FACTEURS DE FERTILITE CHIMIQUE ET UTILISATION DES SOLS TROPICAUX

Dabin Bernard.

Facteurs de fertilité chimique et utilisation des sols tropicaux. sl : sn, 1984, 250 p. multigr.

FACTEURS DE FERTILITE CHIMIQUE ET UTILISATION DES SOLS TROPICAUX

Ière Partie

MATIERES ORGANIQUES DU SOL

I. ETUDE GLOBALE DE L'HUMUS ET METHODES D'ANALYSE.

I.1. Définition de l'humus.

On définit comme "Humus" au sens large du terme l'ensemble des matières organiques, peu transformées ou transformées, que l'on observe dans la couche supérieure du sol et éventuellement en profondeur.

1.1 Description - Répartition dans le profil.

Tout à fait en surface, sur une épaisseur pouvant varier de 0 à 10 cm, il y a la "litière".

- La litière est composée de débris végétaux (tiges ou feuilles) d'abord intacts et de grande dimension, puis de plus en plus noircis et en petits fragments au contact de la matière minérale du sol.
- Au-dessous de la litière, il y a l'horizon supérieur du sol dit "Morizon humifère".
 - Son épaisseur varie de 5 à 30 cm en moyenne, mais il peut atteindre 50 cm à 1 m. dans des cas exceptionnels (Sols andiques, Sols hydromorphes organiques).
- C'est essentiellement la couleur sombre de l'horizon qui permet d'en voir la limite.

PREMIERE PARTIE

MATIERES ORGANIQUES DU SOL

- I Etude globale de l'humus et méthodes d'analyse
- II La composition chimique de l'humus
- III Etude de l'humification dans le sol
- IV Rôle de la matière organique dans la pédogenèse
- V Principaux types de matières organiques
- VI Matière organique et culture

DEUXIEME PARTIE

PHOSPHORE DU SOL ET FERTILITE

- I Les différentes formes du phosphore dans le sol
- II Les méthodes d'analyse du phosphore du sol
- III Fractionnement des formes du phosphore dans les sols
 - IV La fixation du phosphore sur le sol
 - V Interprétation des résultats d'analyse du phosphore dans les sols tropicaux
- VI Les méthodes isotopiques d'analyse du phosphore du sol
- VII La fertilisation phosphatée

TROISIEME PARTIE

LES BASES ECHANGEABLES DU SOL

- I Méthode d'extraction des bases échangeables du sol
- II Capacité d'échange de bases
- III Cations échangeables, force de fixation
- IV Le pH du sol et la fertilité (correction du pH) (action sur les éléments majeurs et les oligoéléments)
- V Potassium du sol et fertilité des sols tropicaux
 - 1º) Différentes formes du potassium
 - 2º) Méthodes de mesure
 - 3º) Equilibre quantité/intensité
 - 4º) Méthodes par cultures en pots
 - 5º) Signification agronomique des différents tests
 - 6º) Exemple de teneurs en K dans les sols tropicaux
 - 7º) Apports d'engrais potassiques

QUATRIEME PARTIE

LES METHODES D'ANALYSE DES SOLS SALES

- I Rappel des caractéristiques des sols salés
- II Mode d'accumulation et de migration des sels dans les sols
- III: Méthodes de mesure de la salinité
- IV Conséquences agronomiques de la salinité et de l'alcalinité

CINQUIEME PARTIE

PROBLEMES TECHNIQUES POSES PAR L'EMPLOI DES ENGRAIS

- I Détermination des quantites de fertilisants
- II Lois générales de la fertilisation
- III Détermination pratique de la fumure

- Il contient encore des éléments figurés" fibreux de moins en moins nombreux avec la profondeur, et une masse"organo-minérale" où la matière organique est de plus en plus fine et intimement mélangée à la matière minérale.
- Au-dessous de l'horizon humifère, on ne distingue plus d'humus à l'oeil, mais l'analyse chimique peut donner des valeurs de matière organique non négligeables.

Horizons humiferes profonds.

On peut observer des accumulations d'humus en profondeur Soit par migration de produits solubles et "dépôt", c'est le cas dans l'alios des Podzols.

Soit par recouvrement de couches organiques (Sols enterrés).

Nomenclature.

Couches organiques - Horizon H (cas des sols tourbeux).

HL fibreux.

HF en voie de décomposition.

Hh très décomposé.

Cas sols non tourbeux.

OL = Aco = Ol non décomposé.

OF = Ao = 02 moyennement.

OH = Ao = 0.2 fortement décomposé.

Horizons minéraux.

Horizon A ou Al

pouvant se subdiviser en All accumulation) humique . All pénétration)

A2 éluvial de couleur claire ou E.

A3 ou encore Ab (transition entre A et B).

Accumulation en B = Bh.

. . . / . . .

I.2. Composition sommaire de l'humus.

L'humus est un mélange "Hétérogène" des différents <u>états de décom-</u> position de la matière végétale, en proportions variables suivant les types de sol et suivant les profondeurs.

Ces différents états, en équilibre entre eux, sont appelés "fractions" ou "compartiments", et correspondent à des stades successifs de l'humification, qui coexistent en raisondes apports permanents de matériel végétal frais.

Les produits frais contiennent de la lignine, de la cellulose, des hydrates de carbone, des protéines, et d'autres corps en moindre quantifé (cires, matières grasses, etc ...).

Ces constituants disparaissent plus ou moins rapidement par biodégradation (donnant du CO₂ - H₂O - NH₃) et laissent des résidus plus ou moins transformée correspondant à une coupure des grosses molécules de base.

On peut aboutir à la limite à des monomères solubles :
acides carboxyliques.
acides phénols ou benzène carboxyliques.
acides aminés.

ou à des produits <u>aliphatiques ou aromatiques à longue chaine</u> $\mathcal N$ Alkanes, hydrocarbures, acides gras, polysaccharides, polypeptides,

ou à des combinaisons de ces différents résidus;

Soit : Complexe ligno protéique.

- Combinaison de lignine oxydée (donc réactive) avec des protéines plus ou moins décomposées.

C'est le premier stade de néosynthèse d'une substance noire appelée "Matière Humique" qui évolue ensuite par des mécanismes de transformations biologiques ou biochimiques vers un produit humique de "maturation".

Soit : Acides humiques de synthèse provenant de la condensation et de la polymérisation des monomères, acides benzène carboxyliques et acides aminés.

On a ainsi deux voies d'humification :

La voie résiduelle qui part des grosses molécules végétales et aboutit à l'humus par transformations progressives.

et <u>la voie soluble</u> qui part de substances monomères qui se combinent et se polymérisent pour donner un humus de synthèse.

On aboutit dans les deux cas au même produit final qui est \mathbf{l}^{t} "Hummis collo \mathbf{l} dal".

I.3. Séparation et analyse des constituents de l'Humas. (Procupe)

Séparation physique.

par densité.

Méthode HENIN et MONNIER. [

Le sol est agité dans un mélange alcool-bromoforme de densité D = 1,8 puis centrifugé.

On sépare une fraction "légère" constituée de matières végétales peu transformées, et une fraction "lourde" comportant la matière minérale D # 2,6) et l'Humus transformé qui lui est 116.

L'analyse du carbone et de l'azote de chaque fraction donne : pour la fraction légère un rapport $\frac{c}{N} > 15$ ou 20 pour la fraction lourde un rapport $\frac{c}{N}$ proche de 10.

Le liquide organique contient souvent de l'Humus en solution. En faisant varier la densité de 1,8 à 1,2, la matière légère est de plus en plus pauvre en éléments minéraux et en produits décomposés.

La matière légère de densité 1,8 contient une proportion non négligeable de matière humique transformée, en plus des débris végétaux.

- L'acide phosphorique de concentration 2 M a une densité entre 1,1 et 1,2, il sépare une fraction plus faible de débris végétaux pratiquement non humifiés, et pauvre en constituents minéraux.
- Après hydrolyse acide et extraction alcaline (analyse de l'humine),

,

'On peut utiliser de l'acide phosphorique D = 1,4 pour extraire la matière légère de l'humine ou "Humine héritée".

Séparation par flottation et tamisage.

BRUCKERT - FELLER. (1974)(1979)

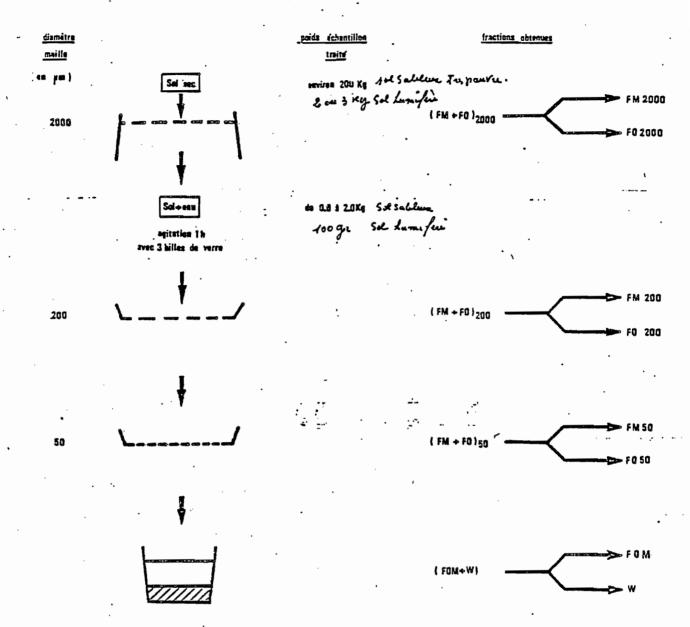
Le sol est d'abord tamisé à sec pour séparer les débris de plus de 2 mm., puis une quantité variable de sol de 100 gr. à 1 Kg et agiter dans l'eau pendant une heure avec 3 balles de verre, et tamiser dans l'eau au tamis 0,200 mm.

Le produit tamisé est passé à son tour au tamis 0,050 mm. On a donc 4 fractions : supérieure à 2.000 microns, entre 2.000 et 200 microns, entre 200 et 50 microns, et inférieure à 50 microns.

Chaque fraction peut contenir des éléments organiques et minéraux, mais les fractions les plus grossières contiennent surtout des débris végétaux peu transformés, mélangés à des cailloux.

SCHÉMA DE FRACTIONNEMENT D'UN SOL SABLEUX TRÈS PAUVRE EN MATIÈRE ORGANIQUE (Fella)1479

(Méthode 2)



FM = fraction essentiellement minerale (sables)

FO = fraction essentiellement organique

FOM = fraction organo-minérale (particules de taille inférieure à 50 pm)

W = fraction hydrosoluble et particules en suspension dans l'eau après centrifugation

Quelques caractéristiques des fractions organiques et organo-minérales.

A titre d'illustration, nous présentons dans le TABLEAU 3 quelques caractéristiques des fractions organiques et organo-minérales du sol étudié.

TABLEAU 4 - QUELQUES CARACTERISTIQUES DES FRACTIONS ORGANIQUES
ET ORGANO-MINERALES - FELLER -(1979)

Fraction	Caractéristiques morphologiques	Caractéristiques chimiques					
		C/N	MC/L (+) mat.cellulos. Lignine	NDF/CC (++) Fibres/cont.cellul.			
FO 2000	Résidus végétaux très grossiers (taille supérieure à 2 mm) : pailles, racines, graines, etc	40.3	2.4	1.6			
FO 200	Résidus végétaux grossiers (mille de 0.2 à 2 mm) encore reconnais- sables à l'oeil mu, racines, pe- tites graines, etc Certains de ces résidus sont déjà préhumifiés.	20.9	1.4	2.5			
FO 50	Débris organiques (taille de 0.05 à 0.2 mm) peu recommaissables à 1'oeil nu, fortement humifiés : débris végétaux ou animaux, boulettes fécales.	15.0	0.8	supérieur à 10			
FOM ·	Matière organique liée aux limons et argiles, non recommaissable (humus s.s.).	10.3	n.d.	n.d.			

Abréviations : n.d. = Non dosé, C = Carbone, N = Azote, L = Lignine

MC = Matières cellulosiques, N.D.F. = Neutral detergent fiber"

(fibre résistant à détergent neutre).

CC = Contenu cellulaire.

⁽⁺⁾ MC dosé selon O.M.A. (1975, L dosé selon VAN SOEST (1963)

⁽⁺⁺⁾ NDF et CC dosés selon VAN SOEST et WHINE (1967).

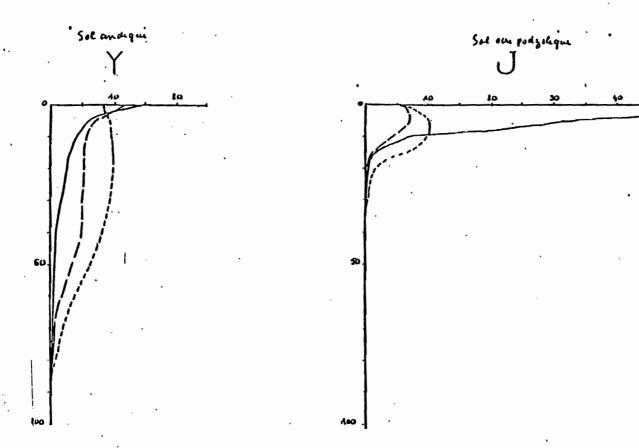


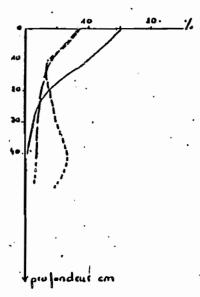
Fig 1 MATIERE ORGANIQUE %

PAR FRACTION/AUSOL TOTAL

7

Sof Annique

soe ou rodyo lique



- ___ |raction > 200 m
- __ | raction > 50 m
- ---- | raction < 50 µ

50

Fige

MATIERE ORGANIQUE 1.6%

PAR FRACTION / SOL TUTAL

d'après 11 elme . V. (1981)

Puis, au fur et à mesure que le diamètre diminue, la proportion de matière minérale tend à sugmenter, et la matière organique est de plus en plus transformée et liée à la matière minérale.

Nous donnons quelques exemples d'analyses réalisées par FELLER sur des sols du SENEGAL, et par Melle V. MELINE sur des sols de FRANCE. Les teneurs en C et N sont déterminées sur les différentes fractions. Le rapport C/N diminue des fractions les plus grossières vers les fractions les plus fines.

Les teneurs comparées en matière organique sont plus importantes dans les fractions grossières en surface du sol, elles augmentent relativement dans les fractions fines en profondeur.

Séparation par voie chimique.

Comparaison de méthodes.

Pour séparer les fractions transformées ou humifiées des fractions non transformées, on utilise les propriétés des colloïdes humiques de se disperser en milieu alcalin; les solvants polaires provoquent la rupture des liaisons hydrogène, et_favorisent la solublisation des molécules.

La Soude a un effet dissolvant très puissant mais par contre, la liaison de l'humus avec la matière minérale, en particulier par l'intermédiaire de cations bi et trivalents, peut s'opposer à son action dispersante.

Il est nécessaire de prévoir des prétraitements pour éliminer ces cations de liaison avec l'argile.

(4)%:)

W. FLAIG aignale et compare un certain nombre de méthodes d'extraction de l'humms.

1°. Prétraitement acide.

NEHRING. (1955), .TIURIN -(1937)

2 % HCl a froid, 1 % Na OH a froid.

SPRINGER (1938)

5 % HC1 70 °C; 0,15 % Na OH à 1'ébullition.

2º. Action de substances complexantes.

KONONOVA - BELCHTROVA (1961)

0,1 * [Na₄ P₂G₇] 0,1_N (NaOH)16 H. a froid.

WELTE (1956).

0.1 M Ne₄ P₂O₇ 8 H. à 1°6bullition 0.1 M Ne₄ P₂O₇ 5 % d'hydrate d'hydrazine 16 K. à froid.

Ces différentes méthodes extraient un liquide coloré, que l'on sépare ensuite en deux fractions par précipitation à pH = 1 par un acide.

Le produit floculé porte le nom d'acide humique.

La fraction soluble dans l'acide s'appelle acide fulvique. Il reste un résidu insoluble lié à la matière minérale.

Sur chaque fraction séparée, on dose la matière organique.

Les différents réactifs à froid donnent des extractions comparables au point-de-vue quantitatif, et dans la répartition relative des acides ful-viques, des acides hùmiques et de l'humine (ou résidu).

Les réactifs à chaud donnent des quantités plus fortes, mais surtout les proportions relatives sont fortement modifiées, en particulier il y a augmentation des acides fulviques, et diminution du résidu ou humine, les acides humiques variant plus faiblement.

Les acides ou alcalis à chaud ont une action hydrolysante importante sur le résidu.

D'autres solvants comme le Fluorure de sodium ou d'ammonium, le carbonate de sodium, l'acide chlorhydrique ou fluorhydrique ont été essayés à froid et donnent des résultats variables.

Sur un podzol, les acides seuls extraient des traces dans l'horizon supérieur, et de fortes quantités dans le Eh.

Il s'avère que la matière humique des horizons Eh est composée essentiellement d'acides fulviques, alors qu'ils sont éliminés dans l'horizon de surface.

B. DABIN en 1971 a montré que les différences entre les extractions à froid viennent du fait qu'elles sont généralement incomplètes en raison de la concentration variable des réactifs et du rapport Sol/réactif au cours d'un extrait unique.

En renouvelant les extraits jusqu'à épuisement, on parvient à une

. . . / . . .

	① ②	3	4	5	,	
	19 8	17	15	42		
			·	··		1
2	33	15	20 -	13	19	
		, . .	* .*			Ì
3	34	<u> </u>	7 11	34		
	18 6	14 9	· .	-	·	!
4	18 6	14 9		53		
· 5	17 5 1	2 11		55		•
, 6	38	4 7	24		27	* ***
		<u> </u>				,
7	16. 2.8	23	•	51		, see
•	FIGURE 3 — C	omparaison di selon WIESEI	e différents ag MULLER (1965)	ents d'extracti	on,	23
	Acides fulvio	ues.	. Acid	les humiques ;	gris.	, 14k . 54
	2 Acide hymate	omélanique.	. (5) Rési	dus.	. ~ ·	
	(3) Acides humio	pues bruns.				
	O					
r 1 =	2 % HCl & froid, 1	% NaOH à f	roid : NEHRI	NG (1955), TI	URIN (1937).	
	5 % HCl, 70° C, 0,15° 5 % HCl, 70° C, 1 %			NGER (1938).		
	0,1 M Na.P.O., 0,1 n KOVA (1961).			KONONOVA	e BELCHI	•
	0,1 n Na.P.O., 0,1 n l			•		•
6. = 7. =	0,1 n Na.P.O., 8 heure 0,1 n Na.P.O., 5 % hy	s a ébullition drate d'hydra:	: WELTE (19: zine, 16 heures	66). à froid.		
40			•			

meilleure reproductibilité des résultats, soit avec la soude, soit avec le prétraitement acide, le pyrophosphate et la soude employés successivement.

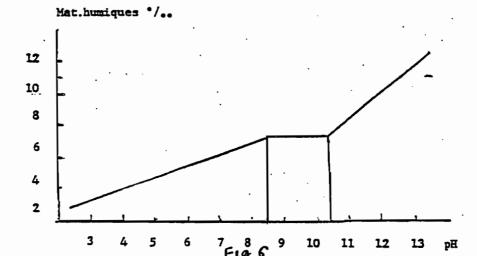
Ces méthodes sont revues en détail.

Etude des conditions d'extraction des matières humiques.

THOMANN C. (1963) a étudié l'extraction de l'Humus par des solutions à pH croissant

Mélang	e PO ₄ H ₃ + Pyrophosphate	PΗ	4	à	9.
	Pyrophosphate seul	pΗ	9	a	10.
	Pyrophosphate + Soude	рĦ	10	à	12
	Soude seule.				

Les concentrations joniques restent comparables

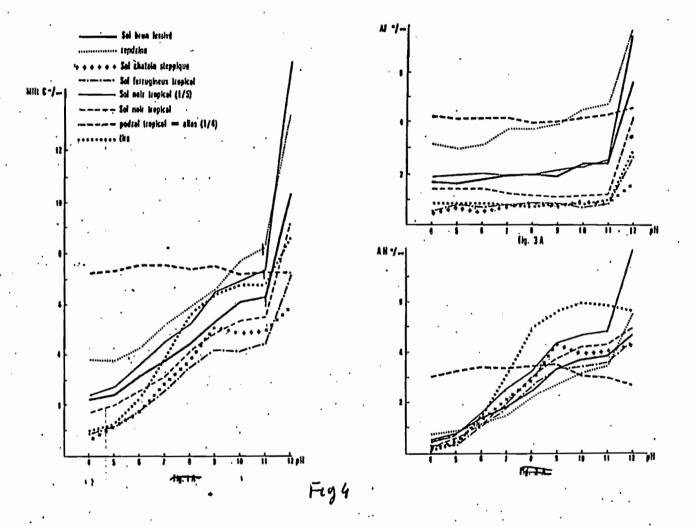


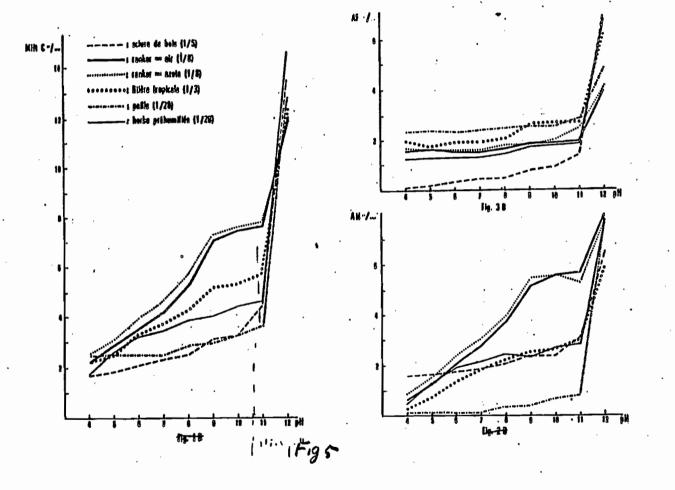
Entre pH = 4 et pH = 9, il y a une extraction croissante de matière humique, il se produit une ionisation croissante des fonctions OH de l'Humms avec dispersion croissante des particules, et saturation des fonctions COOH carboxyles par Na.

(A pH = 7 en particulier, les grosses molécules restent floculées en raison de la concentration ionique en sel neutre).

Viques étant extraits rapidement aux bas pH, et demeurant constants jusqu'à pH = 9.







キ そら

Entre pH 9 et 11, l'extraction monte un palier.

Puis, entre 11 et 13, il y a augmentation de l'extraction. Cette augmentation peut porter soit sur les acides humiques ou les acides vulviques ou les deux à la fois, compte tenu de la nature de la matière organique.

Des produits comme la paille ou la sciure de bois donnent des acides fulviques (jusqu'à 20 %), des acides humiques (6 %) (essentiellement du type acides humiques bruns). (To per (afai))

Les sols humifères (andosols) ou tourbeux peuvent donner de très grandes quantités d'acides humiques à très grosses molécules (Acides humiques gris) ainsi que des acides fulviques extraits dans la soude.

Donc, les réactifs acides et le pyrophosphate seul, extraient des acides fulviques et humiques vrais, mais la soude peut extraire soit des produits humiques vrais, soit des produits de dissolution et d'hydrolyse des matières végétales qui, su contact de l'air, donnent des produits humiques de synthèse peu évolués (cette humification chimique est très faible et se distingue très aisément à l'électrophorèse - Diagramme plat).

Cette propriété peut être une source d'erreur si les réactifs sont utilisés en mélange sur le sol total, mais elle peut être une méthode de caractérisation supplémentaire si les réactifs sont utilisés séparément sur des fractions bien définies.

I.4. Méthodes d'analyse des matières humiques.

Conformément aux principes énoncés ci-dessus, différentes méthodes d'extraction de l'Eumns ont été mises au point.

41 DUCHAUFOUR et JACQUIN (1966).(4963)

Sol tamisé à 0.5 mm (Broyé préalablement).

Résidu _____ Matière lourde.

DUCHAUFOUR et VEDY (1973) préconisent une seconde séparation, après utilisation des ultrasons.

Sur la matière légère on effectue successivement : Un extrait su pyrophosphate de sodium à pH = 7 P_2O_7 Na $_4$ 0.1 M (tampouné par H_2 SO $_4$). Un extrait au pyrophosphate de sodium à pH = 9.8 (0.1 M).

. . . / . . .

Sur la matière lourde

Un extrait pyrophosphate pH = 7.

Un extrait pyrophosphate pH = 9.8 (P₂0, Na₄ 0.1 M).
Un extrait NaOH 0.1 M.

Les extraits sont généralement renouvelés deux fois.

Les différents extraits sont séparés en acides humiques et fulviques par précipitation acide à pH 1-1,5.

Le carbone total et l'azote total sont dosés sur les différentes fractions.

La nature chimique des fractions peut être étudiée par divers procédés.

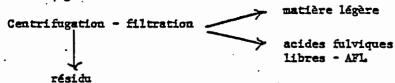
42 METRODE BONDY - DABIN (1971).

On utilise l'acide phosphorique de concentration 2 M qui sert à la fois de <u>prétraitement acide</u> (surtout dans le cas des sols calcaires) et <u>de liquide dense</u> (bien que la densité ne dépasse que peu 1.1). Celà suffit cependant pour séparer les fragments de matière végétale non liés au sol.

Sauf dans certains de litière humifiée, cette matière légère est très peu décomposée, et il n'est pas nécessaire de faire des extractions alcalines supplémentaires.

L'acide phosphorique ne dissout pas d'acides humiques, mais une fraction d'acides fulviques particulièrement mobiles, appelée acides fulviques libres.

10 à 40 g. de sol broyé et tamisé à 0.5 mm. 200 ml PO₄H₃ 2 M - 3 extraits successifs.



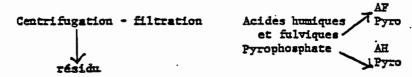
Lavage à l'eau - 2 fois 400 ml.

- Extrait pyrophosphate de soude 0.1 M pH 9.8 2 ou 3 fois 200 mL.

icatilions	Labo.	H ₂ 0	Mat. légère		Extr. alc. Total	AH ·	AF	Culot	Total C% extraits + culot	Carbone Total % (dosage direct)
			C %	C %	C %	~ C %	C.28	C %		•
Beigneville Limon des	1 2 3 5	2,1 2,4	0,0082	0,065 0,04 0,054 0,013	0,35 0,52 0,315 0,555	0,26 0,29 0,23 0,355	0,097 0,17 0,118 0,213	0,77 0,84 0,94 0,64	1,16 1,4 1,3 1,208	1,16 1,32 1,16 1,46
Plateeux	BOy		0,0126	0,043	0,435	0,283	0,149	0,79	1,26 1,15	1,27 1,16
•	1	6, 15	-	0,28	1,95	1,5	0,45	2,78	5,01	5,56
Fontarlier Sol humo calcique	2 3 5	7,2	0,007	0,11 0,137 0,064	2,65 2,02 2,29	1,91 1,57 1,47	0,80 0,439 0,89	3,41 3,8 3,25	6,17 6,01 6,12	6,46 5,9 4,05
:	moy. 4		0,02	0,147	2,22	1,6	0,64	3,31 3,6	5,82 6,14	5,49 5,9
Podzol A1	1 2 3 5	0,4	0,01.	0,045 0,02 faible	0,96 1,31 0,89	0,72 0,98 0,68	0,19 0,18 0,24	1,43 1,69 2,05	2,43 3,09 2,9 2,96	2,79 2,81 2,28 3,47
^?'_	moy.		0,052	0,013 0,019 0,018	1,047 1,05 0,87	0,89 0,81 0,63	0,165 0,193 0,23	1,90 1,76 1,53	2,8	2,83 2,28
Podzol. Bh	1 2 3 5 moy	4,1 5,2	0,064	0,85 0,41 0,368 0,221	5,55 6,47 5,9 5,42	3,9 5,42 3,7 4,59	1,4 0,68 1,4 1,05	1,02 1,15 1,19 1,47	7,42 8,31 7,47 7,11	7,40 8,49 7,78 8,29 7,99
	4		0,04	0,56	4,6	3,6	0,99	1,15	6,35	7,78
Sol fersial- litique	1 2 3 5 moy.	3,96 4	0,038	0,15 0,31 0,29 0,13 0,22	1,35 1,98 1,2 1,84 1,59	0,89 1,17 0,79 1,22	0,47 0,74 0,51 0,75 0,61	3,91 3,89 4,7 3,41 3,97	5,41 6,18 6,2 5,37 5,79	5,79 6,16 6,03 5,55 5,88
<u> </u>	4		0,19	0,77	1,87	0,82	1,04	3,28	6,11	6,03
Bonnevaux gley à hydromull sur	1 · 2 · 3 · 5	6,9 8,8	0,013	0,78 0,23 0,24 0,16	2,8 4,27 3,4 3,82	2,46 3,08 2,5 3,06	0,69 1,16 0,82 0,93	6,64 5,24	7,39 10,49 10,3 9,23	8,15 10,49 10,23 9,63
celcaire	moy. 4		0,08	0,35	3,57 4,49	1,9	2,5	5,42	9,35.	9,62
Rendzine de Châlons	1 2 3 5 moy.	1,1	0,0198 6	0,03 0,14 0,178 0,05	0,066 0,6 0,68 0,70	0,29 0,51 0,01	0,24 0,16 0,110	1,18 1,02 1,53	1,92 1,9 2,28 2,03	1,54 2,03 2,04 1,52
	4	_	0,024	0,18	0,52	10,23	0,29	0,92	1,644	2,04

Méthodes IHSS: 1 Gerdat - 2 Poitiers - 3 ORSTOM - 5 Besançon - 4 méthode Bondy.

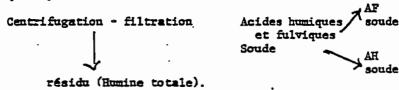
ou jusqu'à épuisement (couleur claire).



- Extrait soude 0.1 M

2 ou 3 fois 200 ml

ou jusqu'à épuisement (couleur claire).



Le carbone et l'azote sont dosés sur les différentes fractions.

La somme des fractions doit donner le carbone total déterminé directement.

43 METHODE BEDCKERT (Complexes organo-minéraux). (1972)

1 g. de sol est épuisé successivement par

100 ml de tetraborate de sodium(Na₂ B₄ O₇) 0.1 M

ajusté à pH 9.7 par Na OH 0.1 M.

Centrifugation - filtration

puis Na₄ P₂ O₇ 0.1 M

- Na OH 0.1 M

Ces méthodes servent essentiellement à séparer les complexes organisme minéraux.

Le tetraborate so rt les complexes mobiles (acides fulviques et acides humiques à faible poids moléculaire) qui contiennent du fer et de l'a-luminium à l'état complexé.

Le pyrophosphate solubilise les complexes de coordination à fortes charges métalliques.

La soude rompt les liaisons les plus résistantes acides humiques-Al en particulier dans les sols à allophame.

Dans chaque extrait, on dose le carbone, le fer, l'aluminium, le silicium.

DOSAGE DU CARBONE ET DE L'AZOTE SUR LES SOLS TOTAUX ET SUR LES EXTRAITS HUMIQUES

METHODES PAR VOIE HUMIDE.

. Carbone : Les solutions humiques sont desséchées et attaquées à l'ébullition par une solution de bichromate de K à 2 % dans l'acide sulfurique à 50 %. Le C₀ est réduit par le carbone en C₃ .

Après attaque, le bichromate en excès est dosé par un sel ferreux - Sel de Mohr 0.2 N (colorant diphenylamine).

On dose par comparaison une quantité connue de Bichromate pur.

La différence correspond au taux de carbone oxydé.

On peut également doser, par colorimétrie, la quantité de C₃ 3+

formé, en comparant à une gamme de glucose.

. Azote: Le produit organique est attaqué par l'acide sulfurique concentré en présence d'un catalyseur (Sulfate de K et Sélénium).

L'azote organique, après ébullition, est transformé en Sulfate d'ammoniaque. L'ion NH3 est dosé soit par distillation et titrage, soit par colorimétrie (auto-analyseur).

SO₄(NH₄)² + 2 NaOH _____ SO₄ Na₂ + 2 H₂O + 2 NH3 _____ Distillation.

Colorimétrie - Coloration du Bleu d'indophenol (phénate de soude + hypochlorite en milieu alcalin).

METHODES DE DOSAGE PAR VOIE SECHE.

. Coulomètre : La matière organique est brûlée dans un four à 1.250° dans courant d'oxygène, et donne CO₂ - SO₂ - NO₂ - H₂O.

Le gaz carbonique <u>acidifie</u> une solution de <u>Perchlorate</u> de Baryum. Une électrode de pH commande un courant d'Ayarolyse qui libère des ions Ba⁺⁺-qui-neutralisent-la solution.

Le courant nécessaire pour revenir au pH initial, mesure la quantité de carbone (sensibilité du $1/2\sqrt{2}$).

Les gaz parasites comme SO₂ ou Cl sont fixés sur des absorbeurs (eau oxygénée, Chromate de Plomb - IK - Ag) - méthode dite par coulométrie.

. Analyse élémentaire CHN.

La substance est brûlée de la même façon, l'oxyde d'azote est réduit en N gazeux par le Cu réduit.

Le CO₂ et H₂O vapeur sont envoyés, ainsi que N, dans des colonnes de chromatographie gazeuse.

Les gaz sont séparés et dosés successivement par un détecteur (Catheromètre).

le N 2e CO₂ 3e H₂O - Les résultats sont enregistrés sous forme de pics et leur surface, proportionnelle aux quantités, calculée par un intégrateur. C'est l'analyseur élémentaire CHN (Carlo-Erba).

Les prises d'échantillons de quelques mg sont pesées au 1/1.000c de mg.

Les solutions humiques sont déposées sur un support de silice et desséchées.

45 Autres méthodes de fractionnement chimique.

454°. L'Humine est la fraction insoluble qui reste dans le sol après extraction des différentes fractions acido-solubles ou alcalino-solubles à froid.

Différentes méthodes ont été proposées pour l'analyse de l'Humine. (Sulujana Tus ketungene)

A . Humine de précipitation ou d'insolubilisation.

Après épuisement for la soude à froid, on peut extraire des produits humiques fortement liés à la matière minérale, après divers prétraitements assez énergiques, qui rompent des liaisons Mo/solide, ou qui réalisent une certaine hydrolyse.

1°. Deferrification par un acide à chaud.

H₂ SO₄ 2 N & 1'ébullition ou EC1 6 N & chaud. ou par le Orbionite de Sodium puis extraction par Na OH - 0,1 N - Humine liée au fer.

Il convient de déterminer la quantité de carbone ou d'azote extraite dans le réactif acide (en particulier pour HCl 6 N).

2°. Sur le résidu on détruit les silicates par un mélange
HC1 + HF N au bain-marie bouillant.

5 traitements + 1 avec HF seul
puis on extrait les matières humiques par Na OH - 0,1 N
- Humine liée à l'argile

Les deux formes précédentes constituent l'humine dite "solubilisable' dite de précipitation ou d'insolubilisation.

Ce sont des composés très proches des acides humiques, mais plus voisins de la lignine et plus riches en chaines aliphatiques, mais dont le poids moléculaire n'est pas plus élevé - J. MOUCAWI (Thèse 1981).

B. Humine non solubilisable.

Humine héritée et Humine évoluée (ou résiduelle).

Après destruction de l'argile et extrait à la soude, on peut faire une séparation par densité sur le résidu.

Le liquide dense peut être le mélange Bromoforme-Alcool (DUCHAUFOUR, FERRAUD).(1974)

L'acide phosphorique D = 1.4 (B. VOLKOFF).

On peut utiliser les ultresons.

La partie surnageante constitue <u>l'Humine héritée</u>. VEDY (1973) sépare l'Humine héritée par action des ultrasons, immédiatement après la première séparation densimétrique (avant les extractions chimiques).

---Après séparation de l'Humine héritée, le résidu insoluble constitue <u>l'Humine évoluée</u>. Matière organique fortement liée à la matière minérale.

L'Humine héritée est très proche de la lignine et très riche en substances aliphatiques (Spectres I.R. et bande à 300 degrés dans le spectre ATD - Y. MOUCAWI).

L'Humine évoluée a un caractère aliphatique beaucoup moins prononcé, mais présente un taux d'acidité carboxylique plus faible que les

acides humiques extraits par la soude ,et l'Humine, olubiselle

Ce sont les fractions humiques les plus facilement extractibles qui ont le taux de COOH le plus élevé, et les fractions les plus difficilement extractibles qui ont le taux de COOH le plus bas (J. MOUCAWI, 1981).

452°. L'azote dans l'humus.

Fractionnement par la méthode de BREMNER.

Le sol ou les fractions de l'Humus sont hydrolysés pendant 12 à 18 H par HCl 6.N à ébullition faible (sous réfrigérant à reflux).

- On gépare le liquide hydrolysé d'un résidu non hydrolysé, par filtration.
- On neutralise le filtrat jusqu'à pH = 6.5 par la soude.
- On détermine l'azote total sur la <u>fraction hydrolysée</u> et sur la <u>fraction non hydrolysée</u> par le Kjeldahl.
- La fraction hydrolysée est soumise à une série de distillations.
- 4 a. Distillation pendant 5 mm avec la Mgo calcinée (magnésie).
 - -> azote ammoniacal + azote amidé

- b. Distillation en présence d'un tampon phospherate borate pH = 11.2.
 - → N hexose amine + ammonium.
- 3 c. Distillation en présence d'un tampon citrate + Ninhydrine, et phosphate borate.
 - → amino acide + ammonium + hexose amine.

On obtient par le calcul les différentes formes de l'azote

Nclamine = 3 - 2

Hexose amine = 2 - 1

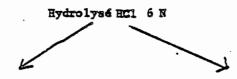
Namide = 1 - NH, déterminé par extrait KCl.

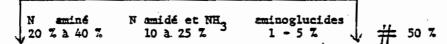
La somme des formes de l'azote hydrolysé ne donne pas le total, il subsiste une fraction dite non identifiable.

ANDREUX (1981) montre qu'une hydrolyse par palier avec sous-tifrage diminue la fraction non identifiable et la fraction non hydrolysable.

Il se produit dans l'hydrolyse en continu des réactions secondaires.

Azote dans l'Humus (FLAIG, 1970) Acides humiques (1 - 5 % N)





dont 7 à 12 % sous forme de liaison peptidique

I. 5. Méthode de fractionnement physique des matières humiques.

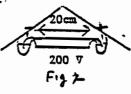
.1°. Electrophorèse.

Les extraits d'acides humiques par le pyrophosphate et la soude sont préparés en solution concentrée à raison de 12 mG C pour un CC de Ne DE 1 N.

On dépose 40 4 1 (mm3) de cette solution sur une bande de papier imprégnée d'une solution de tampon phosphate ou borate pH = 7.4.

On installe cette bande dans une cuve de migration.

La bande à 20 cm de long x 5 cm de large. On fait la dépose à une extrémité (pole) à 5 cm du bord, sur une largeur de 3 cm. La bande de papier est soumise à un courant continu de 200 V (10 V cm).



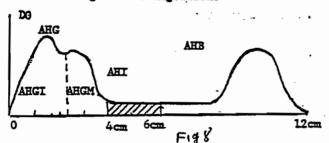
Les acides humiques chargés négativement (anions) se déplacent vers l'anode (pole +); après trois heures de migration, il se produit une séparation en plusieurs fractions :

- Une tache peu mobile de couleur foncée restant près de la dépose.
- Une tache de couleur plus claire migrant d'une douzaine de cm.

- Une ou plusieurs taches intermédiaires.

Après la migration, la bande est desséchée sous I.R. puis passée dans un densitomètre optique.

En lumière blanche, on obtient un diagramme de densités optiques en fonction de la longueur de migration.



La bande sombre ou <u>acides humiques gris</u> s'étale sur'environ 1/3 du diagramme (AHG); entre le 1/3 et 1/2 de la longueur on définit les <u>acides hu</u>miques intermédiaires (AHI).

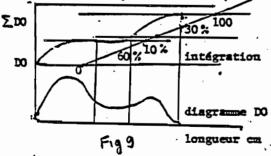
La seconde moitié du diagramme représente les <u>acides humiques</u>
bruns (AHB).

Les acides humiques gris (AHG) peuvent présenter un pic unique ou deux pics qui se chevauchent, le second pouvant absorber les AHI.

On peut les noter (AHGI) (Acides gris immobiles) ou (AHGm) (Acides gris mobiles).

LEROUX (1980) les avait nommés AHGS (senestre) et AHGD (dextre)

Les dentisomètres modernes donnent une lecture automatique avec
courbe d'intégration.

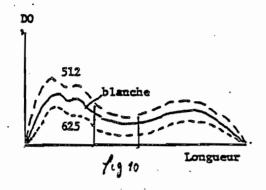


La courbe d'intégration permet de calculer directement les surfaces des pics proportionnelles aux concentrations en humas.

On a un pourcentage pour chaque fraction.

Lecture à différentes longueurs d'onde.

Le lecteur utilisé sur S.S.C. BONDY permet des mesures à 512 nanomètres ou humière verte, et 625 nanomètres ou lumière rouge.



Le diagramme 512 est plus haut que le diagramme 625, la lumière blanche est intermédiaire.

Le rapport des DO moyennes de chaque tache à 625 am et 512 amvarie de $\frac{625}{512}$ 0.3 à 0.8 Le rapport varie de 0.5 à $\frac{512}{100}$ 0.8 pour les acides humiques gris et de 0.3 à 0.5 pour les acides humiques bruns, cette valeur est fonction du degré de condensation

Interprétation des diagrammes.

D'après les études comparatives faites avec la méthode Tiurin (THO-MANN et DABIN, 1970) ou les diagrammes de Sephadex (voir plus loin), la migration est d'autant plus rapide que la molécule est moins grosse, plus chargée électriquement, et moins fixée au support.

Les acides humiques gris à grosses molécules (AHG) et fort pouvoir de firation, migrent très peu.

Les acides humiques bruns ont des molécules plus petites et plus chargées, en raison de leur oxydation croissante; leur pouvoir de fixation est plus faible.

Généralement, les extraits pyrophosphate à pH = 7 donnent peu d'acides humiques gris et beaucoup d'acides humiques bruns.

Les extraits pyrophosphate à pH 9.8 donnent davantage d'acides humiques gris qu'à pH = 7.

Les extraits à la soude, lorsqu'ils sont abondants, sont particulièrement riches en acides humiques gris, sauf bien sur dans des extraits de litière peu humifiée où les acides humiques bruns dominent.

Le rapport $\frac{625}{512}$ est d'autant plus élevé que les acides humiques sont condensés.

Les acides humiques gris donnent un rapport 6/5 plus élevé que les acides humiques bruns. Les acides humiques gris de l'extrait soude, lorsque la tache est plus foncée et plus étroite, donnent des valeurs plus élevées que les acides humiques gris pyrophosphate.

Dans les sols tempérés, le rapport 6/5 augmente dans l'horizon A, ... / ...

de la surface vers la profondeur (humification progressive).

Dans les sols tropicaux, le rapport est maximum en surface du A et diminue en profondeur (humification rapide et biodégradation).

.2 . Séparation par gels Sephadex.

Les gels Sephadex sont des gels de polysaccharides qui gonflent dans l'eau. Ils sont sous forme de petites sphérules de 20 à 300 /4.

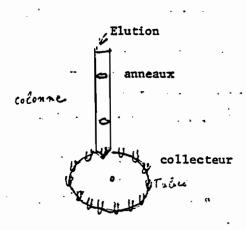
Suivant le gonflement, on a des numéros GlO, G25, G50, G100, correspondant au gonflement 1, 2,5, 5 et 10 fois.

Ces sphérules ont une porosité interne d'autant plus grande que le gonflement est plus élevé. Les gels sont placés dans des colonnes de verre, et la substance est élépée dans la colonne. Les grosses molécules de la substance passent à l'extérieur des sphères, les petites molécules pénètrent à l'intérieur.

L'élution des grosses molécules est rapide, celle des petites molécules plus lente. Dans le 25, les molécules de pM > 5000 passent rapidement, et le gel sépare les molécules entre 1000 et 5000 (Limites des AF et des AHB).

Les molécules supérieures à 5000 sont passées sur le 50. Les molécules supérieures à 10.000 passent rapidement. Le gel sépare entre 5.000 et 10.000.

Le G75 sépare plus de 50.000 et entre 10.000 et 50.000.



