, les divers extraits humiques étaient dosés par oxydation au mélange sulfochromique, de même le rendu contenant l'humine était lui-même analysé par la méthode sulfochromique à chaud.

Dans un sol ferrallitique faiblement désaturé de République Centrafricaine on obtient un taux d'extraction des matières humiques totales de 30 à 40 % qui se rapproche des taux d'extraction de la méthode Tiurin dans des sols analogues. Quant au résidu insoluble ou humine, il varie de 45 à 55 %, il est très proche de celui obtenu avec la méthode Duchaufour comportant un extrait aux liquides organiques (alcool bromoforme), un extrait pyro $pH = 7$, un extrait pyro $pH = 10$, et un extrait $NaOH 0,1 N$. Je pense que cette similitude est due au fait que le dernier réactif d'extraction, c'est à dire la soude $0,1 N$ à froid est le même pour les trois méthodes, et que les extraits répétés permettent d'aboutir à un épuisement des matières humiques solubles, ce qui n'est pas le cas dans la méthode simple au pyrophosphate. Il est certain que la méthode de Springer (1938) qui utilise la soude à l'ébullition aboutit à un taux d'extraction beaucoup plus élevé, ceci étant dû à notre avis à une hydrolyse de l'humine qui fournit d'ailleurs une grande quantité d'acides fulviques.

En ce qui concerne les matières organiques légères peu transformées extraites par le traitement phosphorique, la proportion par rapport au Carbone total est de 10 % à 20 % dans les sols ferrallitiques de R.C.A. Elle est plus difficilement comparable à la méthode aux liquides organiques qui extrait davantage de matières.

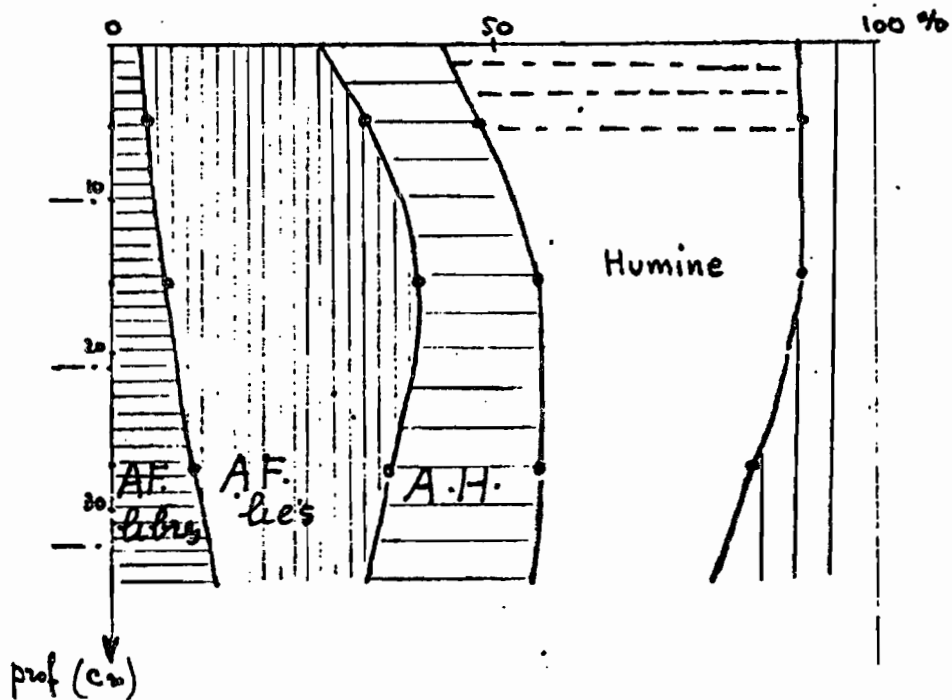
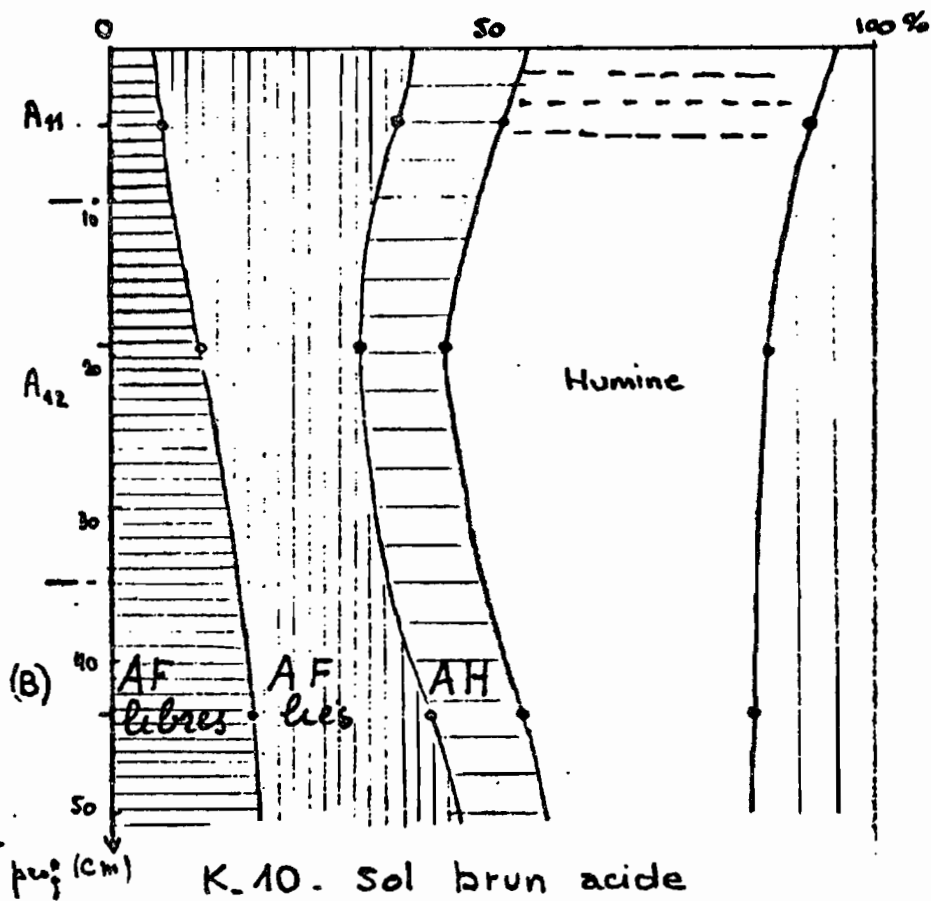
Quelques résultats obtenus avec la méthode à l'acide phosphorique.

La fraction acide fulvique libre représente des proportions très variables suivant les sols, de 1 % à 20 % parfois plus. Dans les sols ferrallitiques de R.C.A. elle représente le quart environ des acides fulviques totaux en surface soit 4 à 8 % du Carbone total.

Ce qui permet de juger la valeur de cette fraction c'est sa répartition dans les sols lessivés. En effet, on observe une augmentation relative très importante avec la profondeur. Dans les sols ferrallitiques, la proportion d'acides fulviques libres par rapport aux acides fulviques totaux qui est de 25 % en surface, peut atteindre 50 % à moyenne profondeur et même 100 % à grande profondeur (vers 2m). A cette profondeur d'ailleurs, dans certains sols, il n'y a plus d'acides humiques, on note seulement la présence d'humine résiduelle et d'acides fulviques libres.

En pays tempérés une étude systématique faite par Messieurs Bellier et Delhoume sur une série de sols bruns acides et podzoliques, montre bien les variations en profondeur de cette fraction acide fulvique libre dont la proportion entre surface et profondeur croît d'autant plus que le sol est plus lessivé. Dans les podzols et sols podzoliques elle est presque totalement éliminée de la surface sur une épaisseur plus ou moins grande, dans les sols bruns acides et hydromorphes, la proportion en surface est plus importante, dans les sols ocres et cryptopodzoliques elle est intermédiaire (voir graphique).

