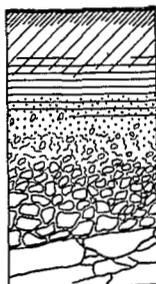


B. DABIN

Ch. THOMANN

**ÉTUDE COMPARATIVE DE DEUX MÉTHODES**  
**DE FRACTIONNEMENT**  
**DES COMPOSÉS HUMIQUES**  
*(méthode Tiurin et méthode électrophorétique)*

---



OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ET TECHNIQUE OUTRE-MER



**Série INITIATIONS - DOCUMENTATIONS TECHNIQUES**

**N°16**

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

**PARIS**

**1970**

**ÉTUDE COMPARATIVE DE DEUX MÉTHODES**  
**DE FRACTIONNEMENT**  
**DES COMPOSÉS HUMIQUES**  
*(méthode Tiurin et méthode électrophorétique)*

---

**par**

**B. DABIN et Ch. THOMANN**



## INTRODUCTION

Depuis plusieurs années la méthode TIURIN est utilisée dans nos laboratoires pour la caractérisation des humus des sols tropicaux, excepté pour les sols organiques pour lesquels elle n'est pas adaptée. Plus récemment, la méthode électrophorétique a attiré l'attention de nombreux chercheurs. Son développement actuel nous a incités à comparer les deux méthodes sur une gamme variée de types de sols.

La méthode TIURIN de fractionnement de l'humus (modifiée par DUCHAUFOR, 1961), qui nous donne cinq fractions humiques, peut être considérée comme une méthode chimique de fractionnement, séparant les divers composés humiques suivant leurs liaisons avec la fraction minérale ; elle est donc valable essentiellement pour les sols minéraux, d'autant que le principal réactif d'extraction est la soude qui, on le sait, peut agir sur la matière végétale non décomposée en produisant des artéfacts. Ces cinq fractions se répartissent ainsi : deux fractions acides fulviques et trois fractions acides humiques :

- F<sub>1</sub> : les acides fulviques dits libres sont obtenus directement par une extraction du sol par SO<sub>4</sub>H<sub>2</sub> dilué ; ce sont donc les acides fulviques les plus solubles.
- F<sub>2</sub> : les acides fulviques liés aux acides humiques sont obtenus en même temps que ces derniers, et séparés suivant la méthode habituelle de précipitation des acides humiques.
- H<sub>1</sub> : les acides humiques dits libres sont solubilisés directement par une solution de soude diluée, sans aucun prétraitement du sol.
- H<sub>2</sub> et H<sub>3</sub> : par contre, ces acides humiques liés sont solubilisés après que le sol ait subi un prétraitement : attaque acide si le sol est calcaire, ou rupture des liaisons acides humiques - Ca<sup>++</sup> par un déplacement du Ca par une solution de SO<sub>4</sub>Na<sub>2</sub>, avant de faire agir la soude. Par ce premier traitement, on obtient les H<sub>2</sub>, c'est-à-dire les acides humiques liés au Ca<sup>++</sup> ; sur ce même échantillon décalcifié, un traitement à SO<sub>4</sub>H<sub>2</sub> dilué froid puis chaud, libèrera les molécules humiques liées aux cations métalliques (Al et Fe), et une extraction à la soude les solubilisera.

Par contre, l'électrophorèse est une méthode physique, permettant un fractionnement des substances humiques en fonction des différences de "mobilité" dans un champ électrique, les grosses molécules (correspondant à des fractions polymérisées) se déplaçant moins rapidement que les petites molécules (correspondant à des corps peu polymérisés), mais la faible mobilité peut être due également à la liaison des molécules humiques autour des cations métalliques (Al et Fe). Elle ne s'applique qu'aux acides humiques proprement dits, pour lesquels on distingue trois catégories : acides humiques gris, intermédiaires et bruns. Précisons que l'électrophorèse est effectuée à partir d'un extrait provenant d'une solubilisation de l'humus par le pyrophosphate de Na M/10, suivant la technique classique ; le pyrophosphate de Na, en effet, est un bon dispersant et, de ce fait, permet, à un certain pH, le passage en solution d'une assez forte proportion d'humus. On ne s'étonnera pas d'avoir des taux d'extraction (que nous dénommons pour simplifier : "taux d'humification") plus élevés par la méthode TIURIN que par la méthode au pyrophosphate. Mais les fractions ainsi extraites restent néanmoins comparables car, comme l'a démontré F. JACQUIN (1963) : "l'emploi de l'un des trois réactifs d'extraction - F Na, NaOH, P<sub>2</sub>O<sub>7</sub>Na<sub>4</sub> - ne modifie pas une classification basée sur le fractionnement électrophorétique". De plus, certains termes communs sont employés dans les deux cas, représentant des composés qui, en principe, devraient être identiques, mais analytiquement présentent des différences, tel le terme d'acides humiques bruns : dans la méthode TIURIN, ils correspondent à une fraction directement soluble dans Na OH (ils sont appelés aussi : libres, théoriquement liés très faiblement à la fraction minérale) et, dans la méthode électrophorétique, ils sont définis par les molécules les plus mobiles, se déplaçant facilement. Nous verrons que cette même appellation ne qualifie pas exactement les mêmes composés : les acides humiques libres de la méthode TIURIN comprennent très souvent un certain pourcentage d'acides humiques gris définis par l'électrophorèse : il en est de même pour la notion d'acides humiques fortement liés et d'acides humiques gris.

Cette étude porte sur vingt-et-un types de sols différents et chaque sol sera examiné en particulier, depuis les sols de pays tempéré (assez réduits en nombre car ils sont mieux étudiés par d'autres laboratoires métropolitains), en passant par les sols de pays méditerranéen (de Tunisie essentiellement, en suivant la gamme des sols bruns, rouges, calcaires, vertisols et sols hydromorphes) jusqu'aux sols tropicaux (représentés par les sols ferrallitiques, faiblement ferrallitiques, ferrugineux tropicaux, sols bruns eutrophes et vertisols). L'ordre adopté est le suivant :

— Sols de pays tempérés (France) :

- . podzol humo-ferrugineux
- . sol podzolique à alios
- . sol brun lessivé

— Sols de pays méditerranéens (Tunisie)\*:

- . sol brun forestier
- . sol brun lessivé
- . sol rouge lessivé
- . sol rouge méditerranéen
- . sol rouge méditerranéen tirsifié
- . sol brun isohumique sableux
- . sol peu évolué non climatique
- . sol brun calcaire
- . vertisol lithomorphe
- . vertisol topolithomorphe
- . sol hydromorphe à pseudogley riche en humus
- . sol lessivé faiblement podzolique humifère

- Sols de pays tropicaux\*:

- . sol rouge ferrallitique } Cameroun
- . sol ferrallitique typique } Cameroun
- . sols rouges ferrallitiques faiblement désaturés } Sénégal
- . sol ferrugineux tropical lessivé ..... } Sénégal
- . sols bruns eutrophes (Haute-Volta et Sénégal)
- . sol vertique (Sénégal)

Le fractionnement des composés humiques par la méthode TIURIN a été effectué au laboratoire du Centre de Pédologie de Dakar-Hann (Sénégal) - collaboration technique : Mme M. DERVIN -, et les électrophorèses ont été exécutées au laboratoire de Chimie des Sols des S.S.C. de Bondy (France) - collaboration technique : M. P. PELLOUX et Mme M.O. BROUARD.

Pour chaque type de sol seront donnés :

- les principales données écologiques ;
- une description morphologique sommaire ;
- un schéma représentant pour chaque horizon la répartition des différentes fractions humiques ramenées à 100 de l'humus total - pour la méthode TIURIN et pour la méthode électrophorétique. La légende de ces schémas est donnée page 8 .
- un tableau de résultats analytiques exposant les principaux rapports pour chacune des deux méthodes (acides humiques/acides fulviques, acides humiques liés/acides humiques libres, acides humiques gris/acides humiques bruns, etc.). Le tableau complet et détaillé des résultats analytiques est placé en annexe.
- la comparaison proprement dite entre les résultats fournis par les deux méthodes.

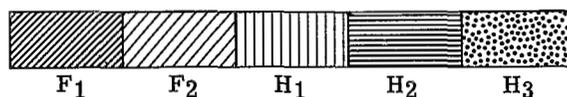
Une interprétation plus générale sera exposée après l'examen des différents types de sols.

*\*Nous tenons à exprimer nos remerciements aux pédologues qui ont bien voulu nous fournir ces échantillons (et leurs données analytiques), nous permettant ainsi d'avoir un large éventail de types de sols :*

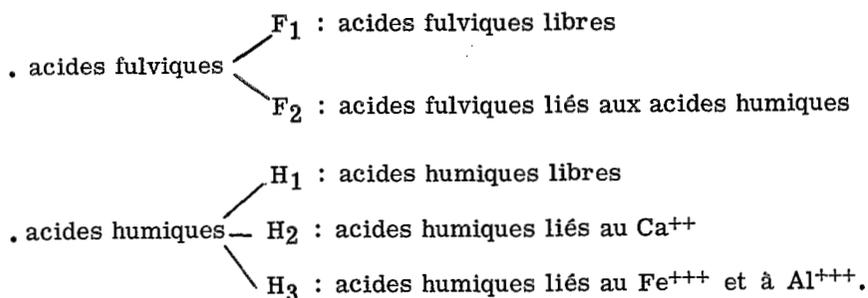
*MM. COINTEPAS, MORI et DIMANCHE pour les sols de Tunisie  
M. SIEFFERMANN pour les sols du Cameroun  
M. KALOGA pour les sols de Haute Volta  
MM. FAUCK, CHAUVEL, PERREIRA-BARRETO et STAIMESSE pour les sols du Sénégal.*

## Légende des schémas

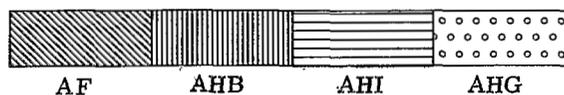
### 1 – Méthode TIURIN



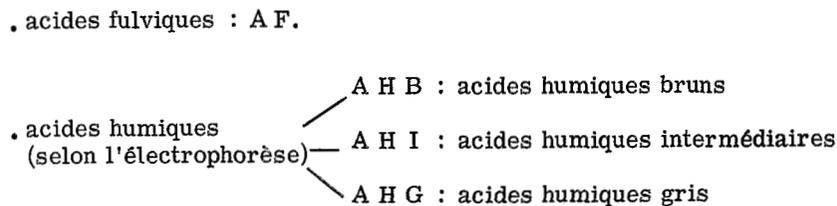
Pourcentage des différentes fractions humiques extraites par la méthode TIURIN, par rapport à l'humus total.



### 2 – Méthode pyrophosphate-électrophorèse



Pourcentage des différentes fractions humiques extraites par le pyrophosphate de Na (séparation des acides humiques par électrophorèse), par rapport à l'humus total



# I - SOLS DE PAYS TEMPÉRÉS

## 1. Podzol humo-ferrugineux, sur sables et blocs (rares) (C<sub>1</sub>)

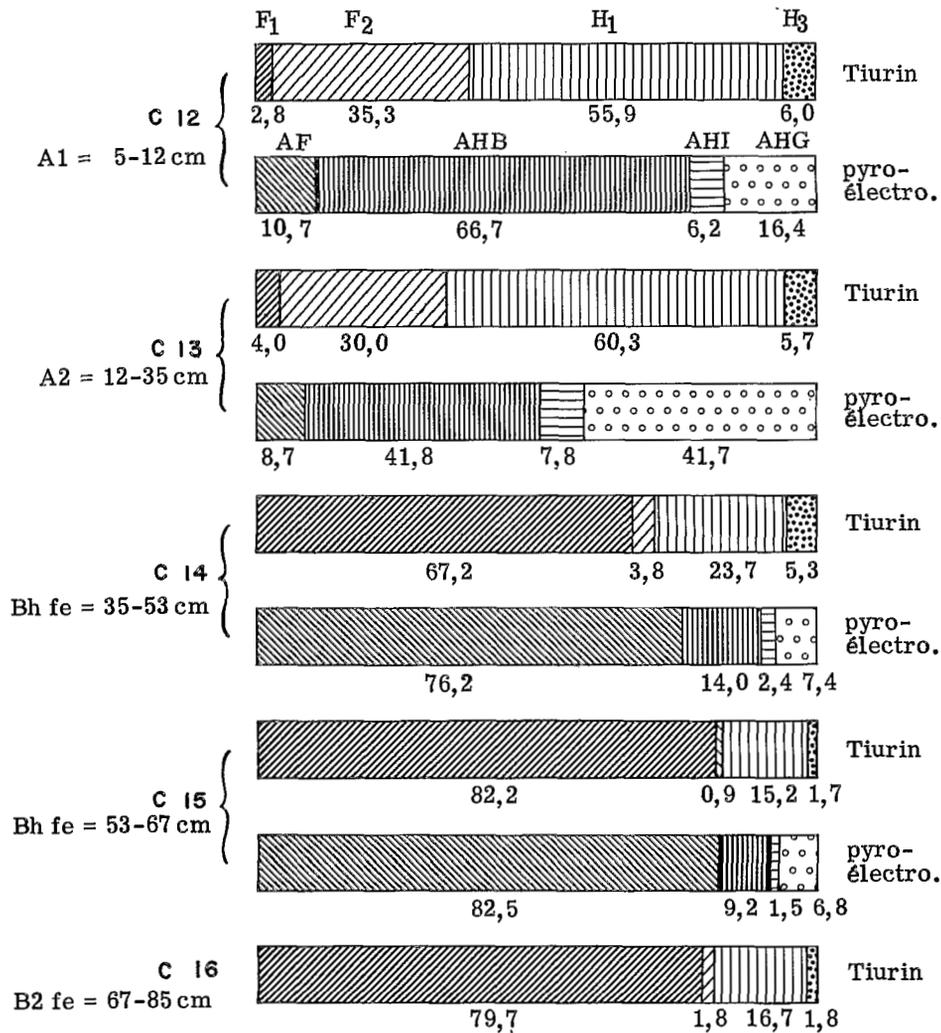
- Emplacement : Mont de l'Himbeerfels près de la Hoube (région de Saverne), France.
- Roche-mère : grès vosgien.
- Situation : altitude 600 m - bas de pente douce à moyenne sur loupe convexe - exposition : ouest-sud-ouest.
- Végétation : sapin dominant, en général assez jeune - strate herbacée formée de myrtilles, fougères et mousses.
- Climat : montagnard inférieur - pluviométrie : 1 150 mm - température moyenne : 9°.
- Description du profil :

0 - 5 cm	Litière d'aiguilles, de brindilles et d'écorce ; produits de décomposition d'aiguilles et de mousses.
5 - 12 cm A <sub>1</sub>	Humus brut de type Mor avec la matière minérale bien individualisée ; racines et radicelles abondantes.
12 - 35 cm A <sub>2</sub>	Gris rouge (5 YR 5/2) ; texture sableuse ; structure particulière à tendance cendreuse ; racines plus rares ; présence de quelques cailloux (Ø : 3 à 4 cm). Passage progressif au suivant :
35 - 53 cm Bh fe	Rouge jaune (5 YR 4/8) dans la partie supérieure de l'horizon, (5 YR 4/6) dans la partie inférieure de l'horizon ; frange supérieure d'humus très noire ; racines nombreuses entourées d'humus ; présence de quelques rares cailloux (Ø : 3 à 5 cm).
53 - 67 cm Bh fe	Horizon analogue au précédent mais plus durci (Alios) ; présence de blocs (Ø : 20 cm) ; quelques racines entourées d'humus
67 - 85 cm B <sub>2</sub> fe	Horizon plus meuble ; texture sableuse ; structure particulière ; présence de blocs de même diamètre que dans l'horizon précédent ; quelques racines. Passe irrégulièrement au suivant :
85 cm	Rouge jaune (5 YR 5/8) ; sable dominant emballant des blocs (Ø : 20 à 30 cm).

NOS	C total %	Méthode TIURIN						Pyro-électrophorèse				H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> / AH AHG/AH'
		Taux d'hum. %	AH/AF	H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> / H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> / AH	H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> / MHt	H <sub>2</sub> / AH	Taux d'hum. %	AHG/AHB	AHG/AH'	AHG/ MHt'	
C <sub>12</sub>	61,0	29,4	1,6	0,11	10%	6%	0	12,3	0,25	18%	16%	0,53
C <sub>13</sub>	11,4	37,1	1,9	0,09	9%	6%	0	20,2	1,00	46%	42%	0,19
C <sub>14</sub>	33,0	46,5	0,4	0,23	18%	5%	0	59,7	0,53	31%	7%	0,59
C <sub>15</sub>	24,0	54,7	0,2	0,11	10%	2%	0	76,3	0,74	39%	7%	0,26
C <sub>16</sub>	13,9	68,4	0,2	0,11	10%	2%	0	-	0,88	43%	-	-

(voir Fig. 1)

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



Les taux d'humification augmentent avec la profondeur, aussi bien dans la méthode TIURIN que dans l'extraction au pyrophosphate, ainsi que la proportion d'acides fulviques : il semble bien que ceux-ci ont migré de la surface vers la profondeur, dans ce milieu très perméable constitué de 40 à 50% de sable grossier. Il n'y a donc qu'en surface que la proportion d'acides humiques soit importante, dans les horizons A<sub>1</sub> et A<sub>2</sub>, et ces acides humiques sont constitués en grande partie d'AH libres (H<sub>1</sub>) révélés par la méthode TIURIN, et d'AH bruns révélés par l'électrophorèse avec très peu d'AH liés et d'AH gris. Dans l'horizon A<sub>1</sub> de ce podzol, les AH libres H<sub>1</sub> correspondent donc bien aux AH bruns : un milieu très acide (pH = 4,0), une très faible proportion d'argile, un taux de saturation en bases peu important, ne sont pas favorables à la polymérisation, et la liaison des fractions humiques avec la fraction minérale se fait très difficilement. Mais en A<sub>2</sub>, l'électrophorèse révèle une proportion plus importante d'AH gris, nettement supérieure aux AH liés donnés par la méthode TIURIN : il faut donc supposer, dans ce cas, qu'une partie des AH libres (H<sub>1</sub>) contient une certaine proportion d'AH

gris, autrement dit que la polymérisation peut se faire en l'absence de soutien argileux, dans ce cas, il semble bien qu'une meilleure aération de l'horizon due à une très forte proportion d'éléments sableux (plus de 80%) soit peut-être à l'origine de la formation de ces AH gris. Quant aux horizons B, ils sont caractérisés par une très forte proportion d'acides fulviques (les 3/4 de l'humus total) ; les acides humiques sont représentés essentiellement par des H1 dans la méthode TIURIN, alors que l'électrophorèse nous donne une certaine proportion d'AH gris. Comme pour l'horizon A2, on peut supposer que ces H1 ont subi un certain degré de polymérisation, ou alors que la complexation fer-humus retarde la migration sur bande.

## 2. Sol podzolique à alios (C4) (sur blocs et sables)

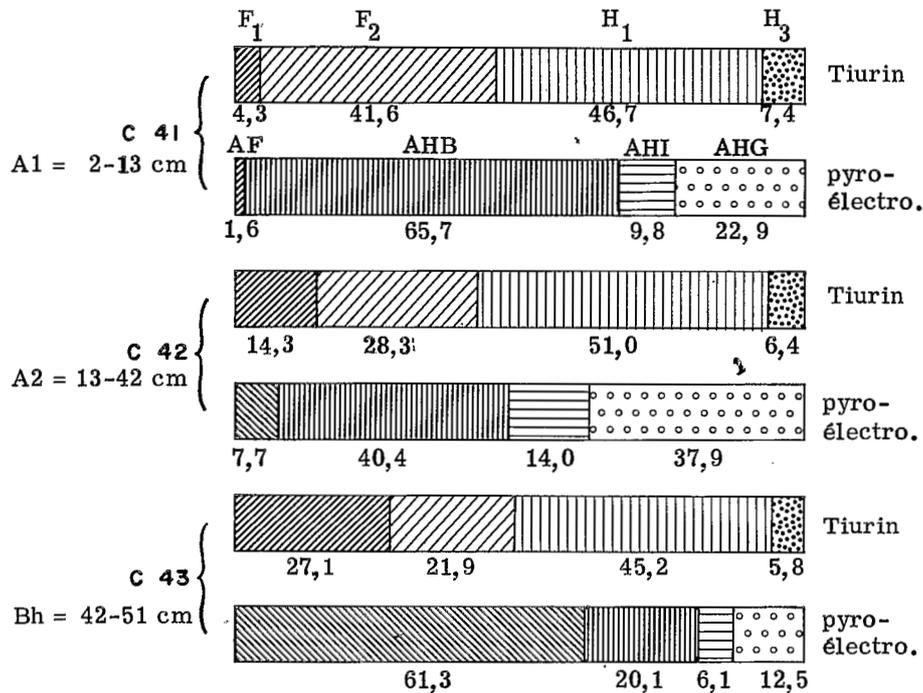
- . **Emplacement** : Mont de l'Himbeerfels près de la Hoube (région de Saverne), France.
- . **Roche-mère** : poudingue de Ste-Odile.
- . **Situation** : altitude 730 m - haut de pente faible à moyenne - présence de blocs et de rochers en surface - exposition : ouest-nord-ouest.
- . **Végétation** : sapin dominant - présence sporadique de feuillus - strate herbacée formée surtout de mousses - quelques fougères et un peu d'oxalis.
- . **Climat** : pluviométrie : 1 150 mm - température moyenne annuelle : 9°.
- . **Description du profil** :
  - 0 - 2 cm Litière formée d'aiguilles et de brindilles ainsi que de quelques feuilles.
  - 2 - 13 cm Horizon humifère formé d'un humus de type Mor ; texture sableuse ; matière minérale bien individualisée et bien visible ; nombreuses racines et radicelles ; nombreux galets du Poudingue de Ste-Odile.
  - A<sub>1</sub>
  - 13 - 42 cm Brun foncé (7,5 YR 3/2) ; texture sableuse ; structure particulière ; présence de nombreux galets ; racines rares.
  - A<sub>2</sub>
  - 42 - 51 cm Horizon plus noir assez meuble ; sableux ; présence de nombreux galets et de grosses racines.
  - Bh
  - 51 - 65 cm Rouge jaune (5 YR 4/8) avec une limite supérieure bien tranchée ; partie supérieure assez meuble et durcissement rapide avec la profondeur.
  - 65 cm Horizon à alios renfermant de nombreux galets et cailloux du conglomérat de Ste-Odile ; présence de blocs

Remarque - l'eau suinte dans le 42-51 (Bh) et au contact du 51-65 (Bfe).

NOS	C total %	Méthode TIURIN						Pyro-électrophorèse			H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> /AH	
		Taux d'hum. %	AH/AF	H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> AH	H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> Mht	H <sub>2</sub> AH	Taux d'hum. %	AHG AHB	AHG AH'		AHG Mht'
C41	64,0	33,8	1,2	0,16	14%	7%	0	9,8	0,45	23%	23%	0,59
C42	11,0	65,5	1,3	0,13	11%	6%	0	47,3	0,94	41%	38%	0,27
C43	25,7	52,0	1,0	0,13	11%	6%	0	60,3	0,62	32%	12%	0,35

(voir Fig. 1)

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



Comme pour le profil précédent, la méthode TIURIN "sort" beaucoup de fractions humiques solubles (acide fulviques et H1) et très peu d'acides humiques liés ; dans ce cas également, l'acidité du milieu et la très faible proportion d'éléments fins ne favorisent donc pas les liaisons humus-fraction minérale ; dans l'horizon A1 on retrouve une bonne concordance entre les deux méthodes : les H1 semblent bien correspondre aux acides humiques bruns. Par contre, en A2, même observation que précédemment : la polymérisation affecte une partie des H1, sans doute à cause de ce milieu à structure particulière mieux aéré ; en B également, les acides humiques gris sont un peu plus importants que les acides humiques liés, mais il peut s'agir également d'une pseudo-polymérisation due au fer, et les acides fulviques dominent, migrant de la surface vraisemblablement.

### 3. Sol brun lessivé (sur lehm) (3)

- . Emplacement : route de Versailles à Mantes, lieu dit : La Briquetterie (Feucherolles). France.
- . Roche-mère : loess calcaire, décarbonaté en surface (lehm).
- . Topographie : plateau très largement ondulé, cote relative du lieu observé : 150 m ; front de taille d'une ancienne carrière vers le milieu d'une colline dont le pendage est orienté nord-ouest (pente de 1 à 2%). Bon drainage, érosion nulle ; sol sans pierre ni affleurement rocheux.

. Végétation : herbacée, prostrée à la limite du front de taille, en arrière-plan sole préparée en vue du semis d'une avoine de printemps ; espèces actuelles : surtout graminéennes, plus nombreuses composées. Anciennement une luzernière occupait cet emplacement.

. Climat : tempéré à tendance atlantique - Pluviométrie : 600-700 mm.

. Description du profil :

0 - 26 cm Brun foncé ; finement limoneux à argileux ; important chevelu racinaire  
A<sub>1</sub> herbacé ; structure grumeleuse en surface puis finement polyédrique - activité animale intense ; bonne porosité ; non calcaire.

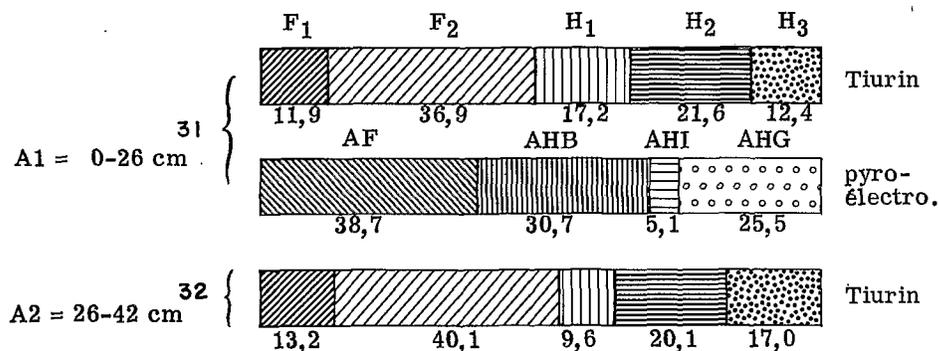
26 - 42 cm Brun un peu plus clair, finement limoneux à argileux ; lacs de racines ;  
A<sub>2</sub> structure finement polyédrique ; activité animale intense ; non calcaire.

42 - 80 cm Beige à brun foncé ; limon fin argileux ; structure moyennement à grossièrement polyédrique - présence de concrétions noirâtres de MnO<sub>2</sub>, et de quelques taches d'oxydes ferriques.