On utilise la même solution que pour l'électrophorèse 12 mg de C par ml dans NaOH N, on élue avec l'eau.

Les colonnes ont entre 20 et 60 cm de haut (20 cm pour G75 - 60 cm pour G25). Le liquide est recueill par un collecteur de fractions.

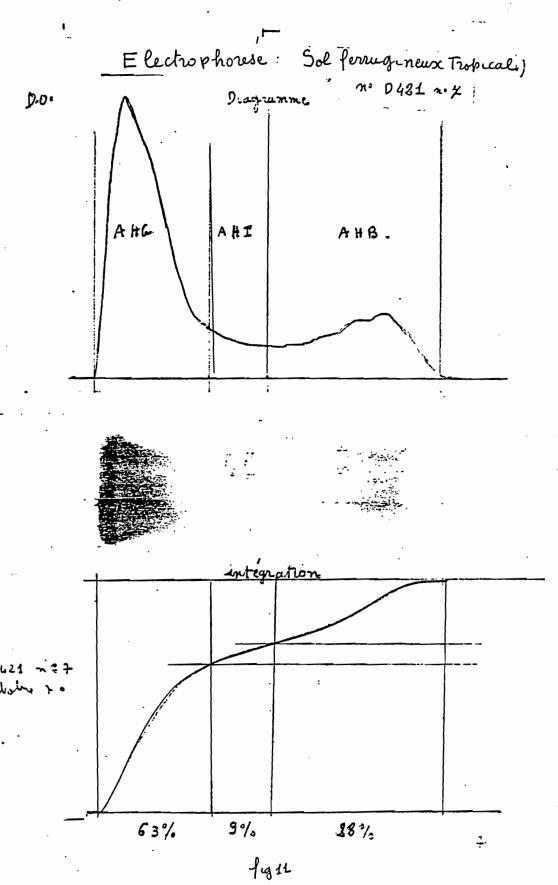
40 tubes de 5 ml soit 200 ml demandent un temps d'élution de 4 à 5 Heures.

On détermine la densité optique de chaque tube à 435 mm. On trace le diagramme : densité optique x volume élué.

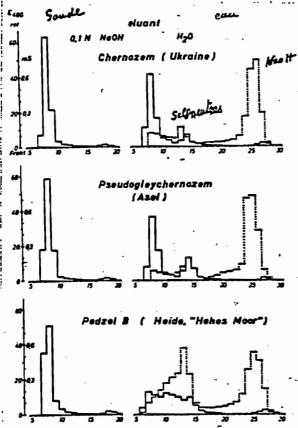
D'après SOCHTIG, il existe une relation entre Log M (poids moléculaire) et Kav = Soit :

/

Comparaison . Electrophorese. Sephadex.



		G 0 10 1 5 4 5 4 5	
•		Sephadese	24 lis
	••	Sephades G 35	
	D.0 ;	Sephader 625	
	ŀ		
	-	ech D481 207	
	15	quant: 0,25 me	•
-	-	0.00	
	<u> </u>	elet Ouse 2 h	
	-		
	ŀ		
	[
	-		
0	À€		·
× ×	.		
မွ			
	- [•
## 47	<u>.</u>		
vensite 4tique x10			
Syr S	[
Ä	5=		
		65% 35%	
		9 LES PAR ETE CANSON _ FRANCE " " " " " " " " " " " " " " " " " " "	no des Tubes -
,	90 <u> </u>	TIES PARETS CANSON I TRATCE	
,	<u> </u>	Schrider - C 50	
	<u>-</u>	Δ	
		dure 56 40 tales	
	5		
	<u> </u>		
			\
	1.7	66%	
	3.	fia 12	. 30: Tucus
The same of the same of		7 (A 12)	
	,		

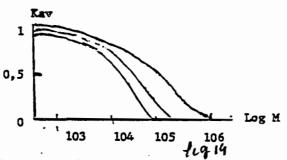


B horizon extracted with 0.1 N NaOH and water on Sephadex G-25. Column effluent was measured at 400 nm. Dotted lines represent conductivity in mhos (mS).

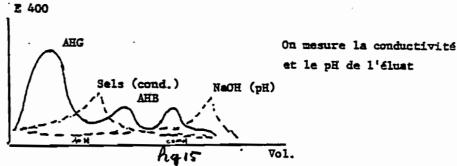
K_{av} =
$$\frac{\text{Ve - Vo}}{\text{Vt - Vo}} = \frac{\text{Volume d'éluent - Volume de vides}}{\text{Volume total - Volume de vides}}$$

Le volume de vides est donné par le passage des premières grosses molécules.

Le poids moléculaire comparé à des protéines globulaires est fonction de Kav étalon (Blue Dextran).



Avec une solution sodique d'acides humiques si on élue avec de l'eau on a des pics séparés



Le premier pic (AHG) sort avant l'élimination des sels (précipitation). Après les sels, on sort les acides humiques bruns (AHB).

Le dernier pic sort avant l'élimination de la soude.

SOCHTIG (1965) fait une élution à concentration constante, avec du Borate de soude 0.04 N sur un acide humique dissout par le Borate de Soude 0.04 N.

Sur le 75, on obtient des diagrammes continus présentant un maximum : ce maximum est caractéristique du PM moyen de la substance.

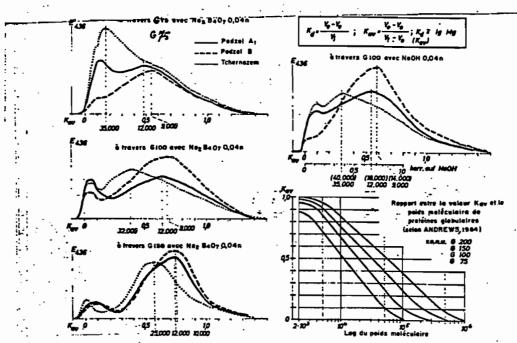
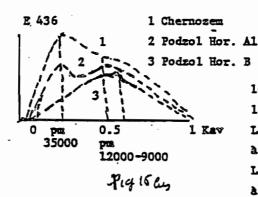


 Diagramme d'élution d'acides humiques de diverses origines sur divers tamis moléculaires (SOECHTIG, 1968)



le chernozem présente 1 maximum à par 35.000 Le Al du podzol a 2 maximum à 35.000 et 19.000. Le B du podzol a 1 maximum à 9.000.

15 .3 . Autres déterminations sur les fractions extraites.

 a. <u>Détermination des fonctions Carboxyles COOH-Hydroxyles OH (Phénol</u>), et capacité d'échange.

Les fonctions acide et phénol.

Les acides humiques peuvent être déterminés par titration directe.

Les acides humiques en solution sodique sont purifiés par une résine - cationique (Amberlite IR 120) et par électrodialyse pour éliminer les anions minéraux. Ils sont séchés et lyophilisés.

Un poids donné de substance peut être titré directement par la soude ou la baryte en présence KCl ou Ba ${\rm Cl}_2$.

On trace la courbe du pH en fonction de la base ajoutée (en m.e.), on laisse équilibrer 5 mm après chaque addition de base.

La titration à pH = 7 représente les groupes COOH (Carboxyles).

La titration à pH = 10 représente les groupes phénols (OH).

Les acides fulviques sont plus difficiles à purifier car ils passent au travers des membranes de dyalise.

La méthode de FORSYTH (1947) consiste en une fixation sur le charbon activé suivi d'une élution par différents solvants.

ECI 0.1 N (fraction A) - Substances simples : acides organiques acides aminés

Acétone à 10 % d'eau (fraction B) - glucosides phénoliques.

Eau distillée (fraction C) - polysaccharides.

NaOH 0.5 N (fraction D) - Acides fulviques S/S.

C'est la fraction D qui correspond aux acides fulviques au sens strict; ils peuvent être purifiés sur résine cationique.

(1962)

D'après SCHNITZER, la formule d'un acide fulvique est la suivante : C21 H12 (COOH) 6 OH - poids moléculaire environ 670.

A pH = 3 1 groupe COOH

A pH = 6 5 groupes COOH

A pH = 8 6 groupes COOH

A pH =10 2 groupes OH + COOH phénoliques

La capacité d'échange nette des matières organiques totales peut être déterminée par différence entre la CEC du sol total et la CEC du sol calciné à 350° (DE BOISSEZON).(49/7)

45 3 b. Déterminations physiques.

Mesure des fonctions périphériques par les spectres infra-rouges.

La spectrographie à infra-rouge est constituée d'une source lumineuse qui est divisée en deux faisceaux; l'un traverse la substance, l'autre est un faisceau de référence : ils sont focalisés sur un monochromateur à à réseau, puis analysés par un détecteur à infra-rouge.

Le déséquilibre des faisceaux dû à l'absorption de la substance, provoque un signal électrique dans le détecteur qui commande un atténuateur optique; ce dernier règle l'intensité du faisceau de référence pour rétablir l'équilibre.

L'enregistreur est relié à l'atténuateur et trace un spectre d'absorption en fonction des longueurs d'onde entre 2.5 M et 16 M ou 4000 et 625 cm⁻¹ en nombre d'onde.

La radiation dont le nombre d'onde correspond à la fréquence de vibration de l'élément rencontré peut être absorbée

La fréquence de vibration dépend des masses des différents atomes constituent la molécule et de la force des limisons.

Les liaisons C - C, C = C, C - Cl ont des fréquences de vibration différentes et absorbent à des nombres d'onde différents.

La mesure des différentes absorptions aux différentes longueurs d'onde caractérise la substance. On compare le diagramme à celui de substances communes.

Dans le cas de substances simples (moins de 15 At de C), on peut reconstituer la structure moléculaire par le calcul.

... / ...

Dans le cas d'une substance complexe comme l'humus; le bruit de fond est considérable; par contre, les groupes fonctionnels que C = 0 C < 0 NH_2 sont absorbés à des longueurs d'onde relativement indépendantes du fond moléculaire .

Les molécules humiques doivent être purifiées (Résine ou dialyse) puis lyophylisés.

3 mg de substance sèche est mélangée à 300 mg de K B₂, et comprimée sous forme de pastille sous 10 Tcm2 de pression.

Interprétation des spectres I.R.

3.400⁻¹-3.100 Valence, d'hydroxyles OH - alcooliques et phénoliques

Eau d'hydratation - Large bande due aux protéines

Groupement NH

2.920 - 2.850	CH al@phatiques CH2 - CH3 - 2.850 - 2.960
1.720	Groupement C = 0 des acides carboxyliques C 0H
	des cétones et aldéhydes - également 1.210 L'ésthérification fait disparaître 1.720 et augmente 1.610.
1.610 - NH et C = N	Résidus protéiques 1.650 - 1.550 - 1.485 NH amino-acides.
1.610-1.510	Vibration des noyaux aromatiques C = C. CH aromatiques 825-870.
1.510-1380 1.460	Pics de chaines latérales dans la <u>lignine</u> 1.505 disparaissent dans l'humus évolué C=C aromatique de la lignine
1.380	Ions carboxylate COO esthérifié (comme 1.610) C-O des phénols.
1.225	C-0 des phénols - esters - éthers. OH de COOH
1.075-950 maximum 1030 — cm-1	Polysaccharides C-C C-OH C-O-C
1.000 à 1.100	Si-O des Silicates (Argile) Sulfates (doublet)

Quelques résultats des spectres infra-rouges.

. Dans les acides fulviques.

Les bandes correspondent aux CH aléphatiques, aux COOH et aux polysaccharides sont très fortes.

. Dans les acides humiques, les CH aléphatiques sont plus faibles.

Les pics COOH sont moins importants.

Ils diminuent des extraits pyro vers les extraits soude, puis dans l'Eumine liée au fer et liée à l'argile.

Les pics caractéristiques de la lignine sont faibles dans l'extrait pyro.

Ils sont nets dans l'extrait soude et augmentent dans les humines liées au fer et à l'argile.

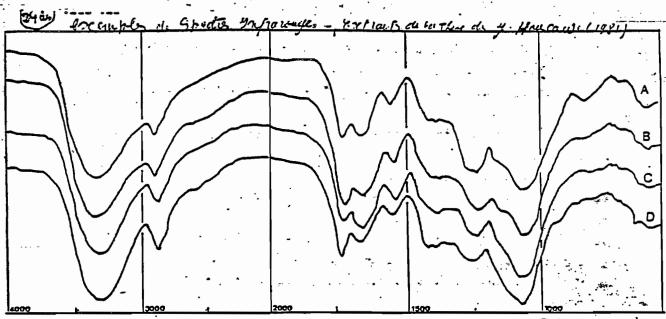
Les pics correspondant aux polysaccharides sont faibles dans l'extrait pyro et augmentent fortement dans les extraits soude (Humine liée à l'argile) (1175)...

L'hydrolyse par HCl 6 N fait disparaître les <u>bandes aminées</u> autour de 1.600, et augmente les pics des chaines latérales de la lignine (1510-1380).

Les extraits soude hydrolysés sont très voisins de la lignine (surtout l'humine).

- Les extraits soude, principalement l'humine, sont des complexes ligno protéiques, proches de la lignine.
- Les extraits pyrophosphate. représentent un stade d'oxydation et d'acidification plus avancé, avec perte de nombreuses chaines latérales caractéristiques de la lignine.

· · · /· · · ·



Fréquence cm-1

Figure 14 - Spectres d'absorption infrarouge d'acides fulviques extraits par le pyrophosphate de sodium 0,1 M à partir des horizons A₁ ou Ap.

Rendzine modale (Saint-Martin-de-Fraigneau) Sol brun calcique (Sainte-Gemme-la-Plaine 3) Sol lessivé rubéfié (Ste-Gemme-la-Plaine 1) Sol lessivé glossique (Saint-Sornin 3).

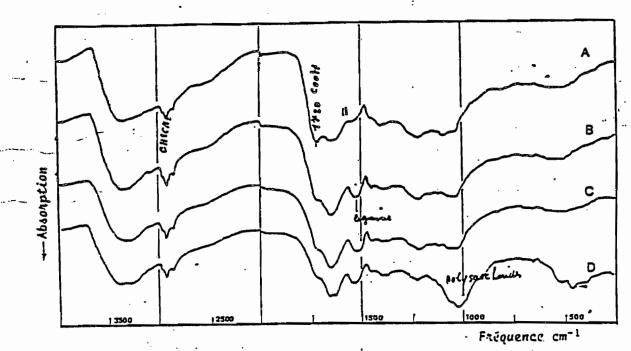


Figure 18 - Spectres d'absorption infrarouge des différentes fractions d'acides humiques extraits d'un même horizon superficiel : rendzine modale de St-Nartin-de-Fraigneau (Produits non hydrolysés).

A : Fraction I (extrait pyrophosphate)
B : Fraction II (extrait soude) C : Fraction III (extrait soude après élimination du fer)

D: Fraction IV (extrait soude après élimination des argiles).

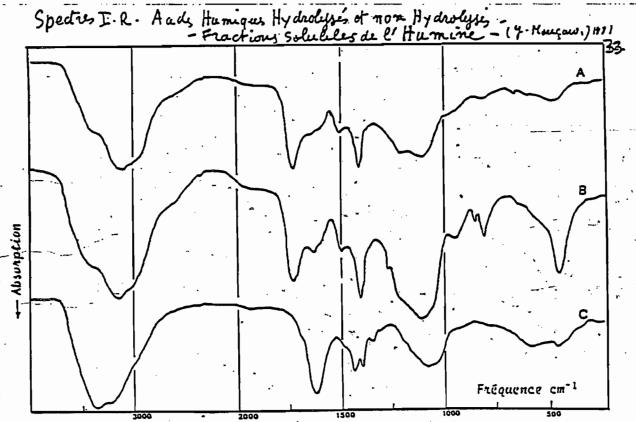


Figure 18 - Spectres d'absorption infrarouge de la fraction soluble dans HCL 6 N après hydrolyse des différentes fractions d'acides humiques.

A : Sol brun calcique : Ste-Gemme-la-Plaine 4 Fraction I : Amino-acides libres dominants.

: Rendzine modale : St-Martin-de-Fraingeau Fraction II : Mélange d'amino-acides libres et salifiés.

C : Sol brun calcaire : Nalliers 5 Fraction IV : Amino-acides salifiés.

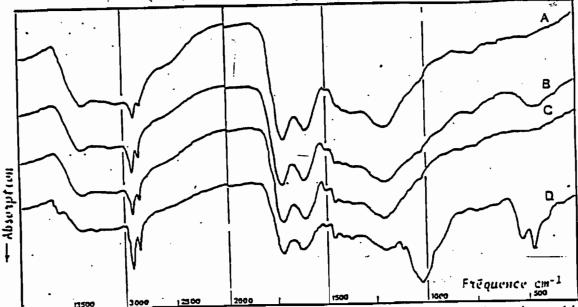


Figure 30 - Spectres d'absorption infrarouge des différentes fractions des acides humiques extraits d'un même horizon superficiel (rendzine modale de St-Nartin-de-Fraigneau) et hydrolysés par HCL 6 N.

A: Fraction I (extrait pyrophosphate)

B: Fraction II (extrait soude)

C : Fraction III (extrait soude après élimination du ser)
D : Fraction IV (extrait soude après élimination des argiles)

Spectre J.R. des Hamines non solutilisables - tramme heriter - (J. Housawi)

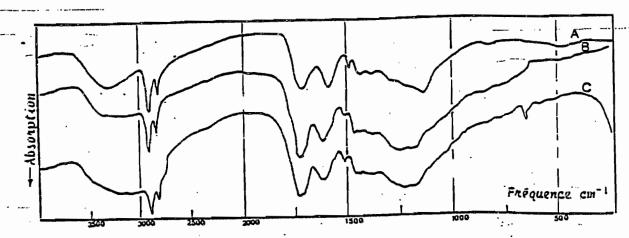


Figure 🕶 - Spectres-d'absorption infrarouge

A : Lignine isolée à partir de la callune

Humine non solubilisable libre (humine héritée) St-Vincent-sur-Graon

B : Péminéralisée, traitée par le bromure d'acétyle et hydrolysée par HCL 6 N C : Péminéralisée, traitée par le bromure d'acétyle et chauffée à 200°C.

- Courles A.T.D. des humines - (y. Houçawi)

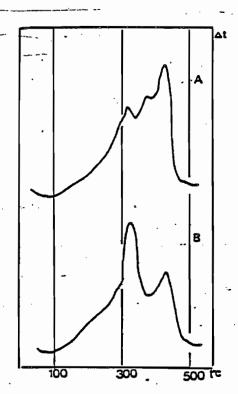


Figure 25 - Courbes ATD sous oxygène

- A: Humine d'insolubilisation (rendzine modale) Saint-Martin-de-Fraigneau . Préparations traitées par le bromure d'acétyle et hydrolysées par HCL 6 N
- B: Humine héritée (sol lessivé glossique) Saint-Vincent-sur-Graon

i-

Courbes A T D

Les courbes ATD des Rumus sous oxygène sont utiles pour l'étude des humines en particulier, et des complexes humo-métalliques. Il apparaît trois pics d'oxydation sur toutes les courbes (exothermiques).

Ceux-ci culminent respectivement à 310-320°

390-400*

et 400°

Le premier correspond au départ des <u>chaines aléphatiques</u>, les deux suivants à l'oxydation de la <u>fraction aromatique</u> et de certains groupes fonctionnels.

L'Humine héritée a un pic dominant à 310 (riche en produits aléphatiques).

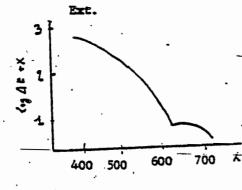
L'Humine évoluée a son principal maximum à 440 (riche en produits aromatiques)

Les complexes organo-minéraux des acides fulviques avec le Fer et l'Aluminium présentent au contraire des pics endothermiques à 350 et 270° suivant que le rapport $\frac{Fe}{AF}$ est $\frac{1}{1}$ ou $\frac{6}{1}$ (SCHNITZER) $\frac{1969}{1}$

Mesures d'absorption en lumière visible.

On opère sur des solutions contenant environ 1 mg de C pour 10 ml de solution tamponnée à pH 7,5 (acide borique, chlorure de potassium, carbonate de sodium) (environ 0.1 N).

On ajuste les concentrations pour que la lecture soit possible aux différentes longueurs d'onde 400 - 500 - 600 - 700 nanomètres



La courbe d'extinction est décroissante entre 400 et 700 mm.

On caractérise généralement-les-Humus ... (SOCHTIG et SOLFED) par les rapports d'extraction EQ (3-C Salfeld-1972)

400 (4) 500 (5) 600 (6) 700 (7) faire 4 (WELTE, 1955)

,

ıe'

-

•

ıt

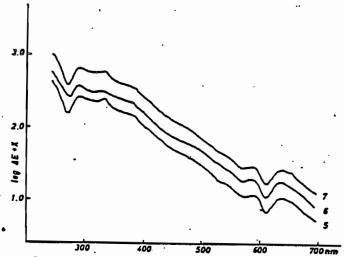


Fig. 13 DE-spectra: 5 = arable soil A; 6 = arable soil B; 7 = arable soil C.

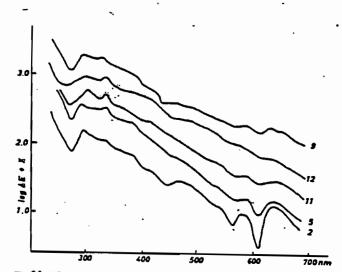
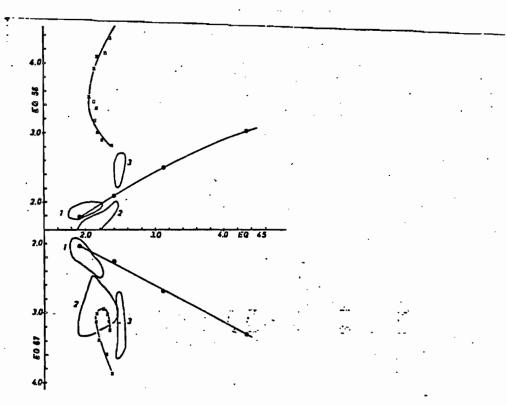


Fig. 24 DE-spectra: 2 = 'Hildesheimer Feuchtschwarzerde' HAF; 5 = arable soil A NNPE; 11 = black pess HA; 12 = brown coal HA; 9 = Hildesheimer Feuchtschwarzerde' NNPE.

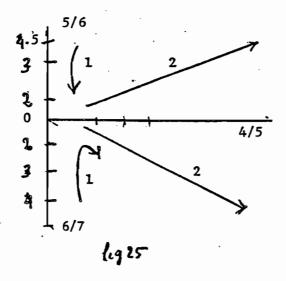
279



Spectra diagram: development of a humic system by autooxidation of hydroquinone in alkaline solution (X) and destruction of a hydroquinone 'humic acid' by H_2O_3 at pH 5.5 (o).

20/2012 ED 500 700 400

fig 85



- 1 Développement d'un Humus d'Hydroquinone (5/6 diminue ou 6/5 augmente)
- 2 Dépolymérisation de l'Humus d'Hydroquinone par H₂0₂
 L'humification correspond à la diminution du rapport 4/6
 Il y a polymérisation et enrichissement en azote % aminé.

. . . / . . .

SECTROMETRIE DES FRACTIONS.

Les mesures spectrométriques montrent que pour toutes les fractions. L'absorption de la lumière croît régulièrement lorsqu'on passe des proximités de l'infrarouge aux

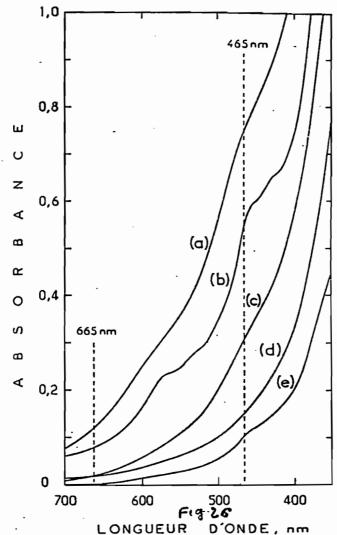


FIGURE III. — Spectres d'absorption des fractions de l'humus extraites de l'échantillon 10-20 cm de profondeur : (a) acides humiques pyrophosphate; (b) acides humiques soude; (c) acides fulviques pyrophosphate; (d) acides fulviques libres; (e) acides fulviques soude

(Pour chaque fraction la concentration est de 10 mg de carbone pour 100 ml et le pH est de 8)

The absortion spectrum of the humus fractions extracted from samples at a depth of 10-20 cm: (a) sodium pyrophosphate humic acids; (b) sodium hydroxide humic acids; (c) sodium pyrophosphate fulvic acids; (d) free fulvic acids; (e) sodium hydroxide fulvic acids

(For each fraction, the concentration is of 10 mg of carbon per 100 ml and the pH is 8)

TI. LA COMPOSITION CHIMIQUE DE L'HUMUS.

Introduction.

L'Humus est un mélange complexe de produits végétaux en cours de décomposition et de substances de néosynthèse.

Les substances de néosynthèse subissent elles mêmes une évolution qui peut les conduire vers des formes de stabilisation ou vers des formes de décomposition et de minéralisation.

Toutes les formes de constituents organiques qui composent ce mélange sont en équilibre entre elles.

Cet équilibre est caractéristique pour chaque sol, en équilibre luimême avec son milieu (végétation naturelle ou sol cultivé).

II.1. Etude analytique.

WAKSMAN (1936) a montré que l'Humus de néosynthèse provenait principalement de la lignine et de sa combinaison avec les protéines donnant les complexes "ligno-protéïques".

Cette synthèse se fait au cours de l'attaque de la lignine par les moisissures blanches.

De nombreux travaux à partir des années 1955-1960 et jusqu'à présent, ont précisé la nature biochimique des Humus.

HARDER - LIM et FLAIG - MARTIN. (1961. 1962. (4,65,66,87,61,69 th)

Toute l'école allemande de FLAIG (SOCHTIG - SALFELD) 1563-7564-1969

SHARPEN SEEL (1964)

L'école de SCHNITZER au CANADA. (1952 - 60-52 - 64-65)

DUCHAUFOUR en FRANCE avec BRUCKERT - JACQUIN - METCHE. (4962)

et toute l'école de NANCY - TOUTEIN - ANDREUX, etc ...

KONONOVA en RUSSIE. (1966).

BREMNER aux ETATS-UNIS. (1455)

pour ne citer que quelques-uns.

Ces auteurs ont étudié les molécules provenant de la décomposition des produits végétaux en particulier de la lignine, mais aussi de la cellulose et des protéines, sous l'action d'enzymes ou de champignons.

Lls ont également <u>tenté des synthèses d'Humus artificiels</u> à partir des produits de base ainsi isolés : "acides phénols, acides aminés". L'utilisation d'éléments marqués C¹⁶ N¹⁵ a permis de suivre les différentes réactions, en précisant la position et la nature des groupements chimiques entrant en réaction.

ETUDE DE LA DECOMPOSITION DES PRODUITS VEGETAUX.

Pourcentage et vitesse de décomposition de la cellulose et de la lignine d'une paille de céréale en fonction du temps. (Flaig) (1961 --- 1971)

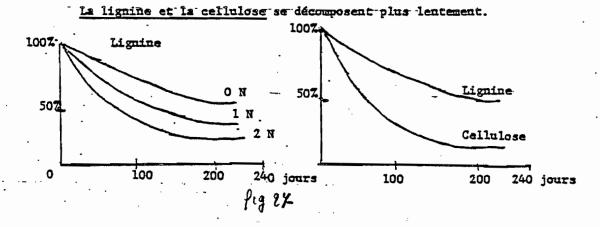
Les principaux constituents des végétaux sont :
Les hydrates de carbone dont la cellulose.
La lignine.
Les protéines.

Les cires, les matières grasses, etc ...

Les hydrates de carbone disparaissent très vite, ils servent de source d'énergie aux microorganismes hétérotrophes.

Une pertie peut donner des composés humiques par synthèse <u>d'acide</u> orsellique qui peut donner des polyphénols se combinant à des composés azotés sous l'action de champignons (MARTIN et HERIDER, 1969).

Les protéines végétales donnent les protéines microbiennes et des composés azotés comme les peptides, les acides aminés, sont libérés par auto-lyse des corps microbiens et des cellules végétales.



La perte de poids en fonction du temps est plus rapide pour la cellulose de la paille que pour la lignine.

L'apport d'azote minéral augmente la vitesse de décomposition de la lignine; aux différents stades de décomposition de la paille, on effectue l'analyse suivante :

Extraction à l'éther _____ cires - huiles - graisses

Esu froide _____ sels et sucres

alcool _____ résines

Esu chaude _____ polysaccharides solubles

Hydrolyse en milieu sulfurique concentré _____ cellulose

Résidu _____ lignine

Analyse de la lignine au début et après 240 jours de décomposition.

. · c %	0 fours. 62.3	240 jours 59.6
H 7	. 5.62	5.16
0 %	-30.55	32.77
🖫 N Z	0.53	1.88
- OCH	17.08	9.53
00, de carboxylati	on 0.43	1.34
Cap. d'échange m.e.		270

- Les fractions de-lignine isolées après-240 jours montrent une diminution de C et une augmentation de 0₂, le pH-reste inchangé, l'azote augmente trois fois. Il y a donc perte de carbone et oxydation.

Cette <u>oxydation</u> se manifeste aussi par une augmentation du CO_2 de décarboxylation; il provient des groupements $C = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$ et $C = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$

carboxylès et carbonylès qui augmentent sur les chaines latérales de la lignine

La diminution de 0-CH3ou groupements méthoxy, provient d'un processus
de déméthylation.

La transformation de la lignine se manifeste par une forte augmentation de la capacité d'échange, et par un fort enrichissement en azote.

Spectres I.R.

Ces transformations se constatent sur les spectres infra-rouges.

Le lignine décomposée a un spectre très proche de celui des acides humiques.per rapport à la lignine d'origine;

Il y a diminution de la raie 2.920 - chaines aléphatiques, de même, disparition des raies entre 1.510 et 1.380 qui sont des chaines latérales de la lignine.

Il y a augmentation de la raie 1.720 correspondant à

La raie 1.510 des doubles liaisons aromatiques votre peu.

Le raie 1.280 correspondant aux fonctions alcool et d'fer diminue par rapport à la lignine.

Les raies des polysaccharides 1.030 diminuent fortement.

. Hydrolyse de la lignine décomposée.

Comparaisondes fractions hydrolysées par H₂ SO₄ et des fractions non hydrolysées.

• Dans les fractions résiduelles non hydrolysées, les teneurs en carbone décroissent plus vite et les teneurs en oxygène augmentent plus vite au fur et à mesure de la décomposition.

L'azote total renferme 60 % de groupes 4 aminés RNH2 au début de la décomposition.

La partie non hydrolysable n'en renferme que 20 % après 240 jours.

L'azote total de ce résidu passe de 0.22 à 1.7 % en 240 jours.

La molécule de lignine-subit des transformations, en particulier des condensations avec des acides aminés et des protéines.

Plus la réaction d'oxydation avance et plus il se forme de produits dans lesquels les composés azotés ne sont pas hydrolysables.

1

Les produits de condensation jeunes sont riches en N & amine.

Les produits très évolués contiement l'azote sous forme hétérocyclique. En utilisant le C14 MAYAUDON montre que les produits hydrolysables : viennent de la cellulose et des protéines.

Les produits non hydrolysables viennent de la lignine.

Un humas de faille bien décomposé et la lignine extraite après hydrolyse présentent la même composition chimique et le même spectre infrarouge, en particulier avec les acides humiques extraits par la soude.

Conclusion.

La décomposition oxydativé de la lignine en présence d'azote conduit, après hydrolyse, à des produits identiques aux acides humiques.

II.2. Principales réactions de synthèse à partir des produits de décomposition de la lignine.

La lignine est un haut polymère de ces alcools.

Résineux

: coniférilique.

· Feuillus

: coniférilique + sinapique

Graminées

: mélange des 3 alcools.

L'un des produits importants de la décomposition oxydative est l'acide férulique.

. Principales réactions de synthèse.

Décomposition de la chaine latérale. Déméthylation.. Oxydation en quinone.

Dimérisation et polymérisation.

Clivage des annews.

Addition des produits azotés.

Humification des produits cellulosiques.

Pour les synthèses, on peut faire agir un oxydant doux NDS - (ON (SO₃K)²) Nitroso disulfonate de potassium; une enzyme comme la phénol-oxydase, des cultures de champignous (<u>Pleurotus ostreatus</u> - <u>Stachybotris</u> chartarum).

Sous l'action d'une oxydation simple, il y a formation de polymères colorés ou polymères sans azote.

Avec les produits méthylés, il n'y a pas addition d'azote.

Avec la phénol oxydese et les cultures de champignons, il y a d'abord <u>déméthylation</u> puis polymérisation avec <u>addition</u> de composés azotel

... / ..

Si l'on marque au C^{14} les chaînes de l'acide férulique, les carbones 1-2 et 3 perdent du CO_2 car il se forme des carboxyles instables au cours des liaisons.

acide 2-4 Pyredine de carboxylique
- Horwaydagan

Le reste de l'activité se retrouve dans le polymérisat.

Si l'on marque C¹⁴ les carbones des méthoxy, la plus grande partie. de l'activité est perdue sous forme de CO₂ au cours de la polymérisation (déméthylation). Une partie de l'activité se retrouve dans des acides aminés (méthonite et fégine) qui participent à la formation de l'Humus.

Transformation des produits cellulosiques.

La plupart des hydrates de carbone sont décomposés et servent de source d'énergie aux microorganismes de l'humification, mais les champignons peuvent aussi fabriquer des substances aromatiques à partir des sucres.

Glucose

acide protocatéchique

+ asparagine + Culture de champignons > acide orsellique

La formation d'humus est généralement supérieure à la quantité de lignine existant dans le milieu.

. 2 /4. : 1

En conclusion

Humification.

Les produits aromatiques en C3C6 sont transformés en C1C6 avec déméthylation. La polymérisation intervient par les chaînes ou les noyaux, mais les chaînes latérales se dégradent à nouveau et il y a accroissement des noyaux aromatiques; au cours des phénomènes d'oxydation et de déshydrogénation, il y a condensation avec l'ammoniac et les amino-acides, avec ou sans clivage des anneaux.

On aboutit à des polymères azotés fortement colorés qui sont les acides humigues.

11 2 · Azote dans les composés humiques.

Si on hydrolyse les acides humiques par RC1 6 N, la moitié de l'azote est hydrolysable, et une partie importante est sous forme aminée. L'autre moitié est sous forme non hydrolysable, et en partie hétérocyclique. Les premières formes de condensation des acides humiques sont riches en N azominé hydrolysable.

La maturation entraîne <u>une diminution des formes hydrolysables</u>, et augmente l'azote amidé par rapport à <u>l'azote aminé</u>.

Les matières végétales non transformées sont riches en N & aminé, mais peu hydrolysables par ECI 6 N.

Formes de l'azote dans deux sols du BRESIL (Hydrolyse par HCl 6 N)(Humin

Type de		WILE !	Humine	sable	droly- NF hyrolysable Z N Humine	N × aminé Z N Humine	N amidé Z N Humine
Sol ferrall	Prof.			Z N Humin	9		
SOT TELEBIT	Tridae	1			i		
BRESIL	0-25	2.08	1:.04	- 18 %	82	67	15
śł.	100cm	0.243	0.160	`28 %	72	29	43
Podzolę tropical							
Place "	0-10	1.70	0.760	18	82.	69	13
BRESIL	50	0.977	0.147	36	64	16	48

L'humine superficielle des sols tropicaux est une matière jeune en cours d'humification, riche en N hydrolysable xaminée. Na mide augment en profendeur - L'humine de profendeur a un degré plus élevé de maturation.

- Dans la acide Rumiques, N hydrolysable et amine domine acide le sub sque aiment humide, Namuli chammoniques domine sous climent Sec. - ... / ...

climat Humach - Turn over rapide - W. damine climat bee - Turn over plus lent N'a mide

III. ÉTUDE DE L'HUMIFICATION DANS LE SOL.

Décomposition de la matière organique dans le sol.

C'est essentiellement un phénomène biologique.

The transfer of the second of

III.1. La cellulolyse.

La cellulolyse peut avoir lieu dans des milieux aérobies ou amaréobies.

- . <u>Par voie anaréobie</u>, il y a une fermentation méthanique : CH⁴, avec des acides organiques solubles, il ne reste rien de la cellulose.
- En milieu aérobie, les germes(cytophages) produisent des hémicelluloses, des sucres solubles, des polysaccharides qui fournissent l'humine microbienne (GUCKERT) en milieu actif, riche en peptides et acides aminés; il peut y avoir formation de composés humiques foncés (milieu légèrement acide favorisant les champignons).

III.2. La ligninolyse.

La lignolyse se produit uniquement en milieu aéré (aérobie) et sous l'action de champignous (les moisissures blanches très actives en milieu moyennement acide et les moisissures brunes peu actives en milieu neutre ou calcaire (DUCHAUFOUR, TOUTAIN). Plus le milieu est actif, c'est-à-dire riche en germes microbiens, plus l'humification est intense. Ce sont les milieux à la fois acides et actifs qui fournissent les humifications les plus rapides. C'est à dire, dans une première phase :

Adsorption de chaînes pertidiques par la lignine en voie d'altération profonde. Ce sont les composés ligno-protéiques.

(GRABBE et HARDER, 1971; DUPUIS et CHEVERRY, 1973).

<u>Dans les sols tempérés</u>, TOUTAIN (1974) distingue plusieurs types d'humification. Dans les mull acides et les "moder", la lignine et la cellulose disparaissent à un rythme comparable de celui dans la littère.

Dans le Al du mull acide, la ligninolyse est cinq fois plus rapide que dans un moder, et plus rapide que la Lecculolyse.

En milieu calcaire, la cellulose est dégradée très rapidement, et

1

La lignine est pen attaquée (elle s'accumule).

L'attaque profonde de la lignine fournit des acides humiques gris à grosses molécules, souvent riches en azote d'amine et solubles dans la soude : ils migrent peu à l'électrophorèse.

L'attaque lente de la lignine (moder ou sol calcaire), fournit des acides humiques bruns, migrant à l'électrophorèse, et des produits solubles riches en chaînes aléphatiques.

Dans le cas des sols calcaires, les produits solubles (en particulier phénoliques) sont insolubilisés. (DABIN (1980) et FELLER (1980) ont montré que les sols tropicaux se comportaient comme des sols acides très actifs. L'attaque de la lignine y est profonde et rapide.

LEROUX (1980) dans les sols de savane de Côte d'Ivoire a montré que les acides humiques gris de l'horizon Al, étaient en corrélation positive avec la teneur relative en matière légère humtransformée en sols sableux; et en sols argileux, il y avait une corrélation positive entre le taux de matière organique, l'humine, le rapport C/N et le taux d'acides humiques gris, ainsi qu' la valeur du rapport d'extinction, 625.

Le degré de polymérisation est d'autant plus élevé que les sols sont plus riches en produits végétaux en cours de transformation.

(1979)
FELLER montre que dans les sols sableux du SENEGAL, la stabilisation de la matière organique se fait au niveau des fractions eucore grossières
(FO 50 / FO 200 /)et la forte humification de ces fractions laisse supposer que la voie résiduelle est une voie importante de l'humification.

Cette voie résiduelle suppose qu'il y a humification directe des lignine; sans passer par les composés monomères solublas, ou du moins leur existence est très courte et ils se recondensent très rapidement.

La voie d'humification est dite <u>au contraire soluble</u> lorsque les monomères solubles se forment en abondance at peuvent migrer dans le profil; celà suppose également qu'ils ne sont pas trop rapidement biodégradés ou condensés, c'est-à-dire que l'activité biologique se trouve ralentie. Ils se recondénsent ensuite en humus, soit progressivement, soit dans un horizon particulier.

Dans les régions tempérées froides, le principal exemple de voie soluble est le podzol, où la très grande pauvreté chimique du sol limite l'activité biologique (et aussi le climat'. L'abscur de metaux reducté la polymens alion

Dans les sols tropicaux, la voie d'humification soluble peut exister dans certains cas en même temps que la voie résiduelle le plus souvent dominante (Podzols tropicaux, sols ferrallitiques humifères). Elle est responsable de la migration et du dépôt d'Humus en profondeur.

III.3. Décomposition des Protéines.

La protéolyse existe en milieu aérobie et anaérobie.

Les bactéries protéolytiques et ammonifiantes sont des hétérotrophes.

Les acides aminés peuvent donner de l'ammoniaque, ou au contraire se combiner en huminés.

C'est le rapport C qui est le principal facteur de l'amms mification

 $\frac{C}{N} \leq 10$ bonne ammonification

 $\frac{C}{N}$ >20 prolifération d'organismes consommateurs de carbone et d'azote réorganisation.

La température augmente la rapidité des réactions, de même l'activité protéolytique augmente de pH = 4 à pH = 8,5.

Dans le cas de production d'ammoniaque, il y a accumulation en milieu anaérobie ou très acide.

En milieu aérobie, il y a transformation de NH3 en NO2 puis NO3; c'est une réaction exothermique, et les microorganismes sont autotrophes, c'est la nitrification.

Elle croît fortement avec le pH surtout entre 6 et 8,5. Elle est sensible à la température, mais peu sensible à la sécheresse (accumulation de NO3 en saison sèche).

III.4. Humification en fonction des conditions de milieu.

a. Température et humidité.

La décomposition des litières est d'autant plus rapide que la température est plus élevée, dans la mesure où l'humidité est suffisante.

- Le froid, dans les zones boréales ou en altitude, favorise l'accumulation de la litière.

. . . . / . . .

- Dans les régions méditerranéennes, et surtout tropicales humides, la décomposition de la litière est très rapide, elle est souvent peu épaisse.

The second secon

- En régions chaudes et sèches, par contre, il y a arrêt de décomposition biologique de la matière organique pur dell'icalian -
 - En zone désertique, la matière organique peut être quasiment nulle.
- En zones à saisons alternées, les matières végétales ne subissent qu'un début d'humification, une grande partie s'accumule sous forme d'éléments figurés (matière légère). Les feux de brousse ou la microfaune peuvent provoquer de fortes pertes de matière végétale en saison sèche.

Dans les stations inondées en permanence, il s'accumule une matière organique fibreuse mélangée à des constituants solubles.

Lorsque des périodes d'assèchement interviennent, surtout en climat chaud, l'humification se produit, et l'on se rapproche des conditions de climat alterné.

b. Action du substratum minéral.

1º. Action de stabilisation.

La condensation des précurseurs d'une part, et la stabilisation des produits humiques formés dépend de la nature chimique du substratum.

- Action de l'argile calcique et du calcaire.

Le pH du milieu augmente l'activité biologique générale, mais comme nous l'avons vu, ce sont les pH moyennement acides qui favorisent le plus la ligninolyse. Le pH très acide ou au contraire la présence de calcaire en excès la ralentit.

Dans les sols faiblement acides à neutres, l'argile calcique peut favoriser l'accumulation d'une matière organique bien humifiée, qui forme avec l'argile des agrégats stables, résistant aux entraînements mécaniques, et même à la destruction biologique. Exemple : Sol brun calcique, Chernozems, sols ferrallitiques faiblement désaturés, sols fersiallitiques. Il y a dans ces sols corrélation entre le taux de carbone et l'argile. Le climat est à saisons alternées.

- L'excès de calcaire, d'une part, favorise l'accumulation de lignine:

... / ...

et d'autre part insolubilise les produits solubles.

Exemple Rendzine = Dans ces sols on trouve de l'humine dite héritée, provenant de l'oxydation de la lignine qui se fixe sur l'argile.

Les acides humiques sont du type acides humiques bruns (humification lente). Il y a une forte accumulation d'acides fulviques (insolubilisation par le calcaire).

2º. raction de précipitation et de biodégradation.

- Action du fer.

Le fer libre associé à l'argile ou la goethite, a une action favorable à l'humification. TOUTAIN et VEDY (1974) l'ont montré dans les sols de mull acide.

Le fer jouerait un rôle dans la condensation des produits solubles, soit sous forme d'acides humiques, soit sous forme d'humine d'insolublisation ou de précipitation. SCHNITZER montre que les complexes (acide fulvique-fer), dans le rapport moléculaire 1/1, sont solubles et peuvent migrer, alors que les complexes Fe = 6 sont insolubles et précipitent au niveau des horizons B des podzols.

Le fer favorise donc l'humification, mais il ne s'oppose pas à la d'humus biodégradation au contraire, et semblerait la favoriser.

<u>Dans les sols bruns acides tempérés</u>, cette biodégradation reste modérée bien qu'active, mais dans les sols tropicaux elle est intense, et les horizons humifères sont peu épais.