Variations relatives des différentes fractions de matière organique
(exprimées en % du carbone total)



M.B.1 Sol brun hydromorphe
(pseudo-gley à 50 cm)

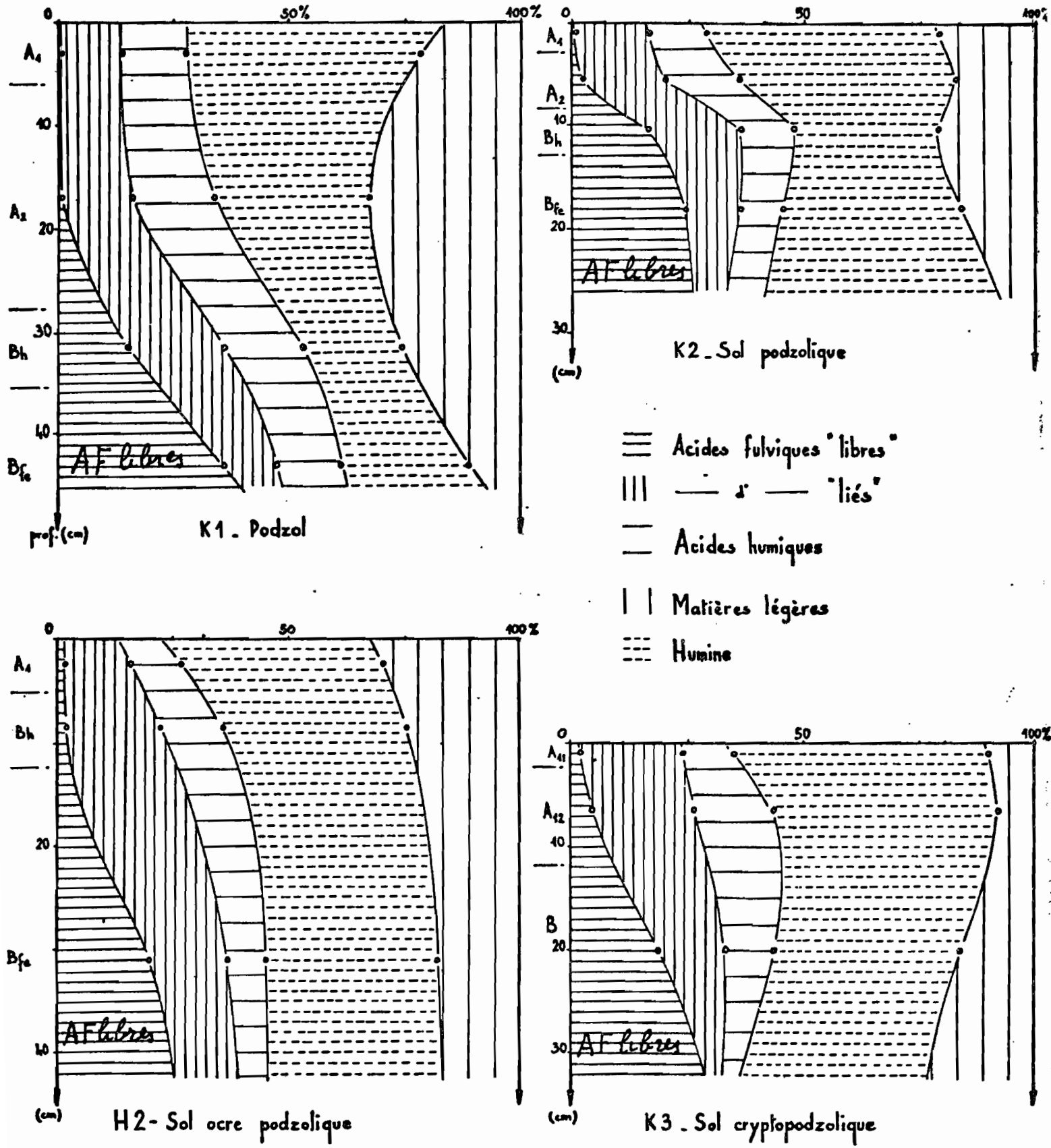


Fig. 2.

Application aux sols tropicaux.

En ce qui concerne l'ensemble des fractions, nous présentons l'exemple d'un sol ferrallitique de R.C.A. à la Station de l'I.R.C.T. à Bambari où des cultures continues avec ou sans fertilisants ont été poursuivies durant 15 années, nous donnons les tableaux et résultats avec trois répétitions pour chaque traitement, et un témoin sous savane naturelle.

T : Culture de coton continue depuis 1956 sans engrais
F + P Fumier + Paillage : 20 T ha de fumier
20 T ha de paillis
E Engrais : 350 kg/ha de superphosphate ou bicalcique
150 Kg/ha d'urée
100 Kg/ha de KCl
F + P + E : Fumier + Paillage + Engrais (mêmes doses)
S : Savane

Après onze années d'essais les rendements dans les témoins se sont maintenues à un niveau assez élevé voisin du rendement d'origine :

T : 1400 Kg/ha coton graine
F + P : 2000 Kg/ha
F + P + E: 2500 Kg/ha

On note principalement une dégradation de la structure du sol (augm. de l'indice IS de S. Hémin) dans les parcelles témoin.

La répartition des fractions humiques en valeur absolue en fonction des parcelles, montre une constance des acides fulviques libres, une légère diminution des AF liés dans les parcelles témoin et engrais, et une légère augmentation dans les parcelles fumier + Paille et fumier + paille + engrais, par rapport au sol de savane.

En ce qui concerne les acides humiques, la diminution par rapport à la savane est plus importante dans les parcelles T et E, par contre les parcelles (F + P et F + P + E) donnent des taux voisins de ceux d'origine.

Les variations les plus fortes en valeur absolue s'observent dans la fraction insoluble ou humine.

Les parcelles T et E sont nettement inférieures à la savane, les parcelles (F + P et F + P + E) sont significativement supérieures.

En valeur relative les variations de la fraction humine se font dans le même sens, par contre on observe une certaine constance des acides humiques dans

REPARTITION DES FORMES DE L'HUMUS % DU C TOTAL

- 9 - (1)

- Sols de R. C. A. -

| Traitement | N° échantillons | C % total | Mat. légères | A. F. libres | A. F. liés | A. H. | Humine |
|------------|-----------------|-----------|--------------|--------------|------------|-------|--------|
| F+E+P | 597. S | 100 | 1.85 | 4.1 | 16.0 | 13.3 | 65.0 |
| | 631. S | 100 | 12.30 | 4.8 | 16.0 | 12.9 | 53.0 |
| | 610. P | 100 | 17.30 | 4.5 | 12.0 | 14.2 | 52.5 |
| moyenne | | | 10.48 | 4.47 | 14.67 | 13.47 | 56.83 |
| F+P | 603. S | 100 | 19.50 | 4.1 | 13.7 | 11.0 | 51.5 |
| | 623. S | 100 | 20.5 | 4.6 | 14.2 | 11.5 | 48.5 |
| | 637. S | 100 | 11.5 | 4.8 | 16.5 | 12.0 | 56.0 |
| moyenne | | | 17.17 | 4.5 | 14.8 | 11.5 | 52.0 |
| E 1 | 612. AS | 100 | 19.5 | 7.5 | 18.0 | 11.0 | 45.0 |
| | 626. AS | 100 | 28.5 | 7.2 | 15.0 | 12.1 | 37.0 |
| | 600. AS | 100 | 21.0 | 7.9 | 15.0 | 11.0 | 46.0 |
| moyenne | | | 23.0 | 7.53 | 16.0 | 11.37 | 42.67 |
| E 2 | 600. BS | 100 | 20.0 | 7.8 | 13.0 | 11.0 | 48.0 |
| T | 620. S | 100 | 19.6 | 9.4 | 18.5 | 9.2 | 43.0 |
| | 638. S | 100 | 15.5 | 8.5 | 16.4 | 12.6 | 46.0 |
| | 604. S | 100 | 18.0 | 6.7 | 14.6 | 15.6 | 46.0 |
| moyenne | | | 17.7 | 8.2 | 16.5 | 12.47 | 45.0 |
| Savane | | 100 | 17.0 | 6.2 | 12.3 | 1.6 | 48.5 |