NOS	C total ‰	Méthode TIURIN						Pyro-électrophorèse				H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> /AH'
		Taux d'hum. %	AH/AF	H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> AH	H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> MHt	H <sub>2</sub> AH	Taux d'hum. %	AHG AHB	AHG AH'	AHG MHt'	
31	12,3	36,8	1,1	1,97	66%	34%	42%	11,1	0,83	42%	26%	1,59
32	9,5	34,1	0,9	3,87	79%	37%	43%	13,7	-	-	-	-

(voir Fig. 1)

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

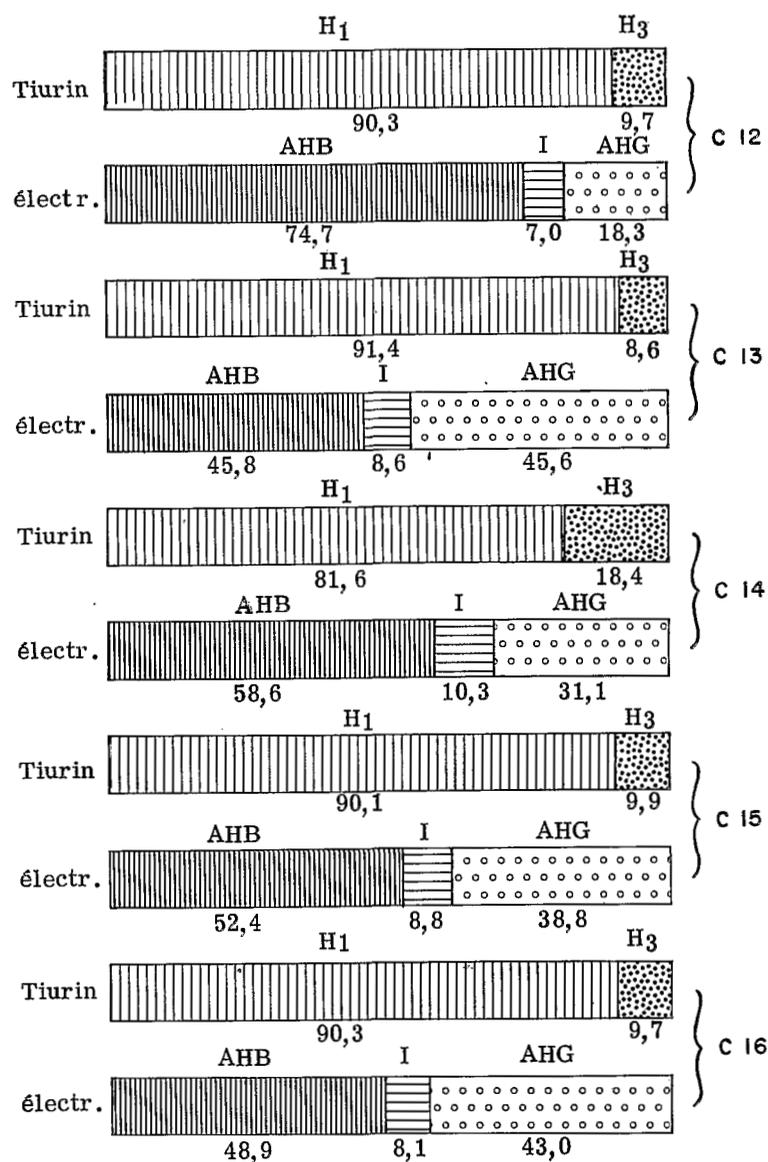


Cette matière organique se caractérise par un bon équilibre entre les acides humiques et les acides fùlviques, et pour les acides humiques entre les acides humiques liés et les acides humiques libres, entre les acides humiques gris et les acides humiques bruns. Dans ce milieu neutre, calcique, à éléments fins dominants, les acides humiques peuvent se former et se lier à la fraction minérale, d'où la proportion d'1/3 de H<sub>2</sub> + H<sub>3</sub> par rapport à l'humus total. Mais la polymérisation n'est pas très poussée et les acides humiques gris ne représentent qu'1/4 de l'humus total. Vues les conditions climatiques, ce sol est rarement sec, et l'on sait l'influence importante de la dessiccation sur la polymérisation des fractions humiques ; on peut donc supposer que dans ce sol elle est un peu entravée et que, parmi les acides humiques bruns révélés par l'électrophorèse, il en est une partie qui peut être fixée à la fraction minérale, en particulier par l'ion Ca<sup>++</sup>.

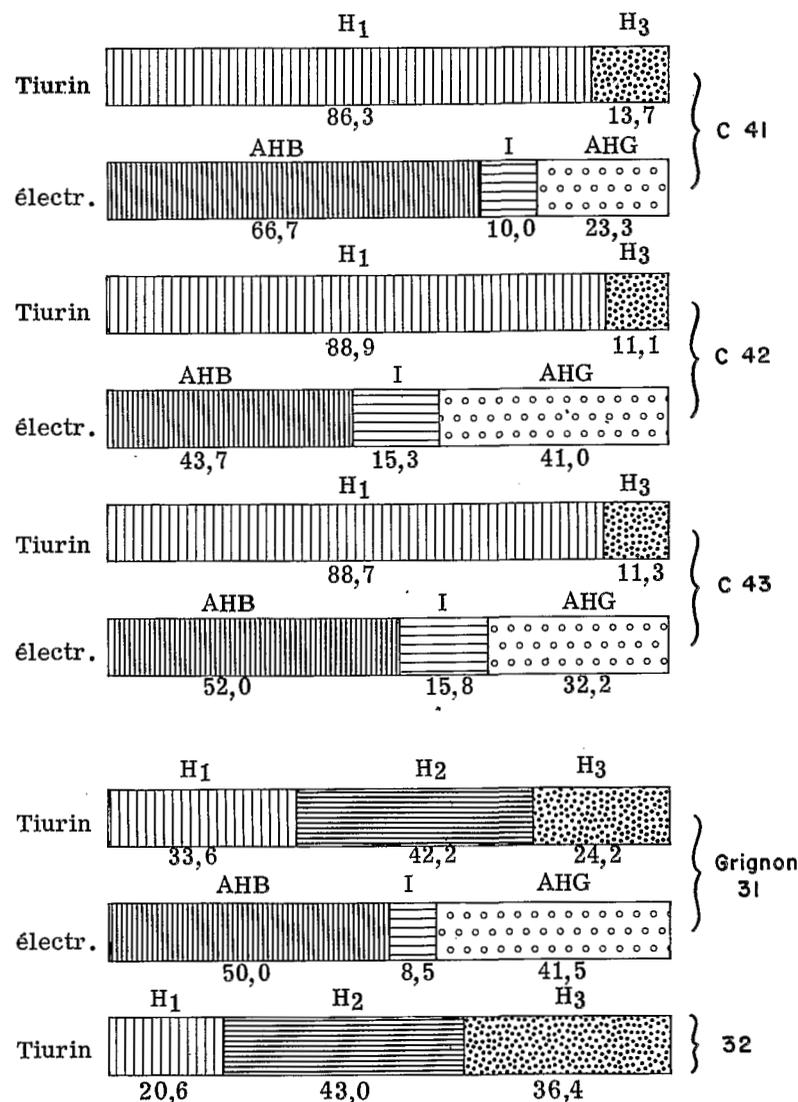
Fig. 1

POURCENTAGE DES DIFFERENTS ACIDES HUMIQUES PAR RAPPORT AUX ACIDES HUMIQUES TOTAUX

SOLS DE PAYS TEMPÉRÉS



podzol humo-ferrugineux, sur sables et blocs - Vosges, France.



## II - SOLS DE PAYS MÉDITERRANÉENS

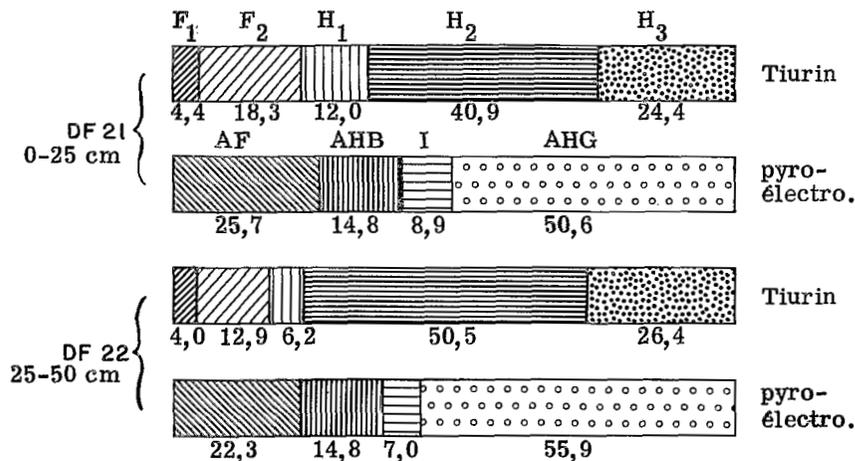
### 1. Sol brun forestier (DF 2)

- . Emplacement : sommet du Djebel Bou Kornine - Tunisie (altitude : 550 m).
- . Roche-mère :  $\left\{ \begin{array}{l} \text{géologie : calcaire cristallin du jurassique.} \\ \text{pédologie : terra rossa.} \end{array} \right.$
- . Végétation : callitris.
- . Climat : bioclimat du type subhumide - pluviométrie  $\neq$  800 mm - température moyenne annuelle : 15°.
- . Description du profil :
  - 0 - 90 cm Brun rouge ; limono-argileux ; non calcaire ; humifère, à diffusion progressive ; structure finement grumeleuse très développée ; racines très abondantes.
  - 90 - 120 cm Jaune rouge ; très argileux ; peu calcaire ; structure finement polyédrique bien développée ; ce matériau pénètre irrégulièrement dans les diaclases du calcaire.
  - >120 cm calcaire cristallin.

Nos	C total ‰	Méthode TIURIN						Pyro-électrophorèse			H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> / AH	
		Taux d'hum. %	AH AF	H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> AH	H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> MHt	H <sub>2</sub> AH	Taux d'hum. %	AHG AHB	AHG AH'		AHG MHt'
DF 21	36,3	48,8	3,4	5,46	85%	65%	53%	21,3	3,41	68%	51%	1,24
22	30,6	53,3	4,9	12,30	92%	77%	61%	23,4	3,78	72%	56%	1,28

(voir Fig.2)

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



La teneur en matière organique totale est assez élevée pour un sol méditerranéen, car il s'agit d'un sol forestier, d'altitude ; l'humification est très bonne et dépasse 50% à 25 cm de profondeur. Nous remarquons, toutefois, que le pyrophosphate extrait beaucoup moins d'humus, moins de la moitié seulement, de la quantité extraite par la méthode TIURIN. Cet humus, du type mull calcique, est caractérisé par une teneur élevée en acides humiques, ceux-ci représentant plus des 3/4 de l'humus total. La méthode TIURIN révèle, dans les deux horizons étudiés, une très forte proportion de H<sub>2</sub> + H<sub>3</sub> et très peu de H<sub>1</sub> ; les acides humiques liés peuvent aisément se former dans ce milieu alcalin, suffisamment argileux, à capacité d'échange élevée, avec une très forte proportion de Ca<sup>++</sup> échangeable, et un complexe absorbant saturé. L'extraction au pyrophosphate nous donne également une très forte proportion d'acides humiques, et l'électrophorèse révèle un taux important d'acides humiques gris, plus de la moitié de l'humus total, ce qui correspond bien aux acides humiques liés de la méthode TIURIN ; dans ce cas, liaisons et polymérisation semblent s'accorder, la polymérisation se faisant bien dans ce milieu calcique, soumis à une alternance de saison humide et de saison sèche. Les acides humiques bruns sont peu importants, tout comme les acides humiques libres H<sub>1</sub>, ils doivent rapidement évoluer vers des formes plus liées et plus polymérisées.

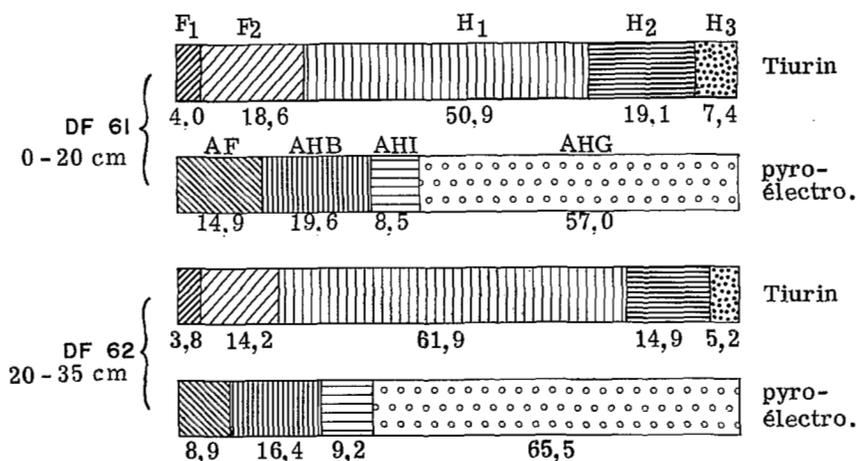
## 2. Sol brun lessivé (DF 6 - hydromorphe à moder)

- . Emplacement : massif des Mogods (N.E. de Mateur) - Tunisie - non calcaire - altitude : 250-300 m.
- . Roche-mère { géologie : oligocène non calcaire, argile schisteuse.  
pédologie : colluvions gréseuses sur argile à pseudogley.
- . Végétation : chêne-liège à lentisque.
- . Climat : bioclimat humide - pluviométrie : 800-900 mm - température moyenne annuelle ≠ 17°.
- . Description du profil :
  - 0 - 20 cm Humifère ; non calcaire ; structure grumeleuse ; racines très abondantes.
  - 20 - 35 cm Moins humifère ; non calcaire ; structure plus polyédrique.
  - 35 - 45 cm Horizon lessivé ; peu humifère ; pseudogley assez intense.
  - 45 - 65 cm Argileux ; fort pseudogley ; structure polyédrique bien développée.
  - > 65 cm Argileux, très fort pseudogley.

N <sup>os</sup>	C total ‰	Méthode TIURIN						Pyro-électrophorèse			H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> / AH AHG/AH'	
		Taux d'hum. %	AH AF	H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> AH	H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> MHT	H <sub>2</sub> AH	Taux d'hum. %	AHG AHB	AHG AH'		AHG MHT'
DF												
61	40,2	57,3	3,4	0,53	34%	26%	25%	26,2	2,92	67%	66%	0,51
62	21,9	69,4	4,6	0,33	25%	20%	18%	37,9	3,99	72%	57%	0,34

(voir Fig. 2)

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



Ce sol forestier est bien pourvu en matière organique totale dans l'horizon supérieur, mais ce taux diminue de moitié dès 20 cm de profondeur. L'humification est très élevée, elle atteint 70% dans le 2ème horizon, l'hydromorphie très prononcée en est vraisemblablement la cause : la matière organique se minéralise moins vite et l'humus s'accumule. L'humus de ce sol se caractérise par une très forte proportion d'acides humiques (les 3/4 de l'humus total), obtenue aussi bien par la méthode TIURIN que par l'extraction au pyrophosphate. La méthode TIURIN nous montre que ces acides humiques sont constitués essentiellement par des H<sub>1</sub> : 51% de l'humus total dans l'horizon de surface et 62% dans le 2ème horizon ; les acides humiques liés sont bien moins importants. Malgré le taux élevé d'argile, les liaisons avec l'humus ne sont pas très étroites puisque celui-ci est très facilement solubilisé par la soude ; l'acidité du milieu influe sûrement (pH = 6,0) sur la nature des acides humiques, bien que le taux de Ca<sup>++</sup> échangeable soit important, le complexe absorbant saturé et la fraction argileuse constituée par 60% d'illite. Mais l'électrophorèse nous donne un schéma très différent de celui de la méthode TIURIN ; dans les deux horizons étudiés, la proportion d'acides humiques gris est très importante : respectivement 57 et 66% de l'humus total, et il y a peu d'acides humiques bruns. Il paraît donc évident que les acides humiques libres, extraits par la soude, atteignent un certain degré de polymérisation, facilitée par la présence d'illite et la présence de Ca<sup>++</sup> ; on pourrait supposer que la soude a peut-être engendré des produits artificiels apparaissant sous la forme de composés peu liés, mais il y a peu d'acides fulviques et cela n'est pas valable pour le 2ème horizon, où les débris végétaux sont moindres et où, précisément, le taux d'acides humiques mobiles H<sub>1</sub> équivaut au taux d'acides humiques gris, quatre fois plus important que le taux d'acides humiques bruns. La présence de gley ferrugineux a provoqué peut-être dans ce cas une pseudo-polymérisation d'acides humiques peu liés.

### 3. Sol rouge lessivé (DF 5)

- . Emplacement : en bordure de la plaine de Mateur, sur pente moyenne - Tunisie.
- . Roche-mère { géologie : : trias : brèche grésocalcaire.  
pédologie : argile rouge sur le trias.
- . Végétation : olivier lentisque.
- . Climat : bioclimat à la limite de l'humide et du subhumide - pluviométrie : 600-700 mm - température moyenne annuelle : 17° 5.

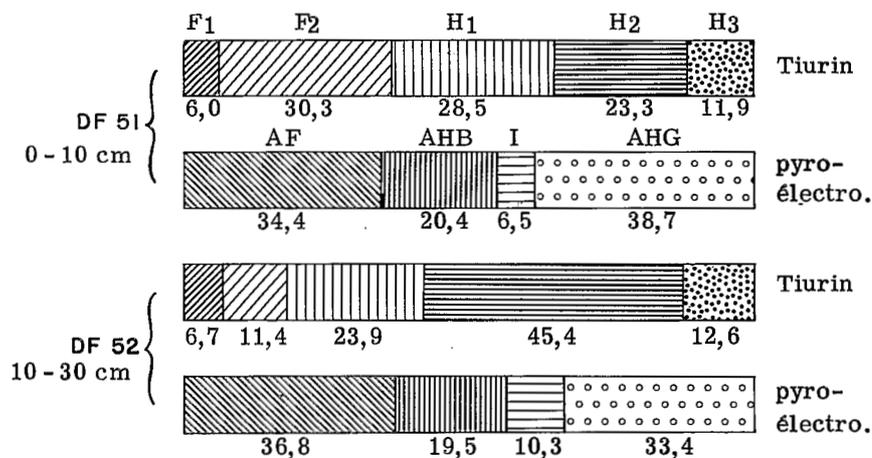
. Description du profil :

- 0 - 10 cm Gris rouge foncé ; argilo-limoneux ; humifère non calcaire ; structure finement polyédrique développée ; abondantes traces de vers.
- 10 - 30 cm Gris rouge foncé ; assez humifère ; non calcaire argilo-limoneux ; structure polyédrique bien développée.
- 30 - 50 cm Brun rouge ; non calcaire ; argilo-limoneux ; structure polyédrique très développée.
- 50 - 85 cm Rouge jaune ; non calcaire ; très argileux ; structure polyédrique très développée.
- > 85 cm Pâte argileuse peu calcaire, à fragments gréseux et calcaires.

N <sup>OS</sup>	C total %	Méthode TIURIN						Pyro-électrophorèse			$\frac{H_2+H_3}{AH} / \frac{AHG}{AH'}$	
		Taux d'hum. %	$\frac{AH}{AF}$	$\frac{H_2+H_3}{H_1}$	$\frac{H_2+H_3}{AH}$	$\frac{H_2+H_3}{Mht}$	$\frac{H_2}{AH}$	Taux d'hum. %	$\frac{AHG}{AHB}$	$\frac{AHG}{AH'}$		$\frac{AHG}{Mht'}$
DF 51	42,5	41,3	1,8	1,24	55%	35%	37%	12,9	1,90	59%	39%	0,94
52	15,9	44,0	4,5	2,43	71%	58%	55%	19,0	1,71	53%	33%	1,34

(voir Fig.2)

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



Ce sol rouge est bien pourvu en matière organique totale, surtout dans l'horizon supérieur (0 - 10cm), mais ce taux diminue très vite en fonction de la profondeur, comme cela s'observe souvent dans les sols forestiers. Ici encore, le taux d'humification est élevé (supérieur à 40%), alors que le pyrophosphate solubilise difficilement cet humus, probablement trop fortement lié à la fraction minérale. La méthode TIURIN nous donne en surface une répartition équilibrée des différentes fractions humiques, à savoir: 1/3 d'acides fulviques, 1/3 de H<sub>1</sub> et 1/3 de H<sub>2</sub> + H<sub>3</sub> ; dans ce cas aussi, les acides humiques dominent, mais ce profil

renferme plus de H<sub>1</sub> que le sol brun forestier, peut-être parce qu'il est légèrement moins alcalin et que le taux de Ca<sup>++</sup> échangeable est plus faible. Le 2ème horizon renferme moins d'acides fulviques, mais par contre le taux de H<sub>2</sub> a nettement augmenté par rapport au 1er horizon, et représente plus de 45% de l'humus total. L'électrophorèse effectuée sur les acides humiques du 1er horizon présente exactement le même fractionnement que la méthode TIURIN, c'est-à-dire qu'on obtient une très nette équivalence entre les acides humiques gris et les acides humiques liés, entre les acides humiques bruns et les acides humiques libres : ici les deux méthodes se rejoignent parfaitement bien. Pour le 2ème horizon, la concordance est un peu moins bonne, la méthode TIURIN a tendance à "sortir" un peu plus d'acides humiques liés par rapport aux taux d'acides humiques gris, mais dans l'ensemble, dans ce milieu neutre, saturé mais non calcaire, on observe un certain équilibre entre liaisons et degré de polymérisation.

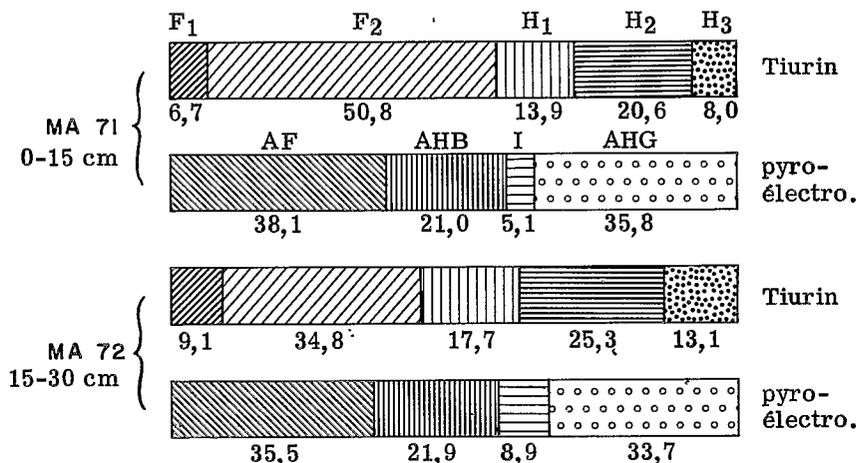
#### 4. Sol rouge méditerranéen typique, sur limons rouges du quaternaire (MA 7)

- . Emplacement : région de Mateur - Tunisie.
- . Roche-mère : limon rouge du quaternaire.
- . Situation topographique : terrain plat - pente faible.
- . Végétation : céréales.
- . Climat : semi-aride - pluviométrie : 530 mm - saison sèche : 5 mois - température moyenne annuelle : 18°2.
- . Description du profil :
  - 0 - 15 cm Brun-rouge sombre ; argilo-sableux ; cohésion très faible, porosité forte ; résidus de récolte ; nombreuses racines et radicelles ; non calcaire.
  - 15 - 30 cm Argilo-sableux ; grumeleux ; cohésion faible ; une certaine compacité de l'horizon, alors que les éléments de la structure sont meubles, friables, poreux ; racines et radicelles abondantes à pénétration verticale.
  - 30 - 55 cm Argileux ; rouge sombre ; cohésion moyenne ; radicelles à pénétration moins aisée.
  - 55 - 80 cm Argileux ; même couleur ; structure polyédrique (polyèdres d'un centimètre) ; cohésion moyenne ; revêtements plus foncés, presque noirs ; çà et là des amas ferro-manganiques ; une certaine compacité de l'horizon ; peu de racines.
  - >80 cm croûte calcaire.

NOS	C total %	Méthode TIURIN						Pyro-électrophorèse				H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> / AH AHG/AH'
		Taux d'hum. %	AH/AF	H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> /H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> /AH	H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> /MH'	H <sub>2</sub> /AH	Taux d'hum. %	AHG/AHB	AHG/AH'	AHG/MH'	
MA												
71	12,9	41,4	0,7	2,07	67%	29%	48%	13,6	1,70	58%	36%	1,17
72	10,7	32,8	1,3	2,18	69%	38%	45%	15,8	1,54	52%	34%	1,31

(voir Fig. 4)

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



Ce sol rouge méditerranéen à pH neutre, mais non calcaire, possède une matière organique bien évoluée, dont le C/N ne dépasse pas 10 en surface. L'humus, extrait par la méthode TIURIN, révèle une assez forte proportion d'acides fulviques, surtout dans l'horizon de surface : plus de 50% de l'humus total est sous forme de F<sub>2</sub>, ils ne représentent plus qu'1/3 dans le 2ème horizon. Les acides humiques se répartissent avec une majorité de H<sub>2</sub>, mais les H<sub>1</sub> ne sont pas négligeables (14% de l'humus total pour le 71, 18% pour le 72) ; on peut s'étonner de ne pas trouver plus d'acides humiques liés dans ce profil où les conditions de formation paraissent excellentes : pH neutre, taux important de Ca<sup>++</sup> échangeable, complexe absorbant saturé, forte proportion d'éléments fins. Mais nous supposons que la teneur élevée en Fe, sous forme d'oxydes et hydroxydes gêne probablement la formation des liaisons humus-argile, en bloquant plus ou moins l'argile ; à moins que ces liaisons existent, mais qu'elles soient tellement solides, que même une attaque acide, telle qu'elle est utilisée dans la méthode TIURIN, ne puisse les dissocier, pour libérer les composés humiques s'y rattachant.

L'électrophorèse indique une nette dominance des acides humiques gris sur les bruns. La polymérisation se fait donc bien dans ce sol, et proportionnellement à l'ensemble des acides humiques extraits, les deux méthodes nous donnent à peu près les mêmes pourcentages pour les acides humiques liés et les acides humiques gris ; il semble bien que, dans ce cas, il y ait une parfaite concordance, aussi bien d'ailleurs pour les H<sub>1</sub> et les acides humiques bruns. L'importance relative de ceux-ci est liée à la présence d'une forte teneur en acides fulviques, et malgré les bonnes conditions physico-chimiques de polymérisation, il y a peut-être un facteur qui ralentit partiellement la polymérisation (le climat trop sec ?).

### 5. Sol rouge méditerranéen tirsifié, sur grès pliocènes (MA 44)

- . Emplacement : région de Mateur-Tindja - Tunisie.
- . Roche-mère : grès du pliocène.
- . Situation topographique : glacis - terrasse - pente faible.
- . Végétation : céréales.

. Climat : semi-aride - pluviométrie : 530 mm - saison sèche : 5 mois - température moyenne annuelle : 18°2.