Dans les sols ferrallitiques où le fer est bien réparti dans le profil, la biodégradation des acides fulviques est intense.

Sous l'influence du lessivage, une partie de ces acides fulviques peut redonner de <u>l'humine de précipitation en profondeur</u>, alors qu'en surface c'est l'humine héritée qui prédomine.

Cette humine héritée n'est pas due à un phénomène de blocage comme dans le cas du calcaire; c'est seulement une étape intermédiaire de l'humification des produits végétaux, qui s'accumule provisoirement dans la couche supérieure du sol en raison de la vitesse de transformation des produits ligneux abondants qui parviennent au sol, et de leur rapide fixation sur l'argile après oxydation.

.. / ...

Cette humine héritée passe plus ou moins rapidement à l'état d'acide humique gris, elle a aussi la possibilité de biodégrader rapidement et de fournir des acides fulviques.

Elle diminue très rapidement en profondeur dans les profils (excepté les andosols et les sols ferrallitiques humifères), en même temps que les acides humiques jeunes extraits dans la soude. Elle disparait très vite sous l'action d'un appauvrissement par la culture, sa diminution correspond souvent à l'augmentation symétrique des acides humiques de l'extrait soude, et surtout des acides fulviques libres (9AGIN-1975-1982)

3º. Action de précipitation et de stabilisation.

- Action de l'aluminium.

L'alumine amorphe que l'on trouve dans les Andosols ainsi que les allophanes ont un pouvoir de précipitation intense sur les matières humiques, et en même temps relentissent fortement leur biodégration. L'alumine favoriserait les champignons par rapport aux bactéries, d'où bonne humification mais faible minéralisation.

Les Andosols accumulent une matière organique bien humifiée. Dans les <u>latosols</u> humifères et les <u>cambrisols</u> humifères du BRESIL, c'est l'ion \mathbb{Al}^{3+} ou Al $(OH)^{2+}$ qui favorise la liaison de l'argile avec l'Humus, et ralentit la biodégradation. B. VOLKOFF a trouvé un parallélisme entre l'acide ful-vique extrait par PO_4 H_3 . (libre) et Al H_3 échangeable.

Ces sols peuvent avoir des accumulations humiques sur près d'l m. de l'hamid.

profondeur, 'la partie inférieure provenant d'acide fulvique qui a migré et précipité sous l'action de l'aluminium, mais qui reste sous forme d'acide humique extractible.

- L'humine d'insolubilisation est liée au fer.

L'humine héritée peut se maintenir en profondeur dans ces sols par effet de stabilisation; de même les précurseurs (Acides fulviques de l'extrait soude) peuvent être stabilisés par l'aluminium.

III.5. Action de la végétation sur l'humification.

La végétation agit par la quantité et la nature des produits qui

combent sur le sol.

On peut distinguer les apports des forêts, ceux des prairies naturelles, ceux des cultures.

Dans les forêts, il y a les forêts feuillues et les forêts de résineux, il y a des plantes pérennes très ligneuses comme les bruyères (callume)

Dans les prairies et les cultures, il faut distinguer les légumineuses et les graminées, ces dernières pouvant être plus ou moins ligneuses.

Dans le cas des végétations forestières, les taux de produits lipidiques des feuilles peuvent être très variables, les résineux et les callunes sont particulièrement riches en lipides par rapport aux feuillus, hêtres, châtaigniers, chênes (11 à 15 % dans le premier cas - 4 % dans le second).

Les grandes quantités de lipides apportées par certains végétaux, peuvent s'accumuler à l'état libre et leur accumulation a un effet inhibiteur sur les microorganismes du sol d'où un très net ralentissement de l'humification (action des résineux et de la bruyère dans le phénomène de podzolisation).

Les feuillus se décomposent plus rapidement.

Les pailles de céréales sont pauvres en lipides (1 à 2 %); elles s'hu mifient rapidement et compte tenu de leur teneur en lignine, ce sont d'excellentes sources d'humus.

Les légumineuses sont particulièrement riches en protéines, lorsque les plantes sont jeunes la décomposition et la minéralisation sont rapides et la fourniture d'humus est faible. Les légumineuses à maturité peuvent être suffisamment ligneuses pour fournir une quantité d'humus équivalente aux graminées.

En région tropicale, la forêt fournit un humus abondant mais superficiel, la litière se décompose rapidement.

La savane est riche en graminées très ligneuses avec un taux d'azote très bas. Les graminées de savane sont une bonne source d'Humus, mais le rapport C/N est généralement élevé (15 à 20). Les graminées de savane laissent de nombreux débris non décomposés dans l'horizon supérieur.

Le système racinaire des graminées est assez profond et donne un horizon humifère Al plus épais que l'horizon. Al de forêt. Les horizons humifères profonds de forêt sont dûs à la pénétration et à la condensation de composés solubles. Les AFS peuvent être abondants en surface et parfois en profondeur dans les sols ferrallitiques humifères très acides des régions tropicales humides

Les produits humiques stabilisés par l'aluminium restent solubles dans la soude mais pas l'humine de précipitation liée au fer (il faut une déferrification préalable).

IV. ROLE DE LA MATTERE ORGANIQUE DANS LA PEDOGENESE.

Migration des produits organiques. (Buchet of Jacquin 1969)

Les acides citriques et oxaliques ainsi que l'acide vaniliques sont biodégradés et humifiés dans un mull à 20°.

A 0° en hiver, ils peuvent migrer mais sont en faible quantité.

Dans un mor ou un moder, les acides oxaliques et citriques migrent en toute saison. Les acides aromatiques migrent seulement en hiver.

Les acides citriques et oxaliques complexent le fer et l'aluminium.

Les acides phénols n'ont pas de pouvoir complexent. Les fonctions

COOH et OH sont trop éloignées.

Les acides fulviques ont un pouvoir complexant. (Schutzu -1963-1969)

$$\begin{array}{c}
\text{COOH} \\
\text{OR} + \text{Fe}^{+++} \longrightarrow 0
\end{array}$$
FeOH

Il y a formation et migration d'acides fulviques dans les sols à activité biologique ralentie, ou bien lorsque la vitasse de lessivage est supérieure à la vitasse de biodégradation?

Dans les sols biologiquement actifs, il se forme davantage d'acides humiques, les acides fulviques sont humifiés ou bio-dégradés, il n'y a pas de lessivage. (l'alexande de respectuée poly mensetien et la fondien et favorise le les les les sont de les précipités (6). AF Exemple : Formation du BIE des podzols.

Les acides fulviques attaquent les micas en commençant par le fer. En milieu anaérobie, la présence de matière organique augmente la réduction de Fe $^{3+}$ en Fe $^{2+}$ soluble et cause la lixiviation ou la remontée du fer.

. . / . . .

La goethite fournit la couleur jaune, l'hématite et les amorphes donnent la couleur rouge. Dans les latosols jaune sur rouge, il y a transformation d'hématite en goethite dans l'horizon A.

Le vieillissement du fer amorphe donne un mélange hématite et goethite, rouge en profondeur. La complexation par l'humus, suivie de minéralisation fournit de la goethite jaune dans l'horizon supérieur.

Le fer provoque la floculation de l'argile. L'acide fulvique en complement le fer provoque la dispersion de l'argile. (Effet dufament le funcione)

Dans les audosols, la liaison de la matière organique et des produits amorphes s'oppose à la cristallisation des produits amorphes (maintien d'allo-phane). Li delinsement de Selevrallityens, proyeque la Tiensformation de l'humin le addisfulliques plante de la Structura Superficielle, de phanement de pertide metter organique s'prevaque une depadat une de Structura Superficielle, de phanement de un portant de un destruction de merostructura s'enallet ques et d'un produit de pedyslistica (buyane).

V. PRINCIPAUX TYPES DE MATTERES ORGANIQUES. (Cretices chemiques)

V.1 . Sols tempérés.

Litière épaisse. Mor Lignine. Surface Humine héritée abondante. Acides humiques bruns. MF Acides fulviques peu abondants (lessivés). Très mobiles. - Les acides fulviques précipitent en profondeur. Moder - |Intermédiaire | Acides humiques bruns. . Peu d'humine. avec le mull acide 😕 Formation d'A.H. gris avec fraction 200-50,4 AHG = 0.86les A.H.B. AHB fraction 250 / Ac.fulviques mieux répartis AHG = 1,31 AHB

. Mull carbonate

- Littère épaisse.

Humine héritée très forte.

Acides humiques bruns dominants.

Beaucoup d'acides fulviques, dont une part
fixés par le calcaire.

Mull acide

- Littière moyenne. Humine héritée faible. Humine d'insolubilisation dominante.

Acides humiques gris dominants.

Proportion d'acides fulviques supérieure aux acides humiques.

Migration progressive en profondeur des acides fulviques.

Acides humiques se polymérisant en profondeur - 0-30 cm.

Mull andique

Sun au- Litière abondante. Humine héritée et humine de 0 à 0:10 m d'insolubilisation équivalentes.

Humification progressive en profondeur.

Acides humiques supé- 200-50 AHG = 1,9 rieures aux acides ful- < 50 K = 2,40

Diminution progressive jusqu' Om, 10.

De Om, 10 à Om, 30 et au-delà, augmentation des acides fulviques libres et liés.

Augmentation des AHG en profondeur par

- Augmentation parallèle des acides humiques \searrow AF \searrow AH
- En surface, humification 200-50 ARG = 3,3

enterpulation

à partir de la matière végétale. En profondeur, humificati

En profondeur, humification per polymérisation des acides fulviques.

Mull eutrophe

 Littère faible. Humine héritée faible. Humine d'insolubilisation abondante.

Acides humiques de maturation dominants AHG/AHB Acides humiques >acides fulviques. Pas de migration.

V.2'. Humus tropicaux. (quelques nambles DABIN 1990) (1)

La plupart d'entre eux sont de type <u>mull acide</u> dit <u>mull tropical</u>, avec très peu de litière

Sols des régions tropicales humides.

Podzol tropical

Surface

Humine héritée moyenne.

Acides humiques gris (soude) dominants (25 % CT) .

(carbone total)

Acides fulviques précurseurs (soude) moyens.

Acides fulviques libres très faibles (lessivés).

Profondeur

Acides fulviques libres (PO4H3) dominants (plus de 50 % de CT).

Acides humiques pyro, acides humiques bruns, pas d'acides humiques soude.

Peu d'humine (précipitation).

Sol ferrallitique humifère- L'horizon humifère peut avoir jusqu'à 1 m.

- . de profondeur.
- . Partie supérieure
- Litière de quelques cm (2 ou 3), parfois moins de 1 cm.

Humine héritée abondante.

Dominance d'acides humiques gris de maturation de poids moléculaire élevé (20 % CT). (Pyus)
Acides humiques gris de condensation en proportion

moyenne (5 % CT). (Souch)
Pourcentage élevé d'acides fulviques libres (12%CT)

Partie inférieure

 L'humine héritée diminue, l'humine de précipitation augmente en proportion.

Les acides humiques gris de maturation (Pyrophosphates) restent dominants jusqu'à 60 cm; leur degré de polymérisation reste élevé.

Les acides humiques de condensation (extrait soude diminuent rapidement.

Les acides fulviques liés (pyro et soude) augmentent en proportion.

(1) exemples d'electropréses pages 65 à 41

Sol ferrallitique typique fortement désaturé

. Surface

Profondeur.

Jes acides fulviques libres (PO4H3) migrent en profondeur et atteignent 20 % de CT.

Le substratum minéral est argileux et riche en composés aluminiques (Al3⁺ Al (OH)²⁺ qui stabilisent le les composés humiques.

Litière faible. Humine peu abondante. Equilibre entre humine héritée. Humine de précipitation.
Humine évoluée. (parfois Hamine Leutei > hydiolysable)

Produits alcalino-solubles dominants (60 % CT).

Large dominance des acides fulviques (plus de 35%CT) Acides fulviques précurseurs (extrait soude).

Acides fulviques de décomposition (extrait pyro).

Acides fulviques libres en partie lessivés.

Acides humiques en proportions moyennes, équilibre entre Acides humiques de condensation (Soude) 10 % CT et de maturation (Pyro) 10 % CT.

Les acides humiques pyro contiennent au moins 30 % d'acides humiques bruns.

Dans les sols argileux très humides, les AHB peuyent même devenir dominants.

Diminution rapide de la matière organique totale. Humine en proportion faible, disperition de l'humine héritée, dominance de l'humine évoluée et de l'humine de précipitation.

Diminution du pourcentage d'acides humiques pyro et d'acides humiques soude. Augmentation du rapport acides humiques bruns

acides humiques gris

Diminution du rapport QE $\frac{625}{512}$ dans les acides humiques gris.

Augmentation de toutes les formes d'acides fulvique: liés (blocage des précurseurs).

Accroissement des acides fulviques de décomposition Accroissement des acides fulviques libres par illuviation.

... / ...

Sols ferrallitiques

faiblement désaturés

Surface

Litière faible.

Humine en quantité moyenne >50 % CT. Humine évoluée supérieure ou égale à l'humine héritée.

Acides humiques pyro et soude en quantité moyenne à forte (12 % + 12 % CT) et équivalente.

Produits fortement polymérisés, mais 30 % d'acides humiques bruns.

Acides fulviques libres et liés bien équilibrés et en proportion globale équivalente aux acides humiques - \sum_{AF} 1

Pro fondeur

- Disparition rapide de l'humine héritée.

Disparition rapide des acides humiques pyro et soude et des précurseurs.

Augmentation des acides fulviques libres, des acides fulviques de décomposition et de l'humine évoluée.

Sols lessivés tropicaux

sur calcaire

- Litière moyenne à faible.

Très forte proportion d'humine (70 % CT), en majorité humine héritée.

Surface

AF précurseurs abondants.

Acides humiques moyens à faibles, peu polymérisés avec dominance d'acides humiques bruns (plus de 50 % dans l'extrait pyro, plus de 40 % dans l'extrait soude).

Pro fondeur

- Disparition rapide de la matière humique totale.

Humine abondante. Disparition rapide des acides

humiques. Maintien des précurseurs, forte augmentation des acides fulviques libres.

Sols des régions tropicales à saison sèche bien marquée.

Sols ferrugineux tropicaux

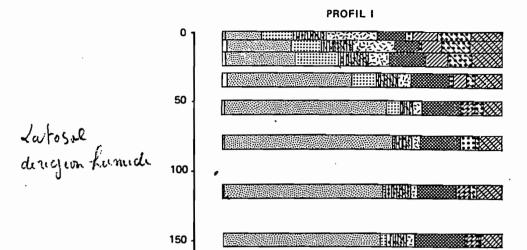
lessivés (

Surface

- Litière peu abondante.

Humine en proportion forte (60 - 70 %).

. . . / . . .





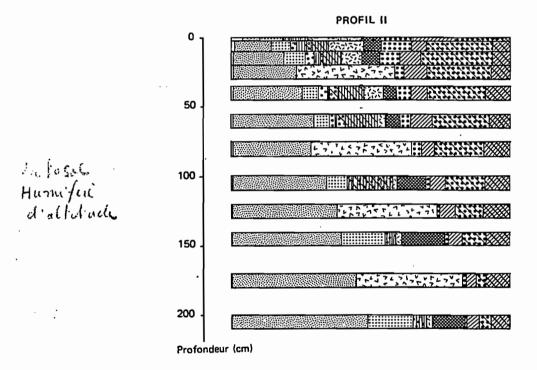
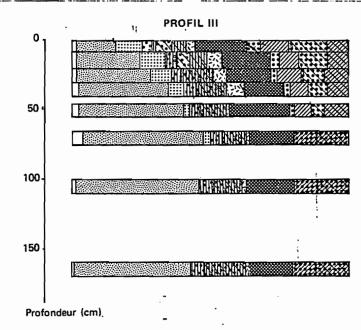


Fig. Distribution du carbone sur les fractions en % du carbone total. \longrightarrow

Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XV, nº 3, 1977 : 275-290



	Matières légères (ML)	
	Acides fulviques libres (CH JPO4)	
	Humine solubilisée par les acides (CHCI/HF)	
	Acides humiques (AH) de l'humine solubilisés par la soude après prétraitement HCI	(CH CI)
	Acides fulviques (AF) de l'humine solubilisés par la soude après prétraitement HCI	(CNaOH)
562	Acides humiques (AH) de l'humine solubilisés par la soude après prétraitement à HCI/HF	(CNaOH)
	Acides fulviques (AF) de l'humine solubilisés par la soude après prétraitement à HCI/HF	(CNaOH)
影響	Résidu léger (d < 1,4)	
	Résidu lourd (d> 1,4)	
******	Acides humiques (AH) de l'extrait soude après prétraitement à l'acide phosphorique	(CN 3OH)
	Acides fulviques (AF), de l'extrait soude après prétraitement à l'acide phosphorique	(CH3 PO4)
	Acides humiques (AH) de l'extrait pyrrophospaprès prétraitement à l'acide phosphorique	hate (CNaOH)
	 Acides fulviques (AF) de l'extrait pyrrophospl après prétraitement à l'acide phosphorique 	•
25.7	Humine indifférenciée	H 3 P O 4

ML : Matieres legines

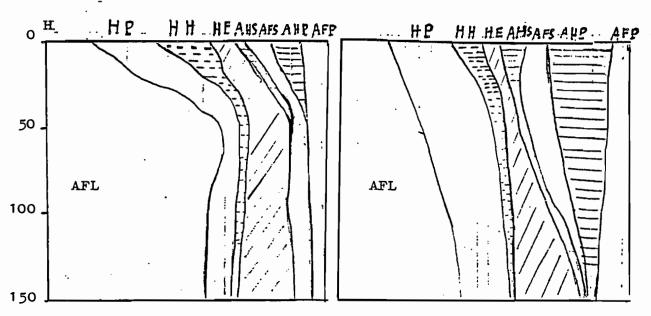
AFL : Ac. Fulv. Libres AHP : Ac. Humiques Pyro

AFS : Ac. Fulv. Soude HH : Humine Héritée

AFP : Ac. Fulv. Pyro. HP : Humine de Précipitation

AHS : Ac. Humiques Soude HE : Humine Evoluée

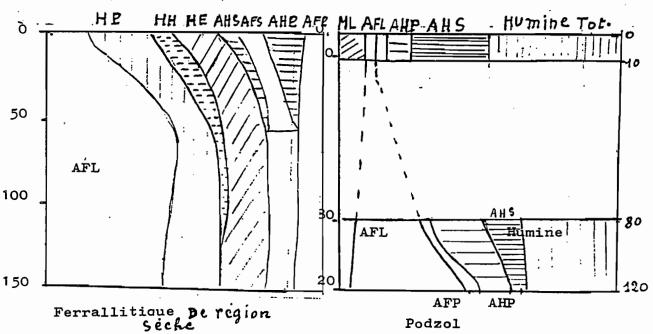
C % du C total



Ferrallitique Typique $C^{\circ}/_{00} = 15 (0-15 \text{ cm})$

Ferrallitique Humifère

 $C^{\circ}/_{\circ \circ} = 50 \ (0-15 \ cm)$



 $C^{\circ}/_{\circ \circ} = 15 (0-15 \text{ cm})$

Podzol $C^{\circ}/_{\circ \circ} = 100 (0-15 cm)$

Humine héritée dominante en sols sableux. Humine évoluée abondante en sols argileux.

Acides humiques pyrophosphate dominants, un peu d'acides humiques soude.

Proportion élevée d'acides humiques gris, acides humiques bruns inférieurs à 30 %.

Acides humiques gris dédoublés en une partie immobile, et une partie moyennement mobile, intermédiaire avec les acides humiques bruns.

Teneur en acide humique gris, corrélé à la teneur en carbone et au rapport C/N (valeur élevée 15 à 19), ainsi qu'au degré de polymérisation.

Acides fulviques équilibrés entre eux et globalement inférieurs aux acides humiques.

Pro fondeur

 Diminution régulière du taux de matière organique et d'acides humiques, dépolymérisation des acides humiques (diminution du rapport QE - 625).

Augmentation des acides fulviques en profondeur. Lessivage en début de saison des pluies.

Sols ferrugineux tropicaux non lessivés.

Surface |

Un peu de litière, nombreux débris végétaux non transformés dans l'horizon supérieur.

Teneur en matière organique totale faible.

Humine supérieure à 70 %, essentiellement héritée dans cr.

Acides humiques gris très largement dominants (moins de 20 % AHB).

Degré de polymérisation très élevé (QE $\frac{625}{512}$ > 0,7) Pas d'acide gris mobile.

Taux d'AHG corrélé à la matière peu transformée et au degré de polymérisation.

Proportion d'acides fulviques totaux, moitié des acides humiques totaux.

Pro fondeur

- Peu de modifications. Un peu plus d'acides fulviques et d'humine évoluée.

B-DABIN (4490-91)

TABLEAU **L** Pourcentages relatifs des différentes fractions kumiques. % du C total

Prof. cm	Matières légères végétales	.Acides fulviques soude (Pricus- seurs)	Acides fuiviques libres ; mobiles	Acides fulviques lits-pyro- exydation	Acides humiques Pyro- maturation	Acides humiques soude Conden- setion	Humine totale	C total %	90
				. Podzol tr	opical	•			
Surf. 0-10 Prof. 120	5,94 1,15	4,03 1,19	0,35 47,76	1,05 2,86	11,3 8,68	24,09· 0,79	50 34	(BRÉSIL)	113 25
			٠.,	Sol ferralliliq	ue humifère	•			
0-10 20 40 60 90	2,48 1,48 2,65 1,77 0,92	2,28 1,70 2,9 4,19 4,96	11,69 13,49 17,03 18,14 20	5,78 5,5 6,4 · · 6,77 7,99	19,35 16,81 12,9 9,75 6,9	4,98 3,29 1,77 1,12 0,64	50 30 35 56 56	(BRÉSIL)	56 35,8 19,2 12,4 9,3
				Sol ferrallitle	us typiqus				
0-10 25-30 -60-90	. 2,9 E	18 17,6 22,5	4,9 9 17,4	13,2 16,5 16,5	9,7_ 8,7 1,9	7,2· 2,35	41 38 39	(CAMEROUN)	15,4 6,7 6,29
· •	. ,		. ,	Sol lessini s	ar calcaire	•			
0-15 36-90	· 1,93 0,38	9,72 7,9	4,39 17,3	3,94 2,8	6,59 0,96	3,73 0,96	70,48 69,7	(BRÉSIL)	48,7 [°] 5,18
	Sol ferrugineux tropical lessive								
0-15 30 - 40	12,8 5,3	5,24 10,23	4,49 7,3	4,87 5,32	9,36 4,17	4,12 0,78	59,18 65,5	(HAUTE) VOLTA	2,67 2,64
	Sol ferrugineux tropical non lessive Ac. fulv. lib. + Pyro Ac. Hum. Pyro								
30-10 0-50	ಚ			6	8 9		66 · 62	(NORD) COTE D'IVOIRE	5 2

TABLEAU 5

Quelques résultate d'électrophorèse des acides hamiques Pourcentage relatif des différentes fractions. Rapport des densités optiques des fractions aux longueurs d'onde 625 mm et 512 mm

		Pod	ed Tropical (Surfa	ce)		••.
	Extrait Pyr	ephosphale			Extrait Souds	
0-10 cm	Acides humiques	Intermédiaire	Acides humiques . bruns	Acides humiques gris	Intermédiaire	Acides humiqu
% de AH QE = $\frac{625}{512}$.	63 % 0,68	12,5 %	24,5 % 0,45	74 % 0,70	7 %	19 % 0,42
	•	Podraj	Tropical (Protono	lanel		
	Extrail Pyr		· Tropical (Pictoria		Extrail Soude	•
120 cm	Acides humiques	Intermédiaire	Acide. humiques bruns	Acides humiques gris	Intermédiaire	Acides humique bruns
% de AH QE = 625	50 % AHG+1	19 %	31 %	extrait in	sullsant	
512	0,57		0,47	<u> </u>		
	•••	ان ا	ferrallilique kumif	* *		
	,	~;=	(Surface)			· :
·0-10 cm	1		I	1 1		'.
% de AH. QE = 625 512	59,5 % 0,65	125 %	28 % 0,50	71 % 0,70	9,5 %	19,5 % 0,46
	1	. •	ŀ	۱		
			(Profondeur)			
20 cm	.] .	. •		
% de AH QE = 6/5	58,5 % 0,66	11,5 %	29 % 0,50	67 % 0,64	10 %	0,50
40 cm	}		1			1
% da AH QE = 6/5	61,5 % 0,69	11,5 %	0,50	extrait in	nsuffsant	
50· cm						
% da AH QE = 6/5	61,5 % 0,67	125 %	. 0,30			
90 cm	.	_				
% de AH QE = 6/5	60 % 0,66	. 11	28,5 % 0,50 ·			
		So	l lessivi sar calcais (Surface)	•		
0-15 cm	1		I			I
% de AH QE = 6/5	39 % . 0,54	. 10 %	51 % 0,50	48,5 % 0,57	8,5 %	43 % 0,47 \

Talleans

ANNEXES

Qualques limites d'interpretation concernant la méthode de fractionnement utilisée

•	Très fort	Fort	Moyen	Feible	Tres Isible
Carbone Iolal C 100	> 50 */•• .	25 à 50 %	10 à 25 %) 5 à 10 °/oc	moins de 5 %
Hamine totals	Fractions & > 75 %	gmiques en valeur i 60-75 %	relative du Carbons 45–60 %	lolat moins de 45 %	
Acides humiques et fulviques	Pourcentage rei	atif du carbone de	chaque fraction		
(5 fractions)	>20 %	10-20 %	5-10 %	. 25 ± 5 %	moins de 2,5 %
Mattères végétales légères		> 10 %	5-10 %	2,5 & 5 %	moins de 25 %.

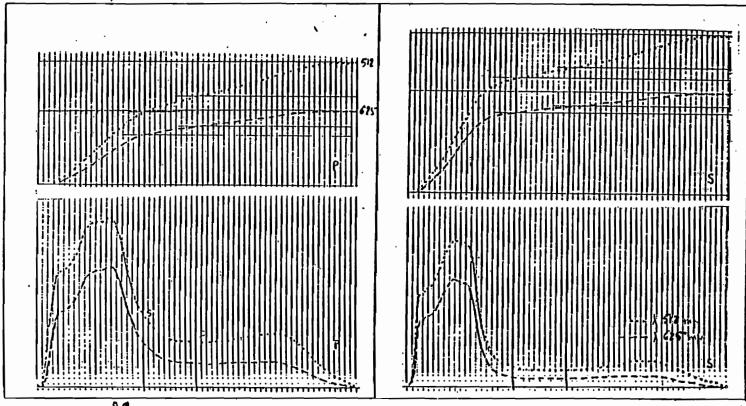
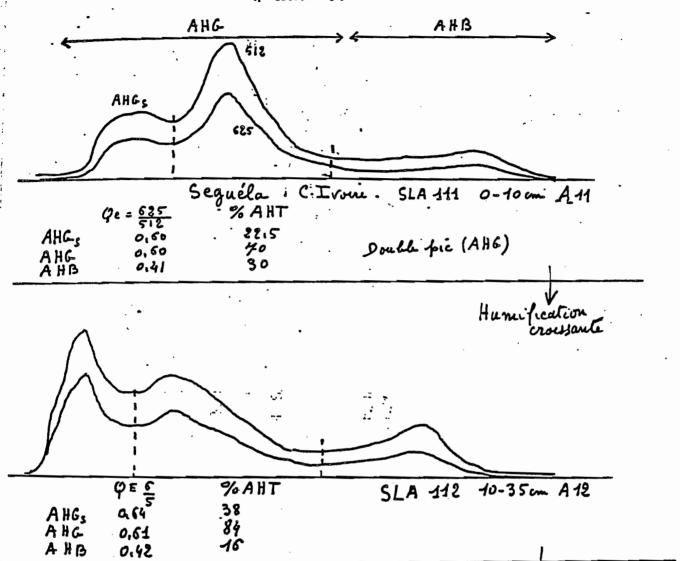


Fig. 8. - Type de sel ; podzet tropical de nappe (Illatia Tropaqued) Her. A. (P : extrait pyrophesphate ; 8 : extrait Soude).

Sol ferrugineux tropical lessive (climat contrusti) H. Lezoux 1980



deshumification

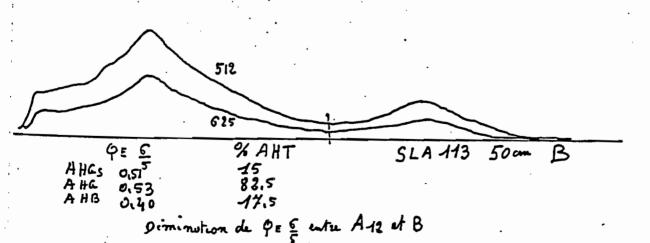


fig ig

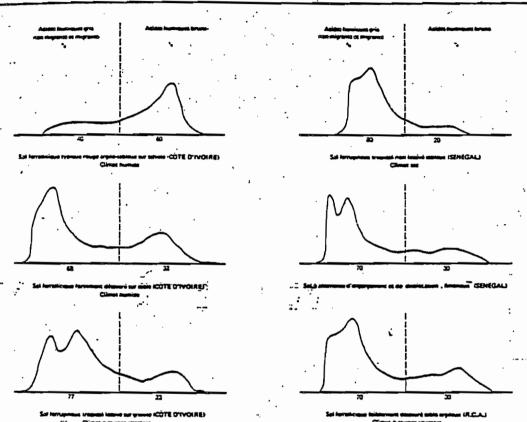


Fig. 30 / — Diagrammes d'électrophorèse. Évolution des seides humiques de moturation (extrait pyrophosphate en fonction du climat et du substratum.

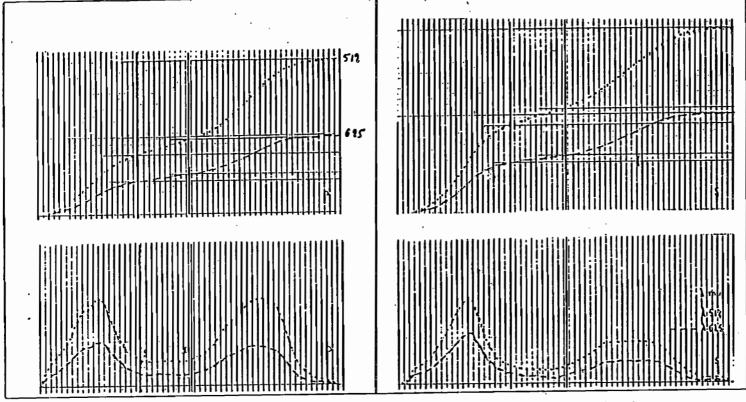


Fig. 3/. -- Type do soi : soi lossivé tropical sur catcairs (exictropudalf). (P : extrait pyrophosphate; S : extrait soude).

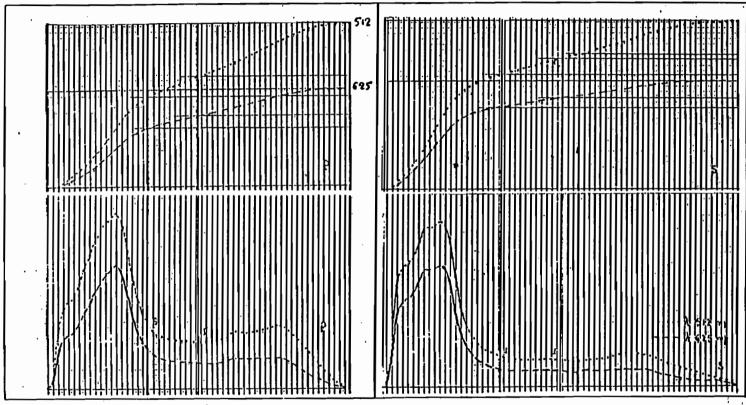


Fig. 2 Type de set : set ferrallitique humifère (Umbrierthex) surface. (P : extrait pyrephosphale; S : extrait Soude).

Schéma général de formation et d'évolution des humus tropicaux.

A partir de la matière végétale d'origine, il y a plusieurs voies d'évolution etl'équilibre final dépend de la vitesse et de l'intensité des différentes phases de transformation.

. Les corrélations entre les fractions montrent :

Dans les régions à climat alterné à longue saison sèche : une liaison étroite entre natière végétale et acides humiques gris à grosses molécules.

- Dans les humus jeunes en cours de formation, les fortes quantités d'humine héritée correspondent à des proportions très importantes d'acides fulviques soude et d'acides fulviques libres (Les acides fulviques pyro sont faibles). (DAS: # 1976)

Les acides humiques soude sont plus importants dans les humus jeunes. Les acides humiques pyro sont faibles dans les humus jeunes (AHB)

- Au cours de la maturation de l'humus, les produits extraits dans la soude définuent et les produits extraits dans le pyro augmentent (501FT 4 POZ VE 2)

Les acides fulviques soude commencent à diminuer au cours de l'humification; ils passent par un minimum puis augmentent à nouveau.

Le rapport AHG/AHB croît au cours de l'humification dans l'extrait soude, il est plus constant pour pyro.

Evolution in culture - Les acides fulviques pyrophosphate augmentent fortement dans les sols des régions humides lorsque le sol est apauvri par la culture, les AFS diminuent. (DABIN 1976)

- Dans les régions humides, la perte d'humine héritée s'accompagne d'une forte augmentation des acides fulviques libres et pyro. July 445.
- <u>Dans les régions sèches</u>, cette augmentation des AFL et AFP se fait aux dépens des acides humiques et de l'humine de condensation. L'humine héritée et la M.O.L. augmentent avec la culture favolun ulaffic (Pullo 1952)

. Phases de l'humification.

- Condensation primaire.

précurseurs (acides fulviques soudé) et en acides humiques.

(Il pursul autri & maduir Simultanement)

... / ...

SOLS FERRALLITIQUES DE COTE D'IVOIRE	
PARCELLES DE LONGIE DUREE (ADTOPODOUNE)	OARIN

TARREST DE CONCRE (ADIGNOCAE) YAISTA						
_	•		C % du sol sec	C % du C total		
		Forêt Culture de mals continue		Jachère à	orêt Culture de mais continue	Jachère à pueraria
	Carbone total	16,8	6,55	18,1	100 100	100
	Hatière Jégère	2,17	0,1	0,32	13 1,55	1,75
_	Ac. Fulviques libres	1,04	0,49	0,85	6,2 7,6	4,6
	Ac. Fullviques pyrophosphate .	•• 1,3	1,09,	``i,2	7,8	6,5
	Ac. Fulviques soude	1,69	0,4	` 2,61	10,2 6.2	14.3
	"Ac. Humiques pyrophosphate	·· .9,ża	0,92	2,07	7,6 14	11.5
	Ac. Humiques soude	1,51	0,81	1,24	9,2 13,5	6.7
	Humine	··` 7,84	2,74	9,82	47 44	54

Tall 7

Fy 33

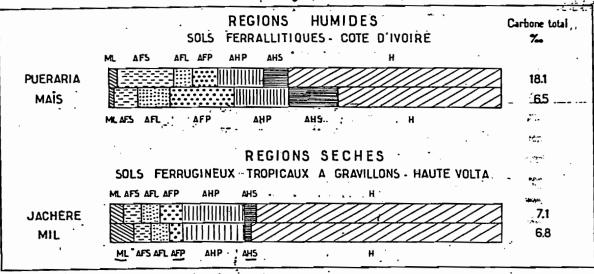


Figure 1 - Matières Organiques en % de Carbone total : ML, matières légères; AFS, acides fulviques soude; AFL, acides fulviques libres; AFP, acides fulviques pyrophosphate; AHP, acides humiques pyrophosphate; AHS, acides humiques soude; H, humine.

			FADA N'COURHA (HA		
			C % du C	total	
d'après PALLO Sol ferrugineux	Sol ferrugineux	Sol Sol	Sol ferrugineux	Sol. ferrugineux	501
tropical, sans	tropical, à	hydromorphe	tropical, sans	tropical, à	hydromorphe
	gravillons ·	,		gravillons	1
		Jachère H11		Jachère Mil	Jachère Hil
, Jackete Hil	Sechere HIII	Suchere .izz	Jaciete 1122	Starcic IIII	Sacrete Hill
		1			ſ
Combana datal	. 71 . 6A	16.3 . 11.9	100 100 .	L. 100 100	. 100 . 100
Carbone total4,3 2,3	L. 77 27	10,5,5	••••		1
	0.33 0.34	1 . 20 0 14		1 ,	
Matière légère	0,22 . 0,36 .	1,30,19	2,5 <u>3</u> .	······	
				` `	
Ac. Fulviques Libres 0,14 . 0,07	0,27 . 0,29 .	0,60,48	33 .	144,5	3,54
		1 '		1	
Ac. Fulviques pyrophosphate. 0,49 . 0,22	l. 0.40 . 0.20 .	0.660,49	· <u>11</u> <u>9</u> .	15.53.0	l
					•
Ac. Fulviques soude 0,2 0,16	1 0 30 0 30	l n sa n a	9 4,56,5	i	35.4
76. 1 dividues source 11011111 0,2 0,10	J. 0,50 - 0,50 .	1 0,50 0,4			1
A. UI aumanharahata	1		45.5 43	1	1
Ac. Humlques pyrophosphate 0,650,41	F. 1,11 . 1,06 .	2,50 2,0	1115,5 <u>17</u> .	· [12,2 · - 12,2	h181/
	1	1	· —	1	
Ac.: Humlques soude 0,230,07	0,18 . 0,11 .	. 1,37 0,5	9 5,5 3,0) 2,5·1,5	8,5 5
•				_	
Humine 2.51.4	L. 4.64 . 4.48 .	. 1 8.8 7.7	5858,5	6566	L5465
	T	,,.		1	7

- Si <u>l'humification est rapide</u>, on aboutit à des acides humiques gris extractibles par la soude peu migrants à l'électrophorèse (acides humiques de condensation).
- Si <u>l'humification est lente</u>, les acides humiques sont migrants à l'électrophorèse (acides humiques bruns).
- Si <u>l'humification est très lente</u>, la plus grande partie des précurseurs reste à l'état soluble, s'oxyde et fournit des acides fulviques libres qui peuvent migrer en profondeur, en complexant du fer et de l'aluminium.

- Maturation.

Au cours de la maturation, les acides humiques soude s'oxydent et se transforment en acides humiques pyro (acides humiques gris). L'évolution ultérieure par oxydation, soit en profondeur, soit au cours de phases de dégradation, peut transformer les acides humiques gris en acides humiques bruns. Il y a des phases de formation d'acides humiques intermédiaires, dans les sols à saisons alternées, et les sols hydromorphes soumis à dessicuation (double pic d'AHG à l'électrophorèse).

- Dégradation.

La phase ultime de dégradation des acides humiques fournit des acides fulviques pyro et des acides fulviques libres (AFF - AFL).

Les acides fulviques libres peuvent se former par dégradation directe de l'humine héritée généralement moins stable que les acides humiques (sauf en climat très sec). (l'humini heule peut donne l'humine by dishipalele)

voie d'humification qui passe de l'humine aux acides humiques puis aux acides fulviques s'appelle voie résiduelle.

Une autre voie d'humification porte le nom de voie soluble.

Les précurseurs solubles fournissent des acides fulviques libres qui peuvent migrer.

S'ils ne sont pas biodégradés, ils peuvent s'accumuler à certains niveaux de profondeur, précipiter avec des métaux et se condenser,

Soit en acides humiques.

Soit en humine.

Les acides humiques sont généralement des acides humiques bruns,
mais dans certains sols (andosols, ferrallitiques humifères), on peut remonter
jusqu'aux acides humiques gris. Ceci explique les accumulations d'humus qui

(4) (une humificulum futt pour cours produc a une decomposition active de sisidue regitaon) dum ours ses premuus plans. -

se forment en profondeur (parfois jusqu'à 1 m.), mais parfois aussi réparties sur le profil.

L'humine peut s'accumuler en valeur relative dans les horizons profonds, c'est de l'humine de précipitation.

L'humine héritée diminue rapidement de la surface vers la profondeur.

L'humification rapide peut amener des phénomènes de décarboxylation des acides humiques qui fournit l'humine de condensation ou d'insolubilisation (facilitée par la présence de fer et d'argile).

La perte d'azote, de fonctions aliphatiques, de groupes actifs, amène la formation d'humine évoluée très insoluble.

VI. MATIERE ORGANIQUE ET CULTURE.

VI.1. Bilan des matières humiques dans les sols.

(a) . Evolution dans le temps en climat tempéré. Expériences de GRIGNON.

Dans des parcelles de longue durée de la Station de GRIGNON, la perte de carbone sans amendements organiques a été d'environ 1 % (valeur absolue) en 50 ans (30 % relatif).

(). Evolution en climat tropical.

- En République Centrafricaine, dans un sol protégé contre l'érosion, la perte de carbone en valeur relative peut être de 20 % en 3 ans.

Si le sol est soumis à l'érosion, la perte de carbone de 20 % a lieu en 1 an - 1 % _____, 0,80 %C.

- Dans des parcelles d'érosion de Basse Côte d'Ivoire (Adiopodoumé), le taux de matière organique totale (C x 1,724) est passé en trois ans de 2,85 % sous forêt à 1,24 % dans la parcelle laissée que. On a donc une perte qui se situe entre 50 et 60 % du taux d'origine. L'azote total diminue dans des disproportions équivalentes. DABIN(1970)
- Dans des parcelles de culture continue de coton en Moyenne Côte d'Ivoire (Bouaké), le taux de carbone se stabilise à environ 50 % du taux d'origine après plus de 10 ans de culture. (1% C -> 0.489 % C)

Nous verrons plus loin que cette évolution quantitative s'accompagne d'une évolution qualitative importante.

La baisse de fertilité est supérieure à 50 % du rendement de départ

EVOLUTION DE LA MATIERE ORGANIQUE SOUS CULTURE DANS LES SOLS FERRALLITIQUES TRES DESATURES (SOLS SUR SABLES TERTIAIRES DE BASSE COTE-D'IVOIRE)

. ,	_		3 années d'expérience				
		Terre érodée : Kg/ha	мо %	N %	C/N	S mé/100 g	Indice de: structure
Témoin	Forêt	2 800	2,85	0,151	11	1,4	1 350
Culture	2 ans plante de couverture 1 an mais	77 540	2,5	0,099	14,8	0,3	1 100
Solatur	.3 ans	335 391	1,24	0,059	12,4	0,14	700

Tab 9

CULTURE INDUSTRIELLE D'ANANAS (ONO COTE-D'IVOIRE)

	мо %	N %	C/N	S mė/100 g	Indice de structure
1 an de culture	1,5	·* 0,069	12,6	3,13	910
4 ans de culture	1,21	0,044	15,9	0,828	900
6 ans de culture	1,21	0,04	17	0,634	840
Régénération 4 ans Pennisetum purpureum	2,46	0,08	17,7	2,48	1 350

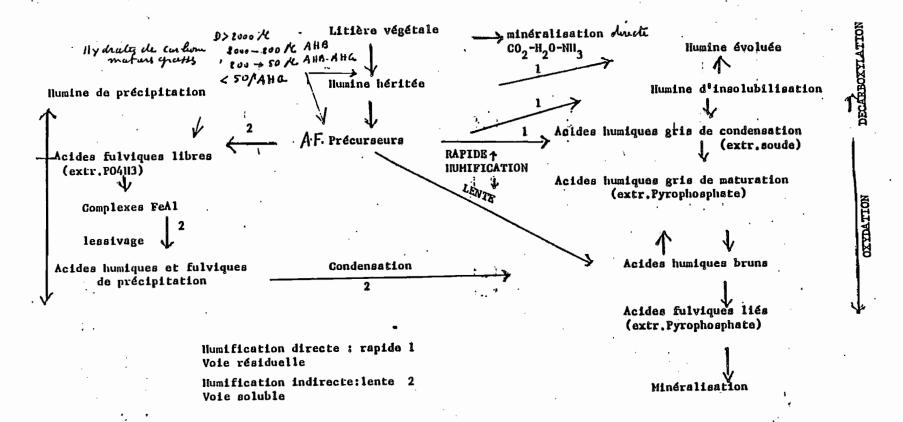
Tale 10

CHIFFRES OBTENUS A LA STATION I.R.C.T. DE BOUAKE (COTE-D'IVOIRE) SUR SOL FERRUGINEUX TROPICAL LESSIVE A 25 % (A + L) SUR 0-20 CM

	Culture de coton			Sommels des bases échangeables	
	С%	N %	P2 O5% 0	рН	S mė/100 g
Sols sous culture récente non améliores (coton 1 500 kg/ha)	0,895	0,083	0,44	6,3	6,46
Sols améliorés par 20 années de fumier de ferme (coton 3 000 kg/ha) Sols érodés (rendements en coton médiocres)	1,17	0,077 0,11 0,052	1,83 2,11 0,32	6.5 6.8 6.1	9,17 12,85 2,43

SCHEMA GENERAL DE FORMATION

DES HUMUS TROPICAUX



(Il y a perte totale d'azote minéral et modification des formes organiques biodégradables.