REPARTITION DES FORMES DE L'HUMUS EN C ‰ DU SOL

- Sols de R. C. A. -

| Traitement | N° échantillon | C ‰ total | Mat. légères | A. F. libres | A. F. liés | A. H. | Humine |
|----------------|----------------|-----------|--------------|--------------|------------|-------|--------|
| F+E+P | 597.S | 19.9 | 0.37 | 0.82 | 3.17 | 2.64 | 12.9 |
| | 631.S | 15.6 | 1.94 | 0.76 | 2.54 | 2.01 | 8.25 |
| | 610.P | 14.7 | 2.53 | 0.65 | 1.75 | 2.08 | 7.69 |
| moyenne | | 16.73 | 1.60 | 0.74 | 2.49 | 2.24 | 9.61 |
| F+P | 603.S | 16.7 | 3.20 | 0.70 | 2.30 | 1.82 | 8.71 |
| | 623.S | 12.7 | 2.61 | 0.59 | 1.81 | 1.49 | 6.2 |
| | 637.S | 16.5 | 1.80 | 0.79 | 2.72 | 2.00 | 9.23 |
| moyenne | | 15.30 | 2.54 | 0.69 | 2.28 | 1.77 | 8.05 |
| E ₁ | 612.AS | 10.3 | 2.00 | 0.77 | 1.84 | 1.13 | 4.61 |
| | 626.AS | 10.1 | 2.87 | 0.73 | 1.53 | 1.23 | 3.74 |
| | 600.AS | 11.2 | 2.33 | 0.88 | 1.69 | 1.23 | 5.07 |
| moyenne | | 10.53 | 2.40 | 0.79 | 1.69 | 1.20 | 4.47 |
| E ₂ | 600.BS | 11.0 | 2.20 | 0.86 | 1.42 | 1.22 | 5.28 |
| T | 620.S | 8.30 | 1.63 | 0.78 | 1.54 | 0.76 | 3.59 |
| | 638.S | 9.64 | 1.50 | 0.83 | 1.59 | 1.24 | 4.48 |
| | 604.S | 10.40 | 1.87 | 0.69 | 1.51 | 1.61 | 4.72 |
| moyenne | | 9.45 | 1.67 | 0.77 | 1.55 | 1.20 | 4.26 |
| Savane | | 13.50 | 2.31 | 0.84 | 1.65 | 2.14 | 6.56 |

| Traitement | Echantillons | N Total ‰ | N ‰ du Sol | | | |
|------------|--------------|-----------|--------------|------------|-------------|--------|
| | | | A. F. libres | A. F. liés | A. Humiques | Humine |
| F+E+P | 597. S | 1.570 | 0.160 | 0.520 | 0.130 | 0.800 |
| | 631. S | 1.240 | 0.130 | 0.315 | 0.145 | 0.540 |
| | 610. P | 1.090 | 0.070 | 0.325 | 0.095 | 0.453 |
| moyenne | N ‰ | 1.300 | 0.120 | 0.387 | 0.123 | 0.598 |
| | % N total | | 9.9 | 30 | 9.4 | 46 |
| F+P | 603. S | 1.370 | 0.060 | 0.355 | 0.105 | 0.647 |
| | 623. S | 0.960 | 0.180 | 0.270 | 0.110 | 0.490 |
| | 637. S | 1.400 | 0.090 | 0.420 | 0.150 | 0.627 |
| moyenne | N ‰ | 1.210 | 0.092 | 0.348 | 0.122 | 0.588 |
| | % N total | | 7.6 | 28 | 10 | 48 |
| E 1 | 612. AS | 0.800 | 0.090 | 0.255 | 0.085 | 0.273 |
| | 626. AS | 0.800 | 0.100 | 0.210 | 0.090 | 0.280 |
| | 600. AS | 0.800 | 0.110 | 0.245 | 0.045 | 0.333 |
| moyenne | N ‰ | 0.800 | 0.100 | 0.237 | 0.073 | 0.295 |
| | % N total | | 12.5 | 28.5 | 9.2 | 37 |
| E 2 | 600. BS | 0.767 | 0.060 | 0.240 | 0.050 | 0.353 |
| T | 620. S | 0.580 | 0.110 | 0.210 | 0.040 | 0.247 |
| | 638. S | 0.740 | 0.130 | 0.240 | 0.060 | 0.303 |
| | 604. S | 0.753 | 0.180 | 0.255 | 0.065 | 0.343 |
| moyenne | N ‰ | 0.691 | 0.140 | 0.235 | 0.055 | 0.298 |
| | % N total | | 20.5 | 39 | 8 | 43 |
| Savane | N ‰ | 1.04 | 0.200 | 0.195 | 0.135 | 0.520 |
| | % N total | | 19.5 | 19 | 13.3 | 51 |

FRACTIONNEMENT DES ACIDES HUMIQUES PAR ELECTROPHORESE ET GEL SEPHADEX

- 9 - (4)

% du C des Acides Humiques

- Sols Ferrallitiques R.C.A. -

| Traitement | Echantillon | Electrophorèse | | | | Séphadex | | | |
|------------|-------------|----------------|----------|----------|---------|----------|------|------|------|
| | | A. H. B. | A. H. I. | A. H. G. | AHB+AHI | G251 | G252 | G501 | G502 |
| F + F + P | 597.S | 24.5 | 8.5 | 67.0 | 32.0 | 69.7 | 30.3 | 40.8 | 28.9 |
| | 631.S | 20.5 | 8.0 | 71.5 | 28.5 | 69.4 | 30.6 | 27.0 | 42.4 |
| | 610.P | | | | | | | | |
| F + P | 603.S | 19.5 | 6.0 | 74.5 | 25.5 | 71.9 | 28.1 | 35.7 | 36.2 |
| | 623.S | 26.0 | 7.0 | 67.0 | 33.0 | 68.4 | 31.7 | 24.0 | 44.3 |
| | 637.S | 24.5 | 7.0 | 68.5 | 31.5 | 67.0 | 33.0 | 28.9 | 38.1 |
| E 1 | 612.AS | 20.5 | 8.5 | 71.0 | 29.0 | 69.2 | 30.8 | 33.3 | 35.9 |
| | 626.AS | 26.0 | 10.0 | 64.0 | 36.0 | 67.9 | 32.1 | 30.9 | 37.0 |
| | 600.AS | 20.0 | 7.0 | 73.0 | 27.0 | 69.5 | 30.5 | 31.4 | 38.1 |
| T | 620.S | 19.5 | 8.0 | 72.5 | 27.5 | 67.1 | 32.9 | 31.7 | 35.4 |
| | 638.S | 22.5 | 9.5 | 68.0 | 32.0 | 63.2 | 36.0 | 25.5 | 37.7 |
| | 604.S | 24.0 | 9.0 | 67.0 | 33.0 | 66.3 | 33.6 | 31.8 | 34.5 |
| Savane | | | | | 68.5 | 31.5 | 42.0 | 26.0 | |