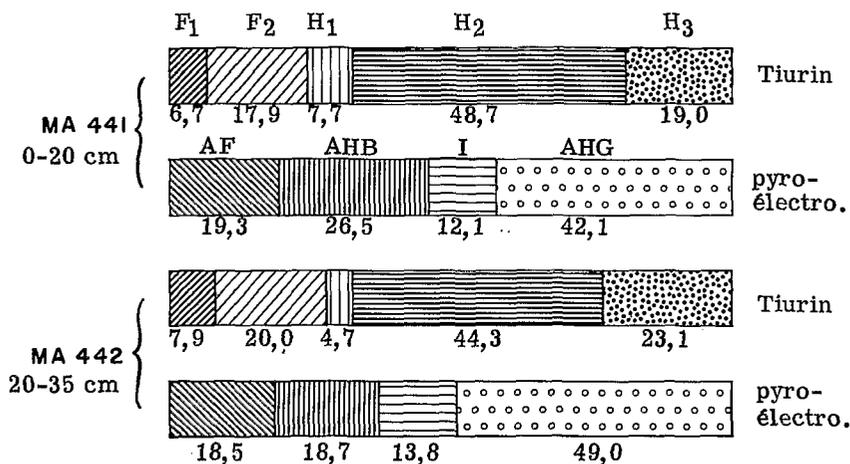
. Description du profil :

- 0 - 20 cm Limono-sablo-argileux ; brun-gris très sombre ; très meuble ; très poreux ; structure à éléments grumeleux ; nombreuses racines.
- 20 - 50 cm Limono-argileux ; brun-gris très sombre ; polyédrique ; très meuble ; nombreuses racines.
- >50 cm Croûte calcaire.

Nos	C total %	Méthode TIURIN						Pyro-électrophorèse				H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> / AHG/AH'
		Taux d'hum. %	AH/AF	H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> /H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> /AH	H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> /Mht	H <sub>2</sub> /AH	Taux d'hum. %	AHG/AHB	AHG/AH'	AHG/Mht'	
MA 441	20,0	38,5	3,1	8,83	90%	68%	65%	26,0	1,59	52%	42%	1,72
442	15,0	46,7	2,6	14,30	93%	67%	61%	34,7	2,63	60%	49%	1,55

(voir Fig.4)

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



Ce sol beaucoup plus riche en matière organique que le précédent, a une répartition différente des fractions humiques. On y observe beaucoup moins d'acides fulviques (1/4 seulement de l'humus total) donc une proportion importante d'acides humiques, dont essentiellement des H<sub>2</sub> et H<sub>3</sub>, très peu de H<sub>1</sub> ; les liaisons humus-argile seraient plus importantes dans le sol rouge méditerranéen tirsifié que dans le sol rouge méditerranéen, et peut-être d'une autre nature ; car l'ensemble des conditions reste le même : pH alcalin, pas de calcaire, mais un taux nettement plus élevé de Ca<sup>++</sup> échangeable, un complexe absorbant saturé, une teneur importante en argile et la même constitution de la fraction argileuse : kaolinite et illite. L'électrophorèse, toujours effectuée à partir d'un extrait au pyrophosphate, nous montre que

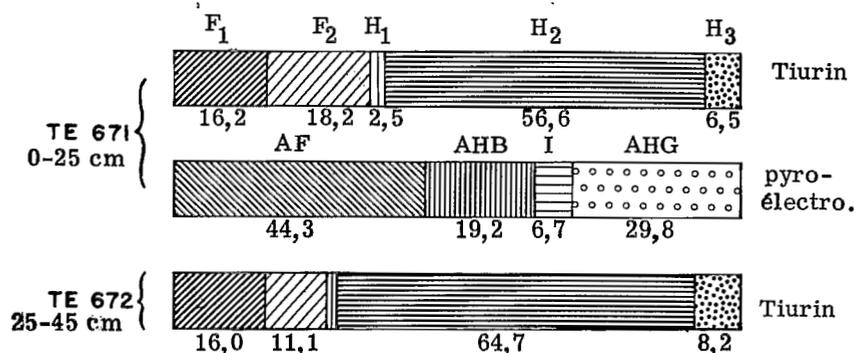
les acides humiques gris sont en majorité par rapport aux acides humiques bruns, mais ces derniers sont plus importants que les H<sub>1</sub> libérés par la méthode TIURIN, et les acides humiques gris nettement inférieurs aux acides humiques liés.

Donc, dans ce sol, la similitude entre les deux méthodes n'est pas parfaite, et les liaisons humus-fraction minérale sont plus étroites que dans le sol rouge méditerranéen, en partie à cause d'un taux de Ca<sup>++</sup> échangeable plus élevé, et d'un agencement différent du fer. Vraisemblablement, les conditions inhérentes à l'hydromorphie de ce sol tirsifié doivent entraver la polymérisation ; et c'est ainsi qu'il faut admettre que les acides humiques liés peuvent être en partie faiblement polymérisés.

## 6. Sol brun isohumique (steppique) sableux, sur grès et sables oligocènes (TE 67)

- . Emplacement : région de Tebourba - Tunisie.
- . Roche-mère : grès et sables oligocènes.
- . Situation topographique : à mi-pente, d'une pente faible.
- . Végétation : oliviers et pêchers.
- . Climat : semi-aride méditerranéen - pluviométrie : 420 mm - température moyenne annuelle : 18° - durée de la saison sèche : 6 mois.
- . Description du profil :
  - 0 - 25 cm Horizon sableux, brun-rouge ; particulière ; poreux sec ; ni consistance, ni cohésion ; nombreuses racines ; peu calcaire.
  - 25 - 45 cm Sableux ; brun-rouge plus foncé ; polyédrique ; cohésion faible ; porosité forte ; mycélium calcaire abondant ; moins de racines ; calcaire. Passage progressif à l'horizon suivant :
  - 45 - 70 cm Sableux ; brun-rouge plus foncé ; polyédrique ; cohésion plus forte ; porosité moyenne ; très abondant mycélium calcaire ; nombreuses coquilles de gastéropodes ; racines.
  - 70 - 130 cm Sableux ; jaune-rouge ; sec ; polyédrique ; consistance et compacité moyennes à fortes ; nombreux amas et nodules calcaires ; racines.
  - > 130 cm Croûte calcaire.

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



N <sup>os</sup>	C total % <sub>o</sub>	Méthode TIURIN						Pyro-électrophorèse				H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> / AH AHG/AH'
		Taux d'hum. %	AH/AF	H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> /H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> /AH	H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> /MHT	H <sub>2</sub> /AH	Taux d'hum. %	AHG/AHB	AHG/AH'	AHG/MHT'	
TE 671	4,5	44,0	1,9	25,0	96%	63%	86%	23,1	1,55	53%	30%	1,80
672	3,9	53,1	2,7	49,3	98%	71%	87%	30,0	-	-	-	-

(voir Fig. 4)

Ce sol sableux n'est pas très riche en matière organique totale, mais les taux d'humification sont élevés, surtout ceux donnés par la méthode TIURIN. Les acides humiques dominent sur les acides fulviques et dans le deuxième horizon ils représentent les 3/4 de l'humus total ; et ces acides humiques sont constitués essentiellement par des H<sub>2</sub> (57% de l'humus total pour l'horizon de surface, et 65% pour le deuxième horizon), alors que les H<sub>1</sub> sont en quantité négligeable. Mais ceci nous paraît tout à fait normal, vues les conditions de milieu : pH alcalin (8,3), présence de calcaire donc très forte proportion de Ca<sup>++</sup> échangeable, avec un complexe absorbant largement saturé ; les acides humiques libres ne peuvent subsister et les liaisons humus-matière minérale se font très facilement grâce à l'abondance du Ca<sup>++</sup>. L'extraction au pyrophosphate, proportionnellement nous donne moins d'acides humiques et plus d'acides fulviques et l'électrophorèse nous révèle la moitié seulement en acides humiques gris de l'ensemble des acides humiques. Dans ce cas aussi, la polymérisation ne correspond pas aux liaisons chimiques, et l'on doit admettre qu'une partie de ces H<sub>2</sub> n'atteint pas obligatoirement un haut degré de polymérisation, ce qui revient à dire que les acides humiques bruns séparés par électrophorèse seraient en grande partie liés au Ca<sup>++</sup>. On retrouve un peu les conditions du sol rouge méditerranéen avec des teneurs en acides fulviques assez importantes malgré les conditions physico-chimiques favorables à la polymérisation ; il se peut qu'une saison sèche très longue favorise moins la polymérisation qu'une saison sèche moyenne. En effet, avec la pluviométrie faible le passage de l'humide au sec se fait très rapidement et ne favorise pas les transformations biochimiques (RUELLAN a observé dans les zones désertiques au Maroc un relèvement important des acides fulviques et des acides humiques bruns, par rapport aux zones de sols rouges moins arides. - communication orale -).

## 7. Sol peu évolué, non climatique, d'apport alluvial sur limons récents (TE 80)

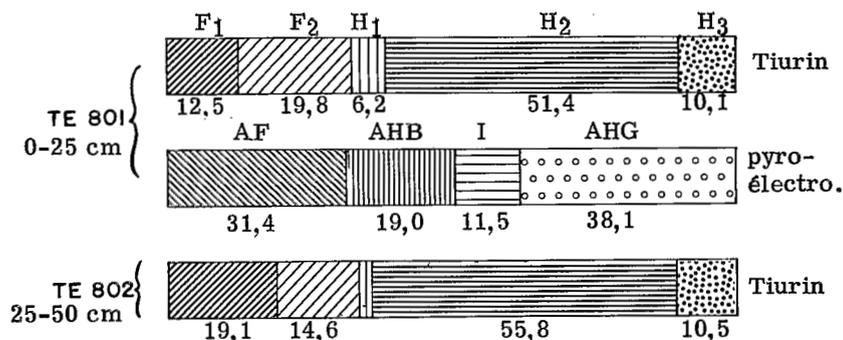
- . Emplacement : région de Tebourba - Tunisie.
- . Roche-mère : limons récents.
- . Situation topographique : vallée - pente nulle.
- . Végétation : céréales.
- . Climat : semi-aride méditerranéen ; pluviométrie : 420 mm ; température moyenne annuelle : 18° ; durée de la saison sèche : 6 mois.
- . Description du profil :
  - 0 - 25 cm Sablo-argileux ; brun-rouge ; polyédrique ; cohésion très faible ; consistance faible ; inclusion calcaire.
  - 25 - 50 cm Sablo-argileux ; brun-rouge ; polyédrique ; cohésion plus forte ; porosité moyenne ; fin mycélium calcaire ; inclusion de cailloux ; racines.

- 50 - 85 cm Sablo-argileux ; brun ; polyédrique ; cohésion moyenne ; la consistance s'est accrue ; mycélium calcaire abondant ; racines.
- 85 - 140 cm Argilo-sableux ; brun foncé ; polyédrique ; consistance et compacité moyenne à forte ; très abondant mycélium ; racines.

N <sup>os</sup>	C total %	Méthode TIURIN						Pyro-électrophorèse				$\frac{H_2+H_3}{AH}$
		Taux d'hum. %	$\frac{AH}{AF}$	$\frac{H_2+H_3}{H_1}$	$\frac{H_2+H_3}{AH}$	$\frac{H_2+H_3}{MHt}$	$\frac{H_2}{AH}$	Taux d'hum. %	$\frac{AHG}{AHB}$	$\frac{AHG}{AH'}$	$\frac{AHG}{MHt'}$	
TE 801	10,9	35,3	2,1	9,88	91%	62%	76%	20,7	2,00	55%	38%	1,64
802	4,7	42,3	2,0	32,00	97%	64%	81%	-	-	-	-	-

(voir Fig. 4)

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



Ce sol a une matière organique bien évoluée, avec des C/N inférieurs à 10 et un taux assez élevé ; les taux d'humification ne sont pas très différents des autres sols de Tunisie. La méthode TIURIN nous donne deux fois plus d'acides humiques que d'acides fulviques, et dans ces acides humiques une très forte proportion de H<sub>2</sub> (plus de 50% de l'humus total). On retrouve souvent les mêmes conditions de milieu et, finalement, tous ces sols de Tunisie nous donnent à peu près le même schéma de répartition des fractions humiques par la méthode TIURIN, exceptés les sols acides (sol hydromorphe et sol lessivé podzolique) étudiés plus loin et le sol rouge méditerranéen. Ce sol étant calcaire, avec un pH alcalin, une très forte proportion de Ca<sup>++</sup> échangeable, et bien sûr un complexe absorbant largement saturé, il n'y a donc rien d'étonnant à ce que les H<sub>2</sub> soient en nette prédominance.

De même que dans le cas du sol brun steppique, l'électrophorèse révèle beaucoup moins d'acides humiques gris que la méthode TIURIN ne donne d'acides humiques liés, et plus d'acides humiques bruns que de H<sub>1</sub>. On arrive donc aux mêmes conclusions que celles énoncées pour le sol brun steppique.

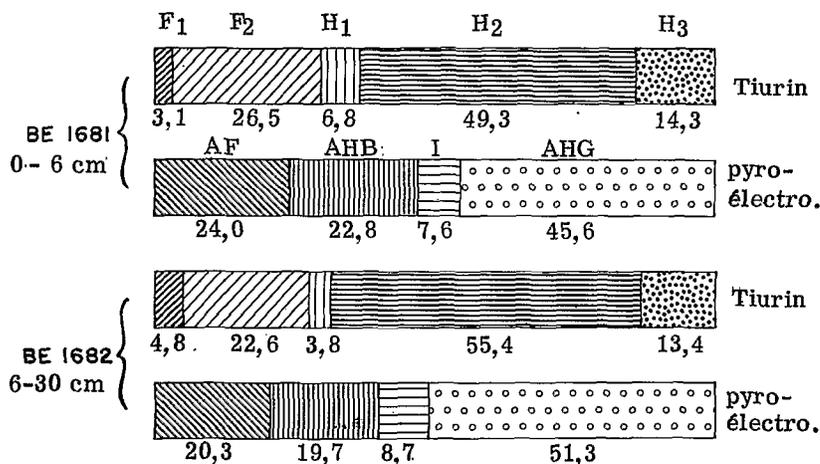
## 8. Sol brun calcaire, sur marnes miocènes (BE 168)

- . Emplacement : région de Ksar Mezouar - Tunisie.
- . Roche-mère : marnes du miocène.
- . Situation topographique : pente faible.
- . Végétation : cultures annuelles.
- . Climat : sub-humide - pluviométrie : 625 mm - saison sèche : 5 mois - température moyenne annuelle : 18° 8.
- . Description du profil :
  - 0 - 6 cm Horizon argilo-limoneux à structure polyédrique fine.
  - 6 - 30 cm (5 Y 3/2) ; limono-argileux ; structure polyédrique grossière, compacité moyenne ; calcaire.
  - 30 - 60 cm Structure polyédrique mieux individualisée ; compacité des éléments forte ; présence de cailloux.
  - > 60 cm Argile jaune ; sans structure ; cailloux et galets.

N <sup>os</sup>	C total % <sub>σ</sub>	Méthode TIURIN						Pyro-électrophorèse				H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> / AH AHG/AH'
		Taux d'hum. %	AH/AF	H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> /H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> /AH	H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> /Mht	H <sub>2</sub> /AH	Taux d'hum. %	AHG/AHB	AHG/AH'	AHG/Mht'	
BE 1681	37,7	34,5	2,4	9,40	90%	64%	70%	20,0	1,99	60%	46%	1,51
1682	29,9	38,4	2,7	17,98	95%	69%	76%	22,7	2,60	64%	51%	1,47

(voir Fig. 3)

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



Ce sol est calcaire et très riche en éléments fins, la matière organique est importante dans les horizons supérieurs, les taux d'humification sont moyens. Plus de 70% de l'humus se trouve sous forme d'acides humiques ; les H<sub>1</sub> sont présents dans ce profil, pas très importants cependant. Les H<sub>2</sub> représentent la moitié de l'humus total ; on voit l'importance du Ca<sup>++</sup> dans ce cas. L'électrophorèse nous donne aussi un fort pourcentage d'acides humiques gris ; la polymérisation s'effectue bien dans ce milieu, mais elle n'atteint pas l'ensemble des acides humiques liés ; dans ce cas aussi, on peut supposer que ces acides humiques liés ne sont pas nécessairement fortement polymérisés et qu'une certaine partie peut se retrouver sous forme d'acides humiques bruns.

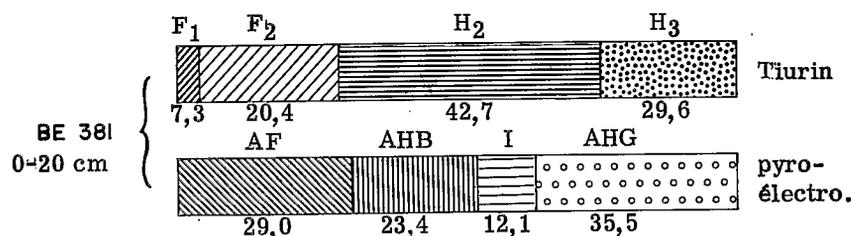
## 9. Vertisol lithomorphe gris typique (sur marnes miocènes) (BE 38)

- . Emplacement : Munchar - Tunisie.
- . Roche-mère : marnes miocènes.
- . Situation topographique : à mi-pente d'une pente forte.
- . Végétation : cultures annuelles.
- . Climat : sub-humide - pluviométrie : 625 mm - saison sèche : 5 mois - température moyenne annuelle : 18° 8.
- . Description du profil :

Le sol est meuble en surface.

- 0 - 20 cm Argileux couleur olive (5 Y 4/3) ; très humide, très plastique, très adhésif ; calcaire.
- 20 - 50 cm Idem ; structure lamellaire typique.
- 50 - 90 cm Miroirs de glissement faiblement développés.
- 90 - 130 cm Matériau originel gleyifié ; miroirs de glissement très développés.
- 130 - 170 cm Roche-mère : structure à nodules ; sèche ; bleuâtre ou brunâtre.
- > 170 cm Plan d'eau.

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



N <sup>OS</sup>	C total ‰	Méthode TIURIN						Pyro-électrophorèse			H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> / AH AHG/AH'	
		Taux d'hum. %	AH AF	H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> AH	H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> Mht	H <sub>2</sub> AH	Taux d'hum. %	AHG AHB	AHG AH'		AHG Mht'
BE 381	6,5	31,7	2,6	148,0	99%	72%	58%	16,5	1,52	50%	36%	1,99

(voir Fig.3)

Seul l'horizon de surface a été étudié ; on constate dans cet horizon une très forte proportion d'acides humiques, presque les 3/4 de l'humus total. La méthode TIURIN révèle très peu de H<sub>1</sub>, car dans ce sol calcaire, très argileux (70% d'argile), les liaisons humus-argile peuvent facilement se créer et se consolider ; aussi, la proportion de H<sub>2</sub> et H<sub>3</sub> est-elle très importante, et les H<sub>2</sub> représentent près de 60% des acides humiques. Par contre, l'électrophorèse révèle un assez fort pourcentage d'acides humiques gris, mais aussi des acides humiques bruns en quantité appréciable ; cela pourrait être imputable à la forte hydromorphie du milieu, celle-ci entravant très nettement la polymérisation. On peut donc supposer que ces mêmes acides humiques liés à la fraction minérale (par le Ca<sup>++</sup>, le Fe<sup>+++</sup>, et l'Al<sup>+++</sup>) n'ont pas forcément atteint un haut degré de polymérisation, et que l'on peut très bien les retrouver sous forme d'acides humiques bruns, la présence de calcaire favorisant les liaisons, mais l'hydromorphie ralentissant la polymérisation.

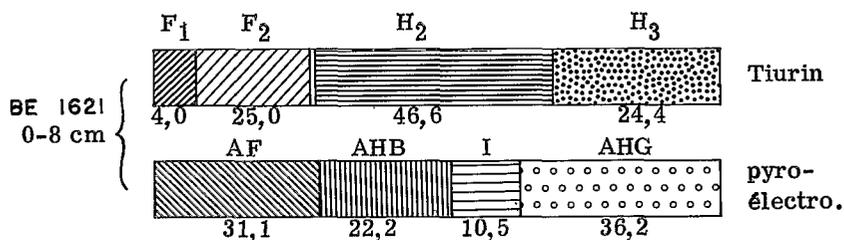
### 10. Vertisol topolithomorphe gris, fortement développé, sur marnes miocènes (BE 162)

- . Emplacement : Ksar Mezouar - Tunisie.
- . Roche-mère : marnes miocènes.
- . Situation topographique : terrasse, à pente très faible.
- . Végétation : cultures annuelles.
- . Climat : sub-humide - pluviométrie : 625 mm - saison sèche : 5 mois - température moyenne annuelle : 18° 8.
- . Description du profil :
  - 0 - 8 cm Horizon argileux sec, à structure polyédrique fine ; couleur : 5 Y 4/1.
  - 8 - 40 cm Horizon sec, à structure continue ; consistance et compacité fortes.
  - 40 - 100 cm 5 Y 3/1 ; plus sombre, plus humide, miroirs de glissement intenses ; structure en plaquettes.
  - > 100 cm Idem.

N <sup>OS</sup>	C total ‰	Méthode TIURIN						Pyro-électrophorèse			H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> / AH AHG/AH'	
		Taux d'hum. %	AH AF	H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> AH	H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> Mht	H <sub>2</sub> AH	Taux d'hum. %	AHG AHB	AHG AH'		AHG Mht'
BE 1621	12,7	37,2	2,4	334,0	100%	71%	65%	20,2	1,63	52%	36%	1,90

(voir Fig.3)

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



Dans le cas de ce vertisol aussi, seul l'horizon de surface a été étudié. Et, comme précédemment, nous retrouvons une très forte proportion d'acides humiques par rapport aux acides fulviques ; pas de H<sub>1</sub> non plus, les conditions intrinsèques du sol sont identiques au cas précédent : milieu alcalin et présence de calcaire, très fort pourcentage d'argile (70%) ; ces conditions sont donc très favorables à la formation des acides humiques : H<sub>2</sub> et H<sub>3</sub> ; ici les H<sub>2</sub> représentent les 2/3 des acides humiques.

L'électrophorèse ne nous donne pas un diagramme aussi tranché dans la répartition des acides humiques ; on y trouve des acides humiques bruns en proportion non négligeable (22% de l'humus total) et des acides humiques gris qui ne représentent que 36% de l'humus extrait.

Il faut donc bien supposer également, dans ce cas, qu'une partie des acides humiques liés correspond à des acides humiques bruns ou mobiles, ou à petites molécules, puisque dans ce sol calcaire on n'extrait pas d'acides humiques libres, la méthode TIURIN ne libérant que des acides humiques liés, lesquels n'atteignent sans doute pas tous le même degré de polymérisation.

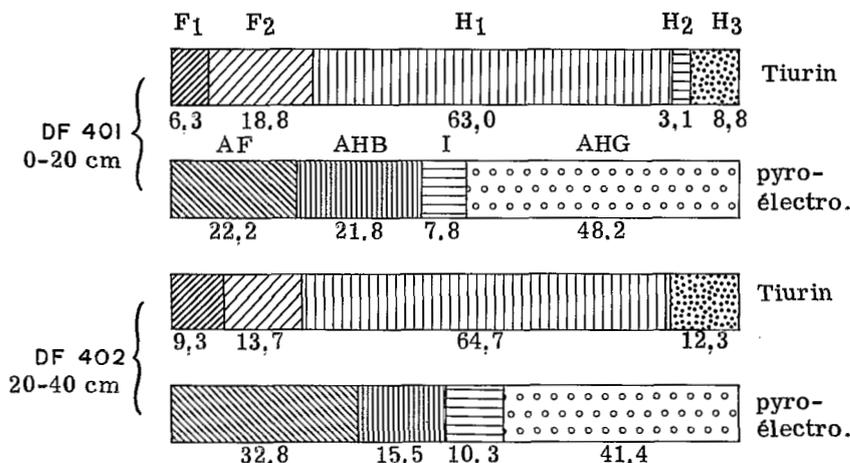
## 11. Sol hydromorphe à pseudogley riche en humus (DF 40)

- . Emplacement : replat au pied de la crête rocheuse du Djebel Rorra (frontière algérienne) Tunisie, altitude : 1 100 m.
- . Roche-mère { géologie : argile acide de l'oligocène  
pédologie : colluvions gréseuses sur argile
- . Végétation : chêne zeen.
- . Climat : pluviométrie : 1 500 mm - température moyenne annuelle : 13° 5.
- . Description du profil :
  - 0 - 20 cm Gris très foncé, très humifère ; limono-sableux ; structure finement grumeleuse ; racines très abondantes.
  - 20 - 40 cm Brun foncé ; assez humifère ; sablo-argileux ; structure finement polyédrique peu développée ; pseudogley assez abondant.
  - 40 - 65 cm Gris-brun ; peu humifère ; argilo-sableux ; bigarré de pseudogley ; structure peu développée.
  - > 65 cm Jaune-brun ; argileux ; pseudogley très intense.

N <sup>os</sup>	C total ‰	Méthode TIURIN						Pyro-électrophorèse				H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> / AHG/AH <sup>+</sup>
		Taux d'hum. %	AH/AF	H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> /H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> /AH	H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> /MHT	H <sub>2</sub> /AH	Taux d'hum. %	AHG/AHB	AHG/AH <sup>+</sup>	AHG/MHT <sup>+</sup>	
DF												
401	46,1	50,0	3,0	0,19	16%	12%	4%	23,3	2,22	62%	48%	0,26
402	13,4	63,3	3,3	0,19	16%	12%	0%	8,7	2,67	62%	41%	0,26

(voir Fig. 2)

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



Ce sol hydromorphe d'altitude a un taux élevé de matière organique totale en surface, qui décroît assez rapidement dès 20 cm de profondeur. Cette matière organique est bien humifiée (nous avons vu que l'hydromorphie provoquait un taux élevé d'humification), mais le pyrophosphate n'en extrait qu'assez peu. Ce sol ne contient pas beaucoup d'acides fulviques, à peine 1/4 de l'humus total et pourtant, dans ce milieu très acide (pH = 4,8 environ), on aurait pu penser que les formes très solubles de l'humus seraient prédominantes. Il n'en est rien et la méthode TIURIN nous indique surtout des acides humiques mobiles (près de 65% de l'humus total) dans l'horizon supérieur comme dans le 2<sup>ème</sup> horizon. Ces H<sub>1</sub> sont dans de bonnes conditions pour se former et se maintenir : milieu très acide, à 50% d'éléments fins, à capacité d'échange moyenne, mais à taux de Ca<sup>++</sup> échangeable peu élevé, et à complexe absorbant saturé seulement à 40%. Ce milieu, par contre, n'est pas favorable à la formation des acides humiques liés, et ceux-ci ne représentent que 12% de l'humus total, bien que la kaolinite n'entre que pour 30% dans la fraction argileuse, et l'illite pour 70%.