Dans les sols <u>sur sables tertiaires de Basse Côte d'Ivoire</u>, avec quatre ans de jachère graminéenne à <u>Pennisetum purpureum</u> (herbe à éléphant), on obtient 2,64 % de matière organique totale, soit le taux d'origine.

A BOUAKE, 1 ammée (de culture coton - maïs + 20 toumes ha de fumier de ferme) + deux ans (de jachère à <u>Pueraria</u> (légumineuse) pendant 20 ans permet le maintien du taux de matière organique d'origine (environ 2 %), mais or un fort enrichissement en bases (10 m.e.) et en P₂O₅ (2 /°°).

Le sol de départ contenait:6,4 m.e. de bases et 0,44 °/.. de P₂0₅.

cultire

Le solvans amendement:2,4 m.e. de bases et 0,32 °/.. de P₂0₅. (Tableau II - LTaux de C et N a armué de mailé.

- . Essais de plantes fourragères (résultats présentés par TALINEAU, 1980)

 à ADIOPODUME. (pluscomfue 2000 mm) (Sales Testais) (Talineur Bonzon 19#6-19#9)
- De 1968 à 1971

 Une culture de graminées (<u>Panicum maximum</u>)

 La quantité de MO sur un ha est passée de 19 T/ha à 26 T/ha sur 0-10m
 - Légumineuse (Stylosanthes) de 16 T/ha à 21 T/ha
 - Dans la parcelle laissée mue la quantité de MO est passée de 18 T/Ha à 13 T/Ha en trois ans.
 - Graminée avec engrais
 ADIOPODOUME, 21 T à 28 T/Ha en trois ans.
 - Essais à la Station de GAGNOA Côte d'Ivoire forestière Centre.
 - Sous graminée de 34 T à 36 T/Ha. (3 am)

 (P. 1500 mm. Sulfuncitique souls sauls any lune se Baisse de 2 à 3 T/Ha la première année puis remontée régulière
 - Sous légumineuse 34 T à 32 T/Ha.
 Baisse de 4 T/Ha la première année.
 - Parcelle nue de 33 T à 29 T/Ha Baisse de 6 T/Ha la première année.
- . Evolution de l'azote. (3 am)
 - Sous culture fourragère
 Maintien des teneurs 0,7 °/.. ADIOPODOUME
 1,2 °/.. GAGNOA

Sans matière organique N 0,7 °/.. 0,4 °/.. ADIOPODOUME
N 1,2 °/.. 0,9 °/.. GAGNOA

. Du point-de-vue qualitatif.

A ADTOPODOUME :

Les légumineudes ont une action sur <u>1'humine</u>.

Les graminées augmentent toutes les fractions humiques.

La formation d'acides humiques gris est plus rapide à ADIOFODOUME qu'à GAGNOA (moins humide).

- En climat sec il y a perte des acides fulviques les premières années.

 les acides humiques et l'humine sont résistants, mais
 ils se reconstituent lentement.
- En climat humide il y a perte rapide de l'humine les premières années et augmentation relative des acides fulviques.
- . Evolution de parcelles expérimentales en milieu tropical humide (GRIMARI RCA)

 Moyenne de 12 parcelles (végétation naturelle et culture continue)

 depuis 1952 (COINTEPAS 1981).

Formes d'humus dans l'horizon 0-10 cm - C°/.. du sol sec

Végétation naturelle		Sol cultivé	Variation
Matières organiques légères	0,46	0,32	- 17 % NS
Acides fulviques			
Extrait FO ₄ H ₃	0,64	0,79	+ 23 % HS
Extrait pyro	0,47	0,72	+ 53 % S
Extrait NaOH	0,75	0,66	- 12 % NS
Acides humiques		•	
Extrait pyro	1,43	1,25	- 13 % NS
Extrait NaOH	1,08	0,68	- 38 % S
Humine totale	9,3	6,4	- 31 % S

L'absence ou non de signification vient surtout de l'hétérogénéité des parcelles pour le facteur considéré.

On peut cependant prendre en compte les valeurs de variations relatives des fractions. L'augmentation la plus importante est celle des acides fulviques Pyrophosphate (plus de 50 %), et qui méritent bien leur nom d'acides fulviques de décomposition. Les acides fulviques libres augmentent dans une moindre mesure; une partie d'entre eux est sans doute lessivée en profondeur.

Les diminutions les plus importantes proviennent des fractions liées à la transformation directe des matières végétales, à savoir <u>l'humine</u> et les <u>acides humiques soude</u>, et qui constituent les principales réserves biodégradables des sols.

Les fractions acides humiques pyro diminuent moins car ils se reconstituent en partie, par décomposition des acides humiques soude, de même
une partie des acides fulviques soude.

Formule de HENIN et DUFUY

 $A = \underline{m} \qquad B = \frac{K \ln m}{K2}$

A = Matière organique en cours de transformation.

m = apport végétal annuel.

L = coefficient de destruction annuel de l'apport végétal.

La perte annuelle sous forme de CO₂ NH₃ est peut-être de l'ordre de 80 %.

B = Humus stable - Kl coefficient isolumique.

K2 coefficient de minéralisation.

A l'équilibre, on estime que la formation d'humus annuel soit Klm égale la perte annuelle par minéralisation soit K2B - Klm = K2B,

pour une paille de céréale non mélangée à l'azote minéral.

K1 est égal à 0,08 - 0,15 (soit en moyenne 10 % de la matière végétale apportée au sol transformée en humus stable).

La paille additionnée d'azote minéral ou des résidus ligneux assez riches en azote

K1 = 0,15 - 0,3

Furnier plus ou moins pailleux

K1 = 0,2 - 0,4

Fumier bien décomposé

K1 = 0,5

Quelques exemples de résidus de récolte...

Betterave 3 à 6 T/Ha 450 à 900 Kg d'humus par Ha et par an.

Blé 2 à 4 T/Ha 300 à-600 Kg d'humus.

(paille exportée)

Maïs 5 T/Hz 750 Kg d'humus par Hz et par an.

Paille de blé 4 T/Hz 400 Kg d'humus par Hz et par an.

Luzerne de 4 ans 5 à 8 T 500 à 800 Kg d'humus par Hz et par an.

Funier (1 T mat.sèche) 320 à 640 Kg humus par Hz et an

10 T tous les 5 ans

Coefficient K2.

Le coefficient K2 est la perte annuelle d'humus stable par biodégradation et minéralisation, ou toute autre cause (érosion).

Sans érosion, K2 est de l'ordre de 1 % à 2 %.

1 % pays tempérés - 2 à 4 % pays tropicaux.

Le coefficient de minéralisation dépend des conditions biologiques du sol. Il augmente avec la température, l'humidité (sans excès), le pH (il faut tenir compte aussi de l'équilibre minéralisation - réorganisation).

Exemple.

Une teneur de 2 % de matière organique totale correspond sur 10 cm à 1.500 toumes de terre, soit 30 toumes de matière organique à 1'Ha; avec un coefficient de minéralisation de 1 %, la perte annuelle est de 300 Kg de matière organique par Ha et par an.

. Les résidus des récoltes indiqués ci-dessus sont tout juste suffisants pour l'équilibre; Els peuvent être insuffisants si le coefficient K2 dépasse 2 %.

Problème de l'érosion.

L'érosion agit directement sur l'humus évolué B.

Si l'on considère le pourcentage de matière organique perdue par érosion soit E Z, la perte ammuelle est E x B.

La formule de HENIN devient :

Nous avons vu que sous l'action de l'érosion en pays tropical humide, la valeur de E pouvait être de 20 % par an.

Il est certain qu'aucune technique d'apport ne peut compenser les pertes par érosion; il faut impérativement protéger le sol. (plantes de couverture, cultures en bandes, etc...). Le coefficient isohumique Kl est sen-

. . . /

siblement le même en climat tropical qu'en pays tempérés (environ 10 % pour une paille de céréale).

Expériences d'évolution en pot.

L'apport régulier de matière organique sur des supports pauvres (soit sableux, soit argileux) permet d'étudier l'accumulation et la décomposition annuelle de résidus végétaux frais.

Le coefficient K2 de décomposition varie dans ce cas de 13 % en sol sableux à 9 % en sol argileux, c'est-à-dire nettement supérieur à-celui des vieux sols non enrichis.

SAUERBECK étudie l'évolution de la matière organique marquée au C¹⁴ sur des sols provenant de régions tempérées ou tropicales.

Sur la plupart des sols, il note la première année une perte de 14C qui varie de 50 à 75 %.

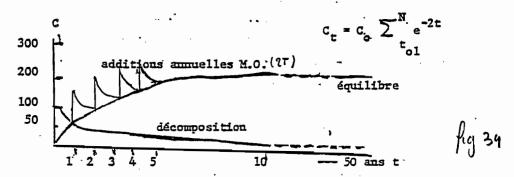
Puis la décomposition ralentit et chaque période de 4 à 6 ans voit la diminution de moitié du C¹⁴ restant, on a une courbe asymptotique

C₊ = carbone à la période t

C = carbone à l'origine

Au bout de 50 cm, c14 est 1 % du C d'origine.

On peut également calculer l'accumulation théorique du carbone en 5000 pour un apport annuel de 2 T/Ha de matière organique



La quantité finale de matière organique obtenue à l'équilibre, 25 ou 50 ans, n'est que 2,5 fois la quantité annuelle apportée.

Four éviter l'appauvrissement du sol en 50 fm. il faut des apports annuels quatre à cinq fois plus élevés.

... / ...

Cette différence entre l'apauvrissement d'une matière jeune et les valeurs de KZ données par la formule de HENIN DUPUY, vient du fait que le turn-over de la matière organique des sols se situe dans un "Pool labile" qui ne représente environ qu'1/3 du carbone total présent dans les vieux sols. Il y a une phase jeune et labile qui comprend souvent les réserves azotées utilisables et une phase ancienne stable qui n'évolue que très lentement, le passage d'une forme à l'autre étant très lent.

Les études faites avec C¹⁴ en milieu confiné ont montré également dans le bilan du carbone du sol, que l'apport réel d'une culture est supérieur aux résidus totaux que l'on peut mesurer globalement à la récolte.

Il y a en particulier des apports en cours de végétation par des racines, ou des débris qui meurent et sont remplacés, ou même par des sécrétions de substances organiques.

Ces apports peuvent représenter deux à trois fois le résidu final directement mesurable sous forme d'éléments figurés. (Sancluda 1975)

VI.2. Action des matières organiques sur la fertilite des sols. Action sur la structure du sol.

A) Corrélation Carbone total et Is. .

COMBEAU dans les sols du Niari - Congo.

 C %	Is
5,2	0,22
3,7	0,49
3,1	0,69
2,9	0,88 Is < 1
. 2	0,89
2,3	0,72
2,4	0,88,
2,8	0,99
 2,8	0,99
1,8	1,49
1,8" Tal. 13	1,36 Is >1
	_

Pour des sols de même type et de granulométrie voisine, il ya une relation inverse entre le carbone total et la valeur de l'indice d'instabilité structurale de HENIN Is.

() Relation entre humus et structure. COMBEAU et QUANTIN (1964).

Sur 42 échantillons dans des parcelles expérimentales de R.C.A., la corrélation a été étudiée entre la valeur de Is et l'extrait de matières humiques Pyrophosphate.

La formule est la suivante :

Is = 2,01 (C % - C Mat.humiques pyro %) + 3,16

r = 0,727

Il n'y a pas de corrélation entre Is et Mat. humiques pyro, par contræ la corrélation est hautement significative avec la différence carbone total moins matières humiques.

Cette différence correspond à la somme des matières légères, de l'humine, des matières humiques soude.

. . . / . . .

C'est l'huminé qui en est le principal constituent donc le principal agent de la structure.

Sur les mêmes parcelles, Is est en corrélation avec les acides fulviques (Pyro + libres)

L'augmentation du taux d'acides fulviques est en corrélation avec la valeur de l'Is.

DABIN (1971) - Culture du coton en R.C.A.

Is	C total	MO légère		sol AF <u>liés</u>	Ac. Eumiques	Humine A	Ac.fulviqu	<u>.</u>
0,4	17,1	1,76	0,97	1,95	4,12	8,3	0,35	
0,4	15,6	1,59	0,81	1,64	3,86	7,7	0,32	jac'13=
1,25	17,42	3,42	0,83 .::	1,, 89	4,16	7,1	0,39	
1,11	17,3	3,39	0,87	1,86	3,68	7,5	0,37	fumier+ paille
2,43	11,4	1,15	0,96	1,56	3,23	4,5	0,56	
3,41	8,5	0,78	0,85 Tai	1,97 Lig	2,20	3,4	0,63	culture continu

Dans certaines parcelles fertilisées de RCA (BAMBARI), le taux de carbone total augmente et l'indice Is est élevé dans des parcelles ayant reçu du fumier. L'évolution qui paraît la plus significative est la diminution de l'humine et l'augmentation du rapport Ac. fulviques (libres + pyro), lorsque Is croît.

Dans des sols de granulométries variables, il est impossible d'établir une corrélation significative entre l'indice d'instabilité Is et les différentes formes d' l'hummis (PALIO - 1981).

DABIN (1962) a établi un indice général de structure, calculé d'apprès la valeur de Is, de la perméabilité K, et des différentes valeurs de porosité et rétention d'eau exprimées en volume.

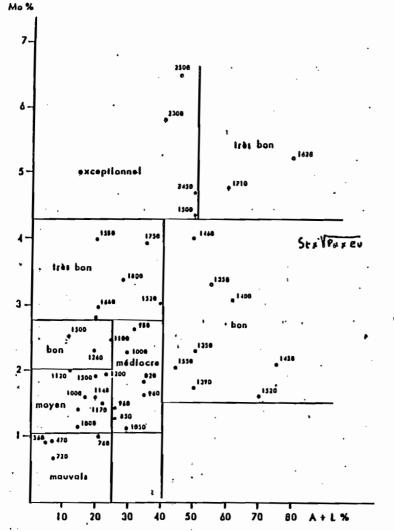
Cet indice est le suivant :

St = 20 (2,5 + Log 10 K - 837 Log 10 Is) indice global de stabilité.

K = Vitesse de filtration en cm/heure - mesure sur sol remanié au laboratoire

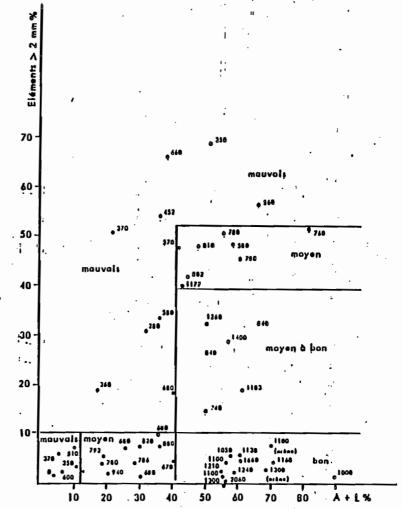
Pu = (Porosité totale à saturation - pF = 4,2) = porosité utile

Eu = (pF = 3 - pF = 4,2) = eau utile.



Indice de structure: Mailère organique Argile + Limon

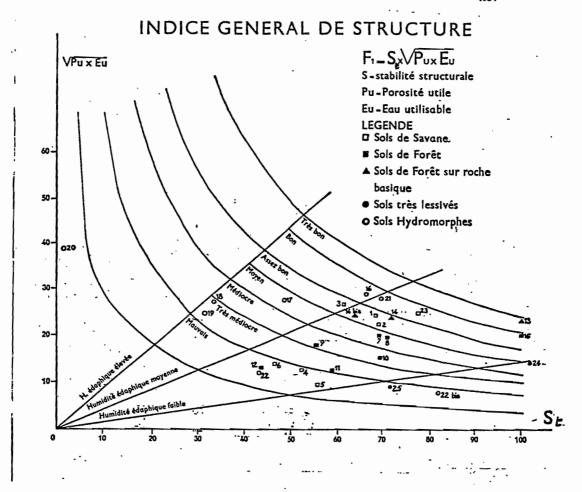
Horizons de surface non gravillonnaires

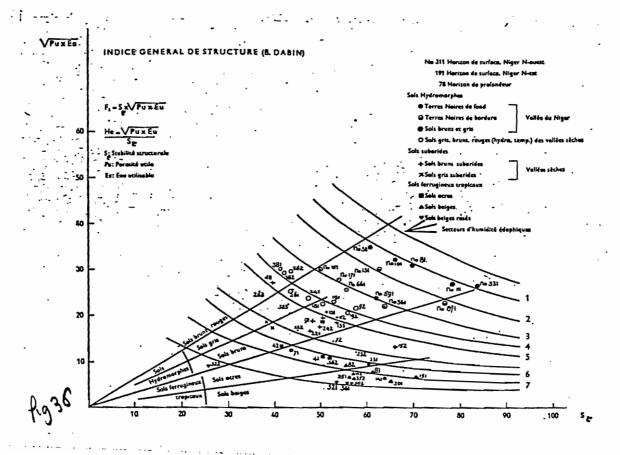


(ndice de structure: Eléments grossiers Argile + Limón

Horizons de profondeur Mo ≤ 1 %

DO Pu





St varie de 0 à 100

et(Stx V Pu x Eu varie de 500 à 2000, et est en corrélation significative avec la fertilité du sol (DABIN, 1962). Des statistiques ont été établies pour de nombreuses cultures (Banane, cacao, riz, coton, etc ...).

Les graphiques joints domnent la relation entre matière organique, teneur en argile + limon et indice de structure dans des sols ferrallitiques de Côte d'Ivoire. Seuls les sols ferrallitiques ayant plus de 40 % A + L paraissent relativement indépendants du taux de matière organique entre 1,5 et 4 %. Tous les autres sols ont leur structure étroitement liée à la matière organique totale.

Cette relation est due à la correspondance entre carbone total et humine qui en représente environ la moitié.(4)

COINTEPAS en 1981, sur des parcelles de GRIMARI R.C.A., indique une corrélation hautement significative entre les agrégats stables à l'eau et au benzène et l'humine, ainsi qu'entre agrégats stables à l'eau et acides humiques.

c). Relation structure et azote organique - TURENNE (1976).

TURENNE aux ANTILLES étudie l'évolution de la stabilité structurale dans des vertisols. D'abord sous culture continue de sorgho, puis sous culture maraîchère. Il détermine le taux d'azote et aminé + hexose aminé d'après la méthode de BREMNER.

No aminé peut représenter de 10 à 40 % de N total du sol.

Le taux d'agrégats stables est en corrélation significative avec le pourcentage de N d'aminé + hexose aminé dans l'azote total.

Le taux d'agrégats stables est également en corrélation positive avec le taux de No aminé dosé dans l'extrait humique total.

N d'aminé du sol - N d'aminé de l'humine.

Cette quantité de N & aminé est reliée à la quantité d'acides humiques. L'enrichissement en azote & aminé au cours de la formation des acides humiques jeunes bien polymérisés a une action stabilisante sur la structure.

(1) Toleneau et coll (1980-Si) confament le constation positives entre la Structure (aquignes > 100 pt)

l'humine et les ceude humignes souch.

Des recherche recents de montreut l'importance de 1+ y de at de Carlione; y un sont une me me
cu conclution avec l'humine et le matieu vigitale libre.

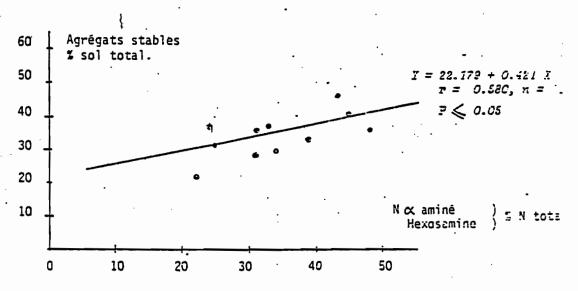
1

Relation entre le taux d'agrégats et le taux de N (« aminé, hexosamine) de N total

On constate (Tableau 3 et 4) que le taux moyen d'agrégats stables évolue de la même manière que le pourcentage d'N (hexosamine) (5 N totai) et que i) la somme (N hexosamine, N aminé).

Le taux d'agrégats stables :) est d'autant plus élevé que les taux d'azote a aminé, d'azote hexosamine ou la somme des deux composés, sont plus élevés et ceci indépendament des autres variations observées (taux d'acides fulviques, taux d'acides humiques polycondansés ou taux d'extractions.

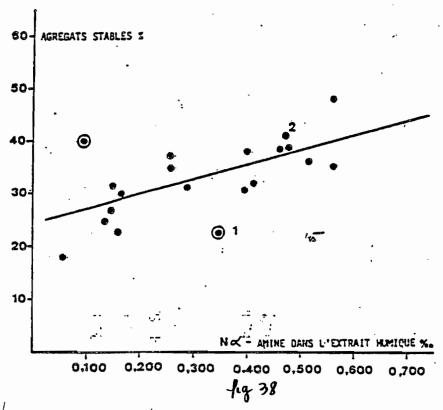
Les résultats obtenus permettent de préciser le rôle des deux composés azotés. L'azote nexosamine forme des complexes très stables avec l'argile (montmorillonite) : elle est un constituant de l'humine; l'azote aminé contribue à la formation de composés humiques et leur assure un rôle protecteur de la stabilité structurale.



Vertisols - Comparaison du T N ø Aminé et du taux d'agrégats stables.

Turane (1976)

- 5 -



: Relation entra le taux d'azote aminé dans l'extrait humique et le taux d'agrégats stables.

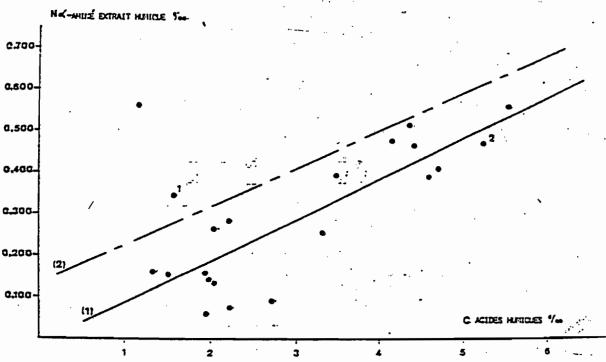
EN CONCLUSION le taux d'agrégats stables diminue rapidement lors de la mise en culture maraichère. Il est directement relié au taux d'agréte ex aminé présent dans l'extrait humique. Une période sèche a pour effet de relever le taux d'agrégats ; plus généralement l'alternance assèchement returnementation entraîne une stabilité structurale plus résistante à la dégradation.

: FORMES HUMIQUES ET FORMES AZOTEES AMINEES : .

Le taux d'azote d'aminé dosé selon la méthode BREMNER peut représenter de 10 à 40% de l'azote total du sol ; lorsque l'on compare le taix d'azote d'azote d'aminé présent dans l'extrait humique et le taux de carbone °/00 de 6 dans les acides humiques (C°/00 AH), il apparaît une relation significative

Cette relation existe également lorsque l'on compare globaler le taux d'azote \propto aminé présent dans le soi total et le Carbone (C°/ $_{\circ\circ}$) des acides humiques (fig. 3 -(2)):

- N ≪ A */... (sol total) = 0,13268 + 0,09226 C%.AH



: Relation entre le taux de Carbone - Acides humiques et le taux d'azote « aminé dans l'extrait humique (1) et dans le sol total (2).

fig 39...

On constate alors que la pente de la droite obtenue dans ca dernier cas n'est pas significativement différente de celle obtenue précédemment.

extraite : On dose en effet des quantités sensiblement constantes dans la fraction humine, pour l'azote & aminé.

Les variations de cette forme azotée concernent donc essentiellement la fraction azotée ∞ aminé présente dans l'extrait humique.

VI.3. Action des matières organiques sur les propriétés chimiques des sols

31 · Généralités.

La matière organique joue un rôle essentiel dans la fertilité chimique des sols.

C'est d'abord une substance de réserve susceptible de libérer par minéralisation biologique, les éléments utiles aux plantes en particulier : l'azote, le soufre, le phosphore.

De même le magnésium, le potassium sont libérés en quantités importantes par la matière organique. Grâce à sa capacité d'échange élevée, la matière organique retient les cations échangeables en particulier le calcium.

L'humus a un effet complexant sur les métaux (Fe et Al) et sur de nombreux oligo-éléments (Cu - Co - Zn - Mn, etc ...). Suivant son état soluble ou floculé, elle agit soit sur la mobilité, soit sur la stabilité de ces éléments.

Elle peut avoir des effets de blocage, en particulier dans les sols acides (complexes humus - Fe - Phosphore - Humus - cuivre, etc ...).

La matière organique joue un rôle direct par ses substances solubles qui ont des propriétés d'hormones de croissance sur les végétaux.

21. Problème de l'azote du sol.

a) Origine de l'azote.

Dans les sols agricoles, 95 % de l'azote se trouve sous forme organique. Cet azote constitue un ensemble de complexes amino-phénoliques, protéiques, humoprotéiques, ou argilo-protéiques, dont l'importance et le degré de liaisons varient en fonction des types pédogénétiques des sols. Peu de molécules azotées simples se rencontrent à l'état libéré; les différentes formes chimiques (amino-acides, hexose aminés et autres) sont réparties dans la matière humique.

Enfin, la fixation de l'ion ammonium par l'argile permet un blocage des composés azotés (STEVENSON/et al., 1967).

(). Etude des formes de l'azote du sol.

La plupart des auteurs, aujourd'hui (ANDREUX, JACQUIN, D. PIERRE, etc ...) utilisent conjointement les méthodes de séparation physique.

199] Tamisage des fractions 2000 // - 200 // - 50 // - 0-50 //

Extraction par des solutions alcalines (Pyro - soude) et acides faibles (HCl $\frac{N}{100}$). (D Piene of 46 A11)

Hydrolyse acide des fractions par 12 méthode BREMNER (HC1 6 N - 12 a 24 h).

Sur les différents compartiments on détermine l'azote hydrolysable et non hydrolysable.

L'azote hydrolysable comprend

1ºazote ammoniacal

1'azote amidé ('du Tillalu)

1'azotex aminé

les amino-sucres

nindeskilalila.

l'azote non identifié.

En ce qui concerne l'azote non identifié, il est montré (ANDREUX, 1981) qu'il peut se produire des artefacts au cours de l'hydrolyse ECI 6 N pendant 12 heures, seit par recombinaison d'acides aminés et de produits d'hydrolyses des hydrates de carbone (genre de réactions de MATILIARD).

On obtient un meilleur rendement en azote aminé, en faisant des hydrolyses successives 1 h puis 18 h avec soutirage de l'hydrolysat et renouvellement de l'acide.

Les formes de l'azote peuvent être marquées par 15 N, puis mesurées après minéralisation sulfurique, distillation de NH3, et transformation en N2 par l'hypobromite de lithium (Spectrométrie de masse ou optique). L'hydrolyse par HC1 3 N donne surtout l'azote lié à la biomasse.

Résultats obtenus,

Minéralisation et formes de matière organique.

JACQUIN donne une formule théorique pour représenter la minéralisation de la matière organique :

Mi = [(MO libre x C/N) + (MO liée x TH)] x AC x El x PP

TH = Coefficient lie à l'humification.

AC = Coefficient lié au climat et à la technique culturale.

Ei = Coefficient lié à l'environnement ionique.

PP = Paramètres physiques du sol.

L'action de substances carbonées comme le glucose diminue deux fois le rythme de minéralisation (augmente le C/N).

Par contre, la paille de maïs a un effet stimulant en 42 jours.

1

La fraction hydrolysable de l'azote commence à diminuer au cours des trois premières semaines, puis augmente différemment suivant les types de sol, fagtement dans un sol brun à mull, faiblement dans une rendzine.

D'après JACQUIN, il n'y a pas de corrélation nette entre azote hydrolysable et taux de minéralisation.

Le taux d'azote ammoniscal est nettement plus élevé dans la rendzine que dans le sol brun acide, sans doute en corrélation avec le taux d'argile mais aussi les acides fulviques.

L'azote non hydrolysable a une teneur plus élevée dans le mull et plus faible dans la rendzine. En climat tempéré, la teneur en N non hydrolysable traduit une forte activité biologique, conduisant à un phénomène de polycondensation important.

La fraction distillable de NH4 dans l'azote hydrolysable, subit une forte variation saisoumière.

Minimum en Décembre - augmentation de Février à Juin - diminution entre Août et Octobre.

. Formes de l'azote dans les fractions de l'humus (ANDREUX). (1981)

Produits alcalino-solubles - environ 30 % de 1 azote des acides fulviques pas, sous forme ammoniacale. (Couch l'hydroly)

Acides humiques - L'azota des acides humiques est d'origine protéique Enchaînements peptidiques liés directement aux structures polycondensées (ANDREUX).

Azote non hydrolysable - Ce sont des résidus amino-acides directement fixés sur les nuclei-polyaromatiques.

L'humine est plus riche en azote que les ciments humiques des microagrégats.

. Répartition de l'azote dans les plantes et dans les sols. Utilisation d'engrais marqués 15 N (D. FIERRE, 1981).

Les engrais azotés apportés au sol ne sont utilisés qu'à 50 % par les végétaux.

L'étude des excès isotopiques dans un maïs marqué, montre que 46,01 % de N¹⁵ passe dans les plantes totales, dont 33,5 % dans les parties aériennes;

on a un excès N¹⁵ très enrichi, proche du fertilisant (9,5-%). L'autre moitié reste dans le sol; l'excès isotopique est très bas en raison de la très forte d' lution (voir schéma joint).

Cet excès diminue avec la taille des fractions 2.000 μ puis remonte dans la fraction la plus fine 0-50 μ

La fraction la plus humifiée s'enrichit en N15

Si l'on calcule la quantité globale de 15 N dans les différentes fractions, 2/3 se trouvent dans le végétal et 1/3 dans la partie 0-50 # du sol.

Dans la fraction fine du sol

on dose 5 mg p. 100 gr. de N-NH4 extrait par HCl 0,01 N à froid.

20 mg p. 100 gr. de N dans les extraits alcalins.

100 mg p. 100 gr. de N par hydrolyse HCl 6 N.

N non hydrolysable est peu enrichi en N¹⁵ et augmente avec la profondeur.

N hydrolysable - 15 N se répartit

30 % fractions alcalino-solubles

65 % hydrolysat HCl 6 N

70 % de 15 N se trouvent dans l'hydrolysat HCl 3 N, ce sont des acides aminés, dans des composés à "Turnover rapide" provenant de la biomasse bactérienne et des composés humiques.

L'humine contient 52 % d'azote.

Les formes labiles extraites au Tetraborate de sodium 25 % N. Les acides humiques 25 % N.

c) . Importance de la minéralisation et de l'immobilisation de l'azote au cours de la fertilisation.

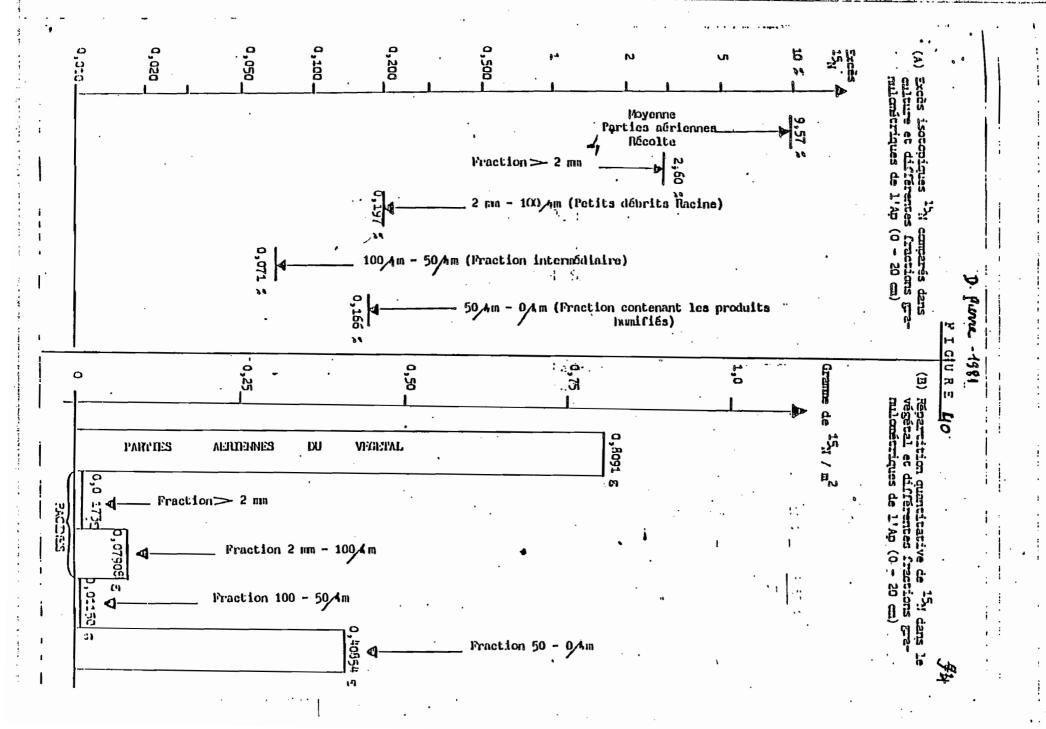
<u>La quantité d'azote du sol</u> assimilable par les plantes autres que les légumineuses est la suivante :

Azote minéral présent dans le sol au début de la saison de culture + différence nette entre l'azote minéralisé et la quantité immobilisée par les micro-organismes

- + les engrais azotés.
- les pertes en azote (lessivage, dénitrification, pertes gazeuses, fixation de NH3 par l'argile).

D'après H. VEN DIJK, il y a une corrélation négative significative (r = -0,65) entre la quantité d'azote minéral dans le profil au premier mars et la proportion optimum d'engrais azoté pour obtenir le meilleur rendement.

. . . / . . .



Minéralisation nette de l'azote organique.

Le passage de l'azote organique à l'azote minéral, et le processus inverse ont lieu simultanément.

Dans les sols qui n'ont pas reçu très récemment de matière organique fraîche, la minéralisation domine.

La minéralisation peut être estimée par des mesures d'incubation (N minéralisable) ou à partir d'un indice chimique.

Il n'y a pas d'indice chimique meilleur que d'autre et <u>l'azote total</u> est tout aussi valable (VAN DIJK, 1981).

En ce qui concerne l'azote minéralisé en quatre semaines, il y a une corrélation positive avec l'azote hydrolysable total,

une corrélation plus faible avec N, of aminé et N-NH4, et pas de corrélation avec N hexose-amine,

il y a une corrélation négative avec C/N.

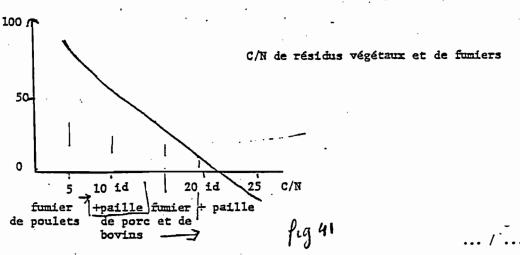
La minéralisation dépend des proportions différentes de matières organiques jeunes ou d'humus fraîchement formé, et d'humus ancien.

D'après JANSSEN, l'humus jeune a un taux de dégradation de 13,5 à 15 % et le vieil humus varie de 1,83 % jusqu'à 0,7 % après 6 ans de culture.

La minéralisation de l'humus jeune peut être de 84 Kg N contre 20 Kg N dans le cas d'humus vieux (sol enrichi en engrais vert et sol non enrichi).

Celà dépend aussi du rapport C/N de la matière végétale incorporée au sol.

N minéralisé % de N total



Il peut y avoir réduction de la minéralisation nette, même par apport d'engrais azotés seuls (sans paille).

(Ceci a été démontré par GADET et SOUBIES dans des cases lysimétrique: il y a une perte apparente d'azote dans les cases fertilisées, par rapport aux -cases non fertilisées. cases con familia.

De même, il y a une perte apparente d'azote plus élevée dans les sols : ayant peu d'azote minéral en Mars et ayant reçu beaucoup d'engrais, que dans les sols ayant beaucoup d'azote minéral en Mars et ayant reçu peu d'engrais.

L'apport d'azote minéral accélère le "Turn-over" biologique et une partie de l'azote est stockée dans la matière organique.

Dans le cas de réserve naturelle du sol à la fin de l'hiver, l'équilibre est réalisé entre azote minéral et azote organique.

V132

. Exemples de bilan d'azote dans les sols cultivés

91 Pays tempérés. Fourniture d'azote :

- minéralisation nette :
 - Exportation totales d'azote par les récoltes moins pertes anmelles.
- apport d'engrais :

Azote prélevé par les plantes 50 %.

Azote immobilisé per la matière organique 20 à 29 %.

Reliquat minéral ·

Défaut de bilan

15 a 25 %.

Il peut y avoir des pertes par lessivage ou à l'état gazeux. Les pertes per lessivage sont mesurées dans des "cases lysimétriques".

Bilan annuel d'une fumure minérale azotée.

Besoin de la culture.

Cas du blé. Besoins en azote = rendement en quintaux x 3 Kg N par quintal. Doit être équilibré par :

le reliquat d'azote minéral sur 1 m. de profondeur au 15 Février

- + la minéralisation annuelle des résidus et de l'humus.
- + les apports d'engrais (compte tenu du coefficient d'utilisation).

Exemple downé par GACHON - N Kg-Ha. (1975 - See dus 2 ~ 2)

	Sans engrais vert					A	Avec engrais vert				
<u> </u>	Témoin	Résidu de ré- colte	Azote	Résidu+ Azote		Témoin	Résidu de ré- colte	tales : Azote	Résidu- azote :		
% dans la récolte grain + paille	75	80	115	115		115	130	150	155		
Y estimé, racines	- 10	10 :	15	15		15	. 15	20	20		
f total - Culture (1)	85	. 90	130	. 130		130	145	. 170	175		
N minéral Mer Mars dans le sol	110	115	125	120	7	110	140	195	195		
sur 1 m. Ier Acût	30	30	30	. 30		40	45	55	55		
minéral disparu (2) du sol	- 80	ੁਤ85	95	.÷ 90		70	95	140	140		
fourni par la minéra- lisation (1 - 2)	5	 5	35 .	40		60	50	30	35		

Tole 15

Dans cet essai, quelle que soit l'origine de l'azote (minéral ou orgamique), les apports ont un rôle interchangeable.

Pour déterminer la minéralisation nette, on additionne les quantités d'azote exportées par la récolte, et on retranche l'azote minéral perdu par le sol sur 1 m., entre le Ier Mars et le Ier Août (On effectue des dosages NO3 NH, à ces dates sur 1m. de profondeur).

Fumure annuelle = besoin global - minéralisation nette - stock post-hivernal.

Pour 70-72 Ox de blé, il faut 220 Kg N.

Réserves minérales au mois de Mars de 110 à 195 Kg N (40 Kg sur 0-30 cm).

Dans le cas de l'engrais vert

témoin sans résidu de récolte donne 60 Kg N de minéralisation nette. Le stock post-hivernal est 110 Kg N.

Besoin optimum en engrais 220 - 60 - 110 = 50 Kg N/Ha.

Témoin sans engrais vert, sans résidu.

Minéralisation : 5 Kg.

Réserve post-hivernale : 110 Kg.

.. / ..

Besoin optimum en engrais : 220 - 5 - 110 = 105 Kg N/Ha.

Bilan dans les sols de l'AISNE (J. HEBERT, Science du Sol, 1973, N° 3)

Témoin sans	n .	1	L20 Kg n
- Rendement :	43,5	Q=E	61,8 Qx - lane = -1:
- N dans la plante	97	Kg	185
- N dans le sol après la récolte(minéral)	60	•	26
- N sol + plante	157		211
- N minéral dans des parcelles non cultivées	120	Kg	215

Dans la parcelle fertilisée, l'azote récupéré à la récolte (sol + plante) correspond aux disponibilités de la parcelle fertilisée non cultivée (215 # 211).

Dans la parcelle non fertilisée, les disponibilités de la parcelle nue sont inférieures à l'azote récupéré dans la parcelle cultivée 120 <157.

La culture sans engrais accroît la minéralisation.

L'azote fourni par le sol avec engrais est 215 - 120 = 95 Kg.

L'azote fourni par le sol sens engrais est = 120 Kg

L'engrais permet d'économiser sur la fourniture d'azote par le sol; une partie de l'azote minéral appliqué est stocké (provisoirement).

L'apport d'engrais peut activer la minéralisation ou la ralentir.

C/N élevé activation - compétition moins élevée entre plante et flore du sol

(Développement hétérotrophe).

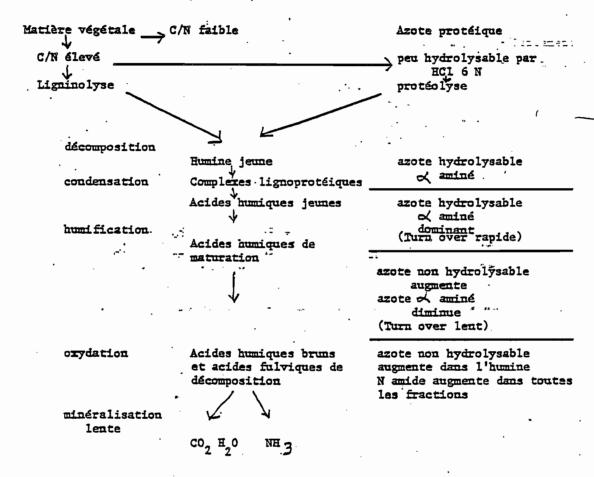
C/N faible ralentissement (Développement des autotrophes).

<u>Fertes réelles</u> - En pays tempérés, les pertes par lessivage sont faibles en période de culture.

Elles sont importantes en hiver (ou si les apports d'engrais sont très excédentaires).

Les pertes à l'état gazeux peuvent être de 10 % à 20 %.

Etapes de transformations de l'azote du sol.



. Evolution de l'azote minéral.

Dans les climats tempérés atlantiques.

Evolution annuelle de l'azote minéral dans les sols de la SOMME (LEFEVRE-HIROUX - Annales agronomiques 1958).

Le climat atlantique comporte des pluies régulières tout le long de l'année, un hiver froid, un printemps aux températures variables, un été chaud, un automne variable)

On prélève chaque mois des échantillons moyens de sol superficiel (0-20 cm). L'azote minéral est extrait par lessivage au Ca Cl₂ N (1 l. pour 100 gr. de sol).

L'azote ammoniacal NH 3 est dosé par distillation en présence de mar accer gnésie calcinée.

On rajoute de l'alliage Dewarda (Cu-Zn) - NO₃ \longrightarrow NH₃ par réduction On redistille à nouveau NH₃. On obtient la somme NH₃ + NO₃ (on peut opérer par colorimétrie, par chromatographie d'ions, etc ...).

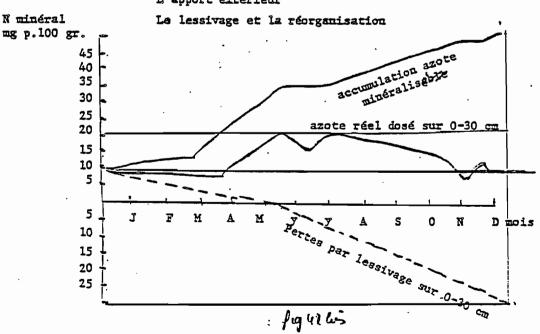
. Bilan annuel de l'azote minéral. (Omeneu et le fevre 1951 - Le fevre et theres 1958)

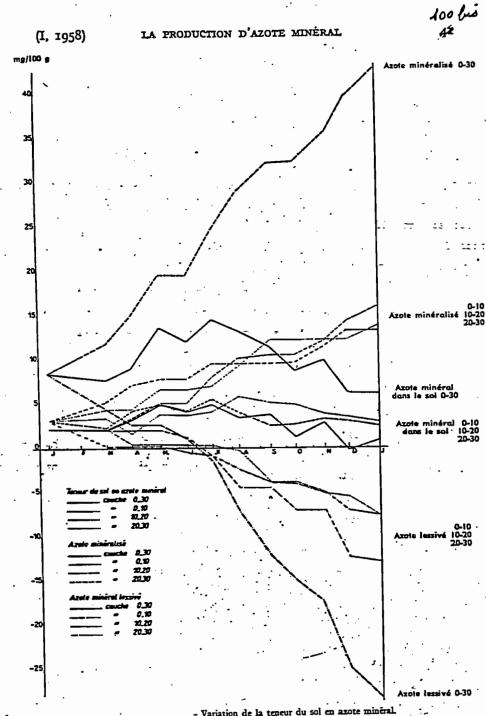
Le dosage de l'azote minéral est effectué chaque mois.