C humique ‰ poids de Sol

F+P+E

F+P

E

T

S

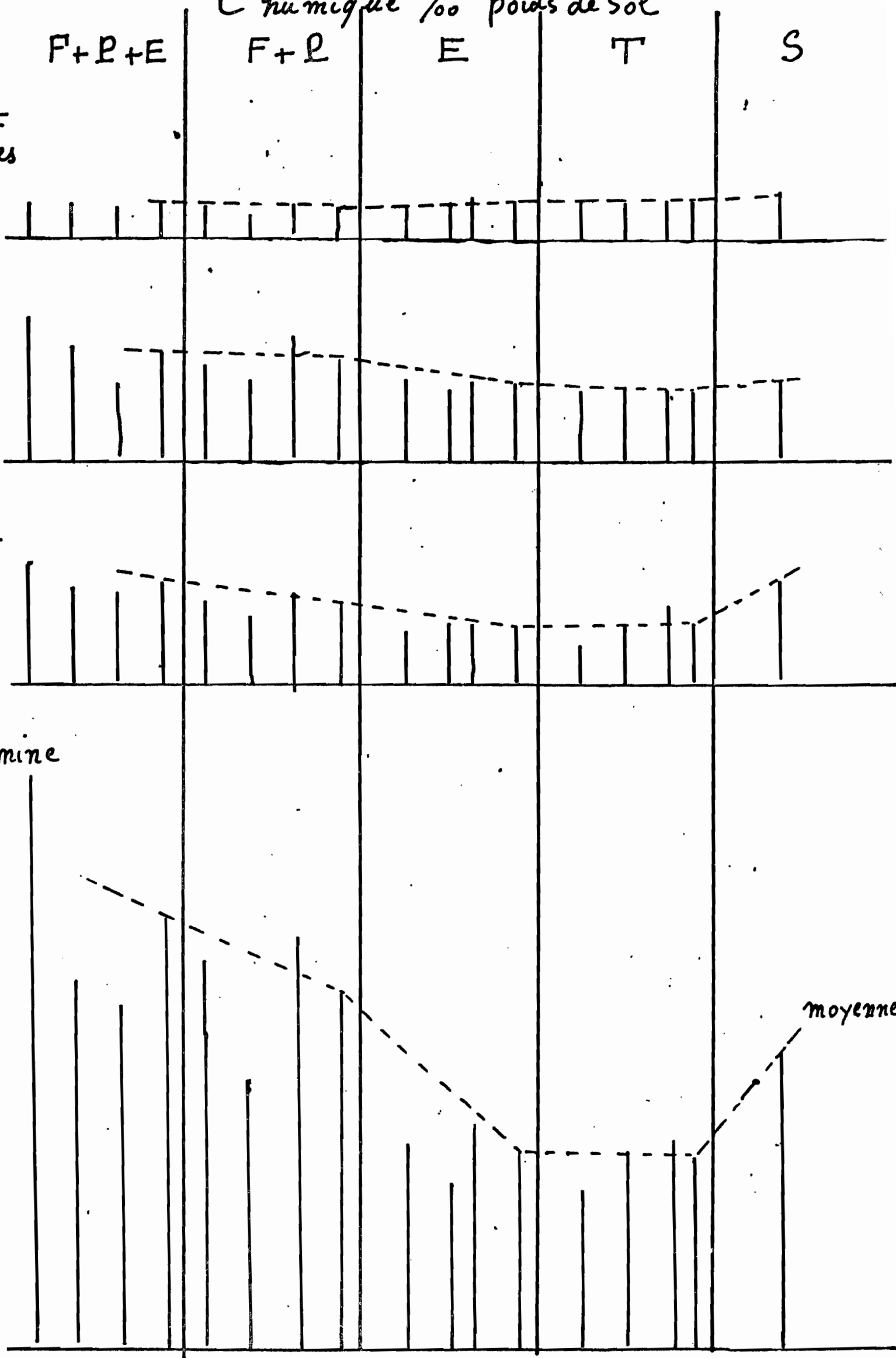
A. F
lres

F
ies

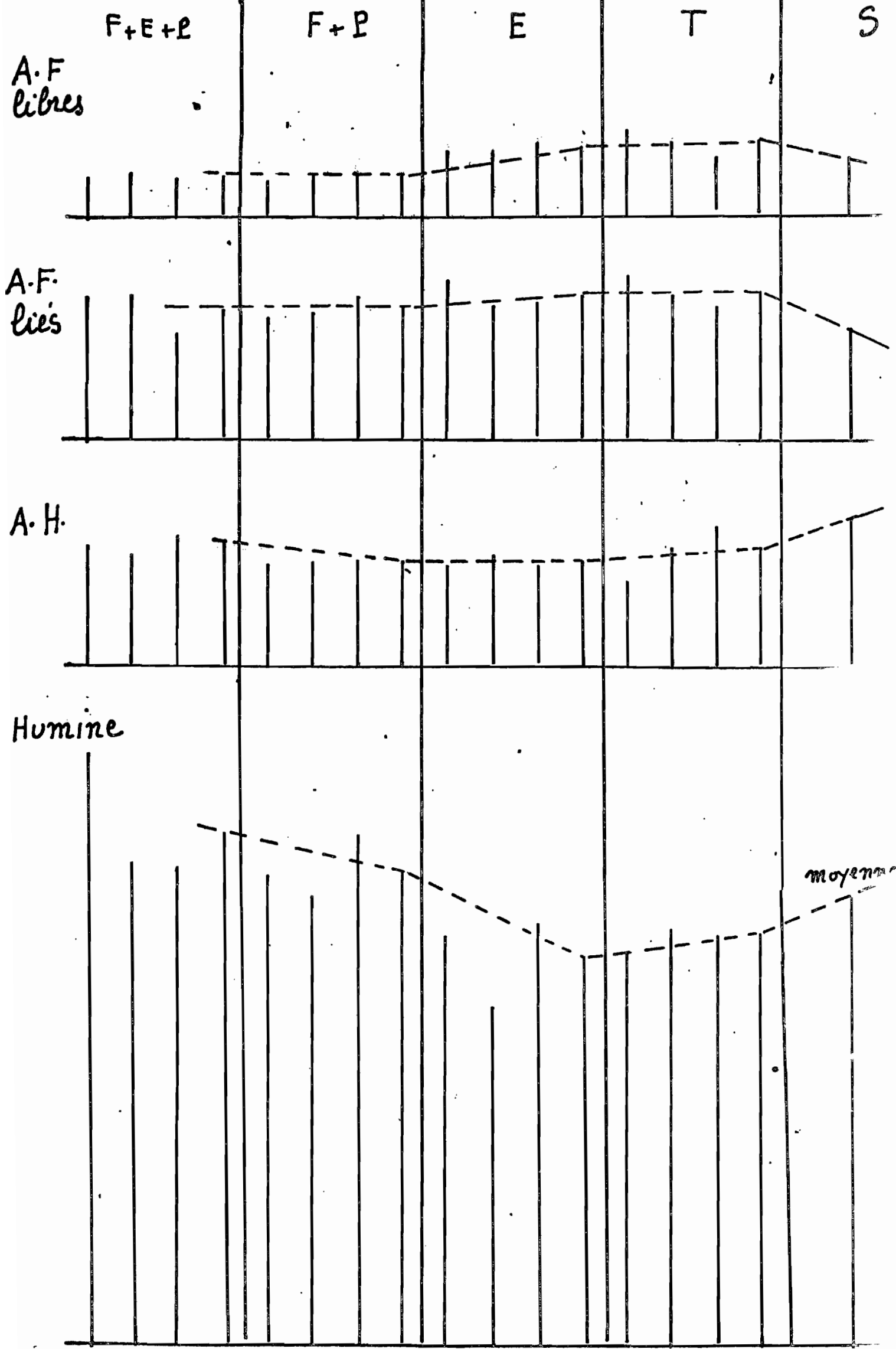
H.