Mais, dans ce sol hydromorphe, on est un peu surpris de constater que l'électrophorèse met en évidence une telle quantité d'acides humiques gris car, en principe, l'hydromorphie gêne la polymérisation, et nous avons affaire à un sol bien arrosé (1500 mm) ; il faut croire que les conditions climatiques d'altitude permettent quand même cette polymérisation car on constate, d'autre part, la faible proportion d'acides humiques bruns. On peut donc encore se demander dans quelle mesure une partie des acides humiques libres, facilement extractibles, subit une certaine polymérisation, tout en n'étant pas liée chimiquement à la fraction minérale.

Le cas de ce sol hydromorphe est un des plus caractéristiques où liaisons et polymérisation sont loin d'être synonymes, même si l'on suppose que la soude a engendré des artefacts qui entreraient dans les fractions mobiles ; là encore on peut penser à une pseudo-polymérisation due à la présence du fer, les substances formées étant peu liées à l'argile et facilement solubles dans la soude. Il n'en reste pas moins que le taux d'acides humiques gris en valeur absolue est supérieure au taux de H<sub>2</sub> + H<sub>3</sub>, alors que la soude extrait quantitativement, en général, deux fois plus d'humus que le pyrophosphate.

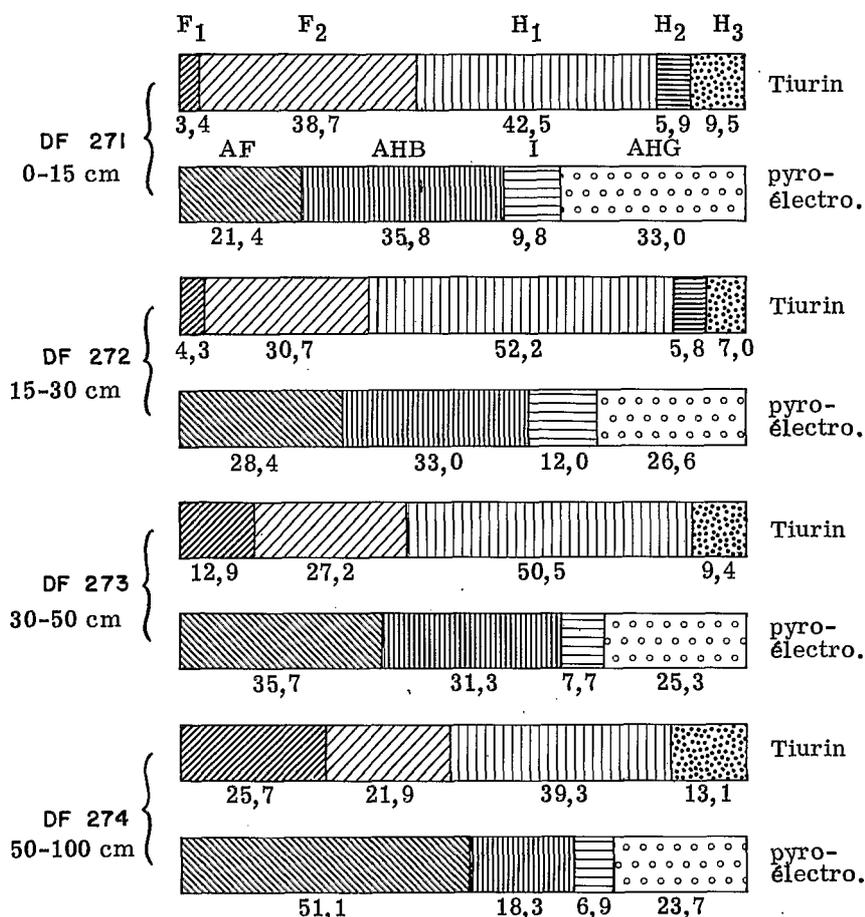
## 12. Sol lessivé faiblement podzolique humifère (DF 27)

- . Emplacement : pente forte d'exposition S.W., du massif de Mouadjen Roumi (environ de Tabarka) - Tunisie. Altitude : 150 m.
- . Roche-mère : grès et argile de l'oligocène.
- . Végétation : chêne-liège dégradé (incendie).
- . Climat : pluviométrie : 1 050 à 1 100 mm - température moyenne annuelle : 17°5.
- . Description du profil :
  - 0 - 15 cm Gris très foncé, humifère ; sablo-limoneux ; structure finement grumeleuse peu développée ; très friable ; très abondants grains de sables décapés ; radicelles abondantes.
  - 15 - 30 cm Brun-gris très foncé ; assez humifère ; sablo-limoneux, structure grumeleuse très peu développée ; friable ; racines abondantes.
  - 30 - 50 cm Brun-gris foncé ; peu humifère ; sablo-limoneux ; structure grumeleuse peu développée ; friable ; gros blocs de grès.
  - 50 - 110 cm Brun-jaune ; très peu humifère ; sablo-limoneux, structure moyennement nuciforme à polyédrique assez développée ; gros blocs de grès.
  - 110 - 130 cm Jaune brunâtre ; tacheté d'ocre-rouge ; sablo-argileux.
  - > 130 cm Brun très pâle ; texture équilibrée ; pseudogley assez intense.

N <sup>OS</sup>	C total % <sub>σ</sub>	Méthode TIURIN						Pyro-électrophorèse			H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> / AH AHG/AH'	
		Taux d'hum. %	AH/AF	H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> /H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> /AH	H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> /MHT	H <sub>2</sub> /AH	Taux d'hum. %	AHG/AHB	AHG/AH'		AHG/MHT'
DF												
271	45,8	39,5	1,4	0,36	27%	15%	10%	11,8	0,92	42%	33%	0,63
272	21,4	49,6	1,9	0,25	20%	13%	9%	20,9	0,80	37%	27%	0,53
273	15,1	21,1	1,5	0,19	16%	9%	0	12,1	0,81	39%	25%	0,40
274	3,6	57,2	1,1	0,33	25%	13%	0	36,4	1,29	48%	24%	0,52

(voir Fig. 3)

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



Ce sol lessivé, faiblement podzolique, a une teneur régulièrement décroissante en matière organique totale et un taux d'humification assez élevé dans tout le profil. La répartition acides humiques—acides fulviques n'est pas très différente tout le long du profil, les acides humiques représentant de 52 à 65% de l'humus total. La méthode TIURIN nous donne une forte proportion d'acides humiques libres H<sub>1</sub> et très peu d'acides humiques liés ; les liaisons avec la fraction minérale paraissent difficilement réalisables dans ce milieu acide (pH moyen = 5,3 environ), pauvre en éléments fins, à capacité d'échange faible, à taux de saturation qui va en diminuant avec la profondeur, et à 70% de kaolinite dans la fraction argileuse. Malgré cela, l'électrophorèse nous révèle autant d'acides humiques gris que d'acides humiques bruns. La polymérisation s'effectue donc dans ce milieu, nous l'avons déjà remarqué pour des podzols de France, et l'on peut supposer encore ici que la texture sableuse facilite la polymérisation, d'autant que ce sol est situé en zone méditerranéenne, soumise à une saison sèche et chaude relativement importante. La présence d'acides humiques bruns dans ce sol nous paraît tout à fait normale, mais elle est très inférieure à celle des acides humiques libres et il faut alors imaginer qu'une partie de ces H<sub>1</sub>, bien que n'étant pas liés aux colloïdes minéraux, a atteint un certain degré apparent de polymérisation dû vraisemblablement à la solubilisation du Fe.

Fig. 2

POURCENTAGE DES DIFFERENTS ACIDES HUMIQUES PAR RAPPORT AUX ACIDES HUMIQUES TOTAUX

SOLS DE PAYS MÉDITERRANÉENS

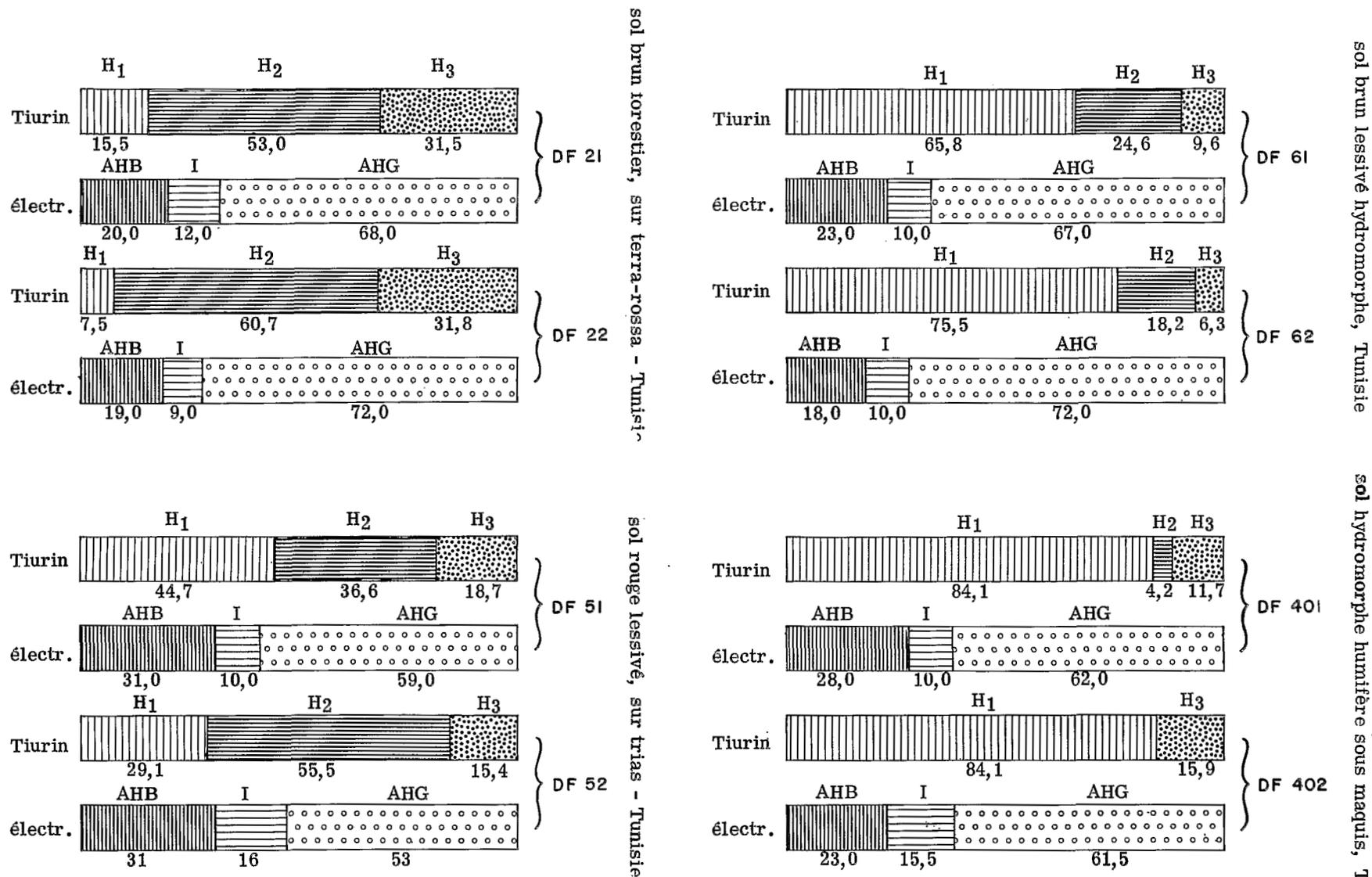
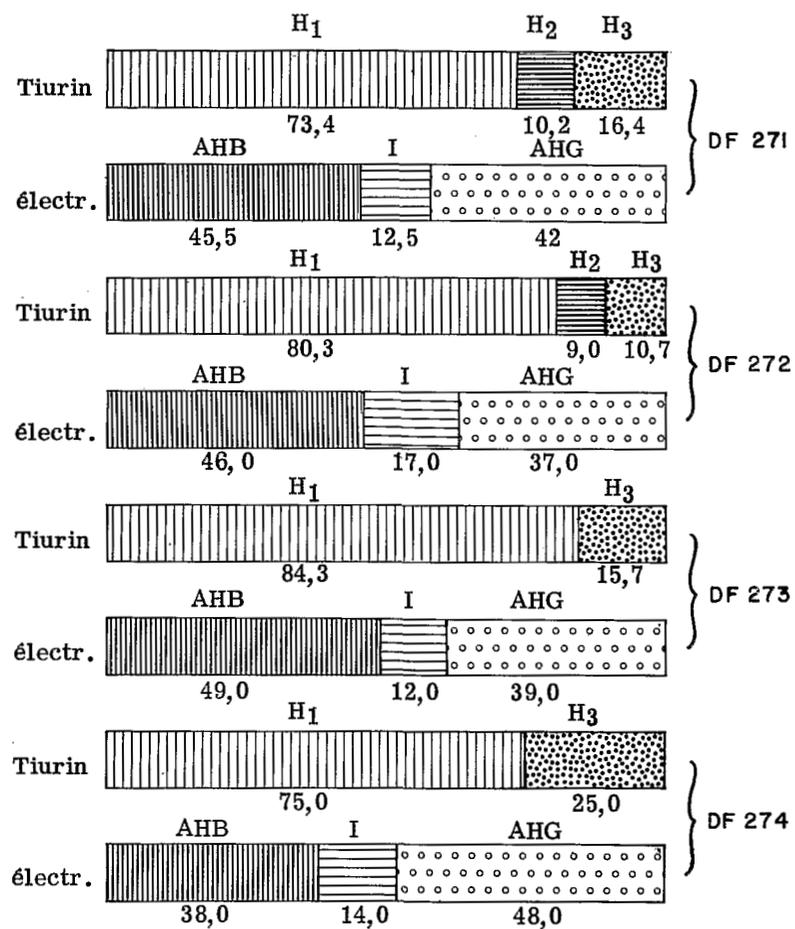


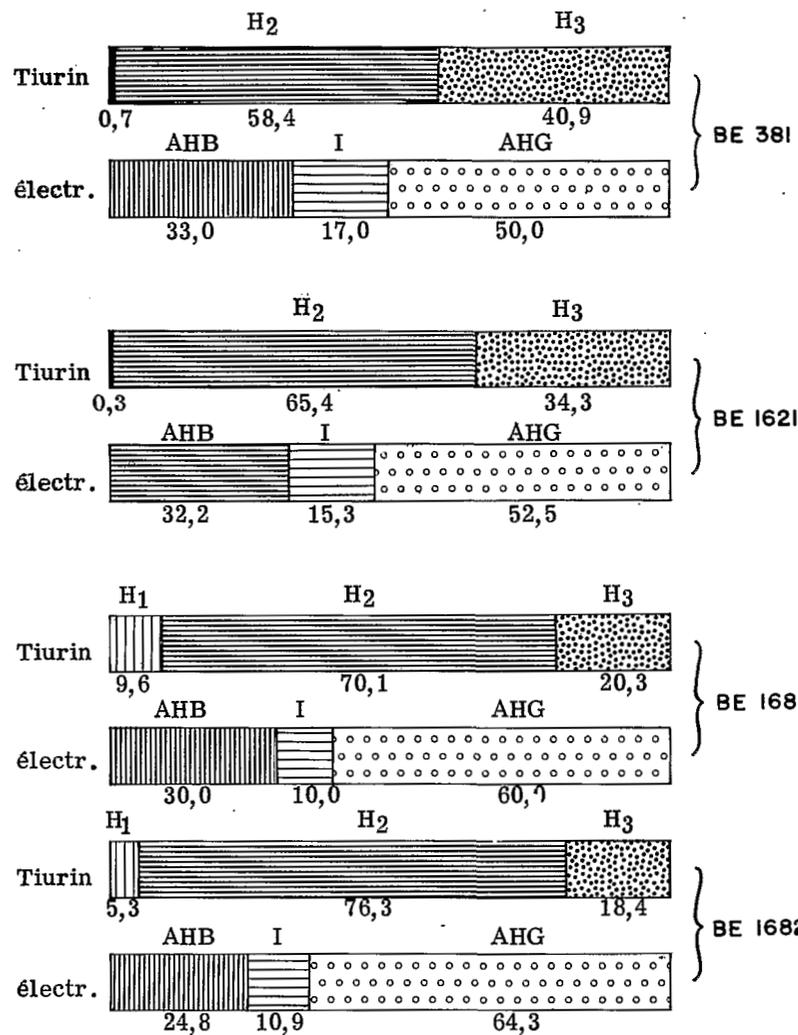
Fig. 3

POURCENTAGE DES DIFFERENTS ACIDES HUMIQUES PAR RAPPORT AUX ACIDES HUMIQUES TOTAUX

SOLS DE PAYS MÉDITERRANÉENS



sol lessivé podzolique humifère sur grès oligocène - Tunisie.

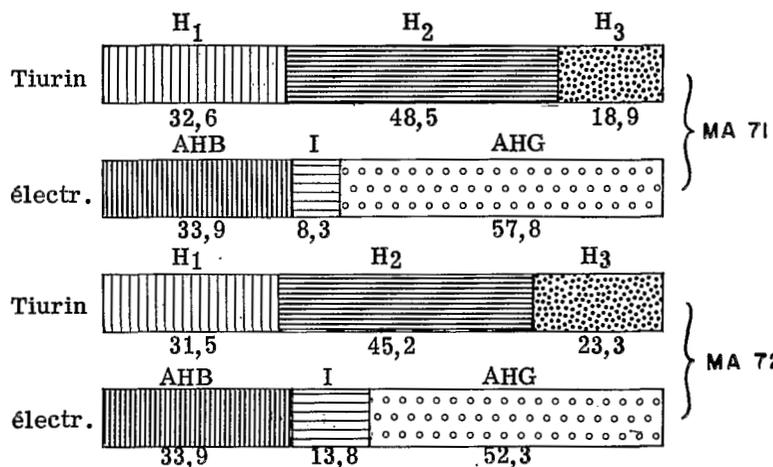


vertisol lithomorphe typique - Tunisie.  
 vertisol topolithomorphe gris - Tunisie.  
 sol brun calcaire, sur marnes miocènes - Tunisie.

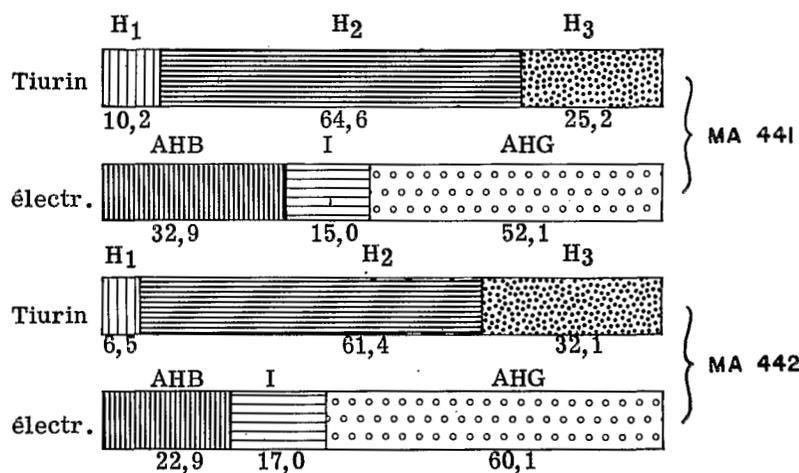
Fig. 4

POURCENTAGE DES DIFFERENTS ACIDES HUMIQUES PAR RAPPORT AUX ACIDES HUMIQUES TOTAUX

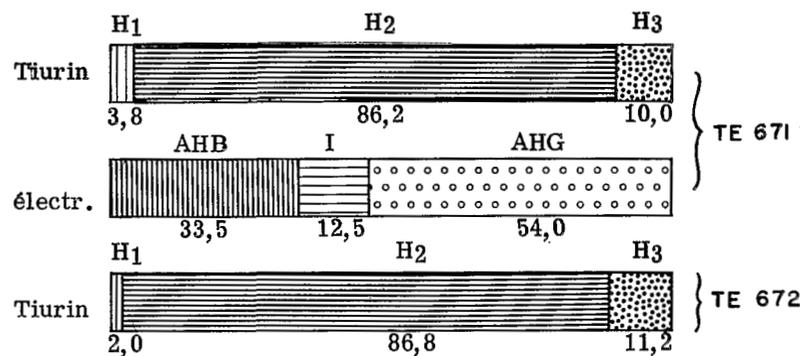
SOLS DE PAYS MÉDITERRANÉENS



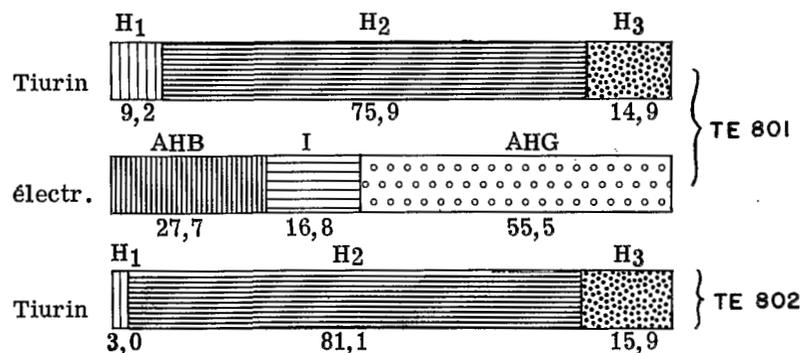
sol rouge méditerranéen typique sur limons rouges du quaternaire - Tunisie.



sol rouge méditerranéen tirsiifié, sur grès pliocènes - Tunisie.



sol brun steppique sableux, sur grès et sables oligocènes - Tunisie



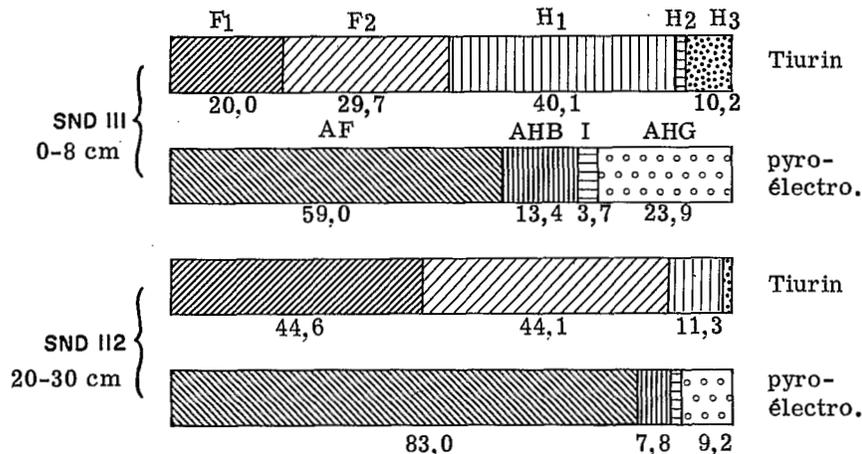
sol peu évolué, non climatique, sur limons récents - Tunisie

### III - SOLS DE PAYS TROPICAUX

#### 1. Sol rouge ferrallitique, sur basalte andésite (SND 11)

- . Emplacement : à 28 km au nord de N'GAOUNDERE - Cameroun.
- . Roche-mère : basalte - andésite.
- . Situation topographique : altitude 1 485 m - zone subhorizontale - dos de coulée ancienne.
- . Végétation : savane arbustive - utilisation : pâturages.
- . Climat : pluviométrie : 1 500 mm - une seule saison des pluies - température moyenne annuelle : 23°.
- . Description du profil :
  - 0 - 8 cm Horizon brun-rouge foncé ; argileux ; bonne porosité ; cohésion moyenne ; nombreuses racines ; structure polyédrique.
  - 20 - 30 cm Rouge foncé ; argileux ; bonne porosité ; cohésion moyenne ; quelques racines ; structure polyédrique.
  - 30 - 90 cm Rouge foncé ; argileux ; structure polyédrique ; cohésion faible ; peu de racines ; porosité bonne.
  - 90 - 180 cm Rouge foncé ; argileux ; apparition de gravillons - structure polyédrique ; cohésion faible ; porosité bonne ; plus de racines.
  - 180 - 330 cm Rouge foncé ; argileux ; nombreux gravillons ; structure polyédrique ; cohésion moyenne ; porosité moyenne.
  - 330 - 550 cm Rouge foncé ; argileux avec beaucoup de débris de basalte argilisé en rouge-vert et bleuâtre ; cohésion moyenne à forte, porosité faible ; légèrement humide.
  - > 550 cm Blocs de basalte, peu altérés au centre.

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



N <sup>os</sup>	C total ‰	Méthode TIURIN						Pyro-électrophorèse			H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> / AH AHG/AH'	
		Taux d'hum. %	AH AF	H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> AH	H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> Mht	H <sub>2</sub> AH	Taux d'hum. %	AHG AHB	AHG AH'		AHG Mht'
SND												
111	29,6	38,2	1,0	0,26	20%	10%	4%	22,2	1,78	58%	24%	0,35
112	15,0	33,8	0,1	0,16	14%	2%	0	23,9	1,57	54%	9%	0,26

(voir Fig.5)

La matière organique est très abondante dans l'horizon de surface (supérieure à 5%), mais a diminué de moitié à 25 cm. Les taux d'humus suivent à peu près ceux de la matière organique représentés par 1/3 environ de celle-ci, mais la composition de l'humus de ces 2 horizons est différente par les proportions variables entre acides humiques et acides fulviques, presque identiques d'ailleurs entre les 2 extractions. Pour l'horizon de surface, où la vie biologique est très active et les débris végétaux très nombreux, la méthode TIURIN nous donne une proportion d'acides humiques égale à celle des acides fulviques (avec 20% de F<sub>1</sub> pour 30% de F<sub>2</sub>) ; et dans la fraction acides humiques, ce sont les acides humiques libres qui dominent (40% de H<sub>1</sub> pour 10% de H<sub>2</sub> + H<sub>3</sub>) : le pH acide (5,6), le taux de saturation du complexe absorbant très bas (32%), la faible proportion de Ca<sup>++</sup> échangeable et la présence à 100% de kaolinite, ne sont évidemment pas favorables à la formation des H<sub>2</sub>.

Par contre, l'électrophorèse révèle un certain pourcentage d'acides humiques gris, aussi bien dans l'extraction au pyrophosphate qu'à la soude, les répartitions entre gris, intermédiaires et bruns sont les mêmes dans ces deux extractions, ce qui prouve également dans ce cas que les acides humiques dits "libres" de la méthode TIURIN peuvent contenir jusqu'à 60% d'acides humiques gris, c'est-à-dire d'acides humiques ayant atteint un certain degré de polymérisation.