En même temps, on réalise un test de laboratoire dit : azote minéralisable (échantillon prélevé au même moment et incubé un mois à l'étuve à 27°).

Ce test est fonction de la microflore présente et de la teneur en azote biodégradable. Il donne une idée de la minéralisation optimum à chaque période, <u>A chaque période</u>, on compare l'azote existant réellement dans le sol et l'azote minéralisable. Par différence, on peut en déduire :

Soit la minéralisation aux champs L'apport extérieur





Variation de la teneur du sol en azote minéral.
 en tant que bilan de sa production et de ses pertes cumulées.

Un graphique représente l'évolution mensuelle de la teneur en NO₃ + NH₄ sur 0-30 cm. Une courbe indique les gains cumulés d'azote au cours des mêmes périodes (courbe du hant), une autre courbe (en pointillé) représente les partes par lessivage sur 0-30 cm (également en valeurs cumulées).

La courbe du milieu est la résultante de la différence des deux. Elle montre un minimum d'azote minéral en hiver de Janvier à Mars, puis une montée au printemps de Mars à Mai, avec un maximum, puis une légère chute due aux pluies de printemps, et à nouveau un maximum en Juillet-Août. On observe ensuite une diminution lente jusqu'en Septembre et une chuta en Octobre-No-vembre.

Les maximum correspondent à peu près aux périodes végétatives des plantes; démarrage au printemps, et fructification en été où les liaisons d'azote sont maximum.

La courbe présentée est schématique. En réalité, elle est faits d'une suite de points hants et points bas correspondant aux variations hebdomadaires de pluies et de température.

Cependant, d'après LEFEVRE, la production d'azota minéral semble obéir à un cycle annuel relativement indépendant des fluctuations accidentelles.

Le niveau moyen de la courbe peut varier d'une année sur l'autre en fonction de la réserve post-hivernale.

D'après ce graphique, les meilleures périodes pour l'apport d'engrais se situeraient en Mars et en Juin.

. Bilan global de l'azote du sol en climat atlantique.

Production ammelle d'azote minéral (Ha) :

312 Kg soit 5,47 % des réserves.

Perte annuelle :

248 Kg soit 4,35 % des réserves

Azote lessivé, réorganisé ou récupéré à 1 m. de profondeur.

La quantité réellement consommé est de :

312 - 248 = 64 Kg.

L'usure de l'azote des réserves organiques est de 169 Kg soit 2,97 %. L'azote réorganisé est de : 88 Kg

169 + 88 = 257 Kg.

Ce chiffre est à rapprocher des pertes annuelles 248 Kg.

La production d'azote minéral joue sur une quantité plus importante que la destruction effective du stock organique.

C'est le "Turn-over".

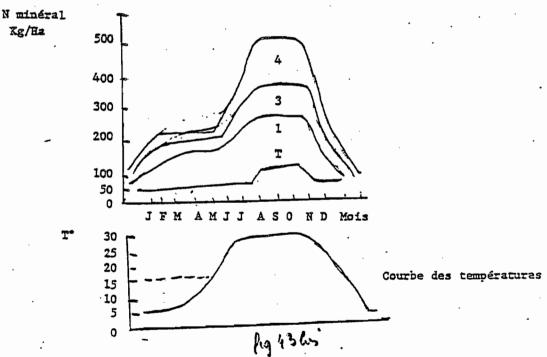
02 . Evolution de l'azote minéral en climat méditerranéen.

DROUINEAU et LEFEVRE (1951) : le climat méditerranéen comporte des pluies d'automne et de printemps avec une température douce, un été chaud et sec, un hiver frais.

Des essais ont été réalisés sur des parcelles fumées du jardin de GRASSE, entre 1946 et 1950 (les apports d'azote sont faits sous forme de fumier).

· .		N total des parcelles
Parcelle 1 935 KG/Ha N		1,49 /**
Parcelle 2 470 Kg/Ha N	·.	1,78 /**
Parcelle 3 715 Kg/Ha N		1,92 /**
Parcelle 4 1.430 Kg/Ha N		2,63 /**
Témoin non fumé		1,24 /**

Dans les différentes parcelles, des prélèvements ont été effectués sur 0-20 cm; l'extraction de l'azote a été faite par Ca Cl₂ N et dosée par la méthode Dewarda.



L'accumulation de l'azote est faible de Janvier à Mai. Elle.commence à se produire à la fin du printemps, elle présente un maximum très net en Août-Septembre en pleine saison sèche.

La production d'azote minéral suit la courbe de température; elle s'accroît lorsque T dépasse 15°.

En automne, il y a une chute brutale d'azote minéral due à la pluie et à la baisse de température.

Le maximum de saison sèche est de 100 Kg/Ha dans le témoin, et atteint 500 Kg/Ha dans la parcelle fumée n° 4.

Le maximum d'accumulation de l'azote se fait entre 2 cm et 6 cm de profondeur, l'humidité du sol étant de 6 %.

Il n'y a pas d'augmentation par irrigation (plutôt diminution). L'accumulation d'azote n'est pas due à un phénomène de remontée (DROUINEAU).

Les phénomènes d'accumulation ont bien lieu en saison sèche et sol

On peut en donner une explication partielle (B. DABIN), par le phénomène de <u>désamination oxydante</u> (production de NH₃) qui a lieu au moment de la <u>polycondensation</u> des précurseurs humiques avec les acides aminés, lorsque la <u>dessiccation du sol</u> succède à la période douce et humide (printemps) sur les matières organiques commençant à se décomposer.

La nitrification de l'ammoniaque peut se produire dans un sol proche du point de flétrissement (DOMMERGUES).

03. Evolution de l'azote minéral en climat tropical.

Le climat tropical n'a pas de saisons froides, il comporte une alternance de saison des pluies et de saison sèche.

Des travaux effectués par MOULINIER en COTE D'IVOIRE (1960) et également par les laboratoires du C.R.A. de BAMBEY au SENEGAL rappellent, par certains aspects, l'évolution de l'azote en climat méditerranéen, en particulier l'accumulation des nitrates en saison sèche.

Par contre, l'évolution de l'azote pendant les saisons chaudes pluvieuses est différente.

En COTE D'IVOIRE forestière, on note une variation très rapide de NO3 et NH3 dans le sol (en dents de scie). Une pluie même faible lessive rapidement les nitrates, mais la teneur remonte rapidement entre deux pluies "

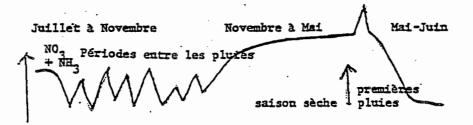
en raison de l'activité biologique. Ceu a pensos sede on un amediane on a cust de vanation diving pande amplified.

En saison sèche, il y a une accumulation progressive de nitrates.

En début de saison des pluies, il y a une augmentation brutale d'azots minéral due à la reprise d'activité biologique.

Durant le premier mois de saison des pluies, la perte de nitrates par lessivage est considérable.

Variation schéatique de D₃ + NH₃ ians l'horizon supérieur



Exemple: Juillet 2- ppm NH₃ MOULINIER (1969)

1,5 ppm NO₃

Mars 8 ppm NO₃

3 ppm NH₃

Un essai d'incubation sur un sol sableux à pH 4,5 donne une production de 50 ppm N (20 jours à 27°).

Témoin $NH_3 = 15$ ppm $NO_3 = 29$ ppm $Sol + CO_3Ca$ $NH_3 = 3,5$ ppm $NO_3 = 47,5$ ppm L^1 ammonification reste active même à pH acide.

L'apport de calcaire qui neutralise le pH accrost fortement la nitrification.

Dans les sols du SENEGAL pauvres en matière organique, à très longue saison sèche et courte saison des plules, l'azote minéral se situe à un niveau bas, même en saison sèche.

Par contre, en début de saison des pluies, on assiste à la forte remontée des nitrates.

Puis la teneur baisse à nouveau et se maintient à un taux relativement bas pendant la saison des pluies.

Nitrates+amm. Début de saison des pluies

Saison sèche Saison des pluies

Tous les sols tropicaux présentent donc un maximum d'azote minéral au début de la saison des pluies, puis la teneur baisse rapidement.

Cette propriété est à l'origine de la constatation culturale suivant laquelle, les cultures (coton, arachide, etc ...) ont des rendements d'autant meilleurs que les semis sont plus précoces.

Au TCHAD, à la Station I.R.C.T., un semis début Juin donne un rendement de 2.800 Kg coton graine; le même semis fin Juin donne seulement 1.500 Kg. Les apports d'engrais azotés sont plus efficaces fin Juin.

VISC E · Mesures biologiques.

A côté des mesures chimiques de nitrates, des mesures biologiques peuvent être réalisées sur la vitesse de nitrification. Un petit échantillon de sol prélevé à différentes périodes de l'année est mis en incubation dans un milieu de culture approprié

0,5 gr. de sol dans un Erlenmeyer, contenant une solution de sulfate d'ammonium, dans le milieu nutritif de WINOGRADSKI(P.K.Ca.Mg.Oligo-éléments) avec 1 % de CO3Ca. La solution est dépourvue de substances carbonées solubles.

Le milieu nutritif est préalablement stérélisé, et l'ensemencement se fait avec du sol frais.

Le flacon bouché est laissé incuber à 25°.

On prélève chaque jour aseptiquement avec une micropipette, 1 mi de liquide, sur lequel on effectue les tests colorimétriques de NO, et de NH,.

Le test ${\rm NO}_2$ est fait par le réactif de GRIESS (qui donne une couleur rose très sensible).

On note l'apparition, puis le développement, puis la disparition de la couleur rose en fonction du temps.

Exemple

Exemples - Terre de barre du Sud TOGO (ferrallitique faiblement) désaturé

Culture de manioc

Début de mitrification	Rendement T/Ha	B.9451N
5 à 6 jours	30 a 40 T	1958
15 jours	10 T	•
Rien après 18 jours	5 T	

Des essais réalisés avec maïs et coton ont donné des résultats com-

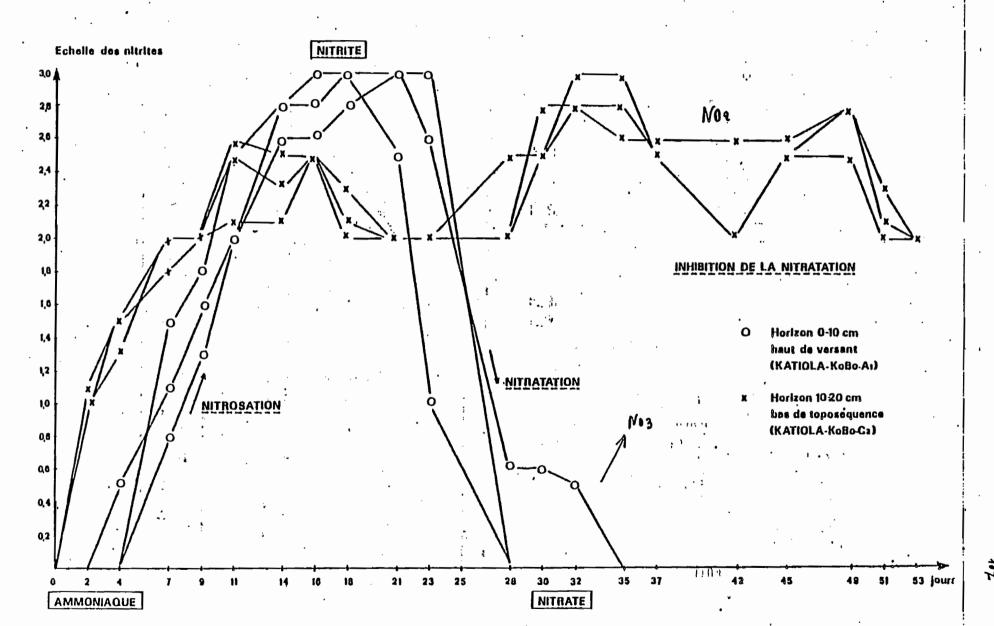
Essais sur le riz inondé

	(OFFICE DO	MIGER - MALL)	מלפור ומפרי אוני ואלי כו
İ	Début de nitrification	Rendement	Type de sol
i			Vertisol pH (7,5-8,5)
1	13 jours	Moyen 1500 Kg/Ha	Sol brun pH (6,5-7)
	21 jours	Elevé 3000-5000	Sol hydromorphe pH (5-5,5)
		l Kg	•
		— • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	

La nitrification est plus lente dans les sols hydromorphes acides et celà correspond à un rendement en riz élevé.

Dans les sols neutres ou légèrement basiques, la nitrification est rapide et les rendements sont faibles (Dans le cas de culture exondée, ces sols sont les plus fertiles).

En rizière inondée, l'alimentation se produit à partir de NH3. La nitrification provoque la perte d'ion ammonium. L'accumulation de l'ion NO2 dans les couches inondées et réductrices du sol à faible profondeur produit



un effet toxique sur les plants de riz (jaunissement généralisé des feuilles).

Lorsque le semis du riz est fait directement avec les pluies, la nitrification se produit dans les 15 jours qui suivent la levée des jeunes plants. La mise en eau de la rizière provoque le lessivage et la réduction des nitrates à faible profondeur.

Il faut soit repiquer des plants de 15 cm dans une rizière déjà en eau, soit faire un semis par avion sur un plan d'eau très régulier de 10 cm d'épaisseur.

Dans le cas de semis direct, le sulfate d'ammoniaque doit être enfoui à 15 cm de profondeur, ou apporté en couverture pendant la période de croissance rapide.

En conclusion

La fertilité des sols dépend de la rapidité de nitrification, sauf dans le cas des rizières inondées où la nitrification doit être au contraire ralentie.

. Appréciation globale de la richesse du sol en azote.

En climat tempéré, il est difficile d'établir la fertilitéé azotée d'un sol à partir de la détermination de l'azote total, car les intensités de minéralisation peuvent être très variables en fonction des conditions environnantes (climat - substratum).

Fréquemment, de grandes quantités d'azote organique correspondent à des conditions de mauvaise minéralisation.

En ce quirconcerne les sols tropicaux, les composantes de la minéralisation sont plus constantes durant la saison de culture, en raison de la température élevée et constante.

Dans les sols à drainage correct et pour un rapport C/N inférieur à 20, la fertilité est fonction de la richesse en azote du sol, mais il faut tenir compte de deux facteurs correctifs essentiels :

- . 1. Le pH du sol.
 - 2. La granulométrie.

De même, les conditions d'alimentation minérale doivent être assurées pour les autres éléments, l'azote demeurant <u>le pivot des éléments utiles</u>.

. . . / . . .

Dans un sol après jachère, les différentes formes de l'azote sont en équilibre entre elles et l'azote biodégradable est en corrélation avec l'azote total.

L'action du pH est liée principalement à l'activité biologique qui croît fortement de pH 4 à pH 7.

. Par exemple - Culture du coton irriguée dans le Delta Central Nigérien.

. PABIN (1959)

Teneur en N total 0,35 °/..

pH 5 5,5 6 6,5 7

Rendement Kg/Ha 200 500 1000 1500 2000 coton graine

Teneur en N total 3,5 °/.. (NIGER Oriental)

pН

5 5**,5** 6

Rendement Kg/Ha 1.000 1.500 2000

Pour un même pH, les rendements augmentent en fonction du taux d'azote Ival

. Echelles de fertilité.

Compte tenu des variabilités des taux d'azote, soit au niveau du champ, soit au cours des saisons, nous avons établi des intervalles assez larges, entre 0,1 °/o. et 6 °/o. d'azote total d'une part (0,1 - 0,2 - 0,45 - 0,8 - 1,2 - 3 - 6) et de pH d'autre part (4,5 - 5 - 5,5 - 6 - 6,5 - 7) correspondant à des valeurs rencontrées couramment dans les sols et dont la combinaison dans un abaque fournit un tableau général de fertilité potentielle des sols, très utile pour l'établissement de ressources en sol au niveau de la cartographie pédologique.

Un tableau est réalisé pour les cultures diverses, en sol drainé, un autre tableau concerne la riziculture inondée, où l'optimum de pH se situe autour de 6 (en raison des problèmes de nitrification).

En ce qui concerne les cultures diverses, il convient également de tenir compte de la texture

Tableau de Fertilité azotée (B. DABIN) 1961 NTotal pH eau.

Fig. Equilibre azote total/pH (échelle de fertilité) (d'après Dabin, 1970; d'oramuller et Gavaud, 1976).

PH - riziculture humide indice de fertilité 7 6 5,5 2 3 5 7 2 .--5 --5 6 7 2 5 6 4,5 0.3

PН

cultures diverses — indice de fertilité

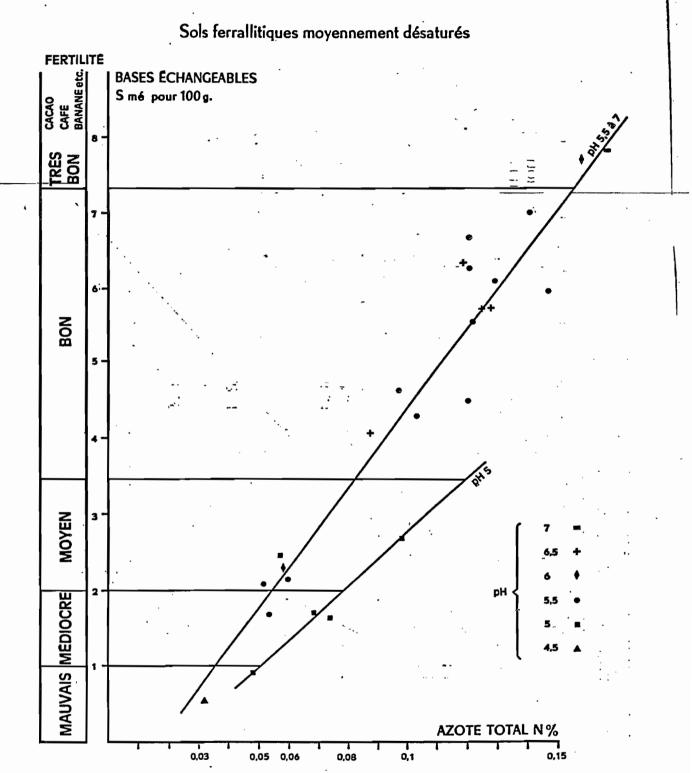
7	2	4	5		6				7	
6,3	2	3	4	5		6	7			
6	1		3	4		5		6	7	
5	1		2.	3		4 ·		5	6	
4,5		. 1		2		3		4	5	

Fertilité 1. très bas 2. bas

3. médiocre 4. moyen

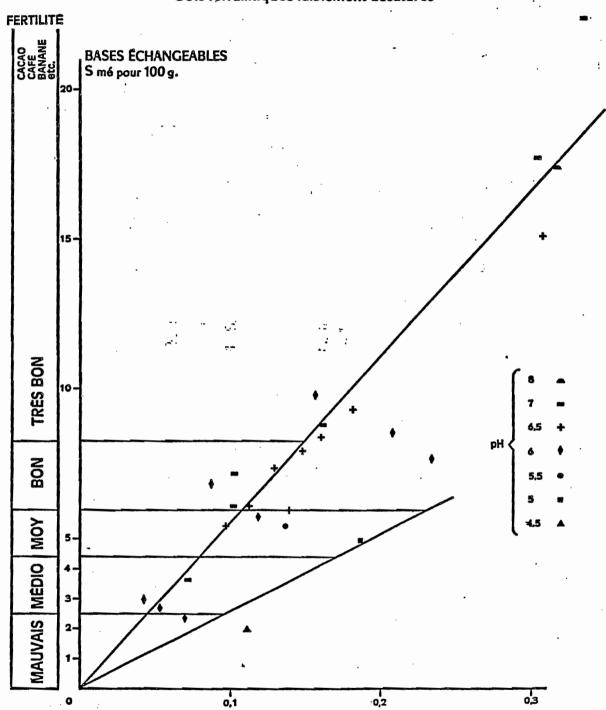
5. bon 6. très bon

7. exceptionnel



Relation entre la somme des bases échangeables, la teneur en azote total et le pH dans les sols ferrallitiques moyennement désaturés.

Sols ferrallitiques faiblement désaturés



Relation entre la somme des bases échangeables, la teneur en azote total et le pH dans les sols ferrallitiques faiblement désaturés.

A + L (argile + limon fin) _ < 15 % Texture sableuse

A + L entre 15 et 35 % Texture moyenne

A + L > 35 % Texture argileuse.

Les valeurs de l'indice sont applicables aux textures moyennes.

Pour les textures sableuses, il faut prendre l'indice immédiatement au-dessus.

Four les textures très argileuses, l'indice peut être immédiatement au-dessous.

. Evolution de la fertilité azotée en culture continue.

An cours des premières années de culture, il y a consommation rappide des formes d'azote les plus immédiatement assimilables, en particulier l'azote minéral, et les formes d'azote organique les plus rapidement biodégradables, en particulier l'azote aminée hydrolysable que l'on trouve dans l'humine jeune.

L'azote minéral disparaît presque totalement après trois ans de culture continue.

Au bout de ce laps de temps, il convient d'apporter des engrais azotés, ainsi que des matières végétales fraîches et des composts ou fumiers, pour compenser les pertes d'azote biodégradables.

. Mesure directe d'azote "assimilable".

Une méthode de mesure d'azote "assimilable" a été proposée , qui consiste à traiter

20 gr. de sol par 100 ml de MnO_L K 0,32 % + 100 ml NaOH 2,5 %

On distille NE₃ sur environ 1/3 du volume. On a une mesure de l'azote ammoniacale et amidée et des formes facilement hydrolysables de la matière organique.

. Rôle général de la matière organique dans le métabolisme de l'azote minéral.

Fumures organiques et Fumures minérales.

Les plantes supérieures s'alimentent essentiellement à partir d'azote minéral NO3 et NH3.

Il paraît donc simple d'obtenir des rendements élevés par l'addition de sels minéraux (ammonium et nitrates) au sol.

Dans les effets à court terme, les accroissements de récolte peu-

. . / . .

vent être spectaculaires (une tonne de Paddef pour 25 Kg d'azote) (sulfate d'ammoniaque).

En milieu tropical, l'azote sous forme organique peut avoir un rendement équivalent à celui de l'urée (CO (NH₂)²), c'est-à-dire un coefficient d'utilisation de 25 % Nabsorbé, ceci contrôlé par l'azote 15 N.

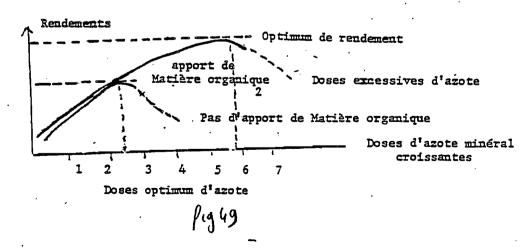
Dans une expérimentation oul'on compare urée seul et urée + paille, si l'on analyse le sol on constate, par la répartition du 15 N, que dans le cas de l'urée : 50 % de l'azote apporté est perdu (Drainage), alors que dans le cas de l'apport organique ces 50 % se répartissent dans les formes de l'humus (C. FELLER).1991

Il s'ensuit que dans des essais à long terme, l'azote sous forme organique (à quantité égale) rattrape et dépasse les effets de l'azote minéral seul.

. Action de l'humus sur la fumure azotée.

Par ailleurs, le maintien d'un taux d'humus élevé dans le sol accroît la valeur maximum de la fumure azotée qu'une plante peut supporter,

Si l'on détermine les <u>courbes de rendement</u> d'une plante en fonction de doses croissantes d'azote minéral, les sols humifères ou recevant des amendements organiques, donnent des rendements maximums plus élevés pour des doses d'azote minéral plus fortes. Les sols pauvres en matière organique attaignent rapidement la dose toxique d'engrais azotés.



CONCLUSION SUR L'ETUDE DE LA MATIERE ORGANIQUE

Les méthodes d'analyse et de fractionnement des matières organiques du sol exposées ci-dessus répondent à un double but :

- d'une part définir le mode de transformation et d'évolution en surface et en profondeur du sol, des matières végétales d'apport, d'étudier leur transit dans les différents compartiments de l'humus et leur rôle dans l'organisation pédologique : structure, transport d'éléments, dépôts,
- formation d'un horizon humifère caractéristique des différents équilibres écologiques (climat, roche-mère, végétation, faune et action de l'hom-me),
- d'autre part apprécier le rôle de cet humus dans les mécanismes de fertilité physiques et chimiques.

Dans cette seconde partie les composés de l'azote jouent un rôle essentiel, et les équilibres des matières carbonées et des produits azotés permettent de mieux définir les réserves plus ou moins aisément minéralisables.

L'humus est un mélange complexe de produits de décomposition de néosynthèse, de minéralisation, avec des équilibres très variables entre eux.

Il importe de connaître dans chaque cas, à partir de déterminations quantitatives ou qualitatives de fractions, le stade d'évolution et de maturation de la matière humique.

Les propriétés sont très différentes suivant que l'on a affaire à un humus fraîchement formé, ou à l'équilibre, ou en voie de dégradation.

Les proportions absolues et relatives des différentes fractions en surface et en profondeur permettent d'apprécier le "Turn over" plus ou moins rapide des divers compartiments, suivant les climats, les végétations, les modes d'exploitation.

Le degré de condensation des acides humiques et fulviques, les fonctions acides ou les chaines aliphatiques déterminés aux infrarouges, les fractions plus ou moins jeunes (héritées, hydrolysables) ou évoluées et précipitées de l'humine, renseignent sur la nature de l'humus à l'équilibre.

Dans le cas de produits jeunes et en particulier de litières, il serait indispensable de déterminer les produits non humiques (hydrates de carbone, lipides, protéines) associés aux produits humiques en formation. Ces études sont peu présentées ici en raison de la rareté des litières tropicales, mais elles présentent un grand intérêt dans certains cas (reboisements d'eucalyptus, de pins, etc).

Dans les sols en culture continue les fractions de l'humus renseignent sur l'état de dégradation, en particulier par comparaison avec un témoin pro-tégé.

Les normes d'appréciation de la fertilité azotée, utilisant l'azote total ou les formes ammoniacales, sont interprétables dans les sols à l'équilibre ou à la sortie de jachère.

Après plusieurs années de culture, on observe que le rapport N distillable / N non distillable augmente dans l'N hydrolysable lorsque les rendements diminuent , cela correspond bien au sens de maturation des produits humiques qui évoluent sans être renouvelés ; il convient dans ce cas de corriger les normes d'interprétation de l'azote.

Il peut être plus signifiant d'analyser les formes de l'azote sur des fractions séparées : matières grossières, produits alcalinosolubles ou humine, plutôt que sur le sol total.

Dans les matières organiques à "Turn over" rapide la répartition de ces fractions peut être elle-même très signifiante.

Les méthodes présentées qui sont essentiellement chimiques, font peu appel à la biologie, mais des études microscopiques directes fournissent un complément d'information.

Feller (c) Une nuthode de fractionnement granulo métrique de la matieu organique de sols Application aun sols Tropicaien à Tectur granue.

Tropauves en humis . Cah. ORSTON Ser Pedologie Vol XIII nou 1999

the section of the section of the section

- 13 Feller (c) Chevae (H) Garry F 1980 Coccupendon of hunufcular de victus voyetion.

 dars un aprosyste nu Tropicul.

 Agron Trop. 36 (1) 19-14 1981
- The Felle C', Courand 6" Gan y F" 1981

 Interaction de la matine organique et de l'azote dans un.

 afres y 16 no Tropical Et et par as Techniques de fractionnément

 Atronulometrique et par es isotets

 Collegen ny ional sur la tratien organique des sos

 CENA Pi ra a caha · S. I. Bresil 1982

 (185-191)
- Henry Spt Turce (1) 1950 Essai de fractionnement de maties organiques de sue Trans 4th int cong. Soil Sci. 1: 157-154
- 38 Monner (G) Turc (L) Granson Lieu Sinaug (1) 1962 une nuthode de fractionne ment deux metrique par cul refugation de matrix orjunques clusie Ann: Agron, 1371):55 63
- 5 Flory Contribution à la connainana, de la constitution de la Synther de acus humiques
 Science du Sol no 2-1940 (39-71)
- Flag (WI Hunder |K 1 (1968 / Whindie Betaliquing: Von phinolen am Auflau: von Huminsäuren
 9th international angr-soil Sci. Trans II #15-182
- Haider K Harting P (1969) Synthesis and Transformation of the notice compounds by Epicoccum Nofrum in relation to funic acid formation.

 Soil Sci. Soc Amer. Proc. 31 460 -449.
 - 4 Bremner 4.4. (1955) Nitrogen destribution and amino acid composition of fractions of a hume acid from a cheing embol.

 Z. Pflanzen nehrung Düng Boden kund 71, 63-60
- 42 Nehring (1955) Untersuchungen an aus Verschiedenen Bodentypen isolierleis Humin sähnen Z. Pflanzenmähr. Dug. Boden kunde: 69, 41-80
 - Thurin (1954) Yers um methode d'analyse pour l'étade comparative des constituents de l'humes desses (ensure)

 Acad Sci-URSS Travailment lokulchaux -

1 Kononova. HH. Belchekova N. 2 1461 - Rapia methodis of determining. He humus composition of minerale Soils - Pochvovedenie 10 - 45 (russe)

5 Welli E. (1956) Zur. Konzentration Smessung von Humunsaären Z. Pflanzen nähr Dung. Boden kund 44, 919-992

DABIN(B) (1971) Etude d'une methode d'endradion de la matien humique

Sama au Sol not - 1941 (44-62)

3 Thomann(c)(1963) Guelquis observations sur l'entraction de l'humes clesses Methode au 8720 thomphation so decemi Cohiers de Pedologie 0R5TOU, 1 no 3 48-29 (1963)

5 Combeau(Alet quantu(I) (1964) obsperations sur le relations entres talulate
Structurale et matière orjungué dans quelque sols d'Afrique
centrale

Cahus ORSTON - pedologue Tone II nos

Duchou four et gacquii (# 1963 - Re chiched'une methode d'extraction et de (ph) fractionne ment des composs Le miques contrôles pou electrofhèrese Ann. Agro. 14.(8) pp. 885-918

Du chaufsuget éfacqueir F (1968) - Nouvelles recherches sur l'extractionet le (ph) fractionne ment els conspors Luniques Bulletin de l'École Soférieur A 5 vononique de Naurag. Tome & for 1

Dalein Bot Thomann Ch- (1940). Etuck comparative de cleux methory de fractionen ment de compos humigies (traffic de Tiurin et methode electroficetique). Initiation de cumulation Technique. OPSTOOT no IT Bruckert (5) Andrews (4) Correa. (4) Ambouto (KJH) . Souther. (B) 1929 112 Practionne mult des agriegats applique à l'avalifse de complerces organo miner aux des sols proc. 11 congres AISS Edmonton Canada.

3 Pruchert 18 1(1949) Analysi des complexes organomineraus des sus in- "Pedologie" Tome IT Hasson Paris p 184.20 p

43 Perraud (A) . (19 \$1) La matien organique des Sols Forstiers de la coli d' yroui . These wour de Naway. -1871 -ORSTON. 1971.

Yolkoff-(B) of Andrede (4.7) 1970

Caractersação da malera organica de alguns solos feraliticos do estado de Balia - Aplicação de um metodo de fracionamento das Substancias humicas -

Comp. Brasileira de ciencia de Solo - Campinas 19 47 Sociedade Brasileira de ciencia de Solo 1976.

- Volkoff (B) Floxor (4 14) et al 1978. Natureza de Lumis nos latosolos distreficos
 cle Bahra Rexista brosileira de ciencia de Solo 1979
- Volkoff (13) 1924. La matien organique des sols Fernalletiques du W. 15 du Bresse Cak OPSTOH Su Pede 1977
- 2 VolVoff. (15) et Cerre (c) 1948 quelques propriets de l'humis d'un sol finallitique hunufai Sur granete du Parana, Brese
- 1942 Hatun or gamque et stale lete structurale au Vertisals 1 Turenne y.F. vrigus organsahva da Syste nu humugu

XIV Heeting. Cariblean Food : Crops South buadeloupe- Hochungen

- 5 Turenne g. F (1975). Nove d'hunuf calori et de deffer en action podsoliquer dans deux To pos queus equyunaises These Sc Nat. 0 PSTOH Pais 185 p Kemven ORSTOM, 11:0-4-
- 3 Van Dyk. (H) Some Notes on the inchortance of nameralisation and immobilisation of notryen in Making Lutiliza Rewindendations colloge Humas Azola. Rems 1987 1 199-108
- 4 9. Perre(0) go otrus Kouroser(L) Anohuz (F) Querand(a) -1911 de Blanceton Backers.

Andrewd F) et époctais trouvozeel 4 1981

Safforts des méthods de Séparation des salistaires humiques

a' la connamence de la vierre organique ozoté de sus

collegeu Humis-Azote Peines 1981 p 20-24

4 yacquin (Ft. Vong (PC) 1981

Contalution à l'élate du Pouvon Minéralisateur de Sols Anthropiques collègeur Humes Azola - Reinis 1981 p56-62

dervise(H) 1980 contribution à l'étade de la matien organique des ses sons forêt claire (sarans) de côte d'étrani, en forction des principeurs facteurs naturels de peclapener. These Fac d'Aludjan. C-Traine. 1980.

DABIN (B12946 : Methode d'eschrachion et cu fractionne ment des matiens Harriques in Sal . Application of quelques etudes predologiques et afronomiques d'aux les Sols Trobiccion.

Cal. ORS TOM: Seine Pedol. Vol XIV no 14 1976

DABIN(B) 1980 des Matures organiques dans les Sals Tropicaux normaliment desins cal ORSTOM. Pedologu. Voi XVIII no 3-4 (Ceoys Aulent) 197.215

Salfeld. - y and Sochhoj # 19x0 composition of Sal organic matter System on defendance of Soil Type and Land ase collegen Gat. Brunswick RFA - 19\$0 IAFA.

4 Sochty # et Salfeld y. 1945 tuches on the dynamics of orfance forms of netrogen ayou of soil.

collogue 3nt. Brunswich 1976 · IAEA

- SAVERBECK. D. R. 1975 Field de composition of C 16 Labelled Plant residue; in different soils of Cermany. and costa Rica. Coll. 3 mt. Brunswick. 1976 RFA - IAEA
- 9 Sweft R.S. and POSNER. A.H. 1970 . Humufication of plant material. Profestos of Huma and extracts. colloque. 3nt. Brunswick 1940 . RFA - IAEA

Le ferre (a) et Horos (4). 1958
Essar de le la la troduction d'ozote mundel
d'un sel en place
Ann. Agron - 1958 no I

Leferre (a) et Drouine au a. 1951

Vavatur Sassonnes de la Tenem au azote montral dous un sol calcani soumis au climat mediterraneen.

Annals apronomiques . yeur 1951

Chammade R. 1958 Guflueva de la Haber oyangun tunufice.

Sur l'efficiale de byok

Annals apronomiques 1959 no ?.

DABIN. B (1967) Les facteurs de Pertebet des Ses des regross Tropicals en cultur impuer Bulletin de l'AFES: in l'étende très 108. 130. - 1951

OABINB 1970. Techniques midls en Afrique-pedelape et develoffement nos
OPSTOM-BOPA . P-165- 939

- O Soch try H (1908) zur charak Tensserung von Humusstoffen durch Gelfetrahvin Mitt. d. 18ch. boden kund. Ges. 8 - 131-140
- :6 Toutani Vedy (1944) un Pedologie Tome Let II Masson: Paris (1949)
- 15 DABIN. B. 1956 Sutapretation aponomique de analyse de sas cos particular de l'agoti at du phosphore. Ge congr. Lut. Science du Sai - 1950 pare vol D p 450-506
- 34 Valentin(c) \$1978 Direis as pect des Dynamiques actuelles de quelques sos finallitiques de cote d'y rom

P. Roger S Bruckert et i gargum. 1969

44 lis

Etude de l'évolution de l'acade oscalique à deux le sos et comparaison avec la dynamique de l'acade atrique.

Bulletin de l'école Nationale Suferain Aponomque de Noment fasc 1-II 1969

5 Bruchet & yarquem: 1966 Relature entir l'evolution de acide hydrosolules de deux laters Forders: et la proponis necloquet quès Bull ENSAN · 8 (2) 95-179.

65 (4.1) wright. Schwizer (4) Herallo organic Guteracturi
Associated With Podzoliz ation
Soil Scid Mac: Soc. 1963
41 Nortenson: 4:1. 1963

41 Nortenson 4.1. 1963 complexing of metals by Soilorgame Matter

Soil Science Societé proceeding 1963 p 149-180

- Schnitzer (H) . Peactions between Fully acid, a Soil Hume Compound and enorganic Soil constituous

 Soil Science 'Soc. of America. Proceedings 1900 pay \$50-P1
- Que Cachon (14975. Part apation des legemineurs au lulau de l'azolicu sol aigle calcan de demagne Science du Sol (AFES) Nº 2 1975
- 3 (9) Hebert 1973/Bilan de l'azote dans les sols de l'Aisne Science du Sol no 3 1973
- 4 Forskier (7) 1980. Fertilité des Sos els Cafeires en republique entraprocure :

 Afron Trops. tXIV. 2.3 p.300.348- tXI n.01 p.32 (1981)

DABIN B 1954- Es problems d'atres shor els sols à l'office du Niger.

Confuterafricame desses - 2-1954 Les foldville

Vol II p 1165-1176.

4 OABIW (1958) Agron. Tup. t & no 4 p. 450-500

1 DABIN (B) 1969 Pelaturis entres propriets physique et la Serthlete Dans es Sols Tropicioni Ann Agron. Vol 13 no 2 p. 774-140

9 DABIN (B) et Maynew (R | 1995), principain Sola l'Abroque de l'occettet

leurs notentialets africals (1)

Cahus ORSTOM. Ser Pedologie Vol XIII 201 1579 - 935-957

Mueller (g-p) et Carand (M) (1976) Conaptur et realisation d'une carlo d'aptitudes culturals a' proprès de la cartopathe des sois de la Brenoul' au Cameroun.

Cal. OPSTOPP. Pedol Vol XIV no2: 131.159

Houçaux (9) Recherche sur l'evolution de la Matieu organique.

dans les sos des planis ATlantiqués

There universitée de Poitiers -1981 - 173 P.

L' Talineau (g.c) Hoinnaux (a) Bonzon (F.) Fillonneau (C). Picard (D) Sicot (4) (1948)

quelques correqueus, a prononneques de l'introduction d'une sole Fourragen

Dansum Succession authorale en Kilien Tropical Lumidi de coli of Grani

Cat ORSTOM. Ser Prologie Vol XI 204 1975

8 Taleneauffe) Bonzon(B). Fellonneau(C) Hainnaon (a) 1949

(1) contribution a l'étrete d'un'agrosystem prairiel Dan a me lieu Tropical
Human du côte d'Gran. Analyse de quelque parametran l'état flugs,
du sol

mems auteurs (1980-81) II Analyse des donnes relatives à l'état de la matieu orjanque. Cal ORSTOM Pectologie 322 Vol XVII 201 (1980-91)

8 Countepas et Hakilo (1987) Bilande l'evolution des sols sons culture un feutippe dans une stateur schemmentale en milan Tratical Humide.

Cah. OR STOM. . Pedologie Vol. 19 n. 3 (1982)

31 Henni (S) 1060 Le-profil cultural . SEIA pais 390 p

I bis Meline Veronique (1981) Étacle de l'humphoation de defleuelts compartments de Transformation de la matiene organique figure, de doux profés de Sols àcids et notes en product alumineir.

Memore DEA de Pedologie. of A menagement des Sas Pars VII Pars, VII INA ORSTOM. INRA 619

43 bis Pallo F 1982 - Comparcuson des Caractères physico che miques et che la matrin organique de Trois pecious cultivis et vierges entre Foeda N'Gourma et Prega (Haute-Volta)

There univ. S.t. yerome Aire Harselle 1982. 180 P.

2 ème Partie

PHOSPHORE DU SOL ET FERTILITE

I. LES DIFFERENTES FORMES DU PROSPHORE DANS LES SOLS.

I.1. Introduction.

Le phosphore est un élément essentiel de la croissance des plantes, et entre dans la composition de la phytine, substance de réserve, et dans la composition de nombreux lipides végétaux; les graines et les fruits en contiennent de grandes quantités, et il est indispensable à la croissance des jeunes plants.

Le phosphore est indispensable à la microflore du sol; en particulier les microorganismes firateurs d'azote atmosphérique (non symbiotiques ou symbiotiques) ne se développent qu'en présence de phosphure soluble (on l'utilise comme méthode n'analyse biologique).

La source du phosphore provient des minéraux altérables des roches qui premment des formes variées dans les sols.

Formes cristallisées simples.

La forme cristallisée la plus répandue est l'apatite ou phosphate de calcium que l'on trouve en grande quantité dans les sols issus de roches basiques, de laves volcaniques, etc ...

La Stringite et la variscite, phosphates cristallisés de Fer et d'Aluminium ont également été mis en évidence. Ce sont les formes cristallisées "primaires.".

Il peut exister des formes cristallisées "secondaires" pro venant de l'évolution à long terme de composés phosphatés, ce sont les phosphates de fer et d'aluminium dits d'inclusion, que l'on trouve dans les sols à sesquioxydes très évolués, ce sont les phosphates tricalciques insolubles que l'on trouve dans les sols calcaires.

. . . . / . .

Formes amorphes.

A côté de ces formes cristallisées insolubles, il existe des composés "emorphes" de Ca, Fe et Al qui sont précipités à l'état plus ou moins hydratés, et auxquelles on donne le nom de formes minérales "non incluses".

Formes adsorbées.

Les ions PO₄H ou PO₄H peuvent exister à l'état "adsorbé" et liés à l'argile et à l'humus par l'intermédiaire des ions Al +++ et Fe +++, ou sous forme de complexes mixtes (Matière organique Al PO₄H .)

Exemple A1⁺⁺⁺ +
$$H_2$$
PO₄ + 2 H_2 O \longrightarrow A1 (OH)₂ H_2 PO₄ + H⁺
insoluble

De même A1
$$\begin{array}{c} OH \\ OH \\ OH \end{array}$$
 + H₂ PO₄ \longrightarrow A1 $\begin{array}{c} OH \\ OH \\ H_2$ PO₄

Fe peut remplacer Al

Les argiles 1 : 1 fixent davantage que les argiles 2 : 1 par les groupes hydroxy de la surface X = OH + H₂ PO₄ \Rightarrow X - H₂PO₄ + OH.

Le phosphore organique proprement dit est inclus dans la molécule d'humus qui doit être minéralisée pour libérer le phosphore à l'état minéral.

Cette minéralisation a lieu dans la nature par voie biologique, inversement, si le rapport C/P est élevé, il peut se produire une fixation du phosphore dans les corps microbiens.

Du point de vue chimique, la minéralisation du phosphore organique se fait soit par calcination, soit par attaque à 1° eau oxygénée(H, 0_{2}).

I.2. Solubilité des différentes formes du phosphore.

La solubilité du phosphore peut être mesurée en dissolvant du sol

dans l'esu.

Les phosphates solubles sont essentiellement les formes mono et bicalciques

6,5 - 7; une partie du phosphore en solution provient de l'équilibre d'échange entre le complexe absorbant et les solutions du sol; même les ions PO, H, adsorbés sur le fer et l'aluminium peuvent passer en solution, mais les concentrations sont alors très faibles.

On peut présenter la formule générale d'équilibre suivante :

Cet équilibre permet de maintenir une certaine constance de concentration des solutions du sol. Si on augmente le rapport solution/sol, la concentration en PO_L reste constante et la quantité totale extraite augmente.

Nous étudierons les concentrations en solution par les "courbes isothermes". C'est en quelque sorte le "pouvoir tampon du sol" pour le phosphore.

Action des scides organiques.

Certains acides organiques Citrate-oxalate, ainsi que les acides fulviques présents dans les sols peuvent faire passer le phosphore en solution, mais les composés organiques doivent être en excès par rapport aux métaux fixateurs Pe et Al.