umine

moyenne



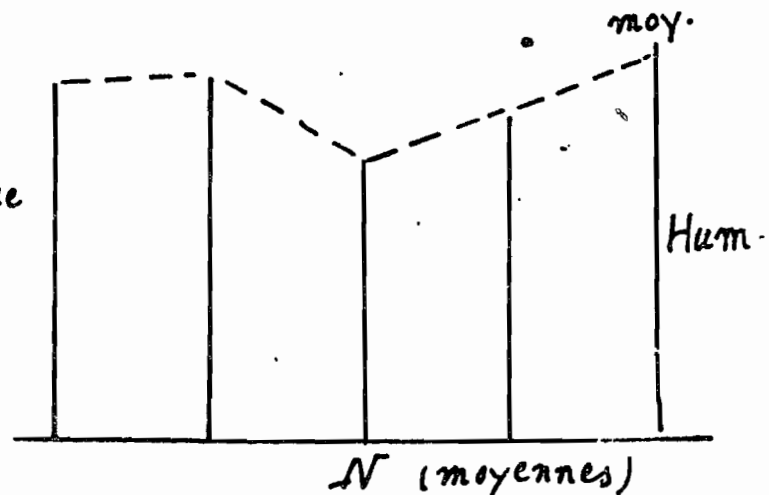
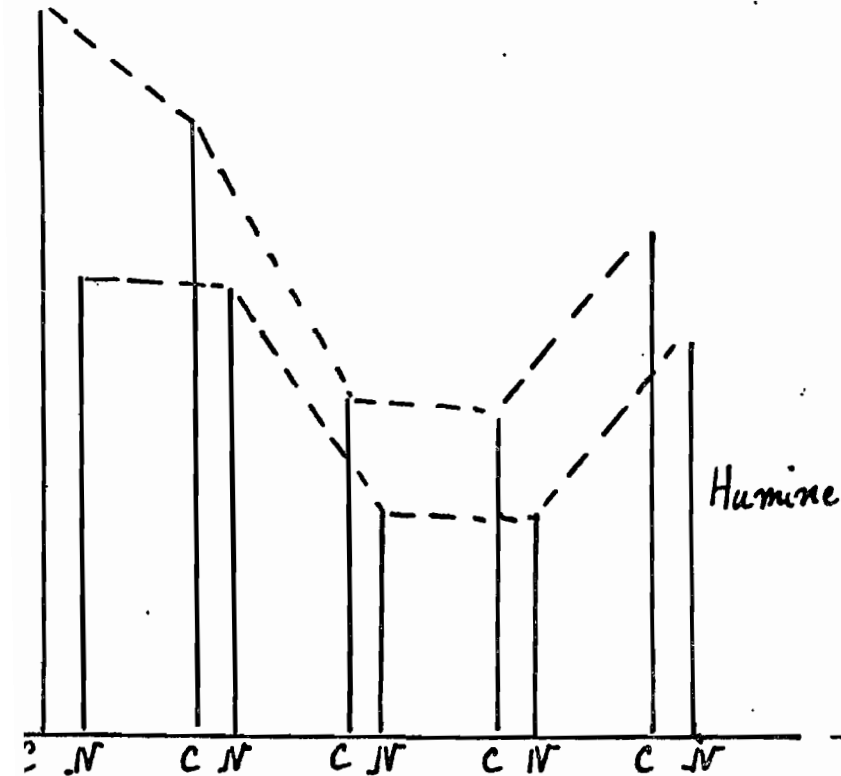
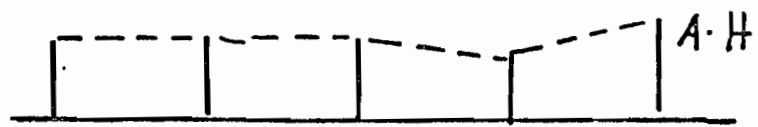
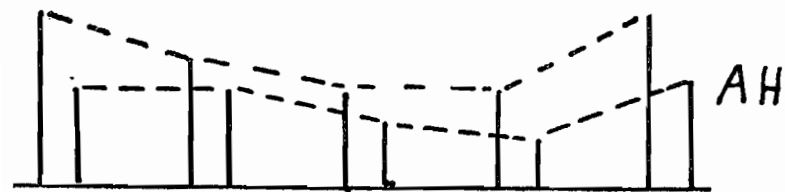
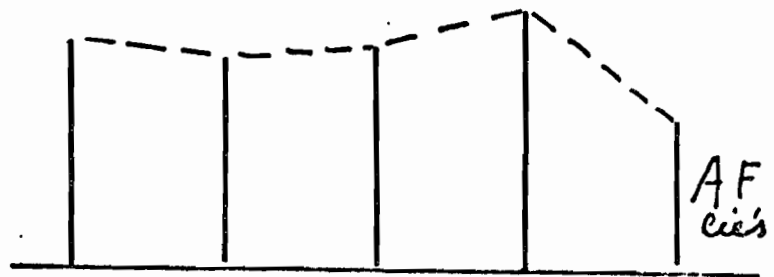
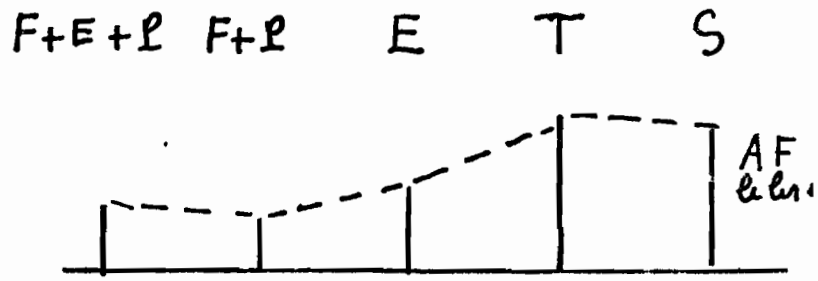
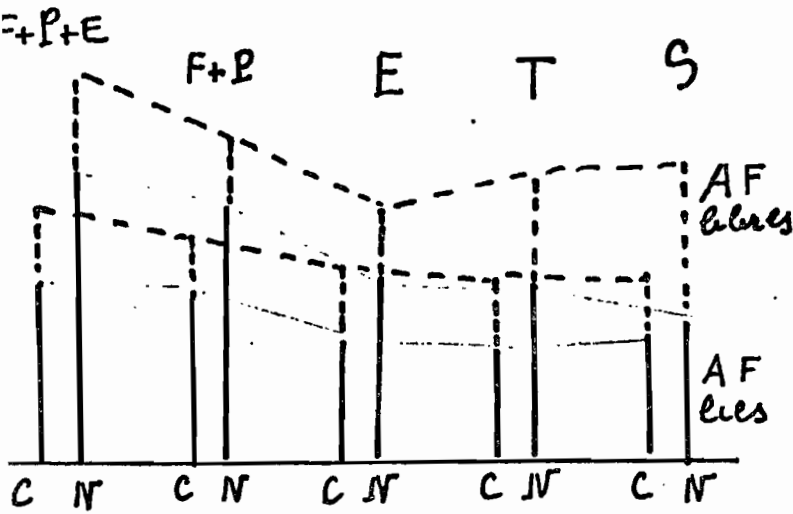
Sol ferrallitique R.C.A.
 C humique % de C Total



Sols ferrallitiques R.C.A.

Fractions humiques
C% et N% du Sol.

N des fractions humiques % N total



les parcelles cultivées, et une proportion assez nettement supérieure dans la savane.

En ce qui concerne les acides fulviques, les acides fulviques liés, dans les parcelles sont tous supérieurs à ceux de la savane, avec une légère dominance pour les parcelles E et T. Pour les acides fulviques libres, ce sont les parcelles E et T qui ont les proportions les plus élevées, puis vient la savane, enfin les parcelles améliorées (F + E + P et F + P) ont les proportions les plus faibles.

Ceci semble indiquer que la dégradation par la culture se fait principalement aux dépens des grosses molécules ; les molécules humiques de faible poids moléculaire demeurent plus constants en valeur absolue et même augmentent en valeur relative dans les sols apauvris.

Les teneurs en azote des différentes fractions suivent une évolution sensiblement parallèle à celle des teneurs en carbone, néanmoins les teneurs dosées ne sont sans doute pas les teneurs réelles des fractions, on note un rapport $\frac{C}{N}$ relativement faible dans les fractions humine et acides humiques, et un rapport $\frac{C}{N}$ plus élevé dans les fractions acide fulvique, ceci étant dû vraisemblablement à une hydrolyse partielle de certains composés azotés au cours des différents traitements alcalins ou acides au moment de l'extraction.

Néanmoins, si l'on considère la moyenne des teneurs en azote dans les AF libres et liés, On note des variations assez faibles dans les différentes parcelles, ce qui constituerait une explication à la faible diminution des rendements malgré une nette diminution des teneurs en azote total dans les parcelles témoin.

Les grosses molécules de matière organique semblent donc constituer à ce point de vue une réserve qui se dépolymérise au cours de l'apauvrissement du sol maintenant relativement constantes les fractions à faible poids moléculaire.

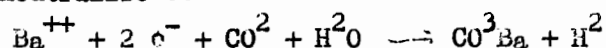
En ce qui concerne les fractionnements par électrophorèse ou gels séphadex, les deux méthodes paraissent en concordance assez bonne si l'on compare les acides humiques Gris avec la première fraction éluee sur Gel G 25 et les acides humiques intermédiaires plus bruns avec la seconde fraction éluee sur G 25.

En ce qui concerne les différentes parcelles, il n'apparaît pas de différences nettes dans les fractions, seule la première fraction obtenue sur Gel G.50 (la plus lourde) paraît dominer dans le sol de savane sans qu'il soit possible de l'affirmer.

METHODE DE DOSAGE DU CARBONE PAR VOIE SECHE.

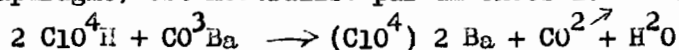
Les études plus récentes qui ont été faites sur la matière organique des sols, ont consisté dans la mise en oeuvre d'une technique de dosage du Carbone par voie sèche.

La matière organique est brûlée dans un four à 1400° dans un courant d'oxygène. Le gaz carbonique produit est dosé automatiquement par un système de coulométrie (Marque Scheps-Abrecht). Ce système consiste en une électrolyse du perchlorate de Ba, $(ClO^4)_2 Ba$, qui fournit des ions Ba^{++} à la cathode et des ions ClO^{4-} à l'anode, les compartiments cathodiques et anodiques étant séparés par un diaphragme. Le Ba^{++} produit neutralise CO^2 .