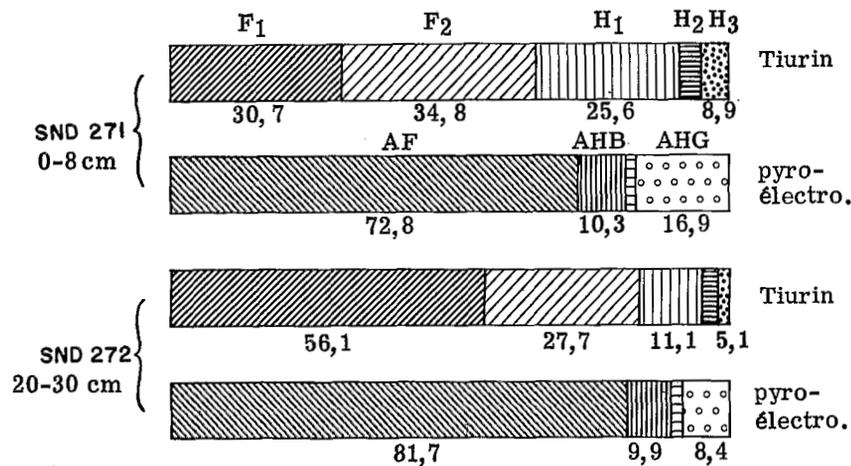
Le 2ème horizon (112) a un très fort pourcentage d'acides fulviques (plus de 80% de l'humus total) : ceci semble dû aux très faibles liaisons avec la fraction minérale, malgré la présence de 78% d'argile, et sans doute au fait que ces acides fulviques migrent facilement de la surface vers la profondeur. L'humus reste donc sous forme de composés solubles, ne pouvant se fixer, tout comme les cations, car le taux de saturation du complexe absorbant n'est ici que de 8%. Il y a donc très peu d'acides humiques que l'on retrouve encore sous la forme de H<sub>1</sub> ; de même pour l'extraction au pyrophosphate, très fort pourcentage d'acides fulviques, très faible proportion d'acides humiques dans laquelle on retrouve pour moitié des acides humiques gris. D'après DABIN, cette forte polymérisation serait due en partie à des conditions climatiques (longue saison sèche) un peu particulières à ces sols ferrallitiques du Cameroun, et la présence d'acides humiques gris ne se retrouve pas nécessairement pour d'autres sols ferrallitiques, type ceux de Côte d'Ivoire (sous une pluviométrie plus abondante et mieux répartie) ; en outre, la richesse en Fe, et peut-être en Al, agit sur la migration électrophorétique des acides humiques. DUCHAUFOR et JACQUIN (1966) pensent que dans ce type de sol une importante fraction de l'humus serait bloquée sous forme d'humine qui résulterait d'une insolubilisation et d'une polymérisation d'une partie des acides humiques par les sesquioxides.

## 2. Sol ferrallitique typique, sur granite (SND 27)

- . Emplacement : près de N'GAOUNDERE - Cameroun.
- . Roche-mère : granite.
- . Situation topographique : zone plane (pente : 0 à 1%) - altitude 1 115 m.

- . Végétation : savane graminéenne - utilisation : pâturages.
- . Climat : pluviométrie : 1500 mm ; une seule saison des pluies - température moyenne annuelle : 23° environ.
- . Description du profil :
  - 0 - 8 cm Brun foncé ; sablo-argileux ; matière organique abondante, très nombreuses racines ; structure grenue ; cohésion moyenne ; porosité bonne.
  - 20 - 30 cm Rouge-brun ; texture gravillonnaire (graviers quartzeux, ferruginisés et gravillons latéritiques), quelques racines ; structure granulaire ; cohésion moyenne ; porosité bonne.
  - 50 - 60 cm Rouge-jaune ; texture gravillonnaire (comme 272) ; structure granulaire ; cohésion moyenne ; porosité moyenne.
  - 100 - 110 cm Rouge ; argilo-sableux et gravillonnaire (concrétions latéritiques ; nodules ; débris de granite argilisé) ; structure polyédrique ; cohésion moyenne ; légèrement humide ; porosité faible.
  - 200 - 210 cm Rouge ; argilo-sableux ; plus de concrétions mais du quartz anguleux, imprégné de fer ; structure polyédrique ; cohésion moyenne ; légèrement humide ; porosité faible.
  - 340 - 350 cm Rouge ; argilo-sableux ; quartz et feldspaths altérés ; structure polyédrique ; cohésion moyenne ; légèrement humide ; porosité faible.

*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			$\frac{H_2+H_3}{AHG/AH'}$	
		Taux d'hum. %	$\frac{AH}{AF}$	$\frac{H_2+H_3}{H_1}$	$\frac{H_2+H_3}{AH}$	$\frac{H_2+H_3}{MHT}$	$\frac{H_2}{AH}$	Taux d'hum. %	$\frac{AHG}{AHB}$	$\frac{AHG}{AH'}$		$\frac{AHG}{MHT'}$
SND 271	23,3	37,1	0,5	0,35	26%	9%	12%	21,8	1,95	62%	17%	0,41
272	13,5	33,4	0,2	0,46	32%	5%	18%	25,5	1,12	46%	8%	0,68

(voir Fig. 5)

Ce sol ferrallitique, du point de vue matière organique ressemble beaucoup au précédent : teneur élevée en matière organique totale pour l'horizon supérieur, nette diminution pour le 2ème horizon, taux d'humification à peu près semblables. La répartition des fractions humiques par la méthode TIURIN n'est pas très différente bien qu'il y ait une plus grande proportion d'acides fulviques en surface (65%), le 1/3 de l'humus est donc sous forme d'acides humiques dont la plus grande partie en H<sub>1</sub>. Même remarque que pour le profil précédent à propos de l'électrophorèse des acides humiques : celle-ci effectuée sur la fraction H<sub>1</sub> nous donne 56% d'acides humiques gris, il faut donc admettre que ces acides humiques libres peuvent être en grande partie polymérisés avec certainement fixation de sesquioxides. De même pour l'horizon 272, les répartitions sont très semblables à celles du 112 : plus de 80% d'acides fulviques, donc une très faible proportion d'acides humiques, ici aussi dans la fraction directement extractible par la soude, nommée H<sub>1</sub> dans la méthode TIURIN, la moitié des acides humiques est constituée d'acides humiques gris, donc déjà fortement polymérisés.

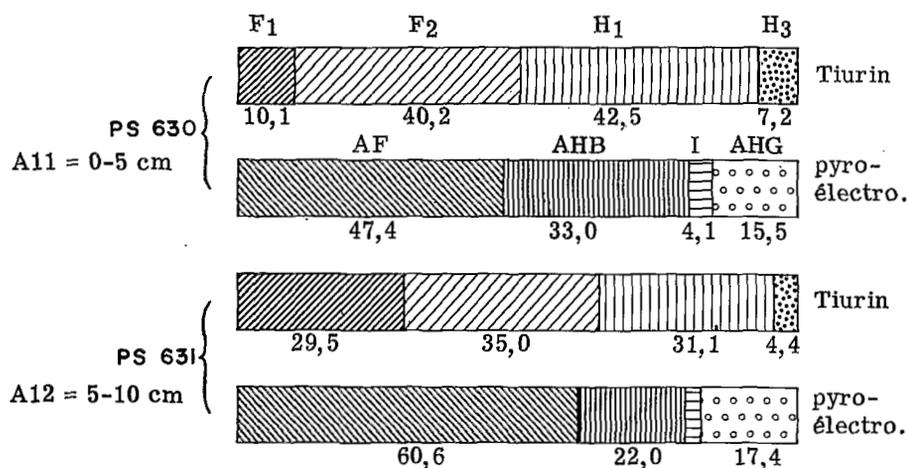
On observe à peu près la même répartition des acides humiques bruns, acides humiques intermédiaires et acides humiques gris pour les électrophorèses effectuées à partir d'une extraction des acides humiques que ce soit par le pyrophosphate de Na ou par la soude. Cependant, en valeur absolue, la soude en extrait beaucoup plus que le pyrophosphate de Na dans l'horizon supérieur ; on pourrait supposer qu'il y a en partie fabrication d'artefacts à partir du matériel végétal non décomposé, alors que dans le 2ème horizon le pyrophosphate en extrait autant que la soude ; mais la répartition des différents acides humiques reste toujours à peu près la même, comme JACQUIN l'avait fait remarquer (1963), et les artefacts portent généralement sur les acides fulviques, donc c'est uniquement le pouvoir d'extraction qui diffère. Dans ces sols ferrallitiques, on peut donc penser, d'après les données de DUCHAUFOUR et JACQUIN, que la formation d'acides humiques liés a effectivement lieu, mais ceux-ci sont presque entièrement bloqués par les hydroxydes, dont la teneur est souvent élevée dans ces sols avec parfois une grande quantité à l'état amorphe. Ceci aboutit à l'humine qui représenterait dans ce cas un terme ultime d'évolution de la matière organique, cette humine résistant aux extractions sodiques. Ainsi, l'humus extrait des sols ferrallitiques nous apparaît comme essentiellement constitué de fractions solubles, c'est-à-dire d'acides fulviques et d'acides humiques mobiles (H<sub>1</sub>), les acides humiques liés à la fraction minérale étant trop fortement retenus pour passer en solution, du moins par les méthodes utilisées. On sait, en effet, qu'une attaque acide relativement concentrée (4N) et répétée, peut libérer du fer pendant plusieurs jours. Il est donc normal de penser que la méthode TIURIN (et *a fortiori* le pyrophosphate de Na), par laquelle les acides humiques liés aux hydroxydes sont libérés par deux attaques seulement de SO<sub>4</sub>H<sub>2</sub> N/2, est loin de détruire entièrement les liaisons humus-argile-hydroxydes, et une partie de la matière organique reste donc fortement retenue, et non libérable par les solvants couramment utilisés. C'est pourquoi on peut en faire une fraction spéciale de la matière organique que pour le moment on dénomme humine, avant de connaître exactement sa formation et sa constitution. En fait donc, une partie des acides humiques liés à Fe et Al est extractible directement par la soude, l'autre partie ou humine ne peut être extraite qu'après des prétraitements acides très énergiques qui dépolymérisent partiellement les matières humiques.

### 3. Sol jaune faiblement ferrallitique (PS 63) - (STAIMESSE, 1967)

- . Emplacement : Oussouye, région de la Casamance, Sénégal.
- . Roche-mère : sables et grès argileux du mio-pliocène (dépôts du Continental Terminal).
- . Situation topographique : plateau plat - pente < à 1%.
- . Végétation : forêt primaire - litière importante, peu ou pas mêlée à la fraction minérale.

- . Climat : "sub-guinéen" - pluviométrie  $\neq$  1800 mm - saison sèche : 6 mois - température moyenne annuelle : 26°6.
- . Description du profil :
  - 0 - 12 cm Gris-beige ; humifère ; finement sableux ; grumeleux ; très poreux ; fines racines.
  - 12 - 70 cm Beige-jaune ; sableux ; faiblement argileux ; structure continue à débit subangulaire ; poreux.
  - 70 - 180 cm Gris-jaune plus clair ; argilo-sableux ; structure massive à débit subangulaire ; moyennement poreux ; enracinement nul.
  - 180 - 240 cm Gris-jaune clair ; argilo-sableux ; structure massive à débit subangulaire ; moyennement poreux ; enracinement nul. Apparition de petites taches ocre-rouille.
  - >500 cm Grès ferrugineux altéré.

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



N <sup>os</sup>	C total %	Méthode TIURIN						Pyro-électrophorèse				H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> / AHG/AH'
		Taux d'hum. %	AH/AF	H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> /H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> /AH	H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> /MHt	H <sub>2</sub> /AH	Taux d'hum. %	AHG/AHB	AHG/AH'	AHG/MHt'	
PS 630	13,0	36,5	1,0	0,17	14%	7%	0	14,9	0,47	29%	15%	0,49
631	5,3	34,0	0,6	0,14	13%	4%	0	24,0	0,92	44%	17%	0,28

(voir Fig.5)

Ce sol ferrallitique sous forêt n'est pas très riche en matière organique ; elle diminue extrêmement rapidement de la surface à 10 cm de profondeur ; la texture grossièrement sableuse de ce sol en est, en grande partie, la cause. L'humification n'est pas très élevée (35% pour les 10 premiers cm), malgré une litière abondante, la matière organique se transforme peu en humus et la minéralisation, sous de telles conditions climatiques, doit être très active. Les deux méthodes d'extraction de l'humus nous donnent, proportionnellement à l'humus total extrait, les mêmes pourcentages d'acides fulviques et d'acides humiques pour chacun des deux

prélèvements étudiés. L'horizon directement en contact avec la litière présente un bon équilibre entre acides humiques et acides fulviques ; le taux d'acides fulviques augmente avec la profondeur, ce qui nous paraît normal pour un sol ferrallitique. Dans ce milieu très sableux, les acides fulviques ont tendance à migrer vers le bas et, malgré l'accroissement du taux d'argile avec la profondeur, les acides humiques diminuent.

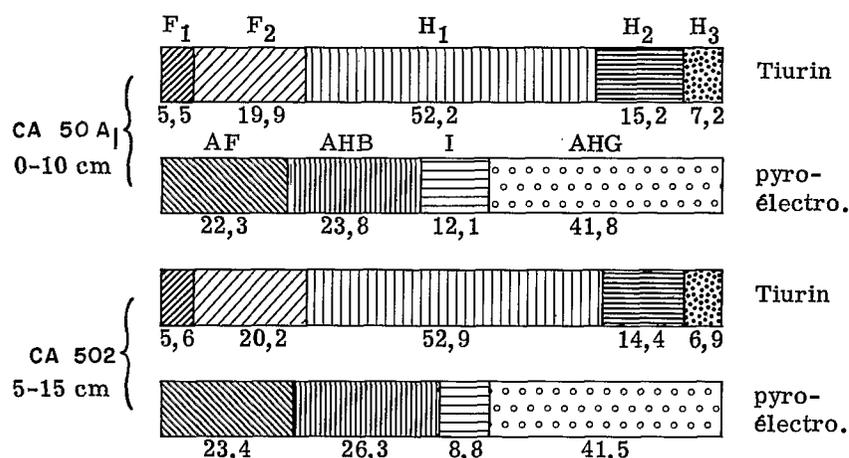
La méthode TIURIN extrait essentiellement des acides humiques libres (H<sub>1</sub>) et très peu de H<sub>3</sub> ; il n'y a pas du tout de H<sub>2</sub>, ceux-ci ne peuvent se former : le milieu est fortement acide (pH = 4,6 en moyenne), le complexe absorbant est très fortement désaturé (59% en A<sub>11</sub>, 23% en A<sub>12</sub>) et le taux de Ca<sup>++</sup> échangeable est très faible. La kaolinite représente 100% de la fraction argileuse. La proportion d'acides humiques liés par rapport aux acides humiques totaux est à peu près la même en A<sub>11</sub> et en A<sub>12</sub>, elle est très faible, il n'y a aucune liaison possible entre les acides humiques et le Ca<sup>++</sup>, vues les conditions du milieu. Par contre, l'électrophorèse nous révèle un certain degré de polymérisation : les acides humiques gris représentent respectivement 15 et 17% de l'humus total extrait, en A<sub>11</sub> et en A<sub>12</sub> ; les acides humiques bruns sont largement représentés en A<sub>11</sub> (33%), moins bien en A<sub>12</sub> (22%). De plus, une électrophorèse effectuée directement sur un extrait à la soude, c'est-à-dire correspondant aux H<sub>1</sub> de la méthode TIURIN, nous donne aussi un certain pourcentage d'acides humiques gris, dans les mêmes proportions exactement qu'une électrophorèse effectuée sur un extrait pyro. Nous sommes donc obligés d'admettre que, dans ce cas comme dans le cas des podzols et des sols ferrallitiques, la fraction acides humiques libres de la méthode TIURIN peut être en partie polymérisée, l'absence de liaison avec la fraction minérale ne voulant pas dire nécessairement faible polymérisation ; en A<sub>12</sub> on peut estimer que la moitié des H<sub>1</sub> est sous forme d'acides humiques gris. Nous ne pouvons attribuer cette polymérisation qu'aux conditions climatiques, la longue saison sèche (6 mois environ) favorisant la formation d'acides humiques gris, en même temps qu'une forte minéralisation de la matière organique.

#### 4. Sol rouge ferrallitique faiblement désaturé (CA 50) - (FAUCK, SEGUY, TOBIAS, 1969)

- . Emplacement : station de la SODAICA - SEFA - Casamance, Sénégal.
- . Roche-mère : matériaux argilo-sableux, du miopliocène.
- . Situation topographique : en sommet de crête, au début d'une large pente de l'ordre de 2%.
- . Végétation : savane arborée assez dégradée (par les feux de brousse).
- . Climat : soudano-sahélien à influence maritime - pluviométrie : 1 350 mm (une seule saison des pluies de 5 mois) - température annuelle moyenne : 27°.
- . Description du profil :
  - 0 - 3 cm Gris-clair ; sableux ; structure nuciforme à grumeleuse ; cohésion faible ; porosité élevée.
  - 5 - 15 cm Gris-rougeâtre ; sableux très légèrement argileux ; structure polyédrique moyennement développée ; activité biologique intense.
  - 15 - 25 cm Transition progressive.
  - 25 - 35 cm Rouge-brun ; sableux légèrement argileux ; structure faible à moyenne développée, type polyédrique ; cohésion faible à moyenne.
  - 60 - 80 cm Rouge ; sablo moyennement argileux ; structure massive ; cohésion moyenne à faible ; présence de pseudo-sables.

- 100 - 120 cm Rouge ; argilo-sableux ; cohésion de l'horizon nettement plus forte ; friabilité très faible ou inexistante ; enracinement encore important bien réparti.
- 150 - 170 cm Rouge ; argileux, avec revêtements ; gros quartz altérés ; cohésion la plus élevée du profil.
- 200 - 220 cm Rouge ; argileux ; avec revêtements.
- 280 - 300 cm Présence de petites concrétions argileuses, quelques racines, nombreux grains de quartz.
- > 370 cm Début de bariolage.
- > 480 cm Rouge ; argileux ; avec quelques zones bien délimitées gris verdâtres, parfois sables blancs.

*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			H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> /AH/AHG/AH'	
		Taux d'hum. %	AH/AF	H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> /H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> /AH	H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> /MHT	H <sub>2</sub> /AH	Taux d'hum. %	AHG/AHB	AHG/AH'		AHG/MHT'
CA												
50 A <sub>1</sub>	11,5	44,6	2,9	0,43	30%	22%	20%	24,5	1,76	54%	42%	0,56
502	8,2	44,0	2,9	0,40	29%	21%	19%	25,0	1,57	54%	41%	0,53

(voir Fig. 6)

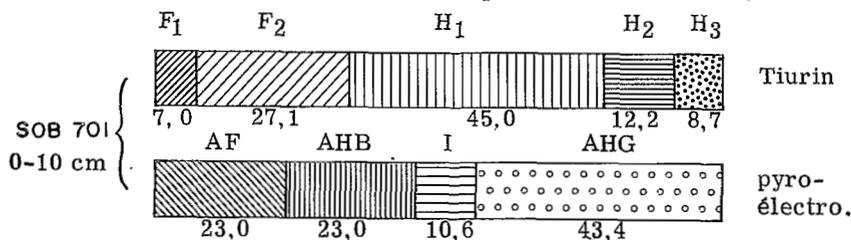
Ce sol rouge n'est pas très riche en matière organique totale, la teneur de l'horizon de surface est faible, mais les taux d'humification atteignent 44% par la méthode TIURIN, dans les 2 horizons étudiés. Les 3/4 de cet humus sont sous forme d'acides humiques, aussi bien pour chacun des horizons et pour chacune des méthodes utilisées. La méthode TIURIN nous montre que les acides humiques sont formés essentiellement de H<sub>1</sub>, pour plus de 50% de l'humus total, H<sub>2</sub> + H<sub>3</sub> ne constituant que 20% ; les acides humiques liés ne se forment pas aisément dans ce milieu faiblement acide, à capacité d'échange faible, à taux de kaolinite égal à 100% de la fraction argileuse. Par contre, l'électrophorèse révèle une forte proportion d'acides humiques gris (42% de l'humus total en moyenne) et environ 26% d'acides humiques bruns ;

on remarque donc ici aussi une nette prédominance des acides humiques gris sur les acides humiques liés. On doit donc admettre, comme dans le cas des sols ferrallitiques déjà examinés, qu'une certaine proportion d'acides humiques libres (H<sub>1</sub>) a subi une pseudo-polymérisation, peut-être à cause du fer, qui n'empêche pas la dissolution des acides humiques dans la soude, mais ralentit fortement la migration électrophorétique, laissant croire à une forme de polymérisation. De toute manière, le fer de ces sols entrave vraisemblablement la formation des liaisons humus-matière minérale et l'on retrouve la plus grande partie des acides humiques libres, non liés, ce qui ne veut pas dire non polymérisés.

## 5. Sol rouge ferrallitique faiblement désaturé (SOB 70)

- . Emplacement : près du village de Badi - Sénégal oriental.
- . Roche-mère : continental terminal (argile sableuse plus ou moins tachetée).
- . Végétation : savane à Combretum et Andropogon.
- . Climat : domaine soudanien - pluviométrie : 1 000 mm - saison sèche de 7 mois - température moyenne annuelle : 28°.
- . Description du profil :
  - 0 - 10 cm Brun-rouge, plus foncé sur les 3 premiers cm ; sableux ; structure fondue à débits polyédriques plus ou moins aplatis ; racines.
  - 10 - 22 cm Brun-rouge ; sableux ; structure fondue, débits à tendance polyédrique ; cohésion faible ; racines.
  - 22 - 37 cm Rouge jaune ; sableux, faiblement argileux ; structure polyédrique moyenne assez bien développée ; cohésion moyenne ; quelques racines.
  - 37 - 70 cm Rouge ; sableux à sablo-argileux ; structure polyédrique moyenne à grossière bien développée ; cohésion moyenne à forte ; activité faunistique (galeries, etc.)
  - 70 - 110 cm Rouge ; argileux à argilo-sableux ; structure polyédrique moyenne à fine bien développée ; cohésion forte ; présence de revêtements argileux.
  - 110 - 135 cm Rouge ; structure polyédrique plus fine ; revêtements argileux.
  - 135 - 170 cm Identique au précédent ; porosité moyenne.
  - 170 - 205 cm Rouge légèrement plus clair, à la base taches rouges plus foncées à peine visibles.

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



N <sup>os</sup>	C total ‰	Méthode TIURIN						Pyro-électrophorèse			H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> / AH AHG/AH'	
		Taux d'hum. ‰	$\frac{AH}{AF}$	$\frac{H_2+H_3}{H_1}$	$\frac{H_2+H_3}{AH}$	$\frac{H_2+H_3}{MHT}$	$\frac{H_2}{AH}$	Taux d'hum. ‰	$\frac{AHG}{AHB}$	$\frac{AHG}{AH'}$		$\frac{AHG}{MHT'}$
SOB 701	5,8	39,5	1,9	0,47	32%	21%	19%	19,5	1,88	56%	43%	0,56

(voir Fig. 6)

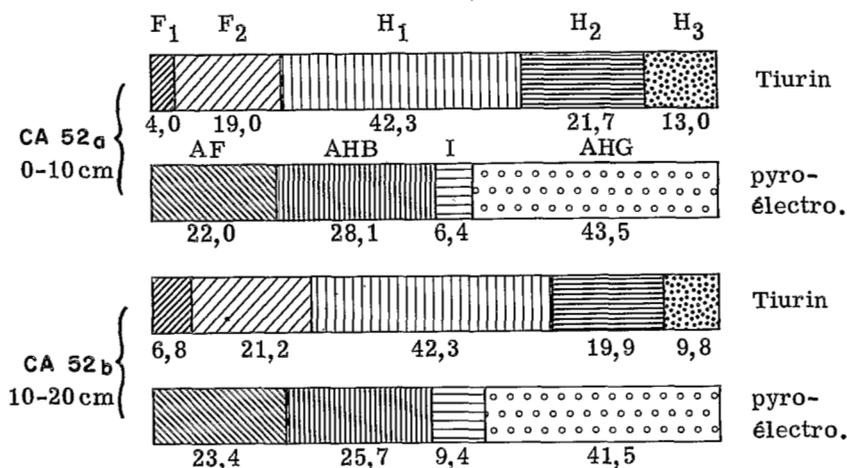
Ce sol rouge est moins riche en matière organique totale que le précédent, étant sous savane, mais le taux d'humification TIURIN atteint 40% ; il n'est que de 20% pour l'extraction au pyrophosphate de Na. La méthode TIURIN donne le schéma suivant : 1/3 d'acides fulviques (dont les 4/5 en F<sub>2</sub>) pour 2/3 d'acides humiques ; ces acides humiques comprennent des H<sub>1</sub> pour les 2/3, et 1/3 seulement d'acides humiques liés. Ce schéma est tout à fait identique au sol de Casamance vu précédemment : peu de H<sub>2</sub> se forment dans ce milieu légèrement acide (pH : 6,1), à capacité d'échange très faible, à taux de Ca<sup>++</sup> échangeable réduit, à complexe absorbant saturé à 80% et à taux de kaolinite à 100% de la fraction argileuse. Le fer paraît encore mieux individualisé dans ce profil, les liaisons fer-argile seront d'autant plus stables et les possibilités de liaison argile-humus réduites d'autant, à moins qu'on puisse faire la même remarque pour ces sols que pour les sols ferrallitiques proprement dits. De même, la répartition des acides humiques par l'électrophorèse effectuée à partir d'un extrait à la soude, correspondant donc, en principe, aux H<sub>1</sub> de la méthode TIURIN, nous donne presque exactement la même répartition. Donc, dans ce cas aussi, les acides humiques mobiles identifiés par la méthode TIURIN peuvent être en partie polymérisés ; là encore on peut invoquer l'action du fer sur l'électrophorèse. Pour ce type de sol, les deux méthodes de fractionnement des acides humiques présentent des différences, et leurs diverses fractions respectives ne peuvent être assimilées.

## 6. Sol ferrugineux tropical lessivé (CA 52)

- . Emplacement : station de la SODAICA - Casamance - Sénégal.
- . Roche-mère : matériaux argilo-sableux, du miopliocène.
- . Situation topographique : plateau central, pente < 1,5%
- . Végétation : forêt claire, sèche (daniella oliveri) avec un tapis herbacé de grandes andropogonées.
- . Climat : soudano-sahélien à influence maritime : pluviométrie : 1 350 mm (une seule saison des pluies de 5 mois) - température moyenne annuelle : 27°.
- . Description du profil (profil voisin de celui analysé) :
  - 0 - 6 cm Brun-gris ; humifère ; texture sableuse ; structure fortement nuciforme ; nombreuses racines et canaux d'insectes ; drainage interne bon.
  - 6 - 15 cm Brun-gris clair ; texture sablo légèrement argileuse ; structure nuciforme fine à polyédrique ; porosité bonne ; racines nombreuses.
  - 15 - 30 cm Beige-jaunâtre ; texture sablo-légèrement argileuse ; structure nuciforme ; compacité moyenne à forte.
  - 30 - 80 cm Beige à jaune rougeâtre ; texture argilo-sableuse à argileuse ; accumulation nette d'argile ; structure polyédrique ; compacité assez forte.