Dans le cas des acides fulviques, les complexes sont mixtes et se font par l'intermédiaire du Fer et de l'Aluminium.

Il faut que le rapport Fe/AF ne soit pas supérieur à 1.

Lorsque le rapport Métal/Ac.fulviques est plus élevé, par exemple 6/1, il y a précipitation d'une part de PO, (métal) et d'autre part AF (métal).

,

Solubilité dans les solutions d'acide faible.

Le résetif Nord-Caroline $(0,05\ N\ HC1+0,025\ N\ H_2\ SO_4)$ a un certain pouvoir de dissolution sur les formes du phosphore du sol.

Dans le cas de PO_4 H₂ associé au fer et à l'aluminium, la solubilité dépend du rapport R₂O₂ (oxydes mé-talliques)

P₂0₅

Lorsque le rapport passe de 1 à 50

la solubilité du phosphate d'alumine passe de 65 % à 40 % la solubilité du phosphate de fer passe de 40 % à 5 %.

L'enrichissement en fer diminue besucoup la solubilité du phosphore, par contre, le phosphore lié à l'aluminium reste relativement soluble sux fortes concentrations en métal.

Il s'agit, dans ces derniers cas, de phosphates fraichement_précipités; le vieillissement et l'augmentation de la cristillisation diminus la solubilité.

Solubilité par des cultures en pots.

TRUOG a effectué des cultures en pots sur des phosphates chimiquement purs PO_LFe et PO_LAl (fraichement préparés).

Les phosphates d'alumine sont supérieurs aux phosphates tricalciques. Le phosphate d'alumine donne un rendement qui est 75 % du superphosphate. Les phosphates ferreux et ferriques ne donnent que peu d'accroissement de rendement

Ceci est vrai pour les cultures en milieu draîné. Dans les rizières inondées, il apparaît que le phosphore lié au fer est une source importante de phosphore pour la plante (KAR + AK) et Al, 1977).

Evolution de l'extraction par les plantes en fonction du pH.

La meilleure assimilabilité du phosphore se situe vers pH 6.5 (ceci correspond aux phosphates solubles, mono et bicalcique).

A pH inférieur à 6, on observe une diminution d'assimilabilité.

. . . /

Entre pH 3 et pH 7, le phosphore en solution pure est précipité par le fer; cette précipitation diminue au-dessus de pH 7.5.

Toujours en solution pure, entre pH 3 et pH 9, le phosphore est précipité par l'aluminium.

Nous avons vu que le phosphate d'aluminium précipité avait une assimilabilité assez constante lorsque Al augmente (sauf pour les très fortes concentrations:: ex. Andosols).

En ce qui concerne le fer, l'activité de ce métal augmente dans le sol lorsque le pH devient acide, de pH 5,5 à 4.

La lisison phosphore fer est de moins en moins assimilable lorsque le pH_devient plus acide.

Inversement, en milieu alcalin on peut avoir la réaction suivante :

2 FeOH₂ PO₄ + 2 Cm (OH)₂ -> 2 Fe OOH + Cm₂H₂ (PO₄)₂ + 2 H₂O
bicalcique soluble

Le phosphore lié au fer redevient soluble.

Lorsqu'on chaule un sol,

dans un premier temps il y a diminution du phosphore lié au fer, augmentation du phosphore lié à l'aluminium, et du phosphore soluble (bicalcique). Série chaulage est en excédent, il précipite du phosphate tricalcique insoluble (PO_L)₂ Ca₃ - pH sup. à 8,5.

En présence d'anions complexants comme l'acide ou tartrique, la précipitation de PO, au-dessous de pH 6 est fortement diminuée.

Dans les sols très alcalins et sodiques à pH supérieur à 9, le phosphaté de sodium peut redevenir soluble.

II. LES METHODES D'ANALYSE DU PHOSPHORE DU SOL.

II.1. Définition.

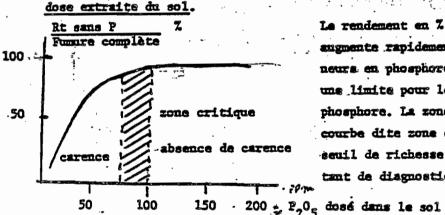
L'analyse du phosphore du sol a un double but : d'une part déterminer la réserve du sol, en phosphore accessible aux plantes à plus ou moins long terme; d'autre part mesurer la vitesse avec laquelle cette réserve est solubilisée et agit directement sur l'alimentation des plantes. Les économistes cherchent à déterminer des seuils pratiques au-dessous desquels l'apport de fertilisants phosphatés est indispensable et fournit des excédents de récolte

immédiatement rentables.

Les agronomes ont en outre un souci de conservation du sol, c'est-à-dire qu'en plus de la correction d'une carence, ils cherchent à maintenir les reserves du sol par une fumure dite d'entretien, qui compense les expertations de récoltes et les immobilisations de phosphore par le sol lui-même.

II.2. Nature des méthodes d'analyse et interprétation.

Les analyses consistent à extraire le phosphore du sol par des réactifs divers (esu, acides, alcalis, sels complexants, résines, dialyse, etc ...), et de mettre en relation les quantités extraites avec les résultats de cultures soit aux champs, soit en pots. On trace une courbe de l'augmentation relative des rendements : (récolte obtenue sans apport de phosphore 7 en fonction de la récolte avec fumure phosphatée



Le rendement en 7 du rendement maximum augmente rapidement pour les faibles tenneurs en phosphore du sol, puis tend vers une limite pour les fortes teneurs en phosphore. Le zone d'infilmeton de la courbe dite zone critique, correspond su seuil de richesse en phosphore, permettant de diagnostiquer une carence

Les courbes obtenues peuvent être extrêmement variables en fonction de méthodes d'extraction utilisées, on juge de la valeur d'une méthode par la corrélation statistique entre l'indice de rendement et le résultat de l'analyse.

II.3. Différentes méthodes d'analyse.

Phosphore total.

Le phosphore réellement total est obtemu par une fusion alcaline (CO3Ne2 ou métaborate de strontium) détruisant l'ensemble de minéraux primaires et secondaires du sol.

On utilise plus couramment des attaques acides

Acide perchlorique concentré et bouillant.

Acide nitrique concentré et bouillant (5 Heures).

La dernière méthode est la moins performante, elle n'attaque pas certains phosphates de fer fortement cristallisés, mais elle est reproductible et
espeu dangereuse (il y a des risques d'explosion et d'incendie avec l'acide perchlorique).

Le phosphore total est utile pour déterminer les réserves en phosphore dans les sols pauvres.

Phosphore dit assimilable.

On a cherché à se rapprocher des conditions d'extraction qui sont celles de la plante elle-même .

Le phosphore soluble à l'esu a été longtemps considéré comme le plus représentatif; cependant, les radicelles des plantes ont un pouvoir d'extraction supérieur par les acides organiques qu'elles émettent et par leur pouvoir d'échange direct avec les colloïdes du sol. Différents réactifs ont été essayés en partant de ces principes.

Résctifs organiques.

Méthode : DYER

- scide citrique à 2 %.

JORET-HEBERT

- oxalate d'ammonium 0.2 N.

MORGAN

- acétate de sodium 0.75 N dans acide acétique 0.5 N pH 4.8.

EGNER

- lactate d'ammonium 0.1 N dans l'acide acétique 0.4 N à pH 4.

Réactifs minéraux - acides.

TRUOG - H₂SO₄ 0.02 N tamponné à pH 4.8 avec l'acétate d'ammonium. MEHLICHE ou Nord-Caroline - H₂SO₄ 0.025 N dans HCl 0.05 N.

Réactifs acides et complexants.

BRAY 1 - NH₄ F 0.03 N dams HC1 0.025 N.
BRAY 2 - NH₄ F 0.03 N dams HC1 0.1 N.

Réactifs alcalins.

OLSEN - NaH CO, 0.5 N pH 8.5.

SAUNDER - NaOH 0.1 N (a 1'ébullition).

Réactifs alcalins et complexants.

OLSEN modifiée (Méthode BONDY - DABIN).

- " HaH CO 0.5 H + NH F 0.5 N + Na OH q.s. pH 8.5.
- __ CO, NA H O.5 N + EDTA.

Esu - Solutions salines - Résines.

Ca Cl, 0.01 N SCHOFIELD Potential d'équilibre (ASLYNG).

Résine anionique et suspension de sol dans l'eau (AMER et al). La technique mise au point récemment par l'IMPHOS-est la désorption sur résine Dowex 2 x 4 forme F- pendant 48 Heures.

Méthodes isotopiques.

Valeur E.

Echange isotopique avec 32 P sans utilisation de plante (MAC

AULIFFE).

Valeur L.

Echange isotopique avec 32 P et utilisation de plantes (LARSEN).

II.4. Principe des méthodes, limites d'application en fonction du pH et des formes de fixation du phosphore du sol.

L'eau et les solutions faiblement acides, par exemple enrichies en CO, extraient des formes de phosphore très solubles.

La résine échangeuse d'ions simule le pouvoir de désorption pour l'anion phosphorique du milieu racinant

Les réactifs alcalins comme la soude ont un pouvoir dissolvant très actif sur les complexes Fe et Al du Phosphore. Le pouvoir d'échange de l'ion OH avec l'ion PO,H, explique en partie cette action.

Les substances complexantes déplacent l'anion phosphorique de ses complexes dans le sol.

L'acide citrique a un pouvoir de complexation de Fe et Al en milieu acide; il joue aussi un rôle d'acide faible sur les sels de Ca (Les acides

acétiques et lactiques jouent un rôle comparable).

L'oxalate d'anmonium complexe principalement Ca et Al; son action est importante aux pH basiques (7 à 9) ou légèrement acides (6 à 7). Si le sol est trop calcaire, l'oxalate de Calcium est bloqué rapidement.

Le fluorure d'ammonium a un pouvoir de complexation sur Al à tous les --pH, mais à pH 7, il permet la séparation du phosphate d'aluminium et du phosphate de fer (car le fluophosphate de fer est instable à partir de pH 7). En
milieu acide il complexe également le fer, et le calcium en milieu alcalin.

Les acides minéraux ont un pouvoir de dissolution sur différentes formes du phosphore, mais leur faible pouvoir complexant provoque après extraction la refixation de l'ion phosphorique sur les ions fixateurs, en particulier Fe et Al.

Les réactifs acides sont conseillés pour les sols faiblement acides ou faiblement calcaires. On les utilise (TRUOG) avec un rapport liquide/sol élevé; at l'on sépare la solution du sol très rapidement après contact.

Autrefois, les réactifs acides étaient préférés, car bien adaptés au dosage direct du phosphore par colorimétrie, mais à présent, cette même colorimétrie peut s'opérer directement sur les extraits organiques (même l'oxalate).

La multiplicité des méthodes a pour origine la grande diversité des formes du phosphore dans les sols analysés, chaque méthode ayant un domaine d'application plus ou moins favorable suivant la nature du sol (acide ou calcaire, plus ou moins riche en oxydes métalliques, etc ...).

III. FRACTIONNEMENT DES FORMES DU PHOSPHORE DANS LES SOLS.

III.1. Méthode de CHANG et JACKSON.

Le choix des techniques de phosphore assimilable dépend des formes dominantes du phosphore dans les sols.

Une méthode de fractionnement a été proposée par CHANG et JACKSON.

Le phosphore soluble (c'est-à-dire essentiellement monocalcique et bicalcique, sinsi que quelques complexes solubles) est bottait par le chlo-

Il y a désaturation du sol en cations basiques.

L'extraction se fait avec un rapport sol/solution = 1/50.

Après agitation (30 mm), le liquide d'extraction est séparé du sol par centrifugation.

Le phosphore lié à l'ion aluminium (PAI) est extrait par le fluorure d'ammonium NH4 F 0,5 N tamponné à pH 7 (sol/solution = 1/50 - agitation
1 Heure à froid Pul) centrifugation). Après l'extraction au NH₄ F, l'excès de
réactif est lavé par une solution de Na Cl saturé, puis à l'eau pour éliminer
l'excès de Cl.

Le phosphore lié au fer (PFe) est extrait sur le résidu solide par la soude Na OH 0.1 N (agitation 16 H. à froid - centrifugation 15 mm).

Après séparation de l'extrait par centrifugation, ce dernier qui est très coloré par de l'humus est acidifié par H₂ SO₄ et filtré (les acides humiques sont séparés).

Le phosphore lié au fer demeure en solution acide.

Le phosphore lié au calcium.

Le résidu solide de l'extrait précédent est de nouveau lavé par Na C1 puis H,O, puis traité par H, SO, O.5 N pendant 1 H.

L'acide sulfurique dissout les phosphates tricalciques insolubles qui subsistent dans le sol après tous les traitements précédents.

Les différents extraits P (soluble), PA1, PFe, PCa sont dosés par colorimétrie au molybdate d'ammonium (avec réduction par l'acide ascorbique).

La technique peut être réalisée manuellement ou à l'autoanalyseur, qui permet le travail en série.

Phosphate d'inclusion et phosphore organique.

Sur le résidu solide, on peut extraire des formes encore plus insolubles. Ce sont les formes dites d'inclusion, liées au fer et à l'aluminium.

1

non plus à l'état colloidal, mais regristallisé ou concrétionné.

La méthode consiste à solubiliser les oxydes concrétionnés, en particulier par le Dithionite de Sodíum (hydrosulfite), et le citrate de soude. L'ion phosphorique passe en solution en milieu alcalin.

Le dosage se fait également par colorimétrie après élimination de l'oxyde de fer ferrique, par oxydation à l'eau oxygénée, une dernière extraction au Fluorure d'ammonium, puis à la soude extrait les phosphates liés principalement aux formes d'Aluminium très insolubles.

Phosphore organique.

Il ne s'agit pas là de complexes phosphore-humis qui peuvent être dissociables en milieu acide ou alcalin, mais de l'élément P lui-même inclus dans des molécules organiques complexes, et qui ne peut être extrait que par minéralisation.

Cette minéralisation s'effectue soit par voie humide à l'eau oxygénée, soit par calcination à basse température (350°) dans un courant d'oxygène.

Le phosphore solubilisé est repris soit par HCl concentré, soit par un mélange H₂ SO₄ 0.5 N + NH₄ F ,1 gr. ajouté sous forme de sel.

On analyse séparément un extrait sur sol minéralisé, et un extrait sur sol non traité. La différence donne le P organique.

Méthode rapide de fractionnement.

On effectue l'analyse des quatre formes, dites <u>formes minérales</u>
non incluses (P sol + PAl + PFe + PCa), puis du <u>phosphore organique</u>, et on retranche la somme de ces formes du <u>Phosphore total</u> par attraque nitrique, ou
perchlorique ou fusion. La différence donne une évaluation globale du P d'inclusion.

III.2. Nature des formes extraites.

Les extraits phosphoriques que l'on désigne conventionnellement par les symboles PAI - PFe - PCa, etc ..., ne représentent pas généralement des expèces chimiques bien définies, mais des formes de liaison plus ou moins complexes (précipitées, adsorbées, amorphes), par ailleurs la séparation n'est pas parfaite à 100 %. Dans les Andosols très riches en PAI et PFe, l'extrac-

tion de ces formes peut être incomplète, se chevaucher partiellement et se retrouver en excès dans l'extrait PCs. Des améliorations ont été proposées à la méthode, mais elles ne résolvent pas totalement le problème.

Ces réserves étant faites, l'analyse de très nombreux sols dans le monde entier a montré une bonne relation entre la répartition des formes CHANG et JACKSON et les propriétés physico-chimiques des sols.

Par exemple : Dans les sols riches en sesquioxydes et acides, ce sont les formes liées su Fer et à l'Aluminium qui dominent, dans les sols calcaires par contre, la majorité du Phosphore est sous forme PCa.

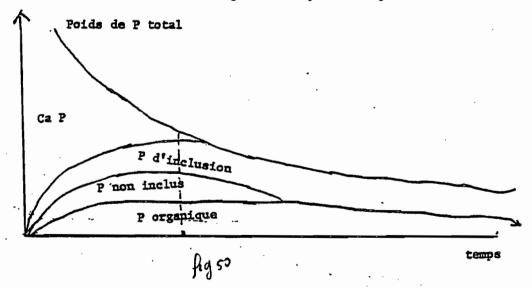
Les sols neutres contiement davantage de P soluble.

Les sols organiques contiement besucoup de P organique.

Les sols tropicaux (ferrallitiques) très évolués, et pauvres en matière organique montrent une large dominance de phosphore d'inclusion et près de 60 % de PFe dans la forme non incluse et très peu de PCa (quelques exemples chiffrés seront donnés dans-les chapitres suivants).

Evolution des formes du Phosphore en fonction du temps.

Une courbe de chronoséquence est présentée par WALKER et SYERS en 1976



Dans les sols jeunes l'apatite (Ca P) est la principale source de phosphore, provenant de la roche.

Avec l'altération des minéraux, une quantité importante est perdue. Une autre partie est fixée sous forme minérale non incluse, sous forme organique et sous forme d'inclusion.

Dans les sols très évolués, la forme d'inclusion augmente en valeur relative, de même que la forme organique. (que dimensulamental l'entre,)

En sol tropical moyennement évolué, les formes organiques minérales d'inclusion et non incluses (dites encore formes actives) représentent chacune 1/3 du total en moyenne.

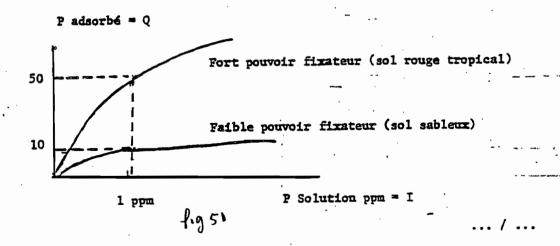
IV. LA FIXATION DU PHOSPHORE SUR LE SOL.

IV.I. Pouvoir tampon du sol.

L'alimentation phosphatée des plantes dépend de la concentration en ions PO₄ H = solubles, en équilibre avec la phase solide du sol qui permet le maintien de cette concentration.

Ce pouvoir tampon est représenté par le rapport Q/I = quantité/intensité dont le concept est dû à SCHOFIELD (1955).

La représentation graphique de P adsorbé = Q, contre P en solution = I fournit les courbes dites isothermes étudiées par OLSEN et WATANABE (1970).



Les concentrations d'équilibre de la solution du sol, indiquées par MENGEL (1969) et HOSSNER (1973) varient de 0.3 ppm de P dans les sols des régions tempérées.

Dans les sols tropicaux, des valeurs de 0.05 ppm à 0.08 ppm sont fréquentes et considérées comme suffisantes par certains auteur, KATYAL (1978) pour la riziculture.

Pouvoir fixateur du sol.

Lorsque le sol est mis en contact avec une solution de phosphore, une partie est absorbée, l'autre partie reste en solution.

Le pouvoir fixateur a été défini par plusieurs auteurs comme la quantité de P à rajouter au sol pour obtenir une concentration donnée en solution propre à assurer l'alimentation des plantes.

GACHON définit cette concentration égale à 2 ppm de P₂0₅ après 24 Heures d'agitation=dans-un rapport-sol/solution = 1/4.

JUO et FOX (1977) déterminent la quantité nécessaire de P pour obtenir la concentration 0.2 ppm (P) après 6 jours d'équilibre.

RAHDRINOSY (1979) préfère remplacer l'équilibre dans l'eau par une solution NH_A Cl 0.01 N (pour des doses de 0.05 ppm de P) car l'extrait est limpide et plus facile à doser colorimétriquement.

L'équilibre contrôlé par 32 P est stable au bout de 4 jours dans les sols tropicaux.

Le pouvoir fixateur pratique dépend donc du choix de la valeur de P en solution qui est variable.

B. DABIN prénonise un contact sol/solution = 1/1 pendant trois jours puis après_séchage modéré_(température 45°), on effectue_1'extraction_CHANG et JACKSON.

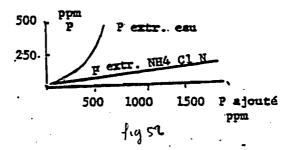
Dans la limite d'un ajout de 750 ppm P (1.500 ppm de P_2O_5), soit 3.000 à 3.200 Kg de P_2O_5 à l'hectare, l'augmentation de P NH₄ Cl N en fonction de P ajouté est à peu près linéaire.

Le pouvoir fixateur peut se définir par le rapport P (NH4 C1) %

indépendamment de la dose ajoutée et du seuil pratique de P soluble.

Dans le cas d'un sol ferrallitique de MADAGASCAR, ce rapport est de l'ordre de 1 %.

RAHARINOSY (1979) compare l'extrait au NH₄ Cl N avec un extrait dans l'eau; jusqu'à 90 ppm, il n'y a pas d'augmentation nette de P dans l'eau; puis l'accroissement de la concentration en solution est très rapide en fonction de P ajouté; P solution/P ajouté varie de 1 à 20 % entre 90 et 2.000 ppm, alors que dans l'extrait NH₄ Cl N cet accroissement n'est que de 1 à 2 % et pratiquement constant jusqu'à 750 ppm:



IV.2. Quelques exemples chiffrés.

Fouvoir fixateur dans 1 eau - Rapport sol = 1

(OLIVER - LE BUANEC) - Rapport solution = 4

Concentration initiale 200 ppm P

	Concentration finale après 24 H. ppm	% restant en solution
. Sol hydromorphe moyennemen organique (MADAGASCAR)	0.105	0.05
. Sol ferrællitique sur gnei (MADAGASCAR)	.ss 0.65	0.3
. Sol ferrallitique forestie (COTE D'IVOIRE)	20	10
. Sol de Savane centrale (COTE D'IVOIRE)	34	17
. Sol de Savane nord (COTE D'IVOIRE)	— 62	31

Pour des ajouts de 400 à 800 ppm, les quantités en solution augmentent 5 à 10 fois, les pourcentages varient donc fortement.

En ce qui concerne les extraits NH4 Cl N (B. DABIN, 1974)

Dans un sol ferrallitique de MADAGASCAR, la quantité en solution varie de 0.45 à 5 ppm P pour un ajout de 45 à 450 ppm, c'est-à-dire en moyenne 1 %.

Dans un sol hydromorphe sableux du TCHAD, la quantité en solution varie de 10.5 ppm P à 125 ppm P pour le même ajout de 45 à 450 ppm, soit une moyenne d'environ 20 %.

Les différents graphiques présentés montrent que les relations

PN H₄ Cl sont pratiquement linéaires, et la valeur du rapport est une constante

P ajouté/du pouvoir fixateur,

moins de 1 % dans les sols très fixateurs,

de 1 à 10 % dans les sols moyennement fixateurs;
et plus de 10 % dans les sols peu fixateurs.

Nous verrons quelle importance le pouvoir fixateur peut présenter dans l'alimentation des plantes et dans l'interprétation des analyses de phosphore assimilable.

IV.3. Fixation du Phosphore sur les différentes formes de liaison dans le sol.

La méthode CHANG et JACKSON appliquée sur des sols ayant reçu des doses croissantes de phosphore soluble, puis séchés à 40° après trois jours de contact (sol/solution = 1/1), montre une variation des différentes formes PA1 - PFe - PCa, pratiquement linéaire, dans la limite de 1.000 ppm d'ajout.

Cette propriété parmet, avec seulement deux points (sol enrichi et sol non enrichi) de tracer des graphiques de fixation à court terme pour toutes les formes du phosphore, ainsi que pour le phosphore assimilable.

La pente de chaque droite représentative des formes de fixation indique la "réactivité" du site de fixation.

Dans la majorité des cas, cette "réactivité" à court terme est maximum pour la forme PAL. Dans les sols neutres ou légèrement calcaires, le PCa peut avoir une réactivité égale ou_supérieure à PA1.

Dans les sols tropicaux acides, la réactivité de PCa est très faible, la réactivité de PFe est supérieure à PCa mais nettement inférieure à:PAl. dans certains cas particuliers de sols tropicaux très humides où les oxydes de defensent sous forme hydratée (Goethite), la réactivité du PFe peut être supérieure rieure à court terme à celle du PAI (Hy 82 - CAMEROUN).

Fixation à court terme et à long terme.

Nous avons vu que lorsqu'on ajoute un phosphate soluble au sol, la fixation se fait principalement par l'intermédiaire de l'ion Al, une partie plus ou moins importante peut rester sous forme soluble, et dans les sols neutres ou calcaires, la fixation se fait sous forme de Phosphate de Calcium.

Après un temps plus ou moins long, le phosphore soluble tend à diminuer, de même le phosphore lié à l'aluminium.

Il y a d'abord échange P soluble — PAl, puis PAl diminue et les sutres formes plus stables : soit PFe en milieu acide et riche en fer, soit PCs dans les sols calcaires augmentent régulièrement mais lentement.

Le pourcentage relatif des formes par rapport au P total dens le sol sans enrichissement récent, représente l'équilibre final vers lequel évoluent les formes de fixation à long terme.

L'analyse par la méthode CHANG et JACKSON représente un état d'équilibre stable qui n'est pas modifié à long terme par des apports modérés d'engrais phosphatés. Cet équilibre dépend de la nature pédologique et de l'état physicochimique des constituants du sol; il est représentatif du degré d'évolution du sol, tel que le montre la chronoséquence de WAIKER et SYERS. Par contre, cet équilibre peut être modifié par des amendements : soit le chaulage, soit l'enrichissement en matière organique; il peut au contraire évoluer lors de la dégradation des sols : acidification, perte de matière organique.

IV.4. Quelques exemples de répartition dans les sols tropicaux et méditerranéeus.

	fortene	rrallitique nt désature H = 4.5		Sols ferrallitiques faiblement désaturés pH = 7	Sol calcaire de de TUNISIE pH = 8.6
	Sous forêt	Sous cul- ture amé- liorée		Sous forêt	Sous culture
P soluble	tr.	2	tr.	· 10 ·	15
P A1	28,5	74	17	98	46
P Fe	115	103	136	17,2	6,9
P Ca.	4,6	14,5	5	180	354
P inclusion	480	380	700	450 ·	500
P organique	350	300	145	270	•

Formes du phosphore exprimées en ppm de P₂0₅ 10° Tab 19

Dans le sol ferrallitique acide; PFe domine dans les formes non incluses, et PCa est très faible.

Dans les sols ferrallitiques faiblement désaturés (pH = 7), PFe est inférieur à PAI et PCa est maximum.

Dans le sol calcaire de TUNISIE, PC2 est très élevé et PFe très faible, PAI est moyen. Les formes d'inclusion et organiques sont élevées, et peuvent représenter plus de 70 % du total. P organique varie en sens inverse de PFe d'inclusion (Sol ferrallitique acide).

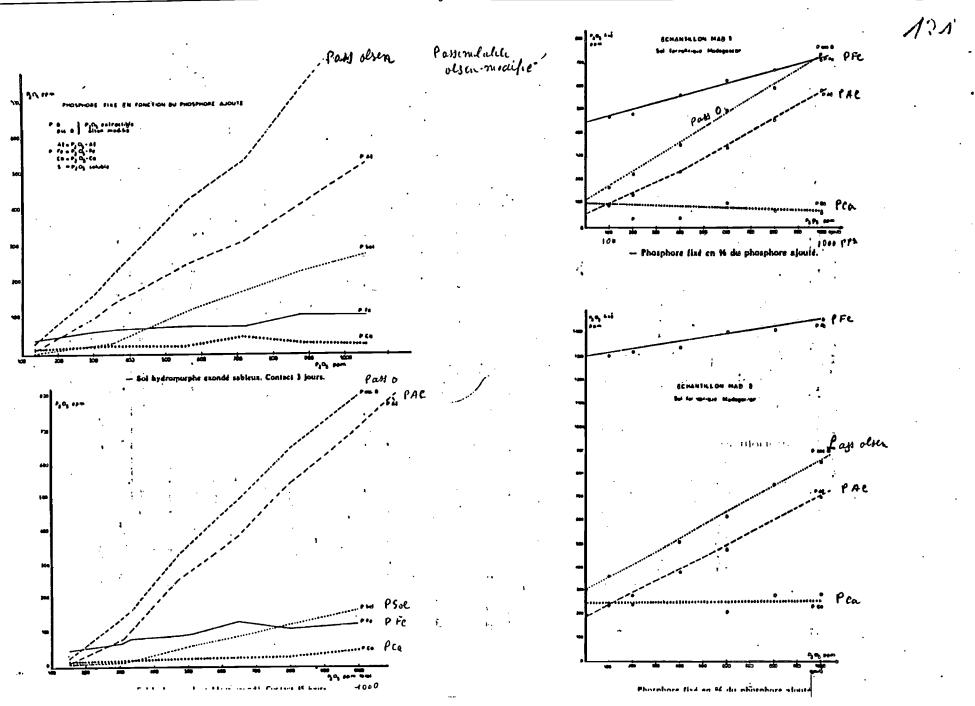
Le dégradation du sol diminue PAI et P organique, et augmente PFe et PFe d'inclusion.

Répartition des formes d'absorption à court terme suivant les types de sol.

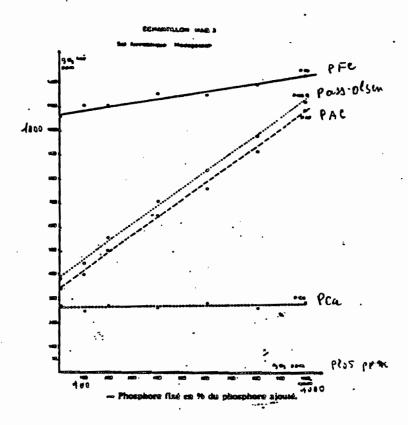
Les différents graphiques joints montrent que les courbes d'absorption du phosphore en fonction du phosphore ajouté sont pratiquement linéaires dans tous les sols.

Dans les sols hydromorphes sableux, le phosphore soluble peut représenter 20 à 30 % du P ajouté. Le PAI domine et le P assimilable (OLSEN modifié) représente à peu près la somme P Sol et PAI

Ce P assimilable représente 80 % du P ajouté. ...



PHOSPHORE EN SOLS TROPICAUX



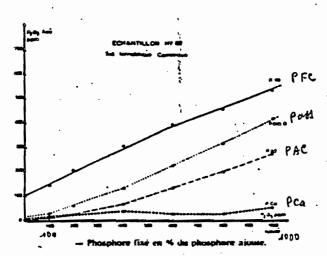
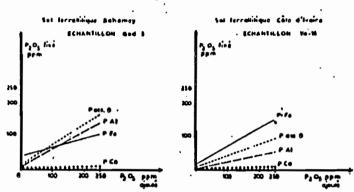
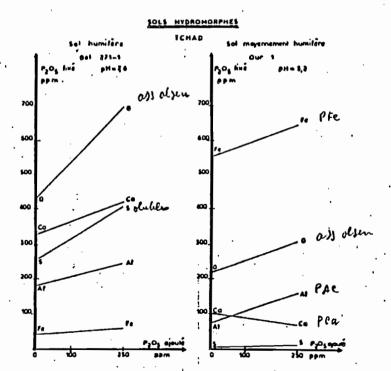


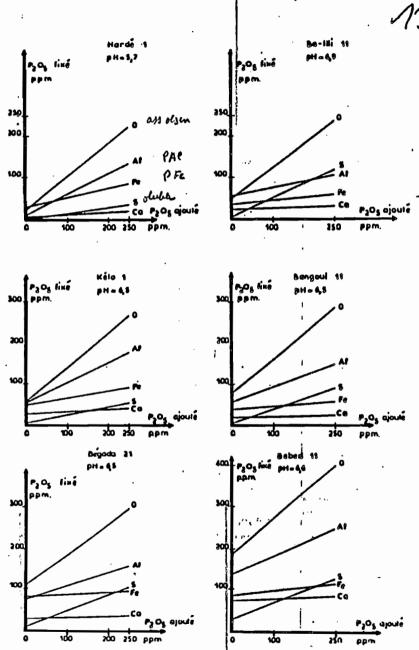
FIGURE 54







- Phosphore flat en 16'du phosphore ajouté. (*)



- Phusphure like en to du phosphure abouts. Sola corrugheum trupleaux. Ichad.

ANALYSE DES DIFFERENTES PARCELLES

Dans les deux premiers tableaux, nous donnons les résultats d'analyse détaillés pour toutes les parcelles ; dans les tableaux suivant, seules les teneurs moyennes des trois parcelles de chaque traitement sont présentées.

Tableson 20 -- Evolution des formes du phosphore en surface

		P.O.	Formes de P.O. %						
Traitement total	total .	milable	solable	P-Al	P-Fe	P-Ca	aspinageo		
F+P+E (Fumier+Paille +Engrais)	1,15 1,16 0,860 1,06	0.200 0.270 0.170 0.21	0,015 0,025 0,021 0,020	0,196 0,250 0,140 0,198	0.233 0.240 0.167 0.213	0,081 0,075 0,065 0,078	0,434 0,429 0,384 0,416		
P+P (Fumier+Paille)	0,730 0,500 0,650	0,065 0,070 0,068	0,005 0,002 0,003	0,060 0,0610 0,0660	0,110 0,114 0,127	0,037 0,034 0,038	0,304 0,314 0,419		
Moyeane E (Engrais)	0,660 0,680 0,810	0,068 0,130 0,175 0,180	0,003 0,004 0,015 0,014	0,0557 0,112 0,162 0,177	0,117 0,125 0,170 0,150	0,036 0,024 0,039 0,057	0,346 0,304 0,319 0,289		
Moyenne	0,850 0,780 0,435	0,162 0,035	0,011 tr.	0,150 0,025	0,148 0,064	0,040	0,304 0,214		
T (Témoin)	0,440 0,430	0,020 0,030	tr. 0,002	0,016	0,050 0,052	0,019 0,015	0,394 0,259		
Moyenne Savane	0,435	0,028 0,078	0,0007 0,010	0,021 0,055	0,059 0,175	0,016 0,024	0,289		

Tablean -- ? {

Evolution des formes du phosphore en profondeur

•		P,O	Formes de P.O. %					
Traitement	P.O. total	assi- milable	soluble	P-Al	P-Fe	P-Ca	organique	
F+P+E Funier+Paille +Engrais)	0,99 0,63 0,650	0,148 0,110 0,080	0,007 0,004 0,001	0,142 0,106 0,065	0.193 0.140 0.125	830,0 920,0 320,0	0,384 0,329 0,324	
Moyenne	0,76	0,113	0,004	0,106	0,153	0,044	0,339	
F+P (Fumier+Paille)	0,63 0,8 6 0,590	0,045 0,065 0,050	0,002 0,001 tr.	0,035 0,053 0,047	0,090 0,114 0,105	0,028 0,028 - 0,027	0,314 0,314 0,314	
Moyenna	0,693	0,053	0,001	0,045	0,103	0,028	0,314	
E (Engrais)	0,530 0,580 0,580	0,055 0,105 0,070	tr. 0,01 tr.	0,045 0,066 0,0 63	0,086 0,110 0,100	0,015 0,025 0,019	0,279 0,259 0,234	
Moyenne .	0,583	0,077	0,003	0,061	0,099	0,020	0,257	
T (Témoin)	0,420 0,480 0,450	0,020 0,025 0,020	tr. tr. tr.	0.021 0.020 0.020	0,06 0,065 0,060	0,013 0,020 0,010	0,224 0,299 0,234	
Moyenne Savane	0,450	0,022	tr. 0,009	0,020	0,058 - 0,057	0,014 0,017	0,252	

Tableau 22

Equilibre des formes du phosphore en pourcentage (moyenne de 3 parcelles) Equilibre à long terme

EN SURFACE

	Somme	P.O. %	de la som	nme des formes minérales			PrOs % du total		
Traitement	formes miné- rales	P.O. assimi- lable	P.O. soluble	P.O.	P.O. Fe	P.O.	P.O. mineral	P _r O _s organique	P.O. d'incin- sion
F+P+E	0,510	42	4,1	38,3	12,2	15,2	48	40	12
F+P	0,212	33	1,6	26	55	17,2	, 34	; 52 .	14
Engrais	0,349	47	3	43 .	43	11,3	. 44	39	17
Témoia	0,097	29,5	1.	22	61	16,5	22,5	68	11,5
Savane	0,244	30	4,3	14.5	71	10			

EN PROFONDEUR

	Somme					P.O. % du total			
Traitement	formes miné- rales	P _r O _e assimi- lable	P _i O _i soluble	P.O.	P.O. Fe	P.O.	P ₂ O ₂ minéral	P.O. organique	P.O. d'Inclu- sion
F+P+B	0,305	57	1,19	.33,5	50	14,5	40	45	15
F+P	0,177	30	0,6	25,3 .	58,7	15,8	26	45	28
Engrais	0,189	41,2	· 1	33	54	10.7	34	45	21
Témoi <u>n</u>	0,093	23,4	tr.	21,5	62	17.4	20	57	23
Savane	0,106	23,5	8,4	22	.54	16			,

Tableau 23

Equilibre des formes du phosphore en pourcentage (moyenne de 3 parcelles)

Equilibre à court terme P₂O₅ ve du P₂O₅ soluble ajouté (250 ppm)

EN SURFACE

•		THE POLICE DA			
Traitement	P ₂ O ₂ assimilable	P,O, soluble	P.O. A1	P.O. Fe	PrO. Ca
F+P+E	96	16,5	84,5	20,5	5,9
F+P	104	17,6	81,2	29	6,5
E	109	6,9	94,4	~ 18,9	3,3
T	94,3	7,9	84,4	29,7	2,9
		en profond	EUR	•	
F+P+B	94	16,5	80	32	. 8.4
F+P	89	13,3	75	33	6.3
E	101	9,3	90 .	9,4	24
T	100	10,5	81	30,5	4.3

La fixation à court terme sur PFe et sur PCa est très faible, alors que dans le sol non enrichi PFe domine largement. mis mar de lo vaca

ament that en monther Dans le sol ferrallitique de MADAGASCAR, sussi bien en surface lens le la the of the qu'en profondeur, le phosphore restant à l'état soluble est trèsufaible for des (moins de 1 % du P ajouté) et il n'apparaît pas sur les courbes. moins de 1 % et 2 % e

> Le PFe est très largement dominant (il s'agit de sols acides, contenant 10 à 15 % de de fer libre), mais la pente des droites de fixation à court terme est faible, ces oxydes de Fer sont peu réactifs.

les courbes

En revanche, la réactivité du PA1 est élevée (pente à 45°), le phosphore assimilable est parallèle au PAI. La fixation sur PCa est très faible.

Dans les sols ferrugineux tropicaux (TCHAD) dont le pH varie de 5.7 à 6.9 et dont la teneur en fer libre est faible, le phosphore soluble est relativement important et croît en fonction du pH.

La fixation de PAI est dominante, les fixations sous forme de PFe et PCa sont faibles.

Dans un sol hydromorphe humifère acide (pH = 5,2) PFe est largement dominant et la pente de fixation est équivalente à celle de PA1.

Dans un sol hydromorphe humifère calcique (pH = 7,6), c'est le phosphore lie au calcium et le phosphore soluble qui dominent largement avec des pentes de réactivité assez fortes.

IV.5. Action du pouvoir fixateur sur la fertilité.

Dans des essais en pots et aux champs, on a pu mesurer (LE BUANEC en COTE D'IVOIRE 1973), VELLY, CELTON, ROCHE à MADAGASCAR (1968) l'effet du pouvoir fixateur sur la croissance des plantes, en particulier du maïs.

Dans des essais en pots, un sol à un pouvoir fixateur moyen (environ 10 % P soluble) nécessite neuf fois plus d'apport d'engrais qu'un sol à pouvoir fixateur faible (30 % P soluble) pour obtenir une récolte identique.

Dans les essais aux champs sur même sol, ce n'est qu'au cours des arrières fumures en 2ème et 3ème année que le sol moyennement fixateur montre une diminution de rendement par rapport au sol faiblement fixateur (si toutefois les réserves de ce dernier sont suffisantes).

. . . / . . .

Les premières années, les deux sols donnent le même rendement pour et entre pour et entre d'engrais.

Dans des sols ferrallitiques de MADAGASCAR, à très fort pouvoir fir les sols réagissent bien, aux champs, à des apports de mais pour lockendeurs no P₂O₅ à 1'Ha).

Cependant, l'efficacité de cet engrais est environ moitié moindre que dans un sol peu fixateur (2.000 Kg de maïs pour 100 Kg de P_2O_5).

Dans des sols peu fixateurs mais à faibles réserves en P₂0₅, les arrières effets de fumures en pots diminuent très rapidement. Dans les essais aux champs, cette diminution de l'arrière effet est très atténuée.

En conclusion: le pouvoir fixateur du sol ralentit l'exportation du phosphore par les plantes, cet effet est très important dans les cultures en pots; cependant, pour les cultures en pleins champs, cet effet subsiste d'une de manière atténuée car l'épélessement du milieu par les racines est moins intense en raison du volume plus important de sol exploré. La correction pratique du pouvoir fixateur est sans commune mesure avec l'absorption de phosphore soluble mesuré en laboratoire.

Le taux d'absorption du phosphore soluble permet de corriger, comme nous le verrons, les normes d'interprétation du phosphore assimilable.

V. INTERPRETATION DES RESULTATS D'ANALYSE DU PHOSPHORE DANS LES SOLS TROPICAUX.

V.1. P.O. total.

Le dosage du Phosphore total par NO3H concentré et bouillant est effectué systématiquement sur de nombreux sols.

Les valeurs rencontrées s'échelonnent de 50 à 2.000 ppm de P ou approximativement de 0.1 /°° à 4 /°° P₂0;

Le moyenne se situe autour de 200 à 300 ppm de P ou approximativement 0.4 $^{\circ}$ à $_{0}$ 6 $^{\circ}$ de $_{2}$ 05

Les sols les plus pauvres sont les sols sableux des régions sèches, pauvres en matière organique, les sols les plus riches étant les sols humifères formés sur roches basiques.

Quelques exemples de sols cultivés. Tallian 94

Sols des régions sèches.

Sols à arachide du SENEGAL

Carence	P ₂ 0 ₅ < 0.1. /**
Besoin moderes	P ₂ 0 ₅ : 0.1 /° •
Pas de Besoin	P205 > 0.15 °/

Sols de rizière du MALI (OFFICE DU NIGER)

Carence	P ₂ 0 ₅ ∠ 0.1 /**	Réaction aux pero phos- phates seuls.
Dose moyeme	0.17 - 0.19 */°°	Réaction aux engrais phosphatés seulement en présence d'engrais azotés.
Pas de besoin	0.25 - 0.27 /**	Pas de réaction aux en-

.

Pas de réaction aux engrais phosphatés même avec apport d'azote. Réaction nette avec l'a zote seul.

Culture du coton irrigué (OFFICE DU NIGER).

Carence P₂0₅ < 0:1 /°° Réaction à l'engrais phosphaté seul.

1

---.

Tusculot fi Tenua: Moyenne faible tulls of Timeror seu. Timero i mor. tieure i G seul	• •	Réaction faible ou mulle su Phosphore seul. Fumure NP supérieure à N seul.
Tinu. Moyeme forte		Pas de réaction à P seul. NP peu supérieur à N seul.
Pas de besoin	P205 > 0.45 */**	Réaction à l'engrais

L'enquête IMPHOS sur les sols tropicaux, basée sur les essais en pots donne des limites de carence pour le phosphate total de 250 ppm pour les sols argileux et 150 ppm P pour les sols sableux.

Ces limites sont au moins deux fois supérieures à celles constatées aux champs (pour les vertisols, les sols hydromorphes, les sols ferrugineux tropicaux).

La corrélation entre P_2O_5 total et rendements atteint dans ces sols un coefficient r: de l'ordre de 0.7 significatif à 1 /°° du même ordre que les méthodes de phosphore assimilable.

Sols des régions humides.

Sols Ferrallitiques - Ferrugineux tropicaux lessivés - Andosols.

L'enquête IMPHOS indique pour ces sols une corrélation plus faible ou absence de corrélation entre l'indice de rendement CHAMINADE et P_2O_5 total.

Résultats de MOULINIER

. Sur le CACAO (COTE D'IVOIRE)

Tal- 95

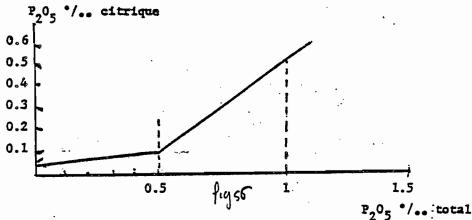
	P ₂ 0 ₅ /**			Rendement en cacao
•	0.15			100
	0.25			300
	0.35		•	600
	0.45		, •	800

^{. &}lt;u>Four le CAFEIER</u>, la valeur critique pour la réaction aux engrais se situe au-dessous de 0.5 /°°.