12 g de carbone s'accompagne de la consommation de 2 Faradays d'électricité.

Le gaz carbonique produit est envoyé dans le compartiment cathodique. Il accroît l'acidité, et grâce à une électrode de verre, il déclenche automatiquement l'électrolyse. L'acide perchlorique produit dans le département anodique (séparé par un diaphragme) est neutralisé par un excès de CO^3Ba .



L'électrolyse s'arrête lorsque le pH du département cathodique est revenu à neutralité. Le courant est produit par des impulsions séparées avec une fréquence plus ou moins grande. Chaque impulsion correspond à 0,5 microgrammes de carbone, et s'inscrit sur un cadran, donnant ainsi une mesure directe.

L'azote et l'humidité n'interviennent pas, le gaz SO^2 est absorbé par de la perhydrite. Quant au Cl^- il est fixé dans un tube contenant IK, $Cl + IK = ClK + I$, l'iode très lourd s'accumule dans le tube, enfin le gaz chlorhydrique HCl, est fixé par le Chromate de plomb, et la laine d'Argent à chaud.

Dans le cas de sols calcaires on peut mesurer CO^2 des carbonates par dégagement direct dans une solution de $PO^4H^3 \frac{1}{2}$, on peut aussi faire une décalcification préalable du sol par HCl suivie de lavage à l'eau.

Le tableau joint indique la correspondance des teneurs en Carbone organique des sols par la méthode d'oxydation sulfochromique à froid (Walkley et Black) ou la méthode à chaud avec dosage Technicon, et par la méthode directe au coulomètre dans les sols calcaires et non calcaires; dans le cas des matières organiques totales la correspondance est très bonne et les résultats très précis.

COMPARAISON DES DOSAGES DU CARBONE PAR VOIE CHIMIQUE ET AU COULOMETRE

1. - Sols non calcaires (Guyane) - D. 927

| Echantillons | C ‰ Walkley et Black | C ‰ (coulomètre) |
|--------------|----------------------|------------------|
| Combi P | 4.05 | 4.11 |
| Combi F | 14.50 | 14.70 |
| Coros P | 11.90 | 11.10 |
| Coros F | 9.98 | 9.84 |
| Matiti P | 17.70 | 17.00 |
| Matiti F | 12.10 | 12.10 |
| Bord P | 7.66 | 7.45 |
| Bord F | 15.50 | 15.50 |

2. - Sols calcaires (Liban) - D. 939

| Echantillons | Technicon (bichromate) | Coulomètre | | | | Coulomètre | Calcimètre Bernard |
|--------------|---------------------------|------------------|---------------------------|-----------------------------------|------------------------------|----------------------|-----------------------|
| | C ‰ organique | C ‰ total (A) | C ‰ des carbonates (B) | C ‰ organique différence (A-B) | C ‰ après décalcification | CO ₃ Ca ‰ | CO ₃ Ca ‰ |
| 672 | 17.40 | 17.30 | 0.31 | 17.00 | 17.30 | 0.22 | 0 |
| 676 | 15.20 | 72.10 | 56.80 | 15.30 | 15.60 | 47.31 | 47.00 |
| 679 | 6.82 | 46.40 | 39.00 | 7.40 | 6.90 | 32.49 | 32.00 |
| 700 | 13.60 | 24.80 | 10.44 | 14.40 | 13.90 | 8.70 | 9.50 |
| 725 | 12.50 | 14.30 | 1.56 | 13.70 | 12.50 | 1.30 | 0 |
| 779 | 9.02 | 31.50 | 22.04 | 9.46 | 8.98 | 18.36 | 15.00 |
| 422 | 5.48 | 113.00 | 107.00 | 6.00 | 5.46 | 89.13 | 86.20 |
| WTKO | 10.90 | 11.80 | 0.745 | 11.10 | 10.60 | 0.62 | traces |