- 80 - 115 cm Jaune-beige ; texture argilo-sableuse ; structure nuciforme à polyédrique ; début d'individualisation de taches ferrugineuses rouges, bien délimitées.
- 115 - 150 cm Couleur de fond beige, avec bariolage rouge et ocre ; texture argilo-sableuse ; structure grossièrement polyédrique ; présence de très nombreuses taches et concrétions rouge à rouge foncé.
- > 150 cm Bariolage continu (taches gris-clair ; concrétions rouges) ; structure à tendance polyédrique.

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



N <sup>os</sup>	C total %	Méthode TIURIN						Pyro-électrophorèse				$\frac{H_2+H_3}{AHG/AH'}$
		Taux d'hum. %	$\frac{AH}{AF}$	$\frac{H_2+H_3}{H_1}$	$\frac{H_2+H_3}{AH}$	$\frac{H_2+H_3}{MHt}$	$\frac{H_2}{AH}$	Taux d'hum. %	$\frac{AHG}{AHB'}$	$\frac{AHG}{AH'}$	$\frac{AHG}{MHt'}$	
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)

Ce sol est assez riche en matière organique, tout au moins pour l'horizon de surface, mais comme beaucoup de sols tropicaux sous forêt, cette teneur diminue très brutalement et à 20 cm elle n'est plus que de moitié par rapport à la surface (5 cm). L'humification n'est pas très élevée, à peine 40% par la méthode TIURIN, et elle n'est que de 20% par l'extraction au pyrophosphate de Na, la minéralisation sous ces climats est assez forte et l'engorgement dans ce sol pas assez poussé pour que l'humus s'accumule. Cette minéralisation de la matière organique se fait d'autant mieux que les liaisons humus-matière minérale sont moins étroites : il apparaît que les taux d'humification sont plus élevés quand il y a majorité d'acides humiques liés (H<sub>2</sub> + H<sub>3</sub>), bien que nous ayons vu précédemment que probablement, dans un grand nombre de sols tropicaux, la valeur accordée aux H<sub>3</sub> soit sous-estimée du fait de l'imperfection de nos méthodes. Il semble que les liaisons humus-argile-Ca<sup>++</sup> soient plus facilement détruites que les liaisons humus-argile-hydroxydes. Les fractions humiques, données par la méthode TIURIN, se répartissent à peu près de la même façon pour les deux prélèvements : 1/4 d'acides fulviques (avec majorité de F<sub>2</sub>) pour 3/4 d'acides humiques ; ces acides

humiques sont constitués pour plus de la moitié par des H<sub>1</sub>, et les H<sub>2</sub> atteignent tout de même 20% de l'humus total : leur formation est favorisée par un pH faiblement acide, un complexe absorbant saturé, avec un fort pourcentage de Ca<sup>++</sup> échangeable. L'extraction au pyrophosphate de Na "sort" très peu d'humus mais, ramenée à l'humus total extrait, la proportion d'acides fulviques est la même, et les acides humiques se répartissent à peu près de la même façon entre acides humiques mobiles et acides humiques bruns ainsi qu'entre acides humiques liés et acides humiques gris, ceux-ci sont toutefois un peu plus importants dans chacun des deux horizons\*. On remarquera que presque toujours dans le cas des sols à kaolinite, proportionnellement le degré de polymérisation est supérieur au taux d'acides humiques liés, il faut donc supposer qu'une partie des acides humiques libres H<sub>1</sub> atteint un certain degré de polymérisation ; ici encore, la longue saison sèche favorise sans doute cette évolution.

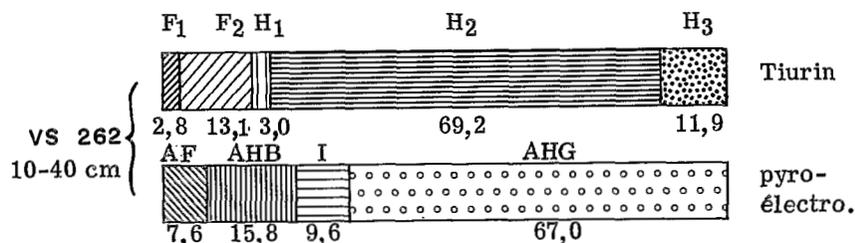
Précisons que ce sol ferrugineux a été prélevé dans la même station, à quelques mètres seulement du sol ferrallitique faiblement désaturé (CA 50). Bien que morphologiquement ces sols soient très distincts, du point de vue matière organique ils ne sont pas très différents : le CA 50 a cependant des taux d'humification un peu plus élevés. La comparaison des schémas des différentes fractions humiques nous montre seulement par la méthode TIURIN, un taux d'acides humiques liés (H<sub>2</sub> + H<sub>3</sub>) plus important dans le sol ferrugineux que dans le sol ferrallitique (pour l'horizon supérieur : 35% pour le CA 52 et 22% pour le CA 50) et un taux de H<sub>1</sub> moindre. On peut attribuer cette différence en partie au fait que le sol ferrugineux a un pH légèrement plus alcalin, un taux de Ca<sup>++</sup> échangeable plus important et un taux de saturation plus élevé que le sol ferrallitique. Par contre, l'électrophorèse ne révèle aucune différence, les schémas sont à très peu près identiques.

## 7. Sol brun eutrophe vertique (VS 262) - (KALOGA - 1965)

- . Emplacement : à 2,8 km de OUAGADOUGOU (Haute-Volta).
- . Roche-mère : matériaux argileux dérivés de schistes.
- . Situation topographique : large zone plane bordant un thalweg et formant une légère dépression dans une plaine cuirassée.
- . Végétation : savane ; parc à *faidherbia albida*.
- . Climat : sahélo-soudanais ; pluviométrie : 850 mm - une saison des pluies de 5 mois ; température moyenne annuelle : 28°5.
- . Description du profil :
  - 0 - 10 cm Brun ; humifère ; argileux ; structure prismatique moyenne à tendance polyédrique assez bien développée ; cohésion forte.
  - 10 - 39 cm Identique ; structure polyédrique grossière à tendance prismatique bien développée ; cohésion faible ; surstructure prismatique large s'affirmant par des fentes de dessiccation verticales bien marquées.
  - 39 - 90 cm Brun ; compact ; structure prismatique petite à face de décollement nette, plane, à tendance patinée.
  - 90 - 136 cm Brun à nombreuses taches brun-jaune ; texture argileuse contenant des petites plages de roches en voie d'altération ; structure polyédrique grossière à tendance prismatique moyennement développée.

\* Malgré la différence d'extraction globale, soude et pyro, il n'est pas possible dans un cas comme celui-là de parler d'artefacts dus à la soude.

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				H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> / AH AHG/AH'
		Taux d'hum. %	AH/AF	H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> /H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> /AH	H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> /Mht	H <sub>2</sub> /AH	Taux d'hum. %	AHG/AHB	AHG/AH'	AHG/Mht'	
VS 262	7,6	66,2	5,3	272,0	96%	81%	82%	47,9	4,15	72%	67%	1,33

(voir Fig. 6)

L'humus TIURIN représente 66% de la matière organique totale, le taux d'humification est donc très élevé ; cet humus est constitué essentiellement d'acides humiques (pour 84%) : dans cet horizon correspondant à un A<sub>12</sub>, le rapport AH/AF est supérieur à 5, ce que l'on n'avait pas observé jusqu'ici. Donc, très peu d'acides fulviques, ceux qui se forment, évoluent sans doute très rapidement vers des formes plus polymérisées ; on observe une très faible proportion d'acides humiques libres, mais un très fort pourcentage de H<sub>2</sub> : 70% de l'humus total. Malgré un pH faiblement acide (6,1), le taux de saturation du complexe absorbant est très élevé (93%), la capacité d'échange atteint 27 méq. %, dans laquelle le Ca<sup>++</sup> échangeable représente plus des 2/3 des cations échangeables ; la présence d'un fort pourcentage (40%) de montmorillonite dans la fraction argileuse doit expliquer en grande partie cette forte proportion de H<sub>2</sub>.

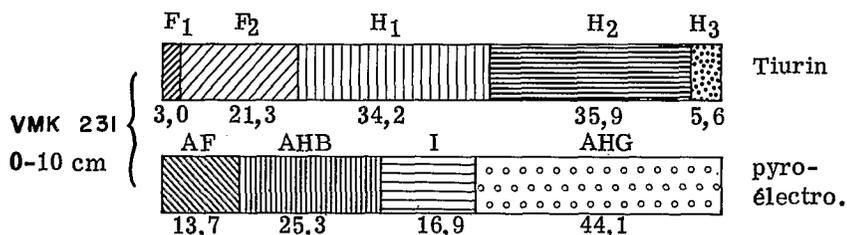
L'extraction au pyrophosphate de Na "sort" moins d'humus que la méthode TIURIN, les liaisons humus-Ca<sup>++</sup> étant particulièrement solides et étroites, mais la proportion d'acides humiques extraite par rapport aux acides fulviques est encore plus élevée que dans la méthode TIURIN. Les acides fulviques sont donc très peu importants, les acides humiques bruns sont nettement supérieurs aux H<sub>1</sub> (7% contre 2%, du C total), peu d'acides humiques intermédiaires et forte proportion d'acides humiques gris. Il y a donc une grande similitude des deux méthodes, les acides humiques fortement polymérisés correspondent bien aux acides humiques liés au Ca<sup>++</sup> ; toutefois, les H<sub>1</sub> ne correspondent pas aux acides humiques bruns, ceux-ci étant plus importants : il se pourrait donc que dans la fraction H<sub>2</sub> une faible partie soit à petites molécules. Dans l'ensemble, la concordance est bonne car, dans le cas de l'humus lié à Ca<sup>++</sup>, on est en présence d'une polymérisation vraie.

## 8. Sol brun eutrophe vertique (VMK 231) - (KALOGA - 1965)

- . Emplacement : piste de la Volta Blanche à WEOTINGA (Haute-Volta).
- . Roche-mère : schistes argileux.
- . Situation : zone plane alternant avec des buttes quartzeuses et des dépressions à vertisols.

- . Végétation : savane arborescente à acacia.
- . Climat : sahélo-soudanais - pluviométrie : 900 - 1 000 mm - saison des pluies : 5 mois - température moyenne annuelle : 28°.
- . Description du profil :
  - 0 - 10 cm Horizon brun foncé ; humifère ; argileux à argilo-limoneux ; structure à tendance litée ; cohésion faible.
  - 10 - 25 cm Brun ; humifère ; argileux ; structure polyédrique moyenne et grossière assez bien développée ; quelques petits gravillons ferrugineux et quelques cailloux de quartz ; cohésion des agrégats forte.
  - 25 - 50 cm Brun vif ; argileux à nombreux petits gravillons et quelques concrétions noires ; structure polyédrique moyenne à petite assez bien développée ; cohésion d'ensemble faible.
  - 50 - 117 cm Brun-rouge ; nombreux gravillons et cailloux de quartz et concrétions manganifères.

*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				H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> / AH AHG/AH'
		Taux d'hum. %	AH/AF	H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> /H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> /AH	H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> /Mht	H <sub>2</sub> /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)

Cet horizon de surface a un taux d'humification important : 56%, avec un rapport AH/AF = 3. Ici aussi, on observe une nette prédominance des acides humiques. Les acides fulviques représentant donc 1/4 de l'humus total, avec très peu de F<sub>1</sub>, nous supposons que dans ce milieu saturé, ils ne peuvent rester sous forme libre et évoluent en F<sub>2</sub>, liés aux acides humiques. Les acides humiques comportent une proportion égale de H<sub>1</sub> et H<sub>2</sub> et très peu de H<sub>3</sub> ; nous remarquons que les horizons de surface comprennent presque toujours un taux important de H<sub>1</sub> formés, semble-t-il, directement à partir des débris végétaux décomposés ; en général, ils diminuent ou même disparaissent en profondeur.

Comme dans le cas précédent, les conditions sont favorables à la formation des H<sub>2</sub> : pH faiblement acide (6,2), capacité d'échange, taux de Ca<sup>++</sup> échangeable et taux de saturation élevés, présence de 30% de montmorillonite dans la fraction argileuse.

L'extraction au pyrophosphate de Na ne donne que 35% de taux d'humification avec très peu d'acides fulviques et, comme dans le cas précédent, une proportion importante d'acides humiques. Les acides humiques bruns sont nettement inférieurs aux H<sub>1</sub>, alors que les acides humiques gris et les H<sub>2</sub> sont à peu près dans les mêmes proportions. On en revient toujours à se demander si les H<sub>1</sub> des horizons supérieurs ne sont pas surestimés, et si cette extraction directe à la soude ne favorise pas la formation de composés humiques artificiels, malgré tout cette formation est sans doute faible car dans ce cas aussi la concordance des deux méthodes est dans l'ensemble très bonne.

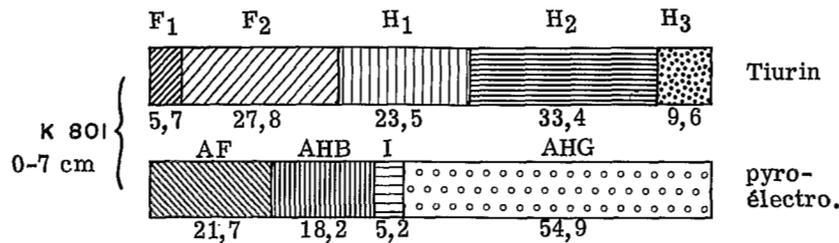
## 9. Sol brun eutrophe vertique (type rouge) (K 801)

- . Emplacement : KOSSANTO - Sénégal oriental.
- . Roche-mère : matériau d'altération provenant de roches basiques.
- . Situation topographique : pente forte (18%) sur versant inselberg.
- . Végétation : défriche récente dans savane arbustive (culture de mil).
- . Climat : soudano-guinéen - pluviométrie : 1 200 mm (une seule saison des pluies de 6 mois) - température moyenne annuelle : 28°3.
- . Description du profil :
  - 0 - 7 cm Brun sombre ; argilo-sableux à sablo-argileux à éléments grossiers nombreux (fragments de roches) ; structure bien développée polyédrique à cubique ; fines racines nombreuses.
  - 7 - 20 cm Brun un peu plus clair ; argilo-sableux avec de gros cailloux ; structure bien développée type polyédrique, avec une sous-structure cubique ; revêtement argileux dans les cavités ; nombreuses cavités d'animaux ; racines.
  - 20 - 70 cm Rouge-brun ; argileux ; structure prismatique ; revêtement argileux sur les faces des agrégats ; quelques petits gravillons ; présence de fentes verticales ; grosses racines dans le bas de l'horizon ; présence de boules de roches avec écailles d'altération.
  - 70 - 110 cm Brun foncé à brun clair, avec taches blanches et noires ; structure faiblement développée, polyédrique ; argilo-sableux ; horizon en cours de structuration hétérogène ; enracinement faible, fentes de retrait mal délimitées.
  - 110 - 165 cm Couleur hétérogène, riche en éléments blancs entourés de zones ocre-verdâtre avec plages noirâtres ; texture sableuse avec éléments grossiers ; boules autour desquelles de larges zones d'altération sont visibles.

N°	C total ‰	Méthode TIURIN						Pyro-électrophorèse			$\frac{H_2+H_3}{AH}$ $\frac{AHG/AH'}{AHG/AH'}$	
		Taux d'hum. %	$\frac{AH}{AF}$	$\frac{H_2+H_3}{H_1}$	$\frac{H_2+H_3}{AH}$	$\frac{H_2+H_3}{Mht}$	$\frac{H_2}{AH}$	Taux d'hum. %	$\frac{AHG}{AHB}$	$\frac{AHG}{AH'}$		$\frac{AHG}{Mht'}$
K 801	27,0	46,4	2,0	1,82	65%	43%	50%	25,9	2,99	70%	55%	0,92

(voir Fig. 6)

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



Le taux d'humification n'atteint pas les valeurs des deux profils précédents, malgré une teneur en matière organique totale très élevée, conséquence d'une pluviométrie plus importante ; l'humus s'accumule moins sans doute à cause d'un meilleur drainage dû à la position topographique.

Là aussi, les acides humiques sont beaucoup plus importants que les acides fulviques qui ne comptent que pour 1/3 de l'humus total, avec très peu de F<sub>1</sub>, lesquels doivent évoluer très rapidement en F<sub>2</sub> ; ces derniers représentant alors 28% de l'humus total. Ayant affaire à un horizon de surface, les H<sub>1</sub> sont bien représentés, presque 1/4 de l'humus total, et comme nous avons toujours les mêmes conditions favorables à la formation des H<sub>2</sub> (pH faiblement acide = 6,4 - capacité d'échange élevée, taux de saturation >100, taux de Ca<sup>++</sup> échangeable important et 50% de montmorillonite dans la fraction argileuse), ceux-ci atteignent 33% de l'humus total.

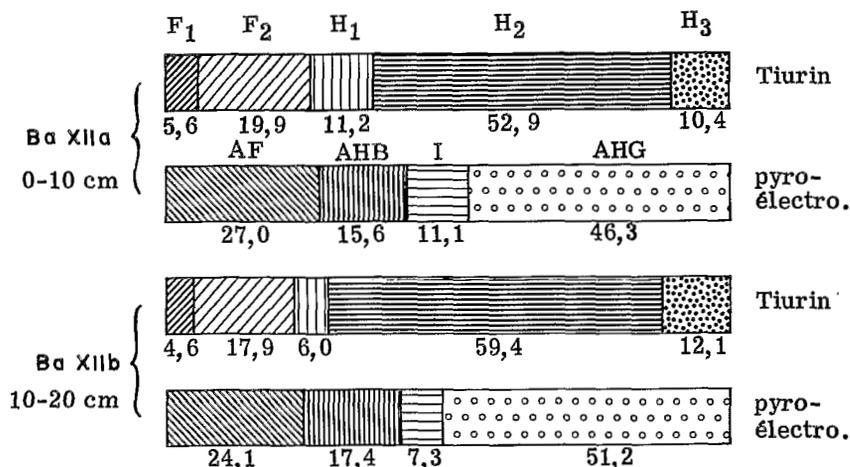
L'extraction au pyrophosphate de Na, par contre, ne donne pas beaucoup d'humus (25% seulement par rapport au C total) ; la proportion d'acides humiques domine nettement (les 4/5 de l'humus extrait) : ceux-ci sont constitués en grande partie par des acides humiques gris fortement polymérisés qui paraissent correspondre aux acides humiques liés donnés par la méthode TIURIN. Quant aux acides humiques libres (H<sub>1</sub>), ils sont supérieurs aux acides humiques bruns donnés par l'électrophorèse, ce qui laisse supposer qu'un certain degré de polymérisation peut jouer sur ces acides dits mobiles. Malgré cela, nous constatons pour ce sol une très bonne concordance entre les deux méthodes.

## 10. Sol vertique "dek" (BA XII)

- . Emplacement : C.R.A. de Bambey - Sénégal.
- . Roche-mère : sables sur marno-calcaires.
- . Situation topographique : zone plane - légèrement dépressionnaire.
- . Végétation : jachère - tapis herbacé.
- . Climat : sahélo-sénégalais - pluviométrie : 650 mm - saison sèche de 7 à 8 mois - température moyenne annuelle 27°.
- . Description du profil (voisin des échantillons prélevés) :
  - 0 - 20 cm Brun ; assez durci ; croûté ; fendillé en saison sèche en surface ; texture sableuse ; structure nuciforme assez grosse ; cohésion forte. Transition diffuse.
  - 20 - 100 cm Brun plus clair ; légèrement plus argileux.

- 100 - 150 cm Brun-ocre ; marbré ; texture légèrement plus argileuse ; structure à tendance polyédrique, grossière ; compact ; quelques petites taches calcaires, à la base de l'horizon.
- 150 - 180 cm Horizon à concrétions ferrugineuses et manganifères avec revêtements rouges, parfois enrobées dans de l'argile blanche.
- >180 cm Marno-calcaire.

*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				$\frac{H_2+H_3}{AH}$ $\frac{AHG}{AHG'}$
		Taux d'hum. %	$\frac{AH}{AF}$	$\frac{H_2+H_3}{H_1}$	$\frac{H_2+H_3}{AH}$	$\frac{H_2+H_3}{Mht}$	$\frac{H_2}{AH}$	Taux d'hum. %	$\frac{AHG}{AHB}$	$\frac{AHG}{AH'}$	$\frac{AHG}{Mht'}$	
Ba XII a	6,9	51,8	2,9	5,65	85%	63%	71%	39,1	2,98	63%	46%	1,34
b	5,9	58,8	3,4	11,81	92%	71%	77%	48,6	2,94	67%	51%	1,37

(voir Fig. 5)

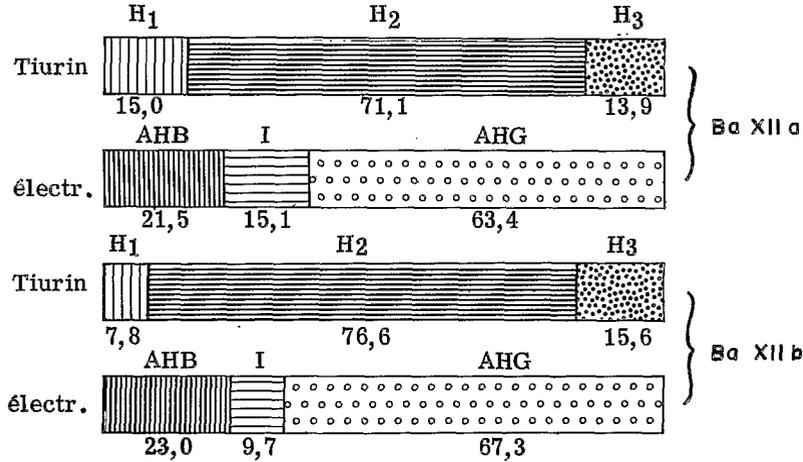
Ce sol n'est pas très riche en matière organique sans doute à cause de la texture essentiellement sableuse, mais elle est bien humifiée ; d'une façon générale, on observe une élévation du taux d'humification avec l'hydromorphie, la minéralisation étant vraisemblablement un peu ralentie. Les deux extractions de l'humus par la méthode TIURIN et au pyro-phosphate donnent exactement le même pourcentage en acides humiques et en acides fulviques : les 3/4 de l'humus se trouvent sous forme d'acides humiques. La méthode TIURIN nous donne une très forte proportion de H<sub>2</sub> (53% en a, 59% en b), avec peu de H<sub>1</sub> et de H<sub>3</sub> ; pourtant ici les conditions ne sont pas idéales pour la formation de ces H<sub>2</sub> : le pH est légèrement acide (6,2), le complexe absorbant n'est pas saturé ( $\neq$  85%), mais le taux de Ca<sup>++</sup> échangeable est important. Cependant, la présence de montmorillonite doit faciliter les liaisons humus-fraction minérale, et la très longue saison sèche doit renforcer ces liaisons, aussi les 2/3 de l'humus sont-ils sous forme d'acides humiques liés. L'électrophorèse nous révèle une forte proportion d'acides humiques gris (46% en a, et 51% en b), et peu d'acides humiques bruns ; ces derniers

sont cependant supérieurs aux  $H_1$  et ne leur correspondent donc pas tout à fait. Comme dans les cas précédents, il faut supposer qu'une partie (peu importante ici) des acides humiques liés donnés par la méthode TIURIN peut ne pas être fortement polymérisée ; mais on remarque cependant le haut degré de polymérisation de ce sol qu'on peut attribuer vraisemblablement, tout au moins en partie, aux conditions climatiques. On constate, en effet, que les fractions solubles acides fulviques et acides humiques bruns sont plus faibles que dans les sols arides de Tunisie ; il se peut que les transformations biologiques soient plus importantes du fait que les sols sont plus humides et la température plus élevée, avec des conditions favorables à la polymérisation. Nous estimons donc que dans l'ensemble, pour ce type de sol, les deux méthodes donnent des résultats très proches, c'est-à-dire que l'on peut assimiler les acides humiques gris aux acides humiques liés et les acides humiques bruns aux acides humiques libres.

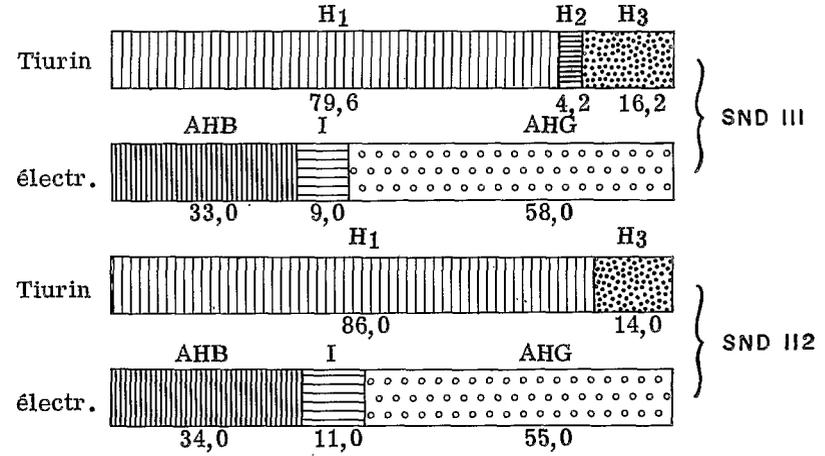
Fig. 5

POURCENTAGE DES DIFFERENTS ACIDES HUMIQUES PAR RAPPORT AUX ACIDES HUMIQUES TOTAUX

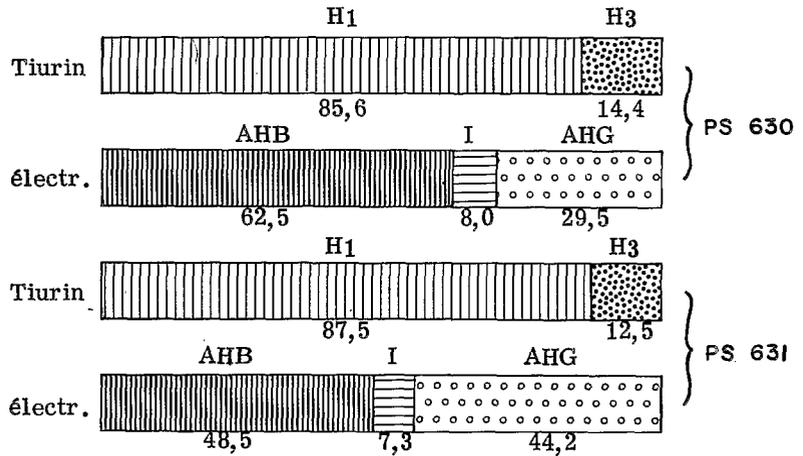
SOLS DE PAYS TROPICAUX



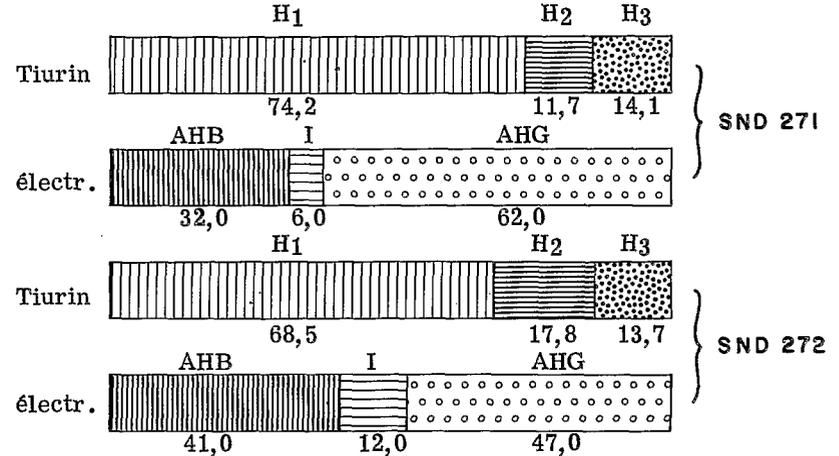
vertisol "dek" - Sénégal.



sol rouge ferrallitique sur basalte andésite - Cameroun.



sol jaune faiblement ferrallitique Sénégal.