Résultate de BERGER sur COTON (MOYENNE COTE D'IVOIRE)

	P205 % Total
Pauvre	< 0.4
Médiocre	0.4-0.7
Moyen .	0.7-0.9
Riche	> 0.9

Résultats de DABIN <u>sur la BANANE</u> (BASSE COTE D'IVOIRE) Sols carrichis en enqueix



En comparant P_2O_5 total et P_2O_5 extrait par l'acide citrique à 2 % (assimilable)

au-dessus de 0.5 /°° total , P₂0₅ citrique reste faible au-dessus de 0.5 /°° P₂0₅ total , P₂0₅ citrique augmente* zapidement.

La limite de carence forte se situe au-dessous de 0.5 $^{\circ\circ}$ de P_2^{0} 5 total.

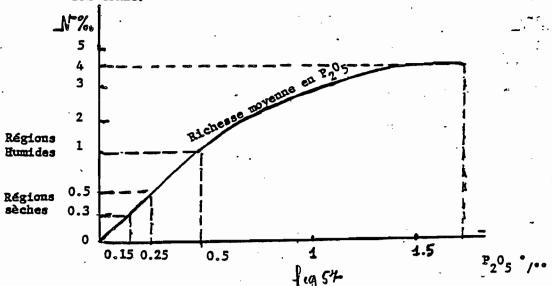
Certains sols hydromorphes de MADAGASCAR contenant 1.7 /° de P₂0₅ total réngissent aux engrais phosphatés en riziculture.

Des sols ferrallitiques ou andiques ayant plus de 2. /.º de P₂0₅ total sont carencés en phosphore.

La répartition du phosphore total dans les sols des régions humides est plus variable, les seuils de carence sont plus élevés que dans les régions sèches, et présentent des valeurs différentes suivant les sols.

Relation N total/Poo total

Si l'on établit la relation statistique entre N Total (KJELDAHL) et P₂0₅ Total (nitrique), la représentation graphique est linéire pour un type de sol donné.



Si l'on considère de nombreux types de sol différents, la relation N/P_2O_5 demeure croissante et significative, mais n'est plus linéaire (N augmente plus vite que P_2O_5).

L'expérience a montré que les points situés à proximité de la courbe moyenne statistique, correspondaient aux valeurs des limites de carence en P 05.

Dans les sols de régions sèches où la matière organique est faible et varie peu, les relations indice de rendement x P_2O_5 total sont significatives. Dans les sols des régions humides, les teneurs en azote total des sols sont très variables, ce qui explique la grande variabilité des valeurs critiques de P_2O_5 total.

Dans les sols, on ne peut interpréter valablement les taux de P_2^{0} 5 total si l'on ne tient pas compte de la teneur en N total.

V.2. Phosphore assimilable et fertilité.

Nous avons donné la liste d'un certain nombre de méthodes de Phosphore assimilable; ces méthodes ont été sélectionnées par des agronomes qui ont effectué des comparaisons avec les résultats culturaux, soit en pots, soit

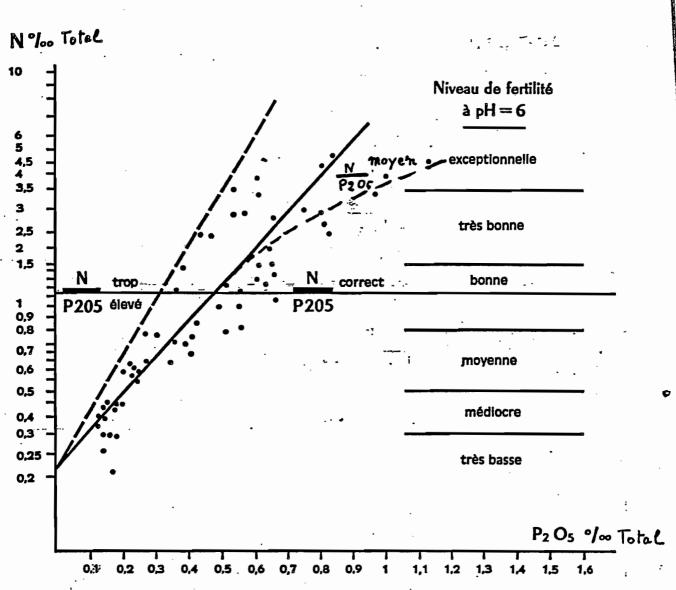


Fig. 58 - Appréciation du niveau de fertilité en fonction de l'azote et de l'acide phosphorique

soit aux champs.

Parmi les plus récentes, on peut citer l'enquête de VAN RAIS au ERESTI (1978) sur 43 régions différentes de 5 continents et l'enquête IMPHOS de saint sur 500 échantillons répartis sur 12 types de sol, d'après la classification FAO.

Les résultats de ces enquêtes sont assez concordants. Si l'on considère l'ensemble des sols testés, c'est l'extraction par la résine échangeuse d'ions qui donne les meilleures corrélations, puis viennent les méthodes isotopiques (Valeur E et valeur L). En ce qui concerne les méthodes chimiques, les méthodes OLSEN modifiée (DABIN) et OLSEN simple sont les meilleures, puis viennent les méthodes SAUNDER, BRAY, DALAL encore significatives mais à peine supérieures au Phosphore total.

En ce qui concerne les réactifs d'extraction acide comme la méthode TRUOG, elle n'est valable que dans des cas très restreints (Cambisols) qui sont généralement riches en minéraux et en Phosphore.

La méthode NORD-CAROLINE est sujette à discussion; les Américains la considèrent comme très valable, mais l'enquête de VAN RALJ indique qu'elle est peu efficace dans les sols tropicaux acides à sesquioxydes, au même titre que la méthode TRUOG.

Indices du P assimilable.

L'IMPHOS a proposé un indice regroupent plusieurs méthodes

Io = Pn 48 x
$$\frac{P(OLSEN - DABIN)}{P(OLSEN - DABIN) + P Fix}$$

Pn 48

= Phosphore désorbé sur résine en 48 H

P (OLSEN - DABIN)

= Méthode OLSEN modifiée.

P Fix

= Pouvoir fixateur selon GACHON.

Cet indice, qui tient compte de la réserve en Phosphore assimilable (facteur capacité), de la désorption sur résine et du pouvoir fixateur, améliore le coefficient de corrélation de l'extraction chimique qui passe de r = 0.517 à r = 0.629.

GACHON pour les sols de FRANCE avait de même proposé un indice IL

L - Phosphore LARSEN

et un indice

a falson 1

IE où la valeur E remplace la valeur L. 40 an indice

Dans des essais en pots, il obtient la relation suivante :

Log P = 0.73 Log IE + 0.735 r = 0.94 pour 133 essais.

P = Phosphore prélevé par les plantes.

L'indice de GACHON paraît très valable pour les sols de FRANCE.

Pour les sols tropicaux, le coefficient de corrélation est plus faible

que celui des autres mesures (2 = 0.485).

La critique que l'on peut formuler, ainsi que pour l'indice Io, c'est que le pouvoir fixateur prévoit un seuil de phosphore soluble de 2 ppm, alors que les valeurs critiques du phosphore soluble pour les sols tropicaux se situent à 0.2 ppm et même au-dessous.

Quelques valeurs critiques de Phosphore assimilable.

Le rapport IMPHOS propose des fourchettes de valeurs critiques pour les différentes méthodes :

25	à	50	Ьbш	P	pour	14	méthode	OLSEN -	- DAI	BIN
90	à	180	ррш	P			•	SAUNDER	١.	
10	a	15	bbm.	P				TRUOG		
10	à	20	ррm	P				BRAY	*	
60	a	140	bba	P				DALAL		
0.2	à	0.5	bbm					eau		
1.5	a	2.5	ppm					To		
15	à	30	ppm					Valeur	L	
10	à	17	ppm					Résine	(48	Heures)

D'une manière générale, les valeurs faibles correspondent aux sols peu fixateurs et les valeurs fortes aux sols très fixateurs.

Le rapport IMPHOS donne davantage de précisions sur les limites en fonction des principaux groupes de sols de la classification FAO.

Il semble par ailleurs que les valeurs relativement constantes quels

que soient les types de sol, en particulier dans les cas extrêmes comme les Andosols ou d'autres sols particulièrement fixateurs, soient l'extrait sur résine et la valeur L qui représentent des équilibres Sol - Solution, modélisant le mieux l'action des plantes.

En ce qui concerne les valeurs des méthodes chimiques, ces dernières peuvent varier dans des limites beaucoup plus larges car elles ne représentent pas un équilibre de désorption mais des réserves plus ou moins échangeables.

Cependant, d'après VAN RAID, il est indispensable de connaître la valeur des réserves surtout dans les sols pauvres et fortement fixateurs, car elles conditionnent l'alimentation des plantes sur la totalité du cycle cultural qui peut être assez long (3 mois pour les plantes à cycle court, 6 à 12 nois et même 18 mois pour les plantes à cycle long). VAN RAID a montré statistiquement que le facteur quantité jouait un rôle important dans les sols tropicaux.

Méthode d'Interprétation du Passimilable par la méthode OLSEN modifiée (DABIN).

Les limites réelles de la méthode OLSEN modifiée sont beaucoup plus larges que celles indiquées dans l'enquête IMPHOS.

La valeur critique peut être de 1'ordre de 15 ppm P dans les sols sableux; elle est de 25 ppm P dans les sols à coton de MOYENNE COTE D'IVOIRE. Elle atteint 72 ppm P dans des sols ferrallitiques à pouvoir fixateur moyen. Dans des rizières de MADAGASCAR, la valeur critique peut passer de 25 ppm à 268 ppm de P.

Ce qui vaux essentiellement dans tous ces cas là, c'est d'une part la teneur en azote total (de 1.5 °/°° à 4.6 °/°° à MADAGASCAR) et le pouvoir fixateur des sols.

On peut énoncer la règle empirique suivante : B. DABIN
On distingue trois catégories de pouvoir fixateur
(P soluble NHC1 N) %

plus de 10 % faible

1 à 10 % moyen

moins de 1 % fort

Dans le cas du pouvoir fixateur faible .

Passimilable = 1/40 N total N.1 9 20.095

Dans-le-cas du-pouvoir-fizateur-fort--

Passimilable = 2/40 N total N:4. P = 0.050

Le pouvoir fixateur moyen est intermédiaire.

Exemple: N total = 1 /°° pouvoir fixateur faible

Valeur critique Passimilable = 1000/40 = 25 ppm.

Exemple: N total 4.6 /°° pouvoir fixateur fort

Valeur critique Passimilable = 4600x2 = 230 ppm. (Solder wall)

Ce ne sont là bien sur que des approximations, mais qui permettent de mieux établir les valeurs extrêmes des échelles d'interprétation.

. Utilisation pratique de ces méthodes.

Les méthodes chimiques ont le gros avantage d'être d'une utilisation simple et rapide, alors que les méthodes isotopiques sont d'un emploi difficile, sauf dans des laboratoires de recherches spécialisées.

Les résines ont certainement beaucoup d'avenir : de même sans doute que des méthodes par dialyse encore peu pratiques (électro ultra filtration).

Il est cependant indispensable pour juger de tous les aspects de la politique Phosphore dans un sol (fumure de redressement ou d'entretien, fertilisation à court terme et à long terme) et ne pas se limiter à une seule méthode; il faut connaître aussi bien les réserves totales, les formes dominantes, le pouvoir fixateur, les réserves assimilables et le pouvoir de désorption.

. . . / . . .

Normes d'Interprétation dans les sols tempérés et méditerranéens.

Dans les sols tempérés et méditerranéens, à pE souvent neutre et avec des teneurs élevées en CaCO3, on applique les normes suivantes qui sont différentes de celles des sols tropicaux.

Le pouvoir de fixation pour le phosphore règle la dynamique de libération du $P_2 O_5$ soluble.

Ce pouvoir de fixation est lié à la teneur en argile et en calcaire; l'influence de la matière organique est moins nette (bien que dans des sols du MAROC on ait trouvé une corrélation positive en azote et acide phosphorique total).

Dans le cas des méthodes les plus courantes : TRUOG - HEBERT |DYER, etc ..., les valeurs critiques sont les suivantes

0-10 % Argile 100 ppm P₂O₅

10-35 % Argile 100 ppm # 10 ppm par % d'argile

Exemple 15 % Argile = 150 ppm

20 % = 200 ppm -

30 % = 300 ppm

Plus de 35 % Argile, ajouter 5 ppm par % d'argile supplémentaire

Dans le cas des sols calcaires très fortement fixateurs, il faut environ doubler les normes précédentes (Par exemple 500 ppm dans le cas d'un sol calcaire contenant 25 % d'Argile).

VI. LES METHODES ISOTOPIQUES D'ANALYSE DU PHOSPHORE DU SOL.

VI.1. Définition de la dilution isotopique.

Dans une solution contenant une masse Me de P 31, on introduit une radioactivité Ro⁺constituée par des isotopes lourds 32 P. Cette radioactivité se répartit sur les atomes de P 31 et la radioactivité spécifique de la solu-

Si 1ºon rajoute une quantité Mx de P 31, la nouvelle radioactivité spécifique est :

$$SB = Ro^+$$
 $Me+Mx$

. . /

D^{*} où $Mx = Me \left(\frac{SA}{SB} - 1\right)$

Cinétique de dilution isotopique dans le sol.

Lorsqu'on met un sol en contact avec une solution, il s'établit un équilibre phase solide phase liquide.

liés aux particules, qui peuvent s'échanger entre eux.

L'ensemble de ces ions qui peuvent s'échanger entre eux s'appelle "Pool labile", du fait que la radioactivité du P 32 introduite peut se diluer rapidement sur l'ensemble des ions du Pool labile; on a donné à ces ions le nom de "Phosphore isotopiquement diluable" ou valeur E.

Détermination du Phosphore isotopiquement diluable - Valeur E.

BLANCHET en 1959 utilise un équilibre Sol = $\frac{1}{4}$ = $\frac{25 \text{ gr}}{100 \text{ m}}$

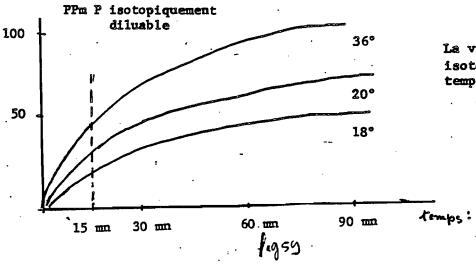
Après 24 heures de contact, il introduit 30 Manude 32 P. Manue Il fait des prélèvements après 2 mm, 5 mm, 10 mm, 30 mm, 60 mm, filtre rapidement sous vide; il mesure la radioactivité de la solution et la quantité de P 31 par colorimétrie.

Il applique la formule suivante :

P isotopiquement diluable = radioactivité introduite R
P en solution radioactivité de la solution 2

Cinétique de la dilution isotopique.

Si l'on trace la courbe du P isotopiquement diluable en fonction du temps, on observe au cours des 15 premières minutes un accroissement rapide, puis la courbe s'infléchit et tend vers un équilibre asymptatique.



La vitesse de dilution isotopique dépend de la température.

Cette cinétique de dilution isotopique dépend des différents compartiments atteints par l'équilibre, chacun d'entre eux ayant une mobilité propre

Durant les 15 premières minutes, ce sont surtout les équilibres dûs aux couches externes de-P₂O₅ adsorbé, puis les formes plus-fortement liées en particulier aux hydroxydes métalliques amorphes, ou aux fines particules de calcaire,, avec une phase de fixation physique suivie d'une phase de fixation "chimique" comprenant la diffusion de P dans un matériau à structure poreuse (RYDEN J.C. et Al. - 1978).

Il est montré qu'avec l'allongement de la durée d'adsorption, il y a diminution de la facilité de désorption et de la capacité d'échange isotopique du P adsorbé.

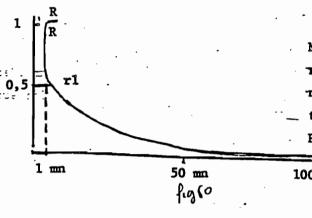
La capacité d'échange isotopique du P fixé fixé chimiquement, est dix fois plus faible que celle du P fixé physiquement.

Pour obtenir une désorption totale du P isotopiquement diluable, les premiers auteurs (BLANCHET - BARBIER) utilisaient une période de huit jours, plus récemment GACHON préconisait un contact de trois semaines.

VI.2. Méthode de FARDEAU.

FARDEAU, grâce à un système de prélèvement par microseringue autofiltrante effectue des mesures de radioactivité à partir de 1 mm et régulière-

ment jusqu'à 100 mm (SCIENCE du SOL n° 2, 1977). L'évolution de la radioactivité spécifique est de la forme SB : $\frac{1}{Mi} \times \frac{rl}{R} \times t^{-n}$



Mi Quantité de P₃₁ en solution

ri Radioactivité au bout de 1. mn

n Caractéristique de chaque sol

t temps en minutes

R Radioactivité introduite

$$\frac{r}{100} = \frac{r}{R} = \frac{r1}{R} (t^{-n})$$

P isotopiquement diluable E

$$E_{t} = \frac{1}{R} \times t^{n} \times P \quad P = P_{31} \text{ en solution}$$

Si l'on utilise une échelle logarithmique, la formule devient :

$$\log \frac{r}{R} = -n \log t + \log \frac{r1}{R}$$

La valeur E; c'est-à-dire le phosphore

isotopiquement diluable au bout du

temps
temps temps t devient temps
minutes

Log E =Log 1 x P+nLo

D'après FARDEAU, il est possible de cette façon de déterminer la valeur E sans attendre un temps d'équilibre très long. Pour certains sols, le calcul précédent extrapolé à 20u 3 mois a redonné la valeur E réellement mesur (il ya des exceptions dans des rés Tropicaux for joint leurs). Les valeurs r1 et n sont deux cons tantes caractéristiques du statut du phosphore du sol.

VI.3. Valeur L.

10

leg 61

D'après LARSEN (1950), l'hypothèse est que seuls les ions isotopique ment diluables sont disponibles pour la plante.

Un équilibre s'établit entre la quantité d'ions PO, du sol et celle

assimilée par la plante, avec conservation de la radioactivité spécifique des ions PO, du Pool.

> SL = L = Pool de PO₄ isotopiquement diluable dans lequel les plantes puisent le Phosphore.

> > L = Radioactivité introduite dans le Pool.

SL = Radioactivité spécifique (Plante = Sol).

Le sol est mélangé avec des phosphates, marqué par P 32 avec un entraîneur, c'est-à-dire du Phosphate P 31. L'entraîneur emmène 1e P 32 sur tous les sites. Les ions 32 PO, se mélangent dans toutes les parties du système plante x sol aux ions 31 PO,.

Les réserves en P labile du sol sont soumises à un processus d'épuisement par culture d'une plante test (Aragrostis - Ray grass); un équilibre s'établit.

> A chaque coupe des plantes, le rapport 32 P/31 P peut être déterminé La valeur L est donnée par la formule suivante :

$$L = R \times \frac{P}{r} - e$$

R = Radioactivité introduite.

P = 31 P dans la plante.

Pool de PO, isotopiquement diluable. r = radioactivité 32 P dans la plante.

e = 31 P entraîneur

VI.4. Méthode de GACHON.(1972)

Pour tenir compte du pouvoir fixateur des sols, après troissemaines $\{a_{ij}\}_{i,j=1}^{N}$ de contact sol x solution x 32 P, le sol est agité avec une résine anionique POWEX 2 x 4 20 50 mesh. pendant 24 Heures.

Puis la résine est séparée sur tamis (0.315 mm), lavée à l'eau distillée et P_2O_5 est extrait par HCl 0.1 N 50 ml \pm v (v = volume de la résine)

$$E = \underline{R} \times m - mc$$
 mo $= 31 P$ entrafneur.

Sur un autre échantillon, on ajoute 200 / c de 32 P; on agite trois semaines, on sépare la phase solide. Le culot séché est analysé par la méthode CHANG et JACKSON.

Sur chaque fraction extraite, on détermine m = 31 P r = 32 P.

La radioactivité introduite R correspond à la valeur globale E de 31 labile. Les ions labiles présentent une radioactivité spécifique constante dans chacune des fractions CHANG et JACKSON, sous réserve que les ions solubilisés par les divers réactifs demeurent dans la phase liquide.

On a l'équation suivante : .

$$\frac{R}{E} = \frac{r1}{e1} = \frac{r2}{e2} = \frac{r3}{e3} = \frac{rx}{ex}$$

On peut aussi calculer ex =
$$\frac{1}{R} \times \frac{2}{R} \times \frac{1}{R}$$
 (Plalul de la fractur X)

Le degré de labilité de chaque fraction est donné par la fraction , mx étant le 31 P de chaque fraction.

Le(P A&)a-une labilité qui peut dépasser 40 % en sol acide.

Le(P Fe)a une labilité très élevée en sol calcaire et très faible en sol acide.

Dans les sols neutres ou carbonatés; la labilité de P Ca est d'environ 13 %.

VI.5. Etudes faites sur des sols de MADAGASCAR.

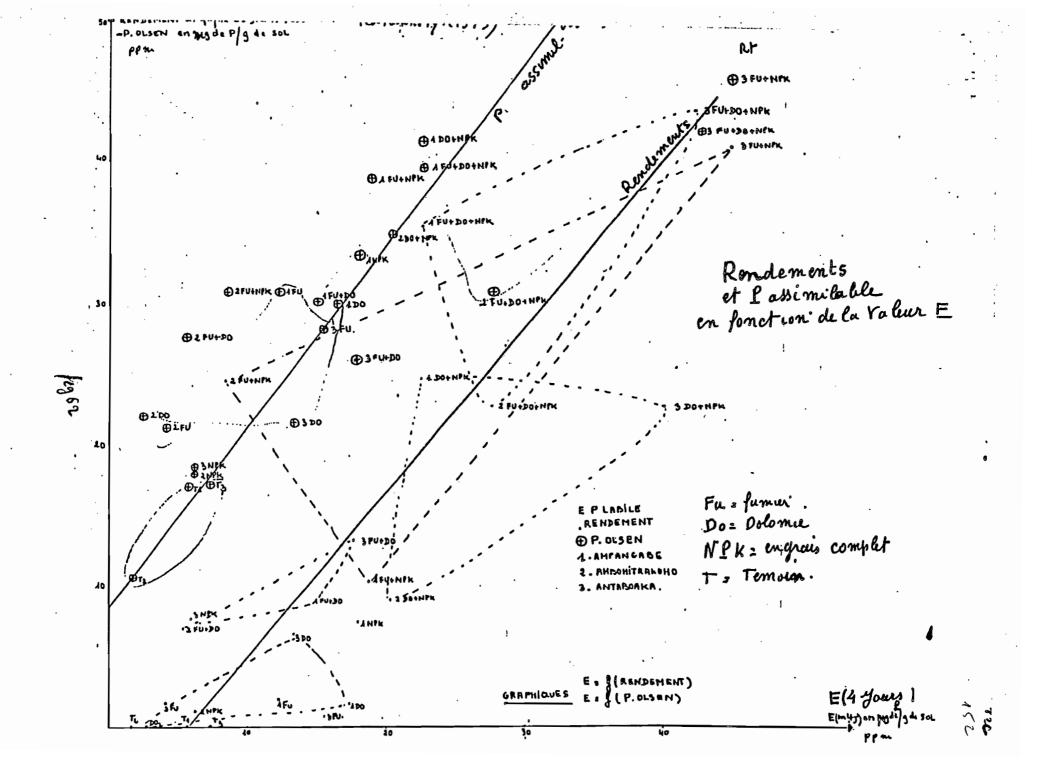
RAHAMNOSY (1979) a montré que dans des sols de MADAGASCAR, la cinétique de dilution ésotopique était très rapide (r. = 0.03 à 1 mm et 0.005 à 100 mm), puis cette vitesse décroît au cours du temps d'échange.

Si l'on extrapole la vitesse des 100 mm à 105 mm (temps requis pour la valeur L), on obtient des valeurs beaucoup trop élevées (comparativement aux mesures réelles de L). Par contre, au cours d'un contact de longue durée (plusieurs semaines), E a tendance à diminuer (r augmente).

D'après RAHAMNOSY, la meilleure solution pratique a été d'effectuer un comptage isotopique et une mesure de P en solution (NH4C1 0.01 N) après quatre jours de contact où la radioactivité ne varie pratiquement plus.

La valeur E mesurée après 4 jours est en relation hautement significative avec le rendement en maïs de parcelles expérimentales (\mathcal{Q} = Ha) et aussi la valeur de P (OLSEN modifié) en ppm (Test de SPEARMAN au risque 1 %).

. . . / . . .



En ce qui concerne la valeur L, il y a généralement une relation directe entre les rendements et cette valeur (r = 0.658) hautement significative

Cependant, dans des sols présentant des pouvoirs de fixation variables, et dans des essais d'arrière fumure (MADAGASCAR), la valeur L est en relation croissante avec le pouvoir fixateur des sols, mais en relation négative avec les rendements et les exportations en P par les plantes, et les rendements

Il apparaît donc que certains sites sur lesquels se dilue la radioactivité ne sont pas directement assimilables, ceci d'autant plus que le sol est fortement fixateur. Par contre, la plante aurait accès à des formes peu solubles par contact direct avec les racines sans passer par la solution.

VII. LA FERTILISATION PHOSPHATEE.

VII.1. Détermination des doses optimum de phosphore.

Le besoin des plantes en phosphore sera étudié à propos de l'alimentation minérale des plantes.

Les besoins sont variables en fonction de la nature de la plante et du rendement recherché.

Une tonne de blé consomme 20 Kg de P₂0₅, alors qu'une tonne de riz consomme quatre fois moins.

C'est donc l'exportation de la récolte qui sert de base à la détermination de la fumure.

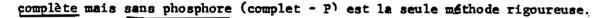
Cependant, il est montré à l'aide de traceurs que la première année de culture 20 % des engrais est utilisé, et 80 % reste dans le sol. (المحالية)

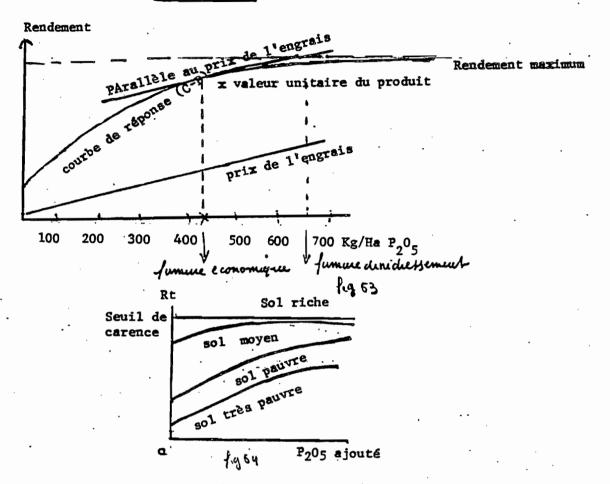
L'utilisation du reliquat dépend du devenir de l'engrais dans le sol

Dans un sol riche en fer actif et en conditions humides, 86 % d'un phosphore soluble est transformé en quinze jours en une forme peu assimilable rapidement.

Les doses optimum de phosphore soluble à ajouter au sol ne peuvent donc être déterminées que par des essais aux champs.

L'établissement de "courbes de réponse" en fonction d'apports croissants d'engrais phosphatés, dans des sols ayant reçu préalablement une fumure





En présence d'une fumure complète, moins phosphore, on obtient une courbe croissante de rendements, en fonction de doses croissantes d'engrais phosphatés.

La courbe tend vers un maximum.

Ce maximum peut, d'après CHAMINADE, être pris comme base d'une fumur de redressement, mais ce n'est pas toujours l'optimum économique.

L'optimum économique dépend du prix de l'engrais, et de la réponse plus ou moins forte de la culture.

Il existe aussi les méthodes dites "factorielles" qui, pour une dose donnée d'engrais NK par exemple, essaient plusieurs doses possibles de phosphatout en demeurant dans les limites économiques de l'exploitation.

,

VII.2. Formes d'engrais. Localisation. Date dépandage

Les engrais phosphatés existent sous <u>forme soluble</u> (bicalcique, supe: phosphate, hyperphosphate, phosphate d'ammonium, nitrophosphate).

Des engrais très peu solubles qui sont les phosphates naturels simple ment moulus (particules 50 - 150 /4).

Les phosphates naturels titrent 25 à 35 % de P₂0₅. Les phosphates par tiellement solubles sont testés par leur solubilité dans un mélange eau + ci-trate d'ammonium.

Doit-on employer des phosphates solubles ou naturels ?

En première année de culture, les phosphates naturels ne donnent pas de résultat sur les récoltes. Il faut apporter des phosphates solubles.

Par contre, sur de longues périodes (14 ans), on a pu constater que les phosphates naturels donnaient des résultats supérieurs aux phosphates solubles, en particulier pour l'enrichissement du P labile du sol.

Pour un grand nombre de cultures, le phosphate naturel peut être très efficace après trois années d'application, mais il faut au moins doubler les doses par rapport au P_00_5 des engrais solubles.

Les premières années, on peut faire un mélange (1/3, 2/3) de phosphate soluble + phosphate naturel.

Les engrais phosphatés contenant 25 à 50 % de P soluble au citrate sont aussi efficaces que les engrais entièrement solubles.

Localisation.

Une partie des racines peut accumuler 15 à 20 fois les besoins immédiats de la plante, mais la localisation de l'engrais ne doit pas freiner le développement des autres racines et l'alimentation en eau doit être assurée de façon contraite.

L'absorption de P₂0₅ augmente avec la richesse du milieu en phosphore soluble.

... / ...

Dans un sol à fort pouvoir fixateur, la localisation permet d'assurune richesse localement élevée.

Une partie des racines dans un milieu riche peut permettre l'alimention de la plante cultivée....

En début de croissance, les jeunes racines peuvent absorber suffisament de phosphore pour permettre la croissance de la plante entière.

L'absorption de phosphore dépend de la possibilité des racines de croître à proximité des sources de P. D'après BIANCHET la distance de diffusion du phosphore autour des racines n'est que de 1 mm (distance d'exploration).

Il vaut mieux apporter l'engrais en une fois au début de la cultu l'efficacité est supérieure à celle des épandages échelonnés ou tardifs. Si l'on amène un engrais soluble, la localisation est préférable ou l'apport en couverture au moment du tallage.

La localisation se fait en bandes parallèles à la ligne des semis.

En ce qui concerne le phosphate naturel peu soluble, il vaut mieux le mélanger au sol et assurer le meilleur contact avec le maximum de racines. L'utilisation est meilleure dans les sols acides. (Picket)

Dans les sols calcaires, c'est la matière organique qui peut avoir un effet bénéfique sur la solubilité des phosphates naturels.

5 Walker (T. W). at Syers (y. K) The falk of bhosthows during Pedagnesis.

9 KAR (AK) Hussam(M) DHUA(SP) 1944

Evaluation of I hackens contributing To available I extracted by Some Common Sul Test Hethod

y. Indian Soc. Soil Sai 95 (9): 160-164-

Chang S.C. et fachson-HL 1957 Fractionation of Soil Whosphorus Soil Sci. 84(2): 133-144

Chang S.C - et Chu WK. 1961. The Pali- of soluble thought applied.

To Soil . g. Soil . Sci . O Soford 12(2): 285-293

Chang . S. C et que S. R. 1963 Available & horshows in relation To forms
of whorshate in Soils.
Soil Sci 95 (2): 91-95

Gacharl. 1969 Les methods d'apprenation de la férhéte m'hosphorque es

Cachon 6 1972 Fraction noment ou prosphore labeli en relation avec le T-predesse: Ann Apron .93 - 499-444

la chon l 1973. Viellemennet ai deven enfrest hosphats en alation avec le Typicassi, etude par la methode chang et gackson.

Ann Afron. 1373 - 24 (5) 585-013

Fardeau y.c. Chalouis C. Hetrer (4.41) + Jappe (4).

Methods des anétiques de délution esotopique de rouspose et Ke:

Offilication à l'avalifse de modification de fethele dans els Mars de Tas longue clines.

Bulle Tu AFES. Sama du See- 202-1972 . PIII-1

Muo ASR. 4 Fox R.L. 1944 P Sorphion characteristics of Some Bench Mark Soils un West Africa: Soil-Sci 124(6)

Mengel K N Kirkby EA. 1978

Principles of plant Nutrition International.

Polas Lustitub. Berne Switzerland.

Le Buanec. B [1943] Contribution à l'étude de la carena en phophere dessot sur grante au colt d'Yvane. These. Fac de Seuves Alucejeur. Jun 1473 130 P

DABINIB 1956. Guterpretation agronomique de avalets de 506.

Cas particular de l'ozote et de Prhosphore.

6. comp net de Science du 501. D (6): 403-409 pars

DABIN(B) 1967 Somewown methode d'analyse du phosphoru dans les Sols

Tropicaux.

Collogue Sur la Sabilité des Sols Tropicaux.

Tananauve. Hadagus car. Novie 17 p 99-115 4RAT

OABIN(B) 1963 Appreciation de Besones au phorthon des sol Tropicaiex is forme du phorthon deux Bsol de colid Yrace.

Cal ORSTOM. Pedolofe: 1-3, 82-42

DABIN(B)(1964 Les formes du phosphore dans quelques sols des Antilles Cah ORSTOM. pedroque. 1, 8, 5-12

DABIN-(B) Nethode d'étade de la Rocation de Phosphore sur les sols Tropicaien coton et files Tropicais Vol XXV Fase 3, 1920

DABIN B (1971) E volution de lugar à haphale dans un sol fenallit que :

Dans em encu de longue Dune!

Phosphore et aqualtur: No 58, Dec 1971.

E DABIN 15(1974) & volution de phosphats au Sols a ads de regions Tropicals Science du Sol (APES) no 2 1974 3 DABIN. B Phosphorus de Leuncy In Tropical Sock Sol Sol related Constraints To God production in The Trabics

Symposium GRRI dorBanos Philiffines 1879. p 118 93

Van Raig. Bernardo (1979) Selecció de metodos de laboratorio para Avaliar a desponibilidade do fosforo los Solos Rev. bras. Ciencia Solo 2 (1): 1-9.

olsen's. R. Walanathe F.S. 1570 Deflusive Supply of thosphoreis in relation To Soil Testra Vanation . Soil Sa. 110:319-397

Roche. P. Grune L. Balue D. Calla H. Fallavin P. 1980

Le phosphore dans les gols intentropicaux.

apprenation els niveaux de Carena et els lesoins
en Phosphore

pablication: Imphos - Gerdat Justihet mondial as to hosphale 41 pags 1980

Blanchet R. 1959. Nutrition municipals plants, activits ioniques et energies d'adsorphin. Annals aponomiques Theseenergies d'adsorphin. Annals aponomiques 1959
Emipe d'adsorphin de comminuon portes I II et III annals aponomiques 1959
Emipe d'adsorphin de comminuon municipal aprints) (Phorton et personaim)
por la callorida, die su es municipal as plants propose. Laus que claus
Rahaumosy. (R.V) Erude de la dynamique da phorton. Laus que claus
These pairs 6. 1949 130 P

Pichot et Ruch 1942. Phosphore dans & Sof Tropicain. Agron- Trob 74.9 925.95.
Pichot y. Le Buanec B (1971) phosphore et nutrition du Mais en Sol
ferrallitique dense de roche langue. Agron Trob. 33(1)

24 Obra. R. 1977 - Etuch du Statut ithorthoryen des Sos de Madagascan-

32 Velly y Colton & Rocke I (1968) Ferklisation de redremement après de agnostre des carenos minerals sur les sols de culture s'éhe ci Madagascar : CR colloque sur la fertile des sols 33 Van Diest (A) 1963 Soil Test correlature studies or new fersey soil contains of Geren method. measuring labele invisance. Soil box 96, 4, 961-960

de transportation of the state
- 31 Trung. 5. 1930 Determnatur of reachly available who thous in Soil.
- 91 Larsen S. 1952 The use of 37 I in studies on The uptakes of whorshouse by plants plant and soil 4, 1-10
- 1 As lyng HC (1954) phonthate potential and phonthal status of soils Acka-Agr-Scand- 14- 951-985
- 18 Yout a. Hebert y (1955) Contulution à la determination du lesoin de solscu acide to hosthorque Ann. Agro. 233. 205
- Sounder D. H. (1957) Détermination of available Thorshorus ne Trapical Soils, by extraction with Sodium hydroxidi.
- Soilsa: 87.6-457.463

 10 Schofeld (1955) can a preuse meaning be given to available soil this thous

 Soils and firtilizers: :11,5:323-325
- bis Katyal (4 c 11479 conduite de la feet tesature phosphatie sur requie

3ème Partie

LES BASES ECHANGEABLES DU SOL

I. METHODES D'EXTRACTION DES BASES ECHANGEABLES DU SOL.

I.1. Définition.

Si on lessive un sol -(20 gr. - 2mm) - avec de l'acétate d'ammonium N (200 ml) à pH = 7, il y a fixation de $NH_4^{\frac{1}{2}}$ sur le sol et passage en solution d'acétate de Ca - Mg - K - Na et d'acide acétique.

La somme Ca + Mg + K + Na en milliéquivalents (m.e.) = S

M. . = Poids de l'élément x valence 103 est appelée S = Somme des cations ou somme des bases.

La somme de (S + H) hydrogène échangeable définit pratiquement à pH = 7
la capacité totale d'échange de cations appelée (T) m.e.

Le rapport $\frac{S}{T}$ % s'appelle coefficient de saturation.

Les différents cations sont dosés dans la solution d'extraction par complexométrie Catt et Mgt et par photométrie de flamme Nat et Kt.

I.2. Problème de 1'Aluminium.

A côté des cations basiques, l'ion Aluminium peut être aussi à l'état échangeable. Mais à pH = 7, Al devient insoluble et est remplacé par π^+ .

$$A1^{+++} + 3 \text{ HOH} = \underline{A1 (OH)^3} + 3 \text{ H}^+$$

Si on lessive le sol par l'acétare d'ammonium tamponné à pH = 4, ou par le Chlorure de potassium non tamponné, on peut extraire Al échangeable.

La capacité d'échange devient alors :

Si l'on met le sol en contact avec de l'acétate de calcium, et que l'on fait une titration acidémétrique avant et après contact, le nuibre de milliéquivalents d'acide libre représente Al + H.) à pur neutre.

1

II. CAPACITE D'ECHANGE DE BASES.

II.1. Rappel de la définition de la capacité d'échange.

La capacité d'échange de cations est la somme des charges négatives du complexe absorbant du sol = Argile et Humus.

Il y a deux types de charges négatives :

1 Les charges permanentes 2 Les charges dépendant du pH.

Les premiers sont associés aux silicates (minéraux argileux).

Il se produit des substitutions au sein des minéraux silicatés. Les cations basiques, éliminés par hydrolyse, sont remplacés par des ions H au cours de l'altération. Au-dessous de pH = 4,5, les ions H migrent dans le mineral et peuvent remplacer Al qui est libéré.

Les valences correspondant à H et Al sur les silicates constituent les charges permanentes.

Charges dépendant du pH.

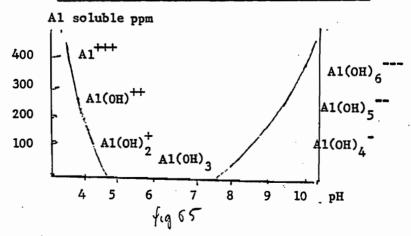
Ce sont les groupes Si OH et Al OH sur les angles des cristaux d'argile,

les groupes COOH et OH de la matière organique.

Les liaisons hydrogène covalentes représentent l'hydrogène lié. Elles ne sont pas dissociées aux bas pH.

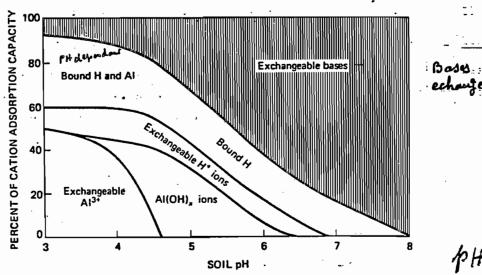
Elles se libèrent lorsque le pH augmente vers l'alcalinité donnant des charges négatives supplémentaires COO SiO AlO

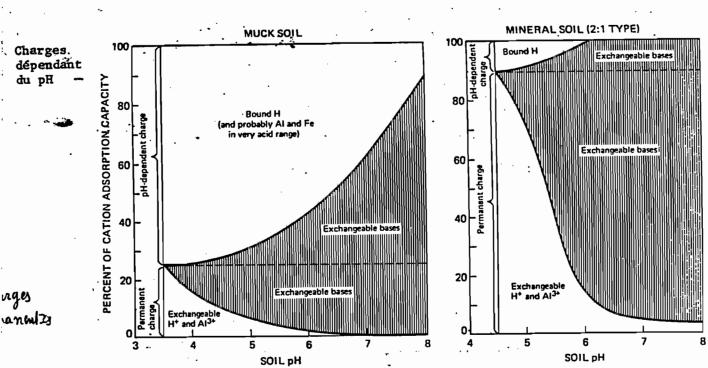
Evolution de l'aluminium en fonction du pH.



Le graphique joint représente les charges positives ou négatives et la liaison avec les hydroxyles (Aluminium hydroxy ou hydronium) en fonction du

Représentations graphiques schématiques des charges.

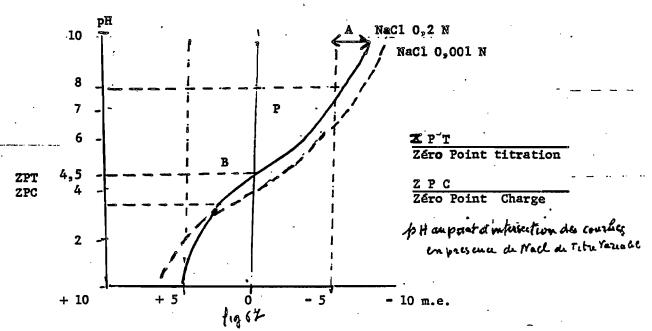




d'apres Nyle C Bracky (1974) Solmineral Sol organique

fig 66

absorption de cations



and the second s

Courbe de titration d'une argile

- B Charges positives
- P Charges négatives
- Charges négatives développées en pH alcalin.

II.2. Mesure pratique de la capacité d'échange.

Dans les sols à charge permanente, la capacité d'échange à pH = 7 définit la capacIté pratique d'absorption des cations + Al + H.

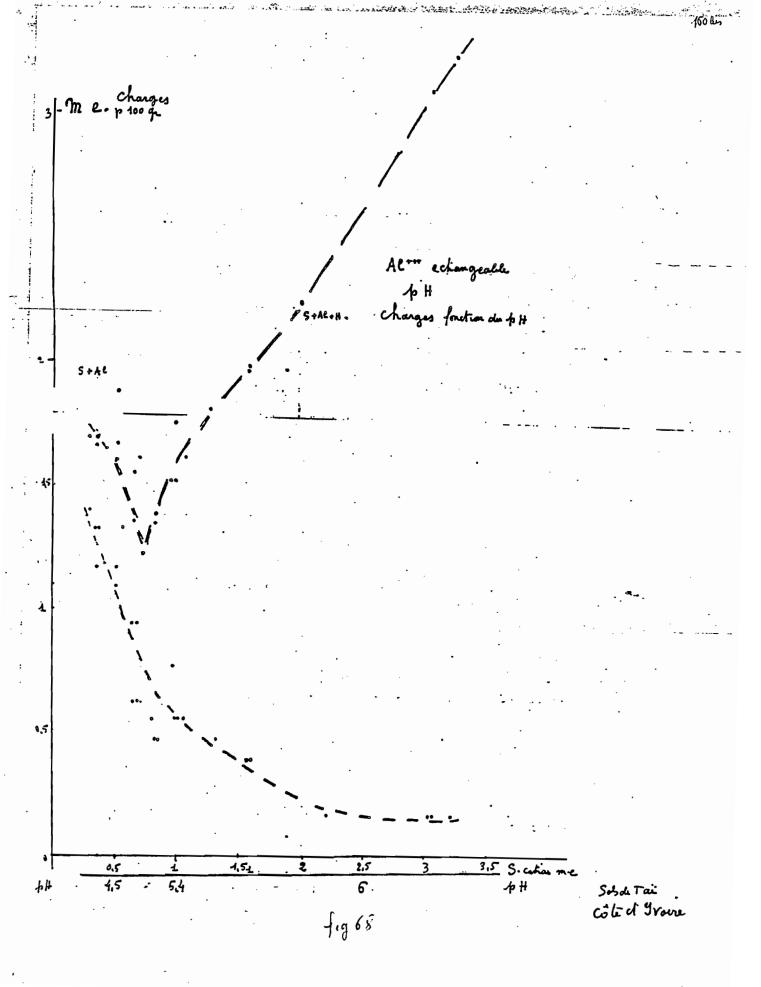
Dans les sols à charge variable, il faut pratique, mesurer chaque CEC au pH du sol.