Dosage du Carbone des solutions humiques dans NaOH 0.1 N

Comparaison methode Sulfochromique et methode par combustion et coulometrie

C% Dosage Coulometrie

15

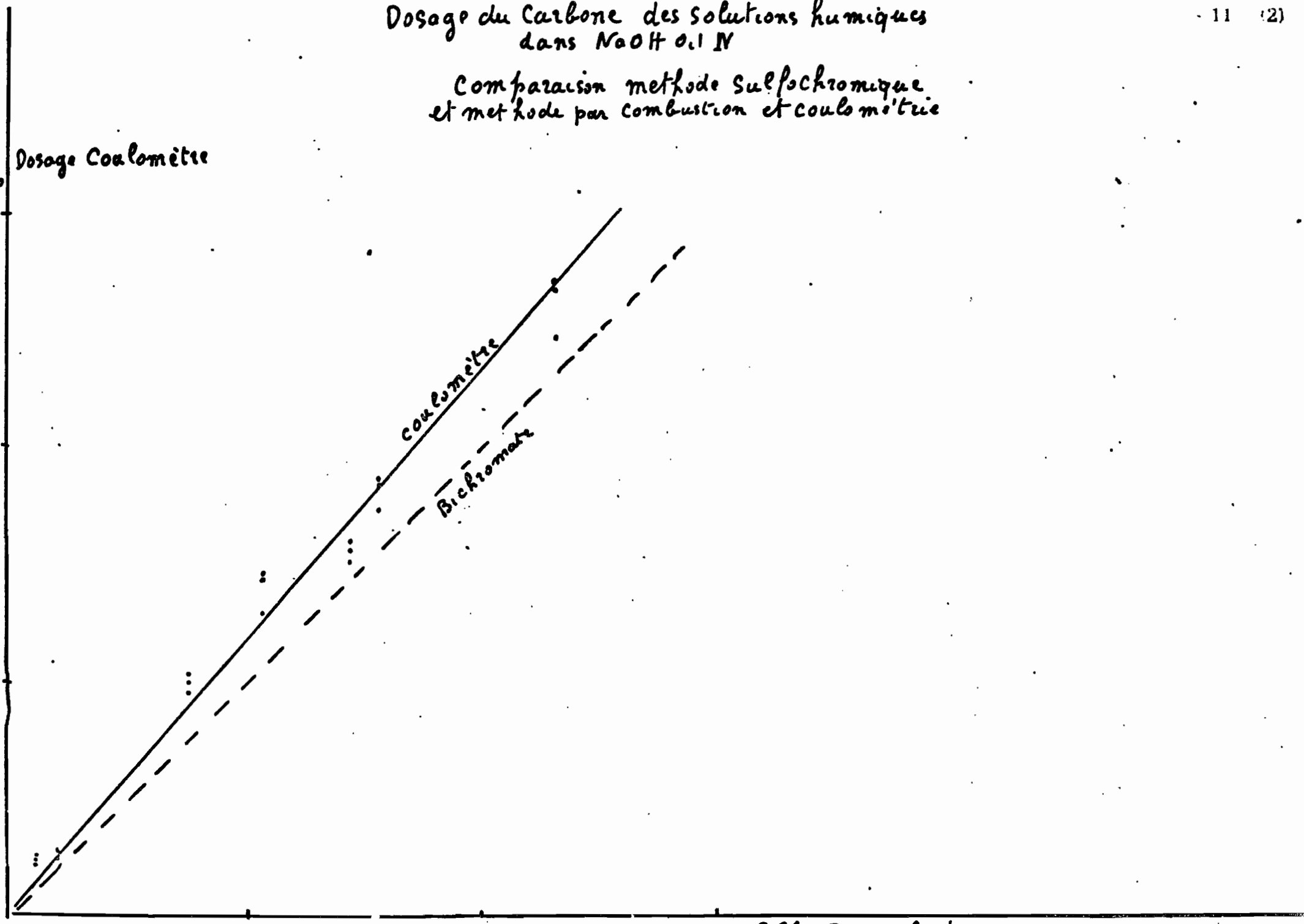
10

5

Coulometrie

Bichromate

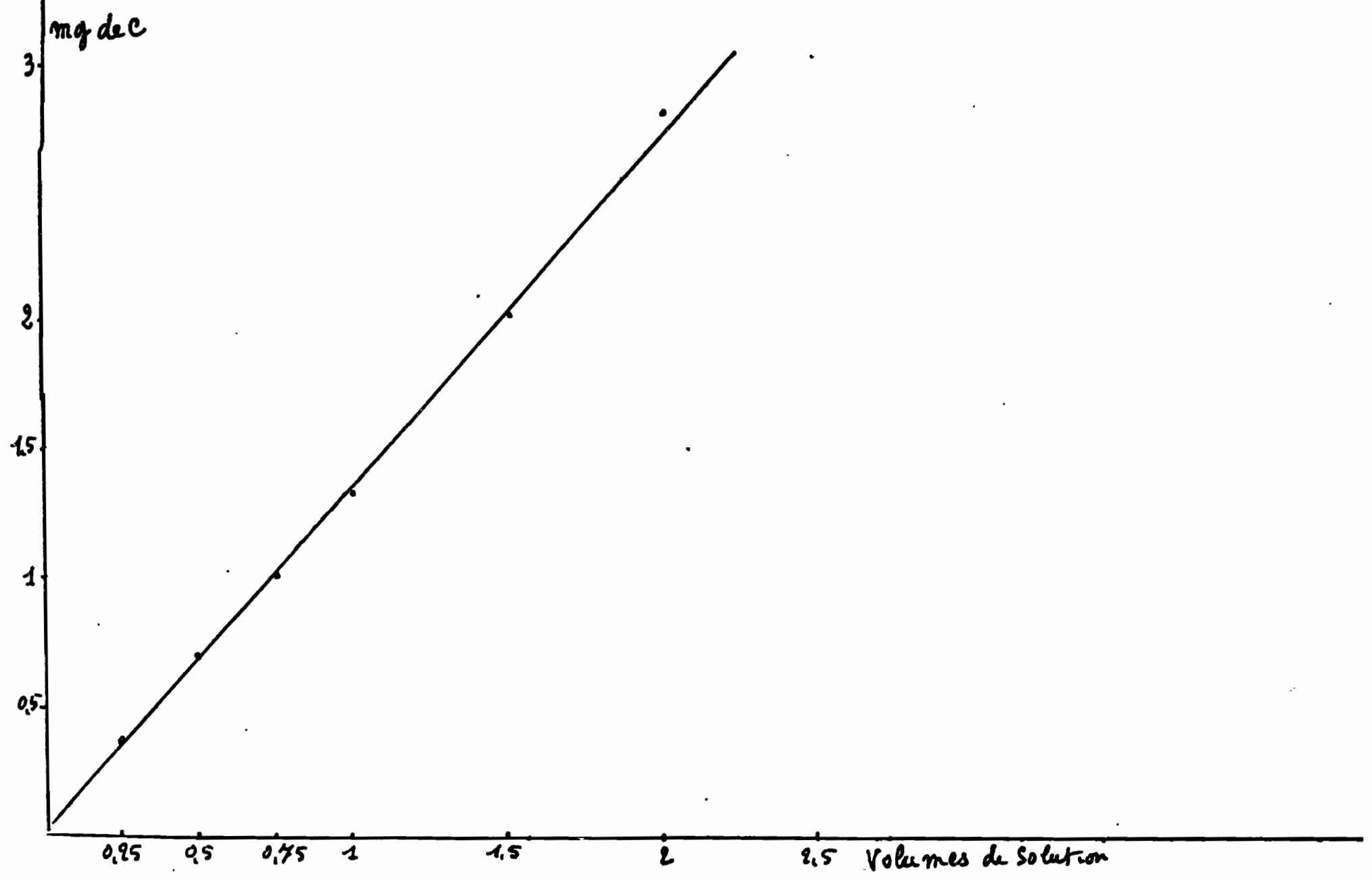
15 C% Dosage Bichromate



5

10

Dosage du Carbone humique en solution NaOH 0,1N - par combustion et coulometrie
prises croissantes de solution et quantites croissantes de HCl.



Dosage des matières humiques.

Le dosage des matières humiques est plus délicat du fait que dans les extractions par NaOH 0,1 N du pyrophosphate, il peut y avoir fixation du CO² de l'air en milieu alcalin. Les solutions humiques sont neutralisées par HCl avant d'être amenées à dessiccation dans des nacelles (étuve à vide).

Les premiers résultats obtenus sur des extraits différents montrent une différence systématique entre les dosages coulomètre et les dosages bichromate. Cette différence peut atteindre 20 % et même plus en faveur du dosage coulométrique (voir graphique). Nous avons voulu vérifier qu'il ne s'agissait pas d'une interférence du Cl⁻. Pour cela nous avons analysé des prises croissantes d'un même échantillon avec des additions croissantes de HCl. Nous avons réalisé également des essais à blanc avec les mêmes doses de soude et de HCl. La courbe représentative des résultats est parfaitement linéaire et les essais à blanc sont très faibles même pour les plus fortes quantités de HCl.

| Prises d'humus dans NaOH 0,1 N en ml | HCl 0,1 N | mg C | Essai à blanc mg C même quantité NaOH et HCl |
|---|-----------------------------|-------|---|
| 0,25 | 0,25 ml | 0,373 | 0,0170 |
| 0,50 | 0,5 | 0,686 | 0,0185 |
| 0,75 | 0,75 | 1,045 | 0,0120 |
| 1 | 1 | 1,320 | 0,0135 |
| 1,5 | 0,3 ml HCl $\frac{N}{2}$ | 2,085 | 0,0380 |
| 2 | 0,4 | 2,820 | 0,0135 |
| 2,5 | 0,5 | 3,430 | 0,0185 |

La différence obtenue en faveur du dosage coulométrique vient du fait que l'on dose réellement le CO² dégagé par la combustion. En ce qui concerne le bichromate, on détermine un pouvoir réducteur d'une substance avec un coefficient de proportionnalité pour le carbone. Dans le cas des substances humiques extraites dans la soude; il se produit vraisemblablement une oxydation (fixation de O² sur certaines fonctions des chaînes latérales).

Les substances humiques sont d'ailleurs naturellement plus riches en O² que la lignine d'origine.

Le coefficient de proportionnalité pour le calcul du Carbone au bichromate a été établi pour la matière organique totale, ce qui explique les bons résultats dans ce cas. Pour les matières humiques oxydées, le pouvoir réducteur est plus faible

et les teneurs dosées sont entachées d'une erreur par défaut.

Application de la méthode coulométrique à l'étude de l'humus des sols.

Un intérêt de la méthode coulométrique de dosage du Carbone est que l'on peut doser CO_2 en présence de substances réductrices qui sont piégées préalablement (S-C1-). Cela nous a permis de comparer deux méthodes d'extraction des matières humiques : la méthode à l'acide phosphorique 2 M suivie d'extraits pyrophosphate et d'extraits soude, et une méthode utilisant un prétraitement unique avec HCl 0,1 N (200 ml pour 40 g de sol), suivie d'extraits à la soude 0,1 N.

Les sols analysés sont des sols ferrallitiques (Brésil et R.C.A.) des sols podzoliques, mais aussi des sols calciques (sol brun rouge et sol vertique - Brésil).

La différence entre les deux méthodes réside surtout dans la valeur des acides fulviques libres, deux fois plus élevés avec PO_4^{4-} 2 M. Pour les acides fulviques totaux, on retrouve des chiffres comparables (ce qui n'est pas extrait dans le milieu acide se retrouve dans l'extrait alcalin). En ce qui concerne les matières humiques totales, elles sont voisines lorsque les dosages sont effectués au coulomètre. Si les dosages sont effectués au bichromate, il y a un déficit d'environ 30 % dans ce dernier cas.

- Les teneurs en humine sont très voisines avec les deux méthodes.

Le bilan global, comparé au Carbone total est satisfaisant dans le cas du dosage au coulomètre, si l'on tient compte que de petites quantités d'argile contenant du carbone demeurent en suspension dans les extraits humiques d'où un léger excès de carbone. Par contre,

- les dosages au bichromate sont plutôt déficients, même si l'on tient compte de la petite quantité de Carbone des matières légères.

En conclusion, on peut considérer que l'extraction des matières humiques solubles est la même avec les deux méthodes, bien que les prétraitements acides soient très différents.