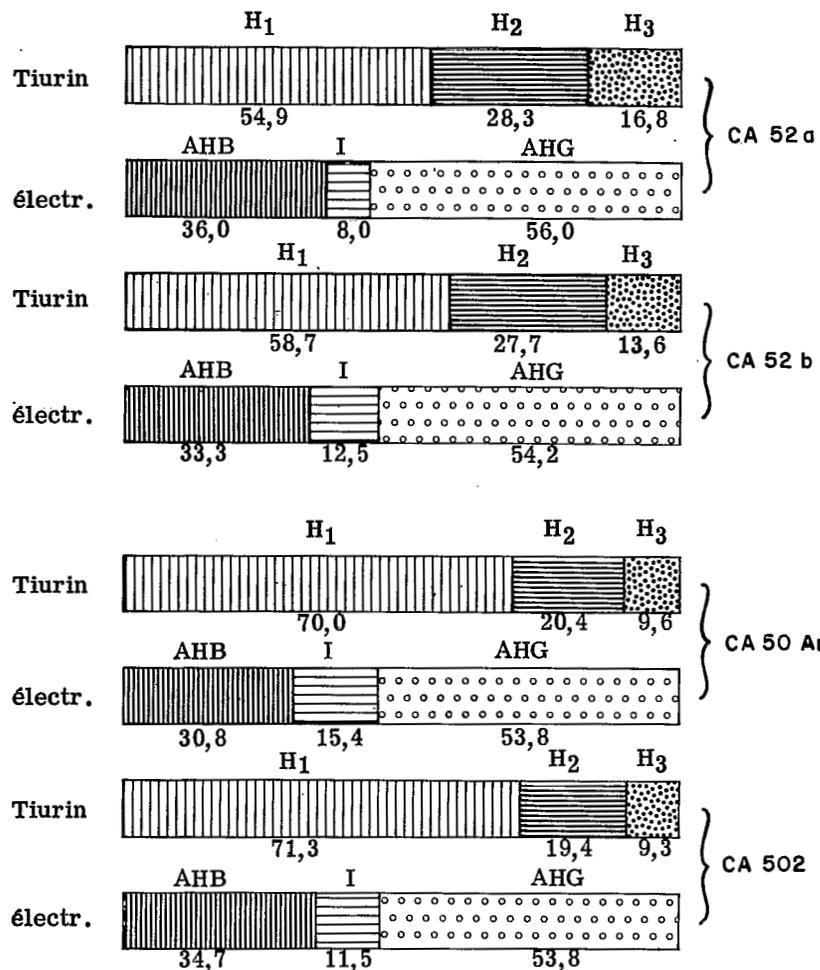


sol ferrallitique typique sur granite Cameroun.

Fig. 6

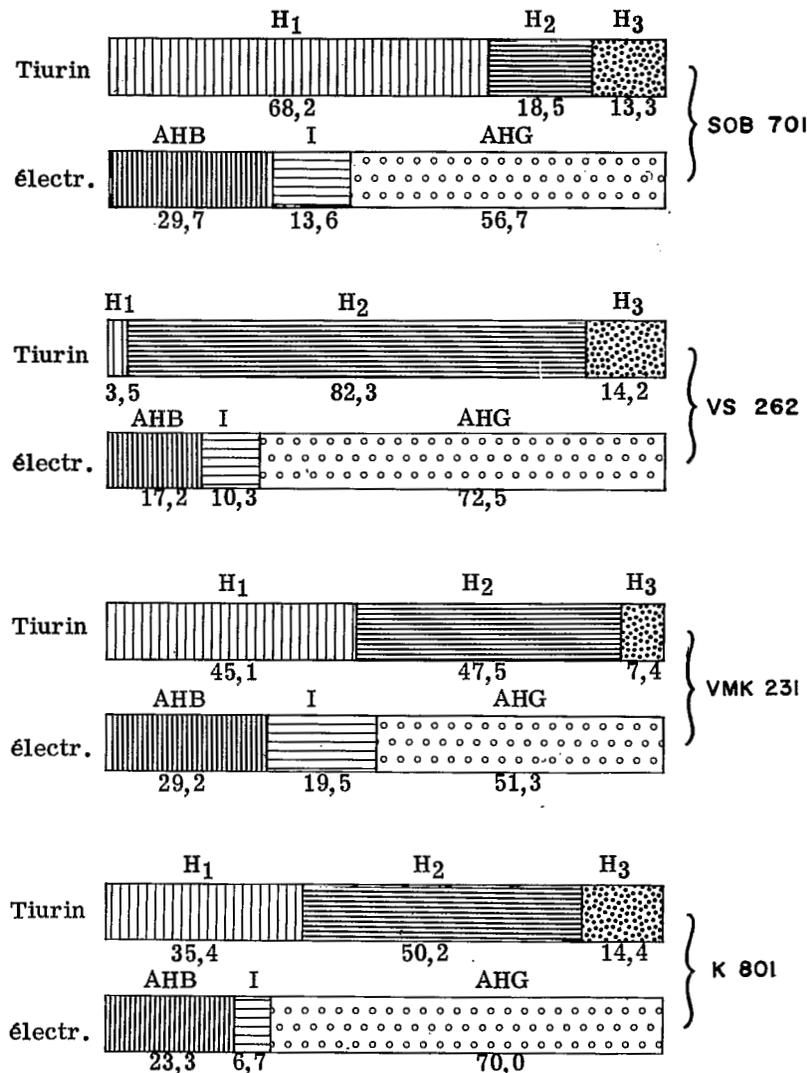
POURCENTAGE DES DIFFERENTS ACIDES HUMIQUES PAR RAPPORT AUX ACIDES HUMIQUES TOTAUX

SOLS DE PAYS TROPICAUX



sol ferrugineux tropical lessivé - Casamance, Sénégal.

sol rouge faiblement ferrallitique - Casamance, Sénégal.



sol rouge faiblement ferrallitique - Sénégal

sol brun eutrophe vertique - Hte Volta

sol brun eutrophe vertique - Hte Volta

sol brun eutrophe vertique - Sénégal

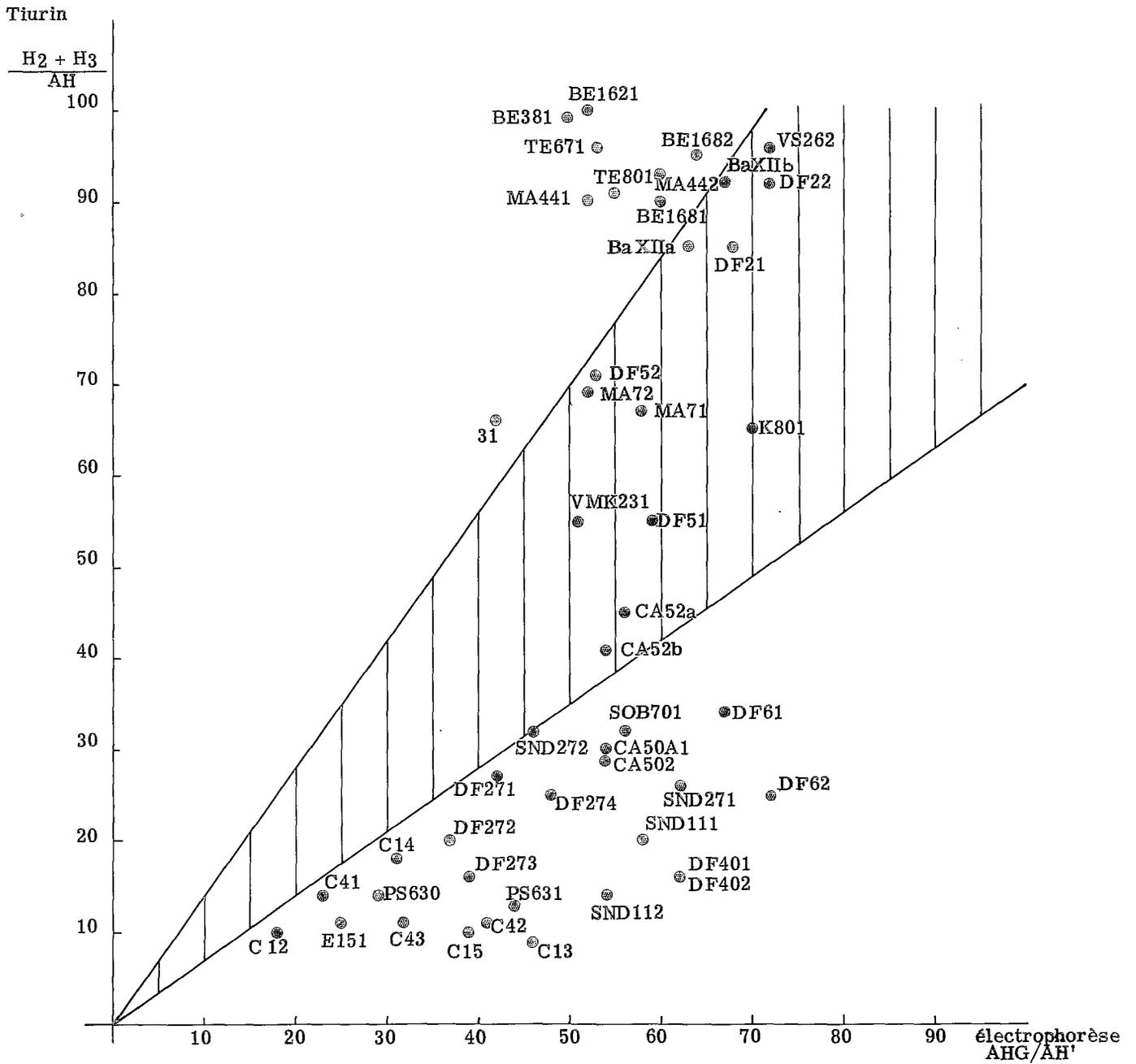


Fig. 7

## INTERPRÉTATIONS ET CONCLUSIONS

De l'examen de l'ensemble de ces profils, il est possible d'établir un schéma à partir duquel il est plus aisé de relier les deux méthodes entre elles (fig. 7) :

- . en abscisses est porté le rapport :  $AHG/AH^*$  donné par l'électrophorèse.
- . en ordonnées est porté le rapport :  $H_2 + H_3/AH^{**}$  donné par la méthode TIURIN.

Nous poserons, à priori, qu'il y a équivalence entre les deux méthodes pour ce rapport compris entre les valeurs suivantes :

$$0,70 < \frac{H_2+H_3/AH}{AHG/AH^*} < 1,40$$

ce qui nous amène donc à considérer trois cas suivant que ce rapport est inférieur à 0,70, compris entre 0,70 et 1,40, ou supérieur à 1,40 ; voyons maintenant dans quelle catégorie se rangent les différents types de sols envisagés.

### 1<sup>er</sup> cas

Les deux méthodes donnent des résultats très voisins, c'est-à-dire que la proportion de  $H_2 + H_3$  (acides humiques liés, donnés par la méthode TIURIN) est à peu près la même que celle des acides humiques gris (acides humiques fortement polymérisés, révélés par l'électrophorèse), autrement dit que les acides humiques assez fortement liés à la fraction minérale correspondent bien à un certain degré de polymérisation. Ceci s'observe dans les profils suivants :

#### *Sols méditerranéens*

DF - 21 - 22 : sol brun forestier, à pH légèrement alcalin, à taux d'argile assez élevé, à complexe absorbant saturé, avec un très fort pourcentage de  $Ca^{++}$  échangeable et une fraction argileuse se répartissant ainsi (pour la terra-rossa sur laquelle repose ce sol) : 60% de kaolinite pour 30 à 40% d'illite.

DF - 51 - 52 : sol rouge lessivé sur trias - sol à pH neutre, à taux d'argile assez élevé, à complexe absorbant saturé, avec un taux important de  $Ca^{++}$  échangeable, la fraction argileuse comprenant ici : 50% d'illite et 50% de feuillets gonflants.

MA - 71 - 72 : sol rouge méditerranéen - sol à pH neutre, à complexe absorbant saturé, à capacité d'échange assez élevée avec un taux de  $Ca^{++}$  échangeable important et une égale répartition dans la fraction argileuse entre la kaolinite et l'illite.

#### *Sols tropicaux*

CA 52 a et b : sol ferrugineux tropical lessivé - sol à pH voisin de la neutralité, à faible capacité d'échange, mais à complexe absorbant saturé - ici, la kaolinite représente 100% de la fraction argileuse, ce qui revient à dire que l'action du fer l'emporte sur celle du  $Ca^{++}$  et c'est ainsi que l'on peut observer une légère supériorité des acides humiques gris sur les acides humiques liés.

\* acides humiques gris/acides humiques

\*\* acides humiques liés/acides humiques

VS 262 : Sol brun eutrophe : sol à pH : 6,1 à capacité d'échange élevée et à complexe absorbant presque saturé, répartition équilibrée dans la fraction argileuse entre la kaolinite et la montmorillonite, énorme proportion d'acides humiques liés, mais parallèlement un peu moins d'acides humiques gris.

VMK 231 : sol brun eutrophe : sol à pH 6,2, à capacité d'échange moyenne et à complexe absorbant presque saturé - taux un peu plus important de kaolinite (60%) par rapport à la montmorillonite.

K 801 : sol brun eutrophe : sol à pH : 6,4, à capacité d'échange élevée et à complexe absorbant saturé, bonne répartition entre la montmorillonite et la kaolinite.

Ba XII a et b : Vertisol "dek" : sol à pH légèrement acide, à capacité d'échange peu élevée, étant donné sa valeur assez faible en argile, à taux de saturation du complexe n'atteignant pas 90% ; la fraction argileuse se partage également ici entre la kaolinite et la montmorillonite.

Tous ces types de sols ont quelques caractéristiques communes, à savoir :

- . un pH neutre ou voisin de la neutralité (la plupart sont formés sur roche basique) ;
- . un taux de  $Ca^{++}$  échangeable important et/ou un complexe absorbant saturé ou très proche de la saturation, ce qui explique en partie la formation de liaisons stables humus- $Ca^{++}$ .
- . la fraction argileuse comporte en moyenne 50% de kaolinite et 50% de montmorillonite ou d'illite.
- . du point de vue climatique, ces sols évoluent sous des pluviométries variées et non négligeables, mais comportant toujours une longue saison sèche très favorable à la polymérisation des composés humiques, compte tenu des conditions intrinsèques du sol, mentionnées ci-dessus.

De tout ceci il résulte un équilibre qui fait que les acides humiques dits "liés" correspondent à peu de choses près aux acides humiques les plus polymérisés, donc ici il y a bien similitude entre les différents termes couramment employés : acides humiques liés, acides humiques gris et acides humiques immobiles ; par extension, les acides humiques dits "bruns" ou faiblement polymérisés paraissent correspondre grosso-modo aux acides humiques mobiles, c'est-à-dire non liés à la fraction minérale.

## 2<sup>eme</sup> cas

Les acides humiques liés ( $H_2 + H_3$ ) de la méthode TIURIN sont nettement plus importants que les acides humiques gris donnés par l'électrophorèse, c'est-à-dire qu'il n'y a pas entièrement similitude entre liaisons et polymérisation ; et même, il faudrait supposer qu'une partie des acides humiques fortement liés ne se trouve pas sous forme très polymérisée, mais à l'état de petits molécules.

Ce cas se rencontre pour les profils suivants :

Grignon 31 : sol brun lessivé, à tendance calcaire, à complexe absorbant saturé et à fort taux d'illite.

MA 441 - 442 : sol rouge méditerranéen tirsifié - sol à pH alcalin, à capacité d'échange élevée, à complexe absorbant saturé, à taux d'illite important.

TE - 671 : sol brun isohumique sableux - sol calcaire, à capacité d'échange élevée, à complexe absorbant largement saturé et à fort taux d'illite. Proportionnellement à l'humus total extrait, les acides humiques gris ne représentent que la moitié des acides humiques liés.

**TE - 801** : sol peu évolué non climatique - sol calcaire, à capacité d'échange élevée avec un taux de  $\text{Ca}^{++}$  échangeable très important et un complexe absorbant largement saturé, ici aussi l'illite domine dans la fraction argileuse.

**BE 1681 - 1682** : sol brun calcaire, sur marnes miocènes. Sol calcaire, argileux, à très forte capacité d'échange, à complexe absorbant voisin de la saturation et à 90% de montmorillonite dans la fraction argileuse.

**BE 381** : vertisol lithomorphe gris typique - sol calcaire très argileux, à très forte capacité d'échange et à complexe absorbant largement saturé, à taux très élevé de montmorillonite.

**BE - 1621** : vertisol topolithomorphe gris, fortement développé. Sol calcaire, très argileux, à très forte capacité d'échange et à complexe absorbant saturé ; les acides humiques liés représentent ici presque le double des acides humiques gris.

Tous ces sols, prélevés en zone méditerranéenne, à l'exception du sol brun lessivé de France qui, d'ailleurs, sur le schéma est très distant des autres, présentent donc des caractères identiques, influençant la nature de l'humus, à savoir : pH alcalin avec présence, dans la plupart des cas de calcaire, capacité d'échange importante (sauf dans le cas du sol de Grignon), taux de  $\text{Ca}^{++}$  échangeable très élevé et complexe absorbant saturé, et dans la fraction argileuse forte proportion d'illite ou de montmorillonite. Toutes ces conditions sont extrêmement favorables à la formation des acides humiques liés, en particulier celle des  $\text{H}_2$ , et les liaisons humus-argile sont particulièrement stables. Tous ces sols possèdent un taux d'acides humiques peu liés très peu important, mais par contre l'électrophorèse révélant un certain pourcentage d'acides humiques bruns ou mobiles, il faut supposer qu'une partie de ces acides humiques liés n'a qu'un faible degré de polymérisation, puisque dans tous les cas examinés (sauf le sol de Grignon), la teneur (en valeur absolue) en acides humiques bruns est supérieure à celle des  $\text{H}_1$ . D'après JUSTE et DELAS, les acides humiques ayant fixé  $\text{Ca}^{++}$  sont nettement moins solubles dans la soude que les acides humiques ayant fixé  $\text{Fe}^{+++}$  ou  $\text{Al}^{+++}$ .

### 3<sup>eme</sup> cas

A l'inverse du cas précédent, les acides humiques gris, fortement polymérisés s'avèrent être beaucoup plus importants que les acides humiques liés donnés par la méthode TURIN ; ici aussi, liaisons et polymérisation ne semblent pas aller de pair et, dans presque tous les cas, le taux d'acides humiques gris exprimé en valeur absolue est supérieur au taux  $\text{H}_2 + \text{H}_3$  et, d'une façon tout à fait générale, le taux de  $\text{H}_1$  est deux, trois et même quatre fois plus important que le taux d'acides humiques bruns. Autrement dit, le pyrophosphate libèrerait plus facilement les acides humiques fortement polymérisés et il faut supposer que cette polymérisation atteint une partie des  $\text{H}_1$ , ou acides humiques mobiles. Nous allons voir que ce cas s'applique essentiellement aux podzols et aux sols ferrallitiques, à des sols qui ont un rapport AH/AF pas très élevé.

**C<sub>1</sub>** - Podzol humo-ferrugineux : sol à pH très acide (4,0) à très forte proportion d'éléments sableux, ce qui laisse supposer une capacité d'échange très faible et un taux de saturation très peu élevé.

**C<sub>4</sub>** - mêmes caractéristiques que précédemment, avec un taux de sable grossier encore plus important.

**DF 61 - 62** : sol brun lessivé, à pH acide (6,0 environ), à teneur élevée en argile, à capacité d'échange moyenne, mais à complexe absorbant saturé, avec 40% de kaolinite et 60% d'illite dans la fraction argileuse ; ce sol semble conditionné par sa dynamique du fer, plus que par celle du  $\text{Ca}^{++}$ .

DF 401 - 402 : sol hydromorphe à pseudogley riche en humus à pH très acide (4,9 environ), à faible capacité d'échange et à complexe absorbant peu saturé (40% en moyenne), la fraction argileuse se partage entre la kaolinite (30%) et l'illite (70%).

DF 271 - 272 - 273 - 274 : sol lessivé faiblement podzolique humifère, à pH acide (5,3 environ), à faible capacité d'échange, à complexe absorbant non saturé, à 70% de kaolinite dans la fraction argileuse contre 30% d'illite.

SND 111 - 112 : sol rouge ferrallitique, sol acide, très argileux, à capacité d'échange moyenne, à taux de  $\text{Ca}^{++}$  échangeable très faible et à complexe absorbant très peu saturé, la fraction argileuse est à 100% de kaolinite.

SND 271 - 272 : sol ferrallitique typique - sol acide à capacité d'échange faible et à taux de  $\text{Ca}^{++}$  échangeable très bas, le complexe absorbant est très peu saturé et la fraction argileuse est également à 100% de kaolinite.

PS - 630 - 631 : sol jaune faiblement ferrallitique - sol acide, à capacité d'échange extrêmement faible et à complexe absorbant très peu saturé, la fraction argileuse est à 100% de kaolinite.

CA 50 A<sub>1</sub>, 502 : sol rouge ferrallitique faiblement désaturé - sol faiblement acide (pH : 6,3), à capacité d'échange faible, mais à taux de saturation élevé ; malgré ces conditions, le taux d'acides humiques liés est faible et le degré de polymérisation assez élevé.

SOB 701 : sol rouge ferrallitique faiblement désaturé - pH faiblement acide, capacité d'échange très faible, taux de saturation atteignant 80% et 100% de kaolinite dans la fraction argileuse.

Tous ces sols sont caractérisés par un pH acide ou faiblement acide, décelant un milieu pauvre en  $\text{Ca}^{++}$  et, dans la plupart des cas, à très faible capacité d'échange et à complexe absorbant faiblement saturé, avec un taux de kaolinite nettement dominant. Toutes ces conditions sont favorables à la formation d'acides fulviques et d'acides humiques mobiles (les H<sub>1</sub> de TIURIN) tandis que les acides humiques liés se forment très difficilement, par suite du taux réduit de Ca échangeable et de la présence d'une très forte proportion d'hydroxydes de Fe et d'Al, en telle abondance vraisemblablement qu'ils entravent les liaisons possibles humus-argile. Mais l'électrophorèse donne des résultats assez différents de la méthode TIURIN, révélant une proportion importante d'acides humiques gris, nettement supérieure aux acides liés et une proportion d'acides humiques bruns nettement inférieure aux acides humiques libres. On pourrait donc en déduire que, malgré les conditions intrinsèques du sol, la polymérisation s'effectue bien à cause sans doute, pour les sols de France, d'une bonne aération due à leur constitution sableuse, et pour les sols tropicaux, vraisemblablement au fait que ces sols évoluent sous un climat caractérisé par une longue saison sèche, l'alternance humectation-dessiccation favorisant nettement la polymérisation. Une autre explication plus plausible et appuyée sur les résultats de JUSTE et DELAS est que les acides humiques ayant fixé Fe et Al sont facilement solubles dans la soude, mais par contre sont peu mobiles à l'électrophorèse.

Des trois cas examinés ci-dessus, on peut, d'une manière plus précise, estimer que cette séparation peut être, en principe, imputable à la nature des cations liés aux acides humiques, d'après leur prédominance les uns par rapport aux autres : acides humiques liés au  $\text{Ca}^{++}$ , au  $\text{Fe}^{+++}$  ou à  $\text{Al}^{+++}$ . On sait, en effet (5), que pour le Fe et l'Al, les réactifs alcalins extraient la totalité des composés humiques liés à la fraction minérale par l'intermédiaire de ces métaux et que, de plus, ces métaux s'avèrent être des agents d'immobilisation particulièrement efficaces des composés humiques auxquels ils sont liés ; alors qu'au contraire, pour le  $\text{Ca}^{++}$ , la solubilité des acides humiques liés à ce métal dans les réactifs d'extraction alcalins est limitée, et la mobilité dans un champ électrique de tels composés est accrue.

*Dans le premier cas*, où les différents acides humiques séparés selon les deux méthodes semblent correspondre aux mêmes fractions, on remarque que ces sols ont un certain équilibre entre leur taux de Ca et de Fe, c'est-à-dire qu'il n'y a pas prédominance marquée de l'un par rapport à l'autre.

*Dans le deuxième cas*, le  $\text{Ca}^{++}$  domine nettement puisque l'on a affaire à des sols calcaires ou calciques et la proportion d'acides humiques gris ne correspond pas à celle des acides humiques liés (liés essentiellement par le  $\text{Ca}^{++}$ ) car les liaisons  $\text{Ca}^{++}$ -humus étant particulièrement stables; il se peut que la méthode au pyrophosphate de Na n'extrait pas l'ensemble des composés liés au  $\text{Ca}^{++}$ , alors que la méthode TIURIN les révèle complètement après un prétraitement acide. De plus, ces composés organo-Ca ont la propriété d'être plus mobiles dans un champ électrique que les composés organo-Fe ou Al, d'où l'apparence dans ces sols à dominance calcique que le degré de polymérisation n'atteint pas le degré de liaison.

Quant aux sols *du troisième cas*, le Ca y est négligeable et intervient très peu, et seuls les composés organo-Fe et Al sont les plus importants et les plus facilement extractibles. Il semble donc, dans ce cas, que la méthode TIURIN solubilise une partie de ces composés dès la première extraction sodique et, comme ceux-ci sont particulièrement immobiles, il apparaît que le degré de polymérisation ne correspond pas au taux de composés liés ( $\text{H}_2 + \text{H}_3$ ) mais lui est supérieur, et cela explique que l'on trouve des acides humiques gris dans les  $\text{H}_1$  : ce serait donc des composés organiques liés au  $\text{Fe}^{+++}$  et à  $\text{Al}^{+++}$  passés directement en solution alcaline, mais ne présentant qu'une faible mobilité dans un champ électrique.

Nous soulignerons le fait que nous n'envisageons comme probables que ces liaisons simples, acides humiques-métaux, mais que naturellement là-dessus s'ajoute l'influence sans doute déterminante de certains types d'associations organo-minérales plus complexes, reflétées en partie par ces types de liaison.

En conclusion, cette comparaison de méthodes nous montre donc que pour l'humus liaisons chimiques et degré de polymérisation ne vont pas forcément de pair, ce sont deux notions différentes, non comparables mais complémentaires, dépendant essentiellement du milieu intrinsèque du sol et accessoirement des conditions climatiques.

Il reste à supposer que les réactifs extractants (la soude dans la méthode TIURIN, le pyrophosphate de sodium dans la méthode à l'électrophorèse) ne modifient pas trop les propriétés physico-chimiques des composés humiques, en particulier vis-à-vis de leurs liaisons avec la fraction minérale et de leur degré de polymérisation ; rien ne prouve réellement que ces acides humiques ainsi extraits représentent, du point de vue physico-chimique, exactement les mêmes composés que ceux existant dans le sol. Nous savons, en effet, que la soude peut engendrer des artéfacts à partir de débris végétaux non ou mal décomposés, augmentant ainsi légèrement le taux d'acides fulviques et sans doute aussi celui d'acides humiques libres. Il n'empêche que l'on peut supposer que ces extractions agissent toujours de la même façon, bien que du point de vue chimique les acides humiques d'un horizon B de podzol soient vraisemblablement assez différents de ceux d'un vertisol. Les différents sols ayant été analysés de la même façon, on peut penser que cette étude représente bien une comparaison de fractions humiques extraites.

Il faut noter, à ce propos, que, malgré de très fortes différences quantitatives dans l'extraction de l'humus par la méthode TIURIN et la méthode pyrophosphate, la première donnant des résultats deux ou même trois fois plus élevés que la seconde, les rapports acide fulvique/acide humique sont identiques pour les deux méthodes dans la très grande majorité des cas. Cela montre que les divers traitements à la soude ne modifient pas autant qu'on le supposait les propriétés des différents humus.

Les exceptions, assez rares, sont présentées par les sols à caractère podzolique qui contiennent beaucoup de matière organique mal décomposée et des produits préhumiques ; dans ces cas, l'action directe de la soude, dans la méthode TIURIN, donne des proportions d'acide fulvique nettement supérieures à celles de l'extrait pyro ; on peut alors parler avec certitude de création d'artéfacts.

Mais si l'on considère les horizons profonds de ces sols, ainsi que tous les sols où la matière organique est bien décomposée dès la surface, on peut difficilement envisager la création artificielle d'humus car celle-ci porterait en priorité sur les acides fulviques qui demeurent au contraire inchangés. Par ailleurs, les modifications dans la répartition des acides humiques devraient avoir lieu dans le même sens, or il n'en est rien, les acides humiques mobiles étant parfois supérieurs, parfois égaux, parfois inférieurs aux acides humiques bruns ; en outre, des extraits à la soude effectués sur certains sols tropicaux ont donné des diagrammes d'électrophorèse, rigoureusement identiques à ceux des extraits pyro.

Cette constatation montre qu'il est possible d'utiliser des méthodes à pouvoir d'extraction élevé comme la méthode TIURIN, sans changer fondamentalement la nature des humus, sauf dans certains cas où il est nécessaire d'éliminer préalablement les fractions organiques mal décomposées.

De plus, on peut souligner l'influence importante de la nature de l'argile sur cette spécification des fractions humiques. Les sols à montmorillonite (vertisols, sol brun calcaire, sols bruns eutrophes) sont caractérisés par un excès de fractions liées ne correspondant pas nécessairement à un haut degré de polymérisation ; alors qu'au contraire l'humus des sols à kaolinite (sol lessivé podzolique, sols ferrallitiques, sol ferrugineux tropical lessivé) est constitué surtout de fractions mobiles qui laissent apparaître cependant un certain degré de polymérisation. Cette divergence apparente peut s'expliquer en partie par une interprétation fondée sur les observations de VISSER au microscope électronique, d'après lesquelles les acides humiques liés à la kaolinite donnent des molécules plus grosses que les acides humiques liés à la montmorillonite. C'est ainsi que l'on trouve plus d'acides humiques gris (polymérisés) dans les sols à kaolinite et, inversement, dans les sols à montmorillonite, les acides humiques liés dominent, ne révélant pas obligatoirement un degré de polymérisation très élevé.

Parallèlement, à l'influence de la nature de l'argile, nous soulignerons celle fondamentale des cations ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Fe}^{+++}$  et  $\text{Al}^{+++}$  en particulier) sur le fractionnement de l'humus : suivant la prédominance des uns par rapport aux autres, les méthodes chimiques et physiques sélectionnent des composés différents. Le  $\text{Ca}^{++}$  favorise les liaisons de l'humus avec la fraction minérale, mais ces composés sont moins solubles dans la soude que ceux liés au Fe et à Al ; et, de plus, ces composés liés au  $\text{Ca}^{++}$  sont plus mobiles dans un champ électrique, d'où ces différences dans leur comportement suivant la technique utilisée.

Pour terminer, on ne saurait trop insister sur le fait que toutes ces fractions humiques que nous essayons de cataloguer d'une façon aussi nette et tranchée ne sont pas aussi bien séparées dans la nature, et que tous les termes intermédiaires existent depuis les moins polymérisés jusqu'aux très polymérisés, depuis les fractions solubles jusqu'aux insolubles, depuis ce que l'on dénomme par acides fulviques libres jusqu'aux acides humiques liés. Il n'y a vraisemblablement pas de coupure entre ces différents composés, mais une longue suite de composés organiques, plus ou moins liés les uns aux autres, que nos diverses méthodes essayent de fragmenter ; tantôt ces méthodes se recoupent, tantôt elles diffèrent suivant les composés qu'elles ont sélectionnés. C'est pourquoi il est imprudent d'attribuer une même appellation à des composés sélectionnés différemment et arbitrairement, il peut y avoir similitude, mais ce n'est pas une règle absolue ; de même, il n'y a pas concordance absolue entre comportement électrophorétique et degré de polymérisation.

Ces réserves étant faites, un résultat très positif ressort de ce travail : c'est que, malgré des techniques de fractionnement basées sur des principes totalement différents, et qui devraient aboutir normalement à des séparations très différentes, on note, au contraire, une concordance des fractions humiques dans un certain nombre de cas qui ne sont pas dus au hasard, mais correspondent à certaines propriétés physico-chimiques des sols. De même, les discordances, dans un sens ou dans l'autre, ne sont pas non plus le fait du hasard mais correspondent aussi à des propriétés particulières des sols.

Cela prouve que, malgré leur aspect conventionnel, ces méthodes arrivent à cerner, chacune pour leur part et avec une certaine fidélité, les propriétés caractéristiques des humus et que leur association pourrait se montrer fructueuse.

TYPE DE SOL =	Podzol humo-ferrugineux					Sol podzolique à alios			Sol brun lessivé	
	F R A N C E					F R A N C E			F R A N C E	
	C 12 5 - 12 A1	C 13 12 - 35 A2	C 14 35 - 53 Bh Fe	C 15 53 - 67 Bh Fe	C 16 67 - 85 B Fe	C 41 2 - 13 A1	C 42 13 - 42 A2	C 43 42 - 51 Bh	31 0 - 26 A1	32 26 - 42 A2
— pH (eau)	4,0	4,3	4,1	4,8	4,9	4,1	4,4	4,4	6,5	7,8
— calcaire total %	-	-	-	-	-	-	-	-	traces	traces
— GRANULOMETRIE :										
. argile %	4,4	4,1	12,6	9,6	9,0	4,9	6,7	6,3	16,2	15,9
. limon fin %	6,7	8,2	9,0	10,0	10,1	7,7	9,8	11,4	22,2	20,0
. limon grossier %	4,1	5,1	5,2	5,7	5,9	4,4	5,7	4,3	51,8	51,5
. sable fin %	31,6	32,0	26,0	26,8	27,6	13,1	15,8	18,3	7,7	7,7
. sable grossier %	46,6	50,3	40,6	43,7	45,4	60,5	62,7	56,3	1,9	1,5
. matière organique %	10,5	2,0	5,7	4,2	2,4	11,0	1,9	4,4	2,7	1,7
— MATIERE ORGANIQUE :										
. carbone total ‰	61,0	11,4	33,0	24,0	13,9	64,0	11,0	25,7	12,3	9,5
. azote total ‰	2,6	0,3	1,2	0,9	0,5	3,1	0,6	1,0	1,1	0,8
. C/N	23,5	39,0	27,5	26,7	27,8	20,6	18,3	25,7	11,2	11,9
. humus Tiurin = C‰										
- H1	10,02	2,55	3,63	2,00	1,59	10,11	3,67	6,05	0,78	0,31
- H2 } AH	0	0	0	0	0	0	0	0	0,98	0,65
- H3 } AH	1,08	0,24	0,82	0,22	0,17	1,61	0,46	0,77	0,56	0,55
- F1 } AF	0,50	0,17	10,32	10,78	7,58	0,94	1,03	3,62	0,54	0,43
- F2 } AF	6,32	1,27	0,58	0,12	0,17	9,00	2,04	2,93	1,67	1,30
- AH + AF	17,92	4,23	15,35	13,12	9,51	21,66	7,20	13,37	4,53	3,24
- humification %	29,4	37,1	46,5	54,7	68,4	33,8	65,5	52,0	36,8	34,1
- rapport AH/AF	1,6	1,9	0,4	0,2	0,2	1,2	1,3	1,0	1,1	0,9
. humus électrophorèse = C‰										
- Mht pyrophosphate	7,50	2,30	19,70	18,30	-	6,30	5,20	15,50	1,37	1,30
- AHG	1,23	0,96	1,46	1,24	-	1,44	1,97	1,93	0,35	0,86
- AHI } AH'	0,47	0,18	0,48	0,28	-	0,62	0,73	0,95	0,07	0,44
- AHB } AH'	5,00	0,96	2,76	1,68	-	4,14	2,10	3,12	0,42	0,44
- AF'	0,80	0,20	15,00	15,10	-	0,10	0,40	9,50	0,53	0,44
- rapport AHG/AHB	0,25	1,00	0,53	0,74	-	0,45	0,94	0,62	0,83	0,44
— COMPLEXE ABSORBANT :										
. Ca <sup>++</sup> échangeable (mék.%)									9,7	11,3
. somme des bases échangeables									12,1	13,85
. capacité d'échange									11,7	10,9
. taux de saturation									saturé	saturé
— MINERALOGIE DES ARGILES :										
. kaolinite										20
. feuillets gonflants										-
. illites										60
. montmorillonite										20

Sol brun forestier		Sol brun lessivé		Sol rouge lessivé		Sol rouge méditerranéen typique		Sol rouge méditerranéen tirsifié		Sol brun steppique sableux		Sol peu évolué non climatique		Vertisol lithomorphe
TUNISIE		TUNISIE		TUNISIE		TUNISIE		TUNISIE		TUNISIE		TUNISIE		TUNISIE
DF 21	DF 22	DF 61	DF 62	DF 51	DF 52	MA 71	MA 72	MA 441	MA 442	TE 671	TE 672	TE 801	TE 802	BE 381
0-25	25-50	0-20	20-35	0-10	10-30	0-15	15-30	0-20	20-35	0-25	25-45	0-25	25-50	0-20
7,4	7,3	6,1	5,95	7,1	6,8	7,4	7,2	7,6	7,6	8,3	8,3	8,2	8,3	8,6
0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,2	9,1	6,3	8,8	9,0
34	42	38	40,5	36	43,5	48,6	49,9	56,1	56,7	6,1	22,9	28,3	29,4	70,1
45,5	42	43,5	42,5	36,5	33,5	11,0	10,4	9,5	11,6	14,3	10,2	15,0	13,7	17,2
9	9	6	6	12	11	8,4	7,3	12,2	12,1	11,2	13,2	13,9	14,2	7,0
7	7	8	7	13	11	20,9	20,3	12,1	10,5	48,9	37,7	23,2	23,8	3,7
6,3	5,3	6,9	3,8	7,3	2,7	8,8	10,2	6,5	6,4	18,7	15,3	17,6	18,1	0,9
						2,3	1,9	3,6	2,7	0,8	0,7	2,0	0,8	1,1
36,3	30,6	40,2	21,9	42,5	15,9	12,9	10,7	20,0	15,0	4,5	3,9	10,9	4,7	6,5
2,81	2,51	2,81	1,70	3,17	1,26	1,29	1,21	1,68	1,20	0,51	0,31	1,15	0,53	0,51
12,9	12,2	14,3	12,9	13,4	12,6	10,0	8,8	11,9	12,5	8,8	12,6	9,5	8,9	12,7
2,12	1,02	11,71	9,41	5,00	1,67	0,74	0,62	0,59	0,33	0,05	0,03	0,24	0,04	0,01
7,26	8,24	4,39	2,27	4,10	3,18	1,10	0,89	3,75	3,10	1,12	1,31	1,98	1,07	0,87
4,32	4,31	1,70	0,79	2,09	0,88	0,43	0,46	1,46	1,62	0,13	0,17	0,39	0,21	0,61
0,78	0,65	0,93	0,57	1,05	0,47	0,36	0,32	0,52	0,55	0,32	0,33	0,48	0,38	0,15
3,24	2,10	4,29	2,16	5,33	0,80	2,71	1,22	1,38	1,40	0,36	0,23	0,76	0,29	0,42
17,72	16,32	23,02	15,20	17,57	7,00	5,34	3,51	7,70	7,00	1,98	2,07	3,85	1,99	2,06
48,8	53,3	57,3	69,4	41,3	44,0	41,4	32,8	38,5	46,7	44,0	53,1	35,3	42,3	31,7
3,4	4,9	3,4	4,6	1,8	4,5	0,7	1,3	3,1	2,6	1,9	2,7	2,1	2,0	2,6
7,75	7,17	10,54	8,29	5,50	3,02	1,76	1,69	5,20	5,20	1,04	1,17	2,26	-	1,07
3,92	4,01	6,01	5,43	2,13	1,01	0,63	0,57	2,19	2,55	0,31	0,31	0,86	-	0,38
0,69	0,50	0,90	0,76	0,36	0,31	0,09	0,15	0,63	0,72	0,07	0,79	0,26	-	0,13
1,15	1,06	2,06	1,36	1,12	0,59	0,37	0,37	1,38	0,97	0,20	0,43	-	-	0,25
1,99	1,60	1,57	0,74	1,89	1,11	0,67	0,60	1,00	0,96	0,46	0,38	0,71	-	0,31
3,41	3,78	2,92	3,99	1,90	1,71	1,70	1,54	1,59	2,63	1,55	-	2,00	-	1,52
24,1	23,6	12,0	21,0	17,8	12,9	22,1	20,8	34,3	33,1	29,4	34,3	35,5	34,3	42,1
28,8	27,6	16,9	28,5	23,9	17,6	27,1	27,6	40,6	39,0	32,0	36,0	38,7	38,6	53,9
28,8	27,6	15,6	26,8	24,0	17,6	23,9	23,2	37,9	36,7	20,3	23,0	28,9	26,5	45,9
saturé	saturé	saturé	saturé	saturé	saturé	saturé	saturé	saturé	saturé	saturé	saturé	saturé	saturé	saturé
terra-rossa :				pour 30-50 cm :										(382)
60			40		-	xx	xx		xx	x	x		x	20
-			-		50	-	-		-	-	-		-	-
30			60		50	xx	xx		xx	xx	xx		xx	traces
-			-		-	-	-		-	traces	traces		traces	80
				goëthite?	goëthite?			amorphes						

TYPE DE SOL =	Sol brun calcaire		Vertisol topolitho- morphe	Sol hydromorphe à pseudogley riche en humus		Sol lessivé podzolique humifère				Sol rouge ferrallit. faiblement désaturé SENEGAL SOB 701
	TUNISIE			TUNISIE	TUNISIE		TUNISIE			
ORIGINE = N° = PROFONDEUR (en cm) =	BE 1681 0-6	BE 1682 6-30	BE 1621 0-8	DF 401 0-20	DF 402 20-40	DF 271 0-15	DF 272 15-30	DF 273 30-50	DF 274 50-100	0-10
- pH (eau)	8,0	8,0	8,3	4,95	4,75	5,65	5,05	5,25	5,45	6,1
- calcaire total %	8,1	4,3	8,8	-	-	-	-	-	-	-
- GRANULOMETRIE :										
. argile %	42,0	53,8	70,0	13,5	21,5	4	5	5,5	5,5	7,0
. limon fin %	23,4	17,0	3,8	36	30,5	20	17	17,5	16,5	4,9
. limon grossier %	9,0	7,5	14,5							
. sable fin %	10,1	9,6	8,6	26	21	44	45	41	50	37,9
. sable grossier %	8,5	6,6	0,7	24	26	27	29	36	32	49,2
. matière organique %	7,0	5,5	2,4	7,9	2,3	7,9	3,7	2,6	0,6	1,0
- MATIERE ORGANIQUE :										
. carbone total ‰	37,7	29,9	12,7	46,1	13,4	45,8	21,4	15,1	3,6	5,8
. azote total ‰	2,19	1,68	0,71	3,91	1,23	2,27	1,09	0,45	0,25	0,44
. C/N	17,2	17,8	17,9	11,8	10,9	20,2	19,7	33,6	14,3	13,2
. humus Tiurin = C ‰										
- H1	0,88	0,44	0,01	14,50	5,49	7,68	5,54	1,61	0,81	1,03
- H2 } AH	6,41	6,37	2,19	0,73	0,03	1,07	0,62	0	0	0,28
- H3 } AH	1,86	1,54	1,15	2,02	1,01	1,72	0,74	0,30	0,27	0,20
- F1 } AF	0,41	0,55	0,19	1,46	0,79	0,62	0,45	0,41	0,53	0,16
- F2 } AF	3,44	2,59	1,18	4,32	1,16	6,99	3,26	0,87	0,45	0,62
- AH + AF	13,00	11,49	4,72	23,03	8,48	18,08	10,61	3,19	2,06	2,29
- humification %	34,5	38,4	37,2	50,0	63,3	39,5	49,6	21,1	57,2	39,5
- rapport AH/AF	2,4	2,7	2,4	3,0	3,3	1,4	1,9	1,5	1,1	1,9
. humus électrophorèse = C ‰										
- MH t pyrophosphate	7,53	6,79	2,57	10,76	1,16	5,39	4,48	1,82	1,31	1,13
- AHG } AH'	3,43	3,48	0,93	5,19	0,48	1,78	1,19	0,46	0,31	0,49
- AHI } AH'	0,57	0,59	0,27	0,84	0,12	0,53	0,54	0,14	0,09	0,12
- AHB } AH'	1,72	1,34	0,57	2,34	0,18	1,93	1,48	0,57	0,24	0,26
- AF'	1,81	1,38	0,80	2,39	0,38	1,15	1,27	0,65	0,67	0,26
- rapport AHG/AHB	1,99	2,60	1,63	2,22	2,67	0,92	0,80	0,81	1,29	1,88
- COMPLEXE ABSORBANT :										
. Ca <sup>++</sup> échangeable (méq.%)	45,7	46,9	52,9	7,8	3,4	-	6,8	4,0	2,0	1,40
. somme des bases échangeables	52,7	53,7	56,1	11,3	5,8	-	9,5	5,8	3,3	2,15
. capacité d'échange	57,9	58,9	53,4	25,6	15,2	19,2	12,0	14,0	14,4	2,7
. taux de saturation	91	91	saturé	44	38		79	41	23	80
- MINERALOGIE DES ARGILES :										
. kaolinite		10			30				70	100
. feuillets gonflants		-			-				-	-
. illites		traces			70				30	-
. montmorillonite		90			-				-	-
							pour > 130 cm			

Sol jaune faiblement ferrallitique		Sol rouge ferral- litique faiblement désaturé		Sol rouge ferrallitique		Sol ferrallitique typique		Sol ferrugineux tropical lessivé		Sol brun eutrophe	Sol brun eutrophe	Sol brun eutrophe	Vertisol "dek"	
SENEGAL		SENEGAL		CAMEROUN		CAMEROUN		SENEGAL		HAUTE VOLTA	HAUTE VOLTA	SENEGAL	SENEGAL	
PS 630 0-5	PS 631 5-10	CA50A1 0-10	CA 502 5-15	SND 111 0-8	SND 112 20-30	SND 271 0-8	SND 272 20-30	CA 52a 0-10	CA 52b 10-20	VS 262 10-40	VMK 231 0-10	K 801 0-7	Ba XIIa 0-10	Ba XIIb 10-20
4,9	4,4	6,3	6,3	5,6	5,7	5,4	5,4	6,6	6,4	6,1	6,2	6,4	6,3	6,1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9,8	12,5	10,7	11,9	53,9	77,7	49,2	60,5	12,1	13,5	39,1	25,4	34,8	15,8	18,1
4,0	4,0	5,5	4,7	23,9	10,5	13,0	7,2	5,6	4,8	21,0	14,2	22,4	3,9	4,2
3,1	26,0	39,3	39,3	14,7	7,5	10,6	7,4	47,4	45,1	36,4	47,3	17,4	5,0	5,1
30,9	56,7	42,5	42,7	2,4	1,7	23,2	22,6	31,7	35,1	0,3	8,5	20,6	49,6	50,0
2,2	0,8	2,0	1,4	5,1	2,6	4,0	2,3	3,2	1,5	1,3	2,3	4,7	24,5	21,6
13,0	5,3	11,5	8,2	29,6	15,0	23,3	13,5	18,5	8,5	7,6	13,1	27,0	6,9	5,9
1,15	0,54	0,81	0,60	1,79	0,85	1,45	0,73	1,13	0,56	0,50	0,77	1,93	0,65	0,53
1,3	9,8	14,2	13,7	16,5	17,6	16,1	18,5	16,4	15,2	15,2	17,0	14,0	10,6	11,1
2,02	0,56	2,68	1,91	4,54	0,49	2,21	0,50	3,03	1,38	0,15	2,49	2,95	0,40	0,21
0	0	0,78	0,52	0,24	0	0,35	0,13	1,56	0,65	3,48	2,62	4,18	1,89	2,06
0,34	0,08	0,37	0,25	0,92	0,08	0,42	0,10	0,93	0,32	0,60	0,41	1,20	0,37	0,42
0,48	0,53	0,28	0,20	2,26	2,26	2,65	2,53	0,29	0,22	0,14	0,22	0,72	0,20	0,16
1,91	0,63	1,02	0,73	3,36	2,24	3,01	1,25	1,36	0,69	0,66	1,55	3,48	0,71	0,62
4,75	1,80	5,13	3,61	11,32	5,07	8,64	4,51	7,17	3,26	5,03	7,29	12,53	3,57	3,47
6,5	34,0	44,6	44,0	38,2	33,8	37,1	33,4	38,8	38,4	66,2	55,6	46,4	51,8	58,8
1,0	0,6	2,9	2,9	1,01	0,13	0,53	0,19	3,3	2,6	5,3	3,1	2,0	2,9	3,4
1,94	1,27	2,82	2,05	6,56	3,58	5,08	3,44	3,63	1,71	3,64	4,68	7,00	2,70	2,87
0,30	0,22	1,18	0,85	1,57	0,33	0,86	0,29	1,58	0,71	2,45	2,06	3,86	1,25	1,47
0,08	0,04	0,34	0,18	0,24	0,07	0,08	0,08	0,23	0,16	0,35	0,78	0,37	0,30	0,21
0,64	0,24	0,67	0,54	0,88	0,21	0,44	0,26	1,02	0,44	0,59	1,18	1,29	0,42	0,50
0,92	0,77	0,63	0,48	3,87	2,97	3,70	2,81	0,80	0,40	0,25	0,66	1,48	0,73	0,69
0,47	0,92	1,76	1,57	1,78	1,57	1,95	1,12	1,55	1,61	4,15	1,75	2,99	2,98	2,94
1,6	0,4	3,28	2,45	2,65	0,34	0,89	0,27	7,22	3,08	17,4	6,7	20,8	6,61	7,65
3,15	0,60	4,88	3,69	5,01	0,75	2,15	0,51	9,70	4,45	25,2	16,65	29,15	9,06	9,64
5,3	2,6	5,4	4,2	15,5	9,9	8,7	7,2	8,9	4,6	27,1	17,7	26,7	10,3	11,5
3	23	90	88	32	8	25	7	saturé	97	93	94	saturé	88	84
0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	50	60	50	-	50
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	-	-	-
ices	traces	-	-	-	-	-	-	traces	traces	10	traces	traces	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	30	50	-	40
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	hydroxydes vermiculite

## Bibliographie

- DUCHAUFOR (Ph.) - 1961 - *Précis de Pédologie* (1ère édition). Ed. Masson et Cie.
- DUCHAUFOR (Ph.) et JACQUIN (F.) - 1966 - Nouvelles recherches sur l'extraction et le fractionnement des composés humiques. *Bull. ENSA de Nancy*, T. VIII, fasc. 1.
- JACQUIN (F.) - 1963 - Contribution à l'étude des processus de formation et d'évolution des divers composés humiques. Thèse de doctorat, Nancy.
- FAUCK (R.), SEGUY (L.) et TOBIAS (Ch.) - 1969 - Notice sur la carte des sols de la Région de Séfa, Casamance, Sénégal. Rapport ORSTOM-IRAT.
- JUSTE (C.) et DELAS (J.) - 1967 - Influence de l'addition d'Al, Fe, Ca, Mg ou de Cu sur la mobilité électrophorétique, le spectre d'absorption infra-rouge et la solubilité d'un composé humique. *Ann. Agr.*, vol. 18, n° 4.
- KALOGA (B.) - 1965 - Sols et pédogénèse dans les bassins versants des Volta Blanche et Rouge (Haute-Volta). Rapport ORSTOM, Centre de Dakar-Hann.
- STAIMESSE (J.P.) - 1967 - Contribution à l'étude des sols jaunes de Basse-Casamance (Sénégal). Rapport ORSTOM, Centre de Dakar-Hann.
- Notice détaillée - 1967 - Carte phyto-écologique de la Tunisie septentrionale. *Ann. INRA de Tunisie*, vol. 40, fasc. 1.
- VISSER (S.A.) - 1963 - Electron-microscopic and electron-diffraction patterns of humic acids. *Soil Sci.*, vol. 96, n° 5 (novembre 1963).
-

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

*Direction générale :*

24, rue Bayard, PARIS 8<sup>e</sup>

*Services Scientifiques Centraux :*

*Service Central de Documentation :*

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

---

IMP. S. S. C. Bondy  
O. R. S. T. O. M. Éditeur  
Dépôt légal : 1<sup>er</sup> trim. 1971