Enfin, une précaution à prendre, est d'éviter un contact prolongé des solutions sodiques d'humus avec l'oxygène de l'air. Au bout d'un mois de contact l'oxydation de matières humiques solubles provoque une augmentation importante du taux d'acide fulvique et une diminution des acides humiques. Généralement la séparation acide humique, acide fulvique a lieu rapidement après l'extraction.

COMPARAISON DES EXTRAITS PO_4H_3 2M ET HCl 0,1 N

13 - 1)

| | Acides Fulviques | | | | | | | | | Mat. Humiques Totales | | | Humine | | Σ M. H. T. + Humine | | C Total | C Mat. lég. |
|-------|--------------------------------|------------|--------------|------------|--------------|-----------------------------|------------|--------------|----------|-----------------------------|---------------|--------------------------|---------------|--------------------------|---------------------|--------|---------|-------------|
| | Extrait PO_4H_3 , Pyro, NaOH | | | | | Extrait HCl 0,1N, NaOH 0,1N | | | | Ext. PO_4H_3 , Pyro, NaOH | Ext. HCl NaOH | Ext. PO_4H_3 Pyro NaOH | Ext. HCl NaOH | Ext. PO_4H_3 Pyro NaOH | Ext. HCl NaOH | | | |
| | Dosage bichromate | | | coulomètre | | Dosage coulomètre | | | bichr. | coulo. | coulo. | coulomètre | | bichr. | coulo. | coulo. | coulo. | |
| | A. F. libres | A. F. liés | A. F. totaux | A. F. liés | A. F. totaux | A. F. libres | A. F. liés | A. F. totaux | M. H. T. | M. H. T. | M. H. T. | | | | | | | |
| Br51 | 0.219 | 0.409 | 0.628 | 0.491 | 0.710 | 0.10 | 0.644 | 0.744 | 0.951 | 1.070 | 1.213 | 1.88 | 1.88 | 2.83 | 3.093 | 3.120 | 0.043 | |
| Br54 | 0.061 | 0.048 | 0.109 | | | 0.04 | | | 0.109 | | 0.207 | 0.206 | 0.23 | | 0.43 | 0.329 | 0.0031 | |
| X121 | 0.119 | 0.185 | 0.304 | 0.298 | 0.417 | 0.04 | 0.458 | 0.438 | 0.541 | 0.701 | 0.693 | 1.52 | 1.52 | 2.061 | 2.21 | 1.950 | 0.037 | |
| PA11 | 0.160 | 0.437 | 0.597 | 0.382 | 0.542 | 0.05 | 0.457 | 0.507 | 0.777 | 0.778 | 0.970 | 1.208 | 1.31 | 1.985 | 2.28 | 2.22 | 0.035 | |
| GA81 | 0.330 | 0.860 | 1.190 | 0.900 | 1.230 | 0.14 | 1.180 | 1.32 | 1.796 | 2.202 | 2.441 | 4.402 | 4.02 | 6.196 | 6.46 | 6.27 | 0.245 | |
| GA361 | 0.145 | 0.673 | 0.818 | 0.717 | 0.862 | 0.08 | 0.877 | 0.957 | 1.233 | 1.502 | 1.750 | 2.61 | 2.49 | 3.84 | 4.24 | 4.36 | 0.15 | |
| D3 B | 0.096 | 0.553 | 0.649 | 0.610 | 0.706 | 0.06 | 0.656 | 0.716 | 0.887 | 1.186 | 1.255 | 2.077 | 1.96 | 2.964 | 3.215 | 3.370 | 0.25 | |
| D3 G | 0.054 | 0.095 | 0.149 | | | 0.03 | | | 0.149 | | 0.176 | 0.227 | 0.24 | | 0.416 | 0.360 | 0.009 | |

- Br 51 : Sol ferrallitique 0-25 cm ()
 Br 54: Sol ferrallitique 1 m)
 X 121: Sol brun rouge calcique 0-25 cm (3,1 % CO_3Ca) (Brésil
 PA 11: Sol brun vertique)
 GA 81: Sol ferrallitique R. C. A. (0-25 cm
 GA 361: Sol ferrallitique R. C. A.)
 D3 B : Sol podzolique 0-6 cm (A1)
 D3 G : Sol podzolique 50 cm (B)

CONCLUSION.

Cet article traite surtout de l'étude des matières humiques solubles. Nous avons voulu montrer que l'on pouvait arriver à une certaine constance d'extraction, et obtenir des résultats interprétables. Parmi les problèmes qui n'ont pas été traités, il y a celui de l'étude des cations métalliques complexés ou formant liaison avec l'argile, et surtout l'étude de la fraction insoluble ou humine. Il est dans notre intention de développer cette étude grâce aux résultats récents de l'équipe de Duchaufour, notre recherche étant davantage orientée dans le domaine appliqué que du point de vue fondamental.

-:-:-:-:-

Quelques ouvrages consultés

- Bellier (G.) Delhoume (J. P.) - 1972 - Rapport de stage ORSTOM (non publié)
- Combeau (A.) Quantin (P.) - 1964 - Observations sur les relations entre stabilité structurale et matière organique dans quelques sols d'Afrique Centrale - Cahiers ORSTOM Pédologie, t. II, n° 1.
- Chaminade (R.) - 1946 - Sur une méthode de dosage de l'humus dans les sols - Ann. Agro. 2, 119-132.
- Dabin (B.) - 1964 - Analyse physique et fertilité dans les sols des régions humides de Côte d'Ivoire - Cahiers ORSTOM Pédologie t. II, n° 1, 1964.
- Dabin (B.) - 1971 - Etude d'une méthode d'extraction de la matière humique du sol - Science du Sol, n° 1, 1971.
- Dabin (B.) Thomann (Ch.) - 1970 - Etude comparative de deux méthodes de fractionnement des composés humiques (méthode Tiurin et méthode électrophorétique) - Cahiers ORSTOM, Initiation documentation technique, n° 16.
- Duchaufour (Ph.) Jacquin (F.) - 1964 - Note sur une méthode de fractionnement des composés humiques et son application à l'étude de la pédogénèse - Congr. Int. Science du Sol, n° 8 (Bucarest), vol. III, pp. 87-94.
- Duchaufour (Ph.) Jacquin (F.) - 1966 - Nouvelles recherches sur l'extraction et le fractionnement des composés humiques - Bull. Ecole Nat. Sup. Agron. (Nancy), t. 8, fasc. 1, p. 3-24.
- Kononova (M. M.) Belchikova (N. P.) - 1961 - Quick methods of determination of the humus composition of mineral soils - Soviet Soil Science, 1962, pp. 1112-1121.
- Monnier (G.) Turc (M.) Janson-Luusinang (C.) - 1962 - Une méthode de fractionnement densimétrique, par centrifugation des matières organiques du sol - Ann. Agron. 13-1, pp. 55-63.
- Negarestan (A.) - 1970 - Contribution à l'étude comparative de la matière organique dans quelques sols isohumiques ou à tendance isohumique, d'Iran, du Maroc, du Niger et de Tunisie. - Thèse Fac. des Sciences de l'Université de Paris, 360 p. mult. ORSTOM.
- Perraud (A.) - 1971 - La matière organique des sols forestiers de Côte d'Ivoire (Relation sol, végét., climat)- Fac. des Sciences de Nancy (thèse), 87 p. mult., 103 pl., fig et tabl. h.t.
- Thomann (Ch.) - 1963 - Quelques observations sur l'extraction de l'humus dans les sols, méthode au pyrophosphate - Cahiers ORSTOM, pédol. n° 3, pp. 43-72.
- Thomann (Ch.) - 1964 - Les différentes fractions humiques de quelques sols tropicaux de l'ouest Africain - Cahiers ORSTOM, sér. pédol. vol II, n° 3, pp. 43-79.

.../...

Turenne (J. F.) - 1969 - Influence de la saison des pluies sur la dynamique des acides humiques dans les profils ferrallitiques et podzoliques sous savane en Guyane Française - Cah. ORSTOM, vol. VIII, n° 4, 1970, série pédologie

Turenne (J. F.) - 1972 - Dynamique de la matière organique sous végétation de savane en Guyane Française - Caribbean Food Crops Society 10 th Annual Meeting.

Tiurin (I. V.) - 1950 - Vers une méthode d'analyse pour l'étude comparative des constituants de l'humus des sols - Ac. Sci. U.R.S.S. Trav. Inst. Dokuchauv.