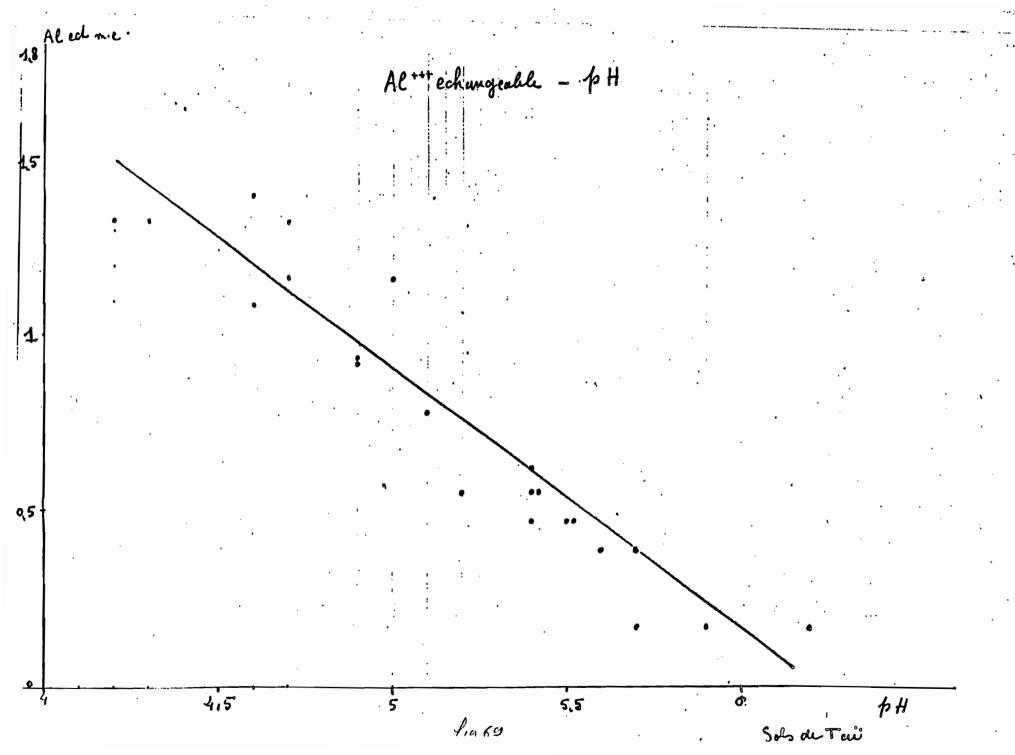
Capacité d'échange anionique.

Au-dessous de pH = 4,5, il se développe des charges positives liées à la présence des ions Fe⁺⁺⁺ et Al⁺⁺⁺.

Argile
$$A1_{+}^{+}$$
 OH Fe $_{+}^{+}$ OH

Les ions OH peuvent s'échanger contre des anions POLH- SOL- C1 etc..





יפט ניא

C'est l'ion Cl qui est le plus faiblement fixé.

Méthode d'analyse de la CEC.

A pH 7, on sature le complexe par un sel neutre d'un cation, Ca⁺⁺ ou NH, ⁺ éventuellement Na⁺, puis on extrait le cation fixé et on le dose.

L'opération consiste à lessiver le sol par sel en excès, puis, soit éliminer l'excès non fixé par lavage, soit doser cet excès non fixé.

and the first state of the first property of the first of the first section of the first section of the first of

Danz le cas d'un lessivage par l'acétate d'ammonium ou l'acétate de sodium, le lavage est fait à l'alcool.

Lorsque tout l'acétate en excès est éliminé, l'ammonium ou le sodium échangeable sont extraits par un sel neutre, KCl ou CH₃ CO₂ NH₄. Dans le premier cas on dose NH₄, dans le second cas on dose Na. NH₄ permet de mesurer T à pH acide ou neutre. Na mesure T à pH alcalin = 8.2.

Méthode de BONDY pour les sols tropicaux.

On utilise Ca Cl₂ N tamponné à pH = 7 par triethanol amine (500 ml/) puis on lave par Ca Cl₂ N/50.

On extrait Ca++ par NO₃K N (1 litre)

(Sol Ca⁺⁺) + NO₃ K = Sol K⁺ (NO₃)₂ Ca + CaCl₂ + NO₃ K On dose Ca⁺⁺ et on dose Cl⁻ - Si le sol est carbonaté et gypseux on dose CO₃ et SO₄ T = Ca⁺⁻ Cl⁻ CO₃ - SO₄

Quelques exemples de capacité d'échange :

Ka0 (km = 10 me p 100 g

Illite micas = 20 à 30 mé.

Montmorillonite = 100 mé.

Humus = 250 à 350 mé.

Sol ferrallitique = 30 % Kaolinite + 3.5 % mat.organique. = 3' mé. + 10 % mé. = 13 mé.

Vertisol: 40 % de montmorillonite + 1 % Matiè le organique = 40 mé. + 3 mé. = 43 mé.

Ce calcul permet de vérifier grossièrement la capacité d'échange d'un sol.

III. CATIONS ECHANGEABLES - FORCE DE FIXATION.

Les principaux cations sont fixés sur le sol en fonction de leur force variable de fixation.

Généralement Catt > Mgt > Kt > Nat

Il s'ensuit que dans les sols bien draînés

Ca⁺⁺ = 75 à 90 % de S

 $Me^{++} = 5 a 30. \%$

x⁺ = 2 a 5 %

Na = 1 a 2 %

Dans les sols draînés et alcalisés, Na peut atteindre 10 à 40 % de S. L'Hydrogène H est le complément à T.

La force de fixation de H est généralement supérieure à Ca , en particulier dans la kaolinite.

Dans les argiles micacés et la biotite, K⁺ a une force de fixation supérieure à Ca⁺⁺.

Si l'on met en contact des solutions de Ca Cl₂ et Na Cl avec le sol avec des rapports variables $\frac{Na}{Ca}$ $\frac{1}{9}$ $\frac{2}{8}$ $\frac{3}{7}$ $\frac{4}{6}$ $\frac{5}{5}$ $\frac{6}{4}$ $\frac{7}{3}$ $\frac{8}{2}$ $\frac{9}{1}$ $m \sim 2$.

On trace la courbe du rapport Na échangeable obtenu après contact, pour que Na ech = ech, il faut que Na soluble = 2 Ca soluble. (% < ·)

Lorsque la concentration de la solution en Na est inférieure à la concentration en Ca, il n'y a pas fixation de Na échangeable sur le sol.

En revanche, si Na en solution est supérieur à Ca, Na se fixe sur le complexe absorbant.

Si l'on considère le rapport des cations échangeables <u>bivalents</u> = Ca + Mg et la concentration globale en sels solubles en équilibre avec le sol, Na + K et enfin la capacité d'échange T.

Si la concentration en sels augmente, et que T diminue

bivalents diminue monovalents

Si la concentration en sels diminue et que T augmente

bivalents augmente monovalents

Dans les sols humides, il se produit un phénomène d'hydrolyse des alcalins (monovalents), donc augmentation des cations en solution; la proportion de bivalents diminue et la proportion de Na et K augmente dans le complexe.

Dans un sol sec, c'est l'inverse; Ca et Mg augmentent et Na + K diminuent. La montmorillonite absorbe plus de Ca et Mg et moins de Na et K que la
Kaolinite.

L'échangeabilité d'un ion dépend de la nature de l'ion, mais aussi de
la nature et de la quantité des ions complémentaires.

Par exemple, une très forte proportion de Ca et Mg diminue l'échangeabilité de K.

Ca⁺⁺ voit son échangeabilité diminuer, lorsque le taux de saturation S diminue.

Na $\stackrel{++}{}$ voit son échangeabilité augmenter quand $\frac{S}{T}$ décroft. Mg et K sont intermédiaires.

IV. LE PH DU SOL.

IV.1. Formule générale du pH du sol.

Le pH est la concentration en ions H⁺ du milieu. Log $\left(\frac{1}{H^+}\right)$ La concentration en $\left(\frac{1}{H^+}\right)$ x $\left(\frac{1}{H^+}\right)$ OH $\left(\frac{1}{H^+}\right)$ de l'aux étant 10^{-14} $\left(\frac{1}{H^+}\right)$ Le pH varie de 1 à 14 avec 7 comme équilibre neutre.

Dans le sol, le pH est fonction du taux de saturation en cations et en ions H du complexe absorbant, en équilibre avec la solution du sol.

$$pH = pK + Log \underbrace{\left[\frac{S}{T}\right]}_{\left[\frac{H}{T}\right]}$$

Le pH est d'autant plus bas donc d'autant plus acide que le taux de saturation en bases est plus faible et le taux de saturation en Hydrogène plus élevé.

L'acidité provenant de la matière organique, des différents types d'argile, des oxydes métalliques, n'a pas la même action sur le pH, d'où différentes valeurs de pK.

Le taux de saturation par des cations différents Ca⁺⁺ ou Na⁺ agit différemment sur le pH.

Action du type d'argile.

A taux de saturation identique, la montmorillonite donne un pH plus acide que la kaolinite (la différence peut atteindre une unité pH)

à 50 % de saturation | Montmorillonite et micas pH 4.5-5 |
| Kaolinite Halloysite pH 6-6.5

. . . / . . .

Les oxydes hydratés ont la plus faible acidité. Les colloïdes organiques donnent l'acidité la plus forte.

IV.2. Acidité active en solution et acidité de réserve.

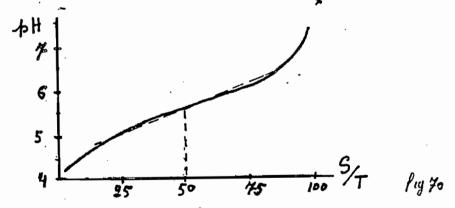
L'acidité de réserve comprend les ions H et Al echangeables ou en position intermédiaire dans les feuillets d'argile.

C'est le "pouvoir tampon" du sol.

Plus la capacité d'échange est élevée et plus le pouvoir tampon estélevé. Plus la capacité d'échange est élevée, et plus il faut une quantité élevée de calcium (relèvement du pH) ou de soufre (abaissement du pH) pour obtenir un pH Donné.

IV.3 Calcul du besoin en chaux.

Pour calculer théoriquement la quantité de chaux à amener au sol pour distriction pH donné, on part d'un solvacide que l'on met en contact avec des quantités croissantes d'eau de chaux. Après lavage à l'eau de l'excès d'eau de chaux, on prend le pH et l'on mesure le rapport S/T des échantillons diversement enrichis (on extrait et on-dose les cations échangeables. On mesure la capacité d'échange). On a aussi la relation S/T pH caractéristique du sol donné.



Si le sol a un rapport S/T de 40 % etque l'on veut obtenir un rapport S/T de 100 %, c'est 60 % de T qu'il faut rajouter de calcium : par exemple 6 m.e. pour T = 10. La quantité de Ca en m.e. p. 100 gr. rapportée à 2.000 T de terre/Ha, donne la quantité théorique à rajouter à l'Hectare. Cette quantité théorique est à multiplier par 1.5 ou 2, car tout le Ca ajouté n'est pas fixé.

. . / . . :

IV.4. Action des sels solubles sur le pH des sols.

L'addition d'un sel à une argile sodique diminue le pH de cette argile

Argile Na + eau pH = 9,5 - 10
Argile Na + NaCl pH
$$\stackrel{<}{\swarrow}$$
 8,5

La quantité d'ions H+ diffusée en solution est inversement proportionnelle à la couche cationique.

Cette couche cationique est plus ou moins épaisse; dans l'eau, elle peut être très dissociée d'où un pH élevé dans le cas de Na⁺.

Si 1º on augmente la concentration saline de la solution en contact avec le sol, la couche cationique se rétracte et la diffusion des ions H⁺ augmente.

Le même phénomène a lieu avec CaCl², FeSO⁴, (Al)₂ (SO⁴)₃.

Cas particulier du pH dans KCl.

Si le sol est saturé pH (eau) est peu différent de pH(KCl).

Si le sol est désaturé avec un pH compris entre 4,5 et 6,5, la réaction est la suivante :

Argile H⁺

$$A1^{++} + KC1 \longrightarrow Argile K + HC1 + A1 C1 \\ A1 C1_3 + 3 HOH \longrightarrow A1 (OH)_3 + 3 Hc1$$

Les ions H et Al ** s'échangent contre K et provoquent une forte acidité de la solution qui n'est pas tamponnée, c'est l'acidité d'échange.

.../ :..

Le pH peut s'abaisser de 0,5 et jusqu'à 2 unités pH en fonction de la richesse en Al échangeable (par rapport au pH-eau).

Si le sol a un pH eau inférieur à 4,5, les ions Al et Fe échangeables libèrent des valences positives

Argile A1⁺ OH⁻

$$Fe^{+} OH^{-} \xrightarrow{+ \ \ \ \ } Argile A1^{+} C1^{-} \xrightarrow{- \ \ \ \ \ } Re^{+} C1^{-} \xrightarrow{- \ \ \ \ \ } KOH$$

Il y a fixation anionique et libération de K OH basique.

Le pH peut passer de 3,5 à 4,5 ou 5

Acidité d'hydrolyse si on traite le sol par l'acétate de Ca, Ca se fixe, l'acide acétique libéré mesure Al + H à pH = 7 Al est déplacé et remplacé par H

$$A1_3$$
 + HOH \longrightarrow $A1$ (OH)₃ + 3 H⁺.

IV.5. Action du pH sur la fertilité.

Action de l'acidité sur les éléments majeurs.

Le lessivage du Calcium et du Magnésium dans les régions humides (sols ferrallitiques) accroît l'acidité.

Dans les sols fortement acides, Ca et Mg peuvent être carencés pour les plantes. La carence "alimentaire" en Ca et Mg est rare, car les sols moyennement acides en contiennent encore des quantités suffisantes pour les plantes. L'action néfaste du pH est une action indirecte sur d'autres éléments.

L'azote

- La minéralisation de l'azote organique (ammonification - nitrification) diminue d'intensité en pH acide.

Le phosphore

- Les sols acides et riches en Fer et aluminium, présentent une force de fixation élevée pour le phosphore.

A l'inverse, les sols de rizières préfèrent les sols mo-

Dans les Sils Ferrallet que la fertilet desseud de la Somme de Bats change alle Satte value S est relie au Tour de matrie en problèmes de toxicité Aluminium et Manganèse.

Lorsque le sol a un pH < 4,5, Al et Mn peuvent exister à l'état soluble. Si le sol est riche en ces éléments, il peut y avoir toxicité directe pour les plantes (Pour Al échangeable, la toxicité intervient si $\frac{A1}{T}$) 60 % $T_*S+A\ell+H$

S= Somme des catrons colongealles -Al+H = acideté d'échange mesures sur l'extrait Kel pr (Kamprath)

Sols ferrallitiques très désaturés

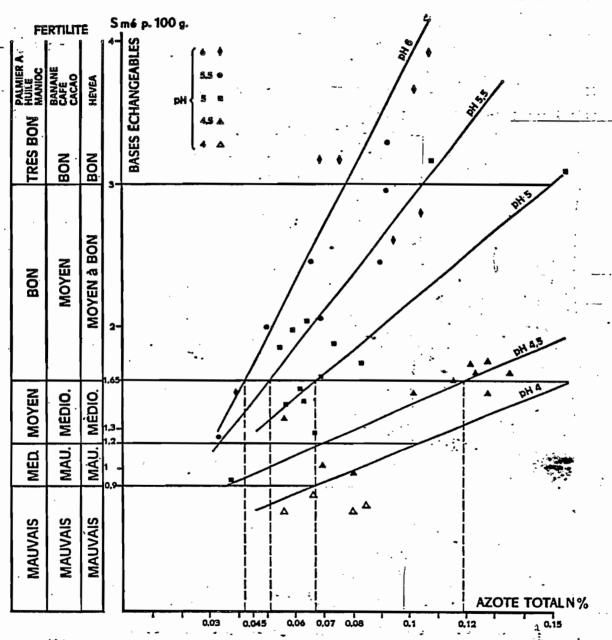


Fig. 71 Relation entre la somme des bases échangeables, la teneur en azote total et le pH dans les sols ferrallitiques fortement désaturés.

Sols ferrallitiques moyennement désaturés

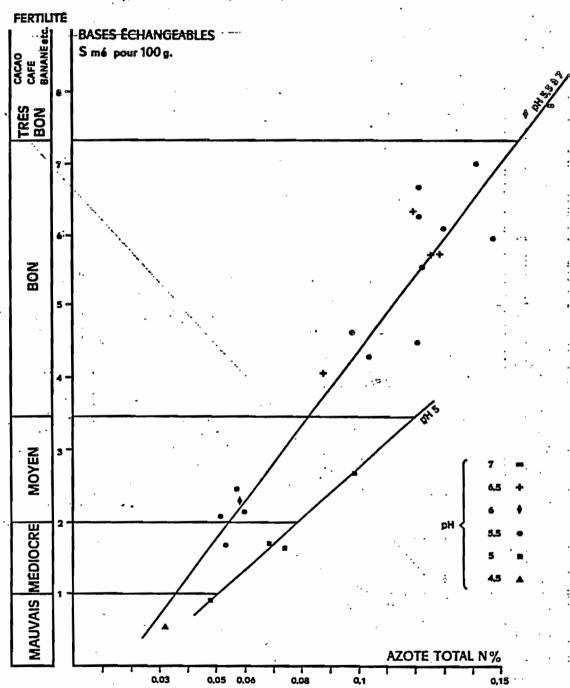


Fig 42 Relation entre la somme des bases échangeables, la teneur en azote total et le pH dans les sols ferrallitiques moyennement désaturés.

dans le cas des plantes résistantes. Pour les légumineuses, la toxicité peut être 1230 %, pour les laitues encore plus faible (les plantes sont très diversement résistantes). (Korene yao)

La toxicité peut être éliminée par le chaulage. De même pour le manganèse (il faut remonter le pH du sol au-dessus de 5-5,5).

Si le chaulage est superficiel, il peut demeurer une toxicité en profondeur. Le beson en Cao en m.e. corres pond a 2 fois Al eshaufable au m.e.

Action sur le Fer et le Manganèse.

Inversement par l'augmentation du pH au-delà de l'alcalinité (pH >8) et dans le cas des sols riches en CO₃ Ca, une carence en Fe et Mn peut se manifester (exemple : chaulage des Solods).

Entre 6 et 7, Fe et Mn demeurent assimilables sauf s'ils sont en très faible quantité.

IV.6. Action du pH sur les oligo-éléments.

Cuivre - Zinc - cobalt.

acide. La limite se situe vers pH = 7, mais en milieu alcalin, leur assimilabilité decroît nettement (insolubilisation par surchaulage).

Dans les sols à la fois acides et humifères, Cu et Co forment des complexes très stables avec l'humus acide et il peut y avoir carence (Podzols, Tourbes, Sols Ferrallitiques Humifères).

Le Zn n'est pas affecté par la complexation organique; Zn reste assimilable en milieu acide.

Le Zn peut être déficient dans les sols hydromorphes, par formation de sulfides, de carbonates, d'hydroxydes, et par réaction avec la silice soluble.

Dans les sols salés et sodiques riches en CO₂, il y a déficience en Zn (amélioration par le gypse).

10 Kg à 100 Kg de SO₄Zn augmentent le rendement en riz de 0,5 à 5 T/Ha.

Le Cu est amélioré par la submersion.

Molybdène.

L'assimilabilité du Molybdène est très affectée par le pH; dans les sols très acides, Mo est pratiquement inassimilable. L'assimilabilité_croît jusqu'à pH = 6 et au-dessus. La richesse en Fe et Al augmente la carence en Mo Mu sols tropicaux

(Horizons A podzoliques, Solonetz lessivés, Solods) Mo 04²+Sol Sol Mo+2H⁻
La submersion accroît l'assimilabilité du Mo.

La concentration en Mo augmente 100 fois à chaque unité d'augmenta : tion du pH.

Bore.

Il y a carence en Bore dans les sols très acides; l'assimilabilité croft avec le pH, cependant un excès de Calcium gêne l'absorption du Bore par les plantes, <u>B</u> doit rester supérieur à 1/1.500.

En pH très alcalin du à la présence du Sodium, les Borates solubles peuvent s'accumuler et devenir toxiques.

Intéractions entre oligo-éléments et éléments majeurs. (équilibres physiologiques).

Les carences en N - S - Mg provoquent l'augmentation d'absorption de Mn et la faible exportation de P et Fe.

Une teneur élevée en P induit une carence en Zn.

L'augmentation de teneur en K, décroît l'absorption de Mn et Fe (peut diminuer la toxicité).

De gros apports de Fe et Mn diminuent l'absorption de Zn.

L'apport de Mn diminue l'absorption de Fe (oxydation en Fe insoluble).

IV.7. Correction de l'acidité des sols.

Pratique du chaulage.

Les meilleures conditions culturales ont lieu à pH neutre ou faiblement acide. Dans les sols tropicaux, il convient de ne pas descendre au-dessous de 5,5 (sauf cas particulier) per centre il extrarement nices au de dépathe PH=6 en 3 re Tupicale humin. La correction d'un pH trop acide se fait par le chaulage.

Les amendements.

Les amendements utilisés sont les carbonates (CO₃Ca), les oxydes et hydroxydes, les silicates de Ca et Mg.

Il y a formation de composés faiblement dissociés qui éliminent les ions H en excès. Les sels neutres ne sont pas utilisés (ils ne modifient pas le pH ou l'acidifient).

CO₃Ca + Argile 2 H argile Ca + CO₂ + H₂O. On peut employer aussi la dolomie.

Les chaux vives CaO agissent à plus faible poids mais peuvent provoquer des échauffements.

On éteint la chaux pour donner Ca (OH),

La chaux éteinte Ca (OH), n'élève pas la température.

Le silicate qui est un résidu de l'extraction des phosphates peut être utilisé (scores de déphosphoration).

Conditions d'utilisation des a mendements.

La finesse du broyage augmente l'activité du produit. la nature du sol intervient :

La montmorillonite réagit plus vite que la kaolinite.

Il faut faire un chaulage un mois ou deux avant la plantation et cultiver ensuite une plante tolérante à la chaux.

Entretien du chaulage.

L'exportation peut enlever 300 Kg/Ha de Ca par an mais il y a les pertes par lessivage et érosion (jusqu'à 500 Kg/Ha), en particulier dans les sols tropicaux des régions humides.

Il faut donc prévoir des doses d'entretien après la correction du pH du sol. Ces doses dépendent à la fois des besoins en chaux et des pertes; il faut suivre l'évolution du sol par l'analyse.

enfouissements profonds. Le gypse peut umplace la chause et pérète mieux - des résidus véait que par lun décomposition rapide liberent des cutions et ont une action neutrales ente. (purare - permisetum)

IV.8. Problème des sols à excès de calcaire.

Surtout en régions sèches ou tempérées sur roche calcaire à faible profondeur (Rendzine - sol brun calcaire, etc ...).

Le calcaire se rencontre dans toutes les fractions granulométriques (graviers, sables, limons, argile). Les calcaires les plus fins sont les plus ---- actifs. Il peut y avoir cimentation du calcaire au niveau de la nappe phréatique ou dans les couches superficielles (croûtes calcaires).

Le problème du calcaire est lié au pH et à la présence de carbonates libres de Ca et Mg qui agissent sur les éléments assimilables et les racines des plantes.

L'alcalinité augmente avec l'humidité du sol. Il y a réduction de la pression de CO₂, et la dilution augmente l'hydrolyse des carbonates et de l'argile calcaire.

$$co_3 ca + H_2 0$$
 $ca_2^+ + HCO_3^- + OH^-$

Il y a antagonisme entre CO, et OH.

Quand la pression de ${\rm CO}_2$ est faible, les sols calcaires humides atteignent une haute alcalinité (jusqu'à pH = 10).

Action du calcaire sur le fer.

· Le fer ferreux est insolubilisé par le calcaire

Le fer devient insoluble et inassimilable.

Il se produit de la chlorose ferrique.

Plantes sensibles : Ronces - Citrus - Plantes à fleurs - Sorgho - Pois - Vigne

Plantes résistantes : Blé - Betterave - Coton.

Les chloroses augmentent avec l'humidité, les températures trop hautes ou trop basses.

... / ...

Les fortes concentrations d'ions Ca⁺⁺ et CO₃H⁻ en solution du solaugmentent la chlorose.

Leur absence est liée à l'absence de chlorose.

Composition des végétaux.

Il y a augmentation de K dans les feuilles chlorosées.

Le fer soluble diminue, mais pas le fer total des feuilles. &m milieu liquide c'est l'ion bicarbonate et le rapport élevé K/Ca qui est cause de la chlorose.

N8 Bases echangealles dans les Sols Tropicaux Quelques normes pratiques

Action des bases sur la fertilité.

. Valeur de S. En ce qui concerne le calcium qui représente les 2/3 de la valeur de S, les quantités sont généralement suffisantes pour assurer l'alimentation des plantes, c'est donc essentiellement par l'intermédicire de la saturation du complexe et du pH que le calcium échangeable et la sonme des bases interviennent sur la fertilité. (Ca medut pas été inférieur à 0.2 m.e. ping)

Pour chaque pH, la valeur de S dépend donc de la valeur de T et est très variable en fonction du type de sol . Si l'on veut donner une indication générale dans le cas des sols tropicaux courants, il est possible d'appliquer la règle suivante :

Par exemple, sol de texture moyenne A + L = 30 %Tableau 9 %Mo = 2 %

1	ableau 48	!	•		110		2 /0		
1	S mé. pour	100 g.	importance	des	réserve	s fa	cilen	ent	Ī.
!	. F		utilisable	s	· ·	 	·.		! !
į	₹1,5		rúserves fa	aible	es	,	•		į
1	1,3 .	- 3	médiocres			•			! !
1	· · · 3 - ·	6 .	moyennes						•
!	6 -1:	2	bonnes	•	•		. •		1 - 2
į	12 -2	4 .	très bonne	s .					İ
!	> 2	4 _.	exceptionn	elles	3 .				! !
٠. ة									ī

Pour A + L ≤ 10% il faut diviser les chiffres par 2 A + L ≥ 50% il faut multiplier les chiffres par 2

Les chiffres précédents indiquent un niveau de " réserves facilement utilisables " c'est-à-dire la possibilité pour un sol de fournir un nombre plus ou moins grand de récoltes, quant à la fertilité " immédiate ", elle est fonction du pH .

Dans les sols ferrallitiques où la capacité d'échange est en grande partie fonction du taux de matière organique, divers graphiques ont été établis donnant la valeur de S en fonction du taux d'azote total et du pH, des limites de fertilité sont indiquées pour les cultures principales, mais sont applicables pour la plupart des cultures exondées dans ces sols.

Les sols ferrallitiques fortement, moyennement et faiblement désaturés présentent des normes différentes car les types
d'argile ne sont pas partout les mêmes (Fig).
Ces abaques permettent également de juger l'homogénéité des résultats analytiques

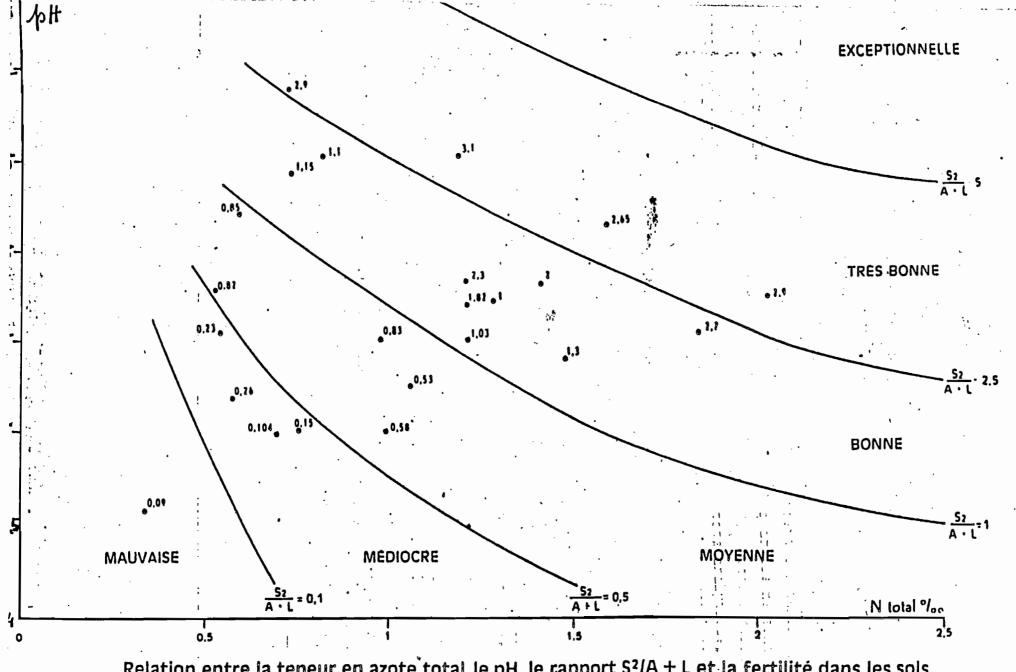
FORESTIER fait intervenir le rapport S2 (somme des bases A+L (argile -+ limon

au carré }
fin %
En Côte d'Ivoire, la relation suivante a été établie(B. DABIN).

 $\frac{S^{2}}{A+L}$

5 à 5 très bonne > 5 exceptionnelle un graphique représente
la relation entre N total
et pH S² et fertilité
A + L
dans les sols ferrallitiques typiques (Fig
cette relation monti l'équilibre
et voit une Matrix riganique pass et pH
dans ces sels

Problèmes de potassium et du magnésium. Si la valeur de S dépend essentiellement de la capacité d'échange et du pH, pour les autres cations, c'est leurs proportions relatives qui jouent un rôle important dans la fertilité.



Relation entre la teneur en azote total, le pH, le rapport S²/A + L et la fertilité dans les sols

3ème Partie (Sult)

POTASSIUM DU SOL ET

FERTILITE DES SOLS TROPICAUX

V.1. <u>Différentes formes du potassium dans les sols</u>.

On trouve différentes formes du potassium dans les sols :

Le potassium des minéraux primaires (Feldspaths - Micas) (6 Si 0_2 - Al $_2$ 0_3 - K $_2$ 0 - Na $_2$ 0) - 14 % de K par destruction du réseau.

Le potassium de certains minéraux secondaires (Illites - smectites) - 6 à 8 % de K.

Le potassium adsorbé à la surface des colloïdes argileux ou humiques (1 à 4 % de la CEC).

Le potassium soluble.

Il existe une forme intermédiaire entre le potassium adsorbé ou échangeable, et le potassium à l'intérieur des minéraux secondaires appelé potassium non échangeable, ou difficilement échangeable.

Il y a un équilibre permanent entre le potassium de ces différentes formes.

K minéraux primaires K minéraux secondaires K difficilement échangeable K échangeable K soluble

Les équilibres entre K difficilement échangeable, K échangeable et K soluble sont réversibles.

Potassium échangeable.

Le potassium échangeable est extrait du sol par l'acétate d'ammonium N à pH = 7.

C'est une forme en principe bien définie, dont la mesure est aisée et reproductible.

L'avantage de l'ion ammonium est d'atteindre rapidement l'extrac-

tion maximum de K y compris des sites spécifiques.

L'ion Na ne s'échange que progressivement et l'extraction n'est jamais terminée.

L'ion Mg ne sort que les formes d'adsorption les plus externes.

La méthode de VAN DER MAREL, pour la mesure du pouvoir de fixation en potassium, utilise une extraction à l'acétate de magnésium après enrichissement du sol au KCl - pr = Potassium extrait Potassium ajouté

Potassium échangeable et Potassium assimilable.

Le potassium échangeable ne représente pas la totalité du potassium qui peut être mis à la disposition des végétaux, mais cependant il est, pour de nombreux sols, la forme la plus aisément accessible pour les racines des plantes (après la forme soluble).

BLANCHET indique que dans des essais Neubauer, avec des plantules de blé (20 gr. de terre + 20 gr. de sable + 20 grains de blé + milieu nutritif sans K), Z5 % du K échangeable est prélevé à partir d'échantillons diversement enrichis. (Oranaly le K de plantule apre 21 foats)

Sites d'échange ordinaires - Sites préférentiels.

Le K échangeable est absorbé sur les sites d'échange ordinaires en équilibre avec la solution du sol, suivant une loi que nous étudierons plus loin (GAPON - SCHOFIELD - BECKETE)

Dans cet équilibre, le K est en compétition avec les autres cations basiques Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺.

Sites spécifiques.

Le potassium occupe aussi des sites spécifiques, où il peut être échangé contre l'Aluminium à l'état ionique.

Dans les sols très acides, l'aluminium diminue l'assimilabilité du potassium. Dans les sols alcalins, le calcium a la même fonction.

Potassium difficilement échangeable.

Fixation et libération du potassium.

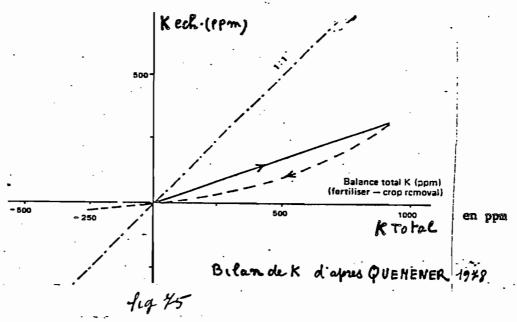
A côté de l'adsorption sur les sîtes d'échange, le potassium peut ... / ...

être affecté par un autre phénomène appelé "fixation" ou "rétrogradation".

Si du K soluble est ajouté au sol, et que la concentration en solution augmente, le potassium échangeable augmente jusqu'à un pourcentage de saturation maximum qui est caractéristique du sol donné et qui se situe aux environs de 4 % de la capacité d'échange.

Si la concentration de la solution diminue, et que le sol tend à :-s'appauvrir en K échangeable, le phénomène inverse intervient.

On constate une libération de potassium à partir des argiles. La libération est généralement plus lente que la fixation.



Facteurs influençant la rétrogradation et la libération du K.

La rétrogradation est nulle dans la Kaolinite, faible dans la Montmorillonite et très forte dans les argiles micacés gonflants comme l'Illite ou la Vermiculite.

Les sols formés à partir de roches calcaires contiennent souvent de 1'Illite, alors que les sols tropicaux acides sont constitués essentiellement de Kaolinite.

L'aluminium et l'ammonium ont la propriété de bloquer certains réseaux de l'argile, et stoppent la rétrogradation, sauf au voisinage de la neutralité.

Alternance de dessiccation et d'humectation.

Le séchage du sol, suivant une période d'humidification, facilite l'équilibre entre les couches internes et externes de l'argile.

Après enrichissement du sol en K, le séchage rend la fixation plus rapide, et après exportation de potassium, le séchage améliore la libération.

Quand le sol s'appauvrit après une culture intensive, le potàssitme non échangeable teud à se libérer.

La diminution du K échangeable, dosé avant et après la culture, est inférieure à l'exportation totale de K par les plantes. Si après une culture intense, il n'y a pas de période de repos du sol, la libération de K diminue, et une déficience peut-intervenir.

V.2. Méthodes de mesure des différentes formes du Potassium.

Potassium total et de réserve.

Le Potassium réellement total, comprenant les minéraux primaires, est déterminé par une attaque fluorhydrique-Perchlorique.—(éventuellement par une fusion aux métaborate de Strontium).

L'attaque triacide (sellurique, nitrique, chlorhydrique) ne donne que le potassium des minéraux secondaires ou altérés (le K des minéraux riches en silice est très résistant).

L'attaque nitrique simple, identique à celle utilisée pour le Phosphore total, peut définer une estimation des réserves agronomiques à long terme, le K extrait représente environ 75 % du K triacide (variable suivant la nature des minéraux). Les conditions d'attaque (Temps-Temper,) doivent être bien définies.

Des essais de plantes fourragères en Côte d'Ivoire ont montré (sous ce climat), que 5 % environ des réserves en K nitrique pouvaient être utilisées annuellement.

Potassium difficilement échangeable.

Méchode de BECKETT par électrodialyse.

BECKETT a séparé le potassium assimilable en trois groupes :

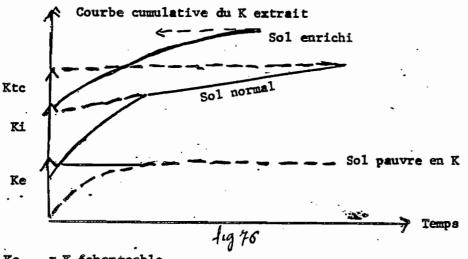
1°. Le Potassium échangeable.

- 2°. Le Potassium intermédiaire, se libérant rapidement après exportation du K échangeable.
- 3°. Le Potassium à taux constant, qui se libère plus lentement mais à vitesse constante à partir des feuillets internes des argiles.

dialyse.

L'électrodialyse est le passage d'ions K en solution à travers une membrane de cellulose, sous l'action d'un courant électrique.

La courbe suivante montre le K extrait en fonction du temps.



Ke * K échangeable

Ki = K intermédiaire

Ktc = K à taux constant

Dans un sol normal, l'extraction du K échangeable est immédiate; celle du K intermédiaire est assez rapide; celle du K à taux constant est plus lente et régulière.

Dans un sol pauvre, après extraction du K échangeable, la libération du K à taux constant est très lente.

Dans les sols enrichis, le K à taux constant est plus important.

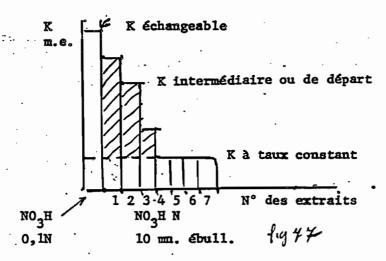
Methode de HYLOCK.

On effectue une première extraction par NO₂H O,1 N à froid qui

donne K échangeable.

Puis sur le culot, on effectue plusieurs extractions successives par NO₃H N à l'ébullition 10 mm. Après chaque extraction, on sépare le culot par centrifugation ou filtration.

On trace la courbe d'extraction du K en fonction des différents extraits



On peut calculer le K intermédiaire par la somme des quantités de K extraites, dont on retire le K à taux constant.

Le K à taux constant a été considéré comme une information empyrique pour le pouvoir de fourniture du K à long terme (METTSON - PRATT).

Cette valeur a été mise en corrélation avec le type d'argile et le

Le K intermédiaire intervient dans les épuisements à moyen terme.

Méthode du Tétraphényl Borate (QUEMENER) 1979

Le Tétraphényl Borate de Sodium (Na (TPB) donne un précipité insoluble avec le Potassium. Employé à la dose de 0,3 N dans Na Cl 1,7 N, il extrait du potassium échangeable et du K non échangeable. La corrélation avec l'exportation par les plantes est meilleure que celle obtenue avec l'acétate d'ammonium employé seul.

L'extraction peut être pratiquée sur une heure ou sur plusieurs semaines. Le dosage du K est difficile. On peut dissoudre la suspension dans l'ear et le chlorure d'ammonium à l'ébullition, et doser K en photométrie.

... / ...

Résine échangeuse d'ions.

Les résines cationiques sous leur forme H⁺ ont été utilisées; il y a d'assez grandes différences dans les modes opératoires, surtout les temps de contact sol/résine qui sont très variables -- 3 jours (SAIMON) et jusqu'à -- 43 jours.

résine (SALMON). Les résultats sont en corrélation avec le K prélevé par les plantes.

Les méthodes de mesure du K échangeable.

Méthode à l'acétate d'ammonium normal.

La méthode la plus courante est l'extrait à l'acétate d'ammonium normal à pH = 7.

Méthode avec des réactifs dilués. (Méthode de NASH).

Acétate d'ammonium très dilué 0.01 N sur 5 gr. de sol. On lessive en continu à la vitesse de 1 mf/mm et on analyse périodiquement l'extrait.

(Réactif de MORGAN)

Acétate de Na 10 % + acide acétique à 3 %.

Extraction sous pression à partir de la pâte saturée.

WOODRUFF (1955) extrait la solution du sol sous pression ou par centrifugation, ou par la méthode de l'extrait de saturation.

L'équilibre est assez difficile à obtenir.

La formule de WOODRUFF mesure le changement d'énergie libre dans une réaction d'échange des ions K⁺Ca⁺⁺ et Mg⁺⁺ au cours de l'équilibre sol/eau.

R = Constante des gaz parfaits

T = Temps absolu

Ln = Log népérien

C = Concentration proportionnelle aux activités des ions.

V.3. Equilibre Quantité/Intensité.

Rapport Q/I de BECKETT.

BECKETT a proposé la relation quantité/intensité basée sur l'é-

... / ...

BECKETT définit le ARK (Activity Ratio Potassium) dont la formule est la suivante :

Le rapport d'activité à l'équilibre (AReK) est obtenu par la courbe du rapport d'activité en fonction des variations du K échangeable K, au cours d'un équilibre entre le sol et des solutions contenant Ca Cl₂ 0.002 M et des proportions variables de KCl: 0.0002 à 0.002 M (0,2 à 2 millé moles).

On mesure A K après chaque équilibre, en dosant la concentration en potassium avant et après contact avec le sol.

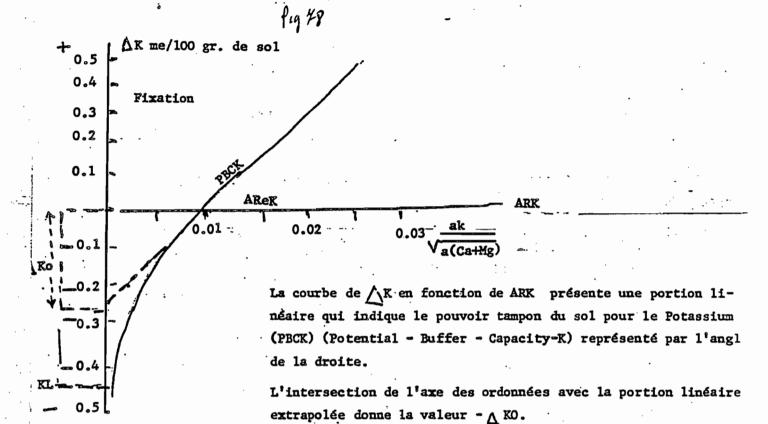
Si la solution s'appauvrit, Δ K est positif. Il y a enrichissement du sol.

Si la solution s'enrichit, LK est négatif. Il y a libération du K échangeable du sol.

- .2,5 gr. de sol sont agités dans 50 ml de solution de Ca Cl_2 0.002 M contenant (0 - 0,2 - 0,4 - 0,8 - 1,2 - 1,6 - 2 millimols de KCl).

Le sol est agité 12 Heures, centrifugé, passé à l'ultra-filtration pour éliminer toute trace de colloïde, et la solution est analysée par photométrie de flamme, pour K⁺ Ca⁺⁺ et Mg⁺⁺.

Une courbe est tracée représentant $\triangle K$ positif ou négatif en fonction du rapport K calculé d'après les équilibres après contacts avec le $\sqrt{\text{Ca} + \text{Mg}}$ sol.



AReX est obtenu par l'intersection avec l'axe horizontal.

La partie non linéaire de la courbe tend à rejoindre asymptotiquement l'axe vertical, et donne la valeur KL du Potassium labile, très proche de la valeur obtenue avec l'acétate d'ammonium.

La différence de KL et \(KO_9\) correspond aux sites d'échange spécifiques du K aisément extractibles.

entre K - Ca - Mg correspondant à la loi de CAPON.

Réfantition des différents paramètres de BECKETT.

Les valeurs KO AReKPBCK correspondent à des constantes physico-chimiques du sol en équilibre avec les solutions et sont en relation avec l'exportation du K par les plantes, dans des cultures en serres et en pot Des relations plus lâches peuvent être établies avec les résultats aux champs.

Action de l'aluminium.

Dans le cas de sols très acides contenant Al échangeable, ARK devien $ARK_{\nu} = \underbrace{\frac{a \quad (K)}{\sqrt{a \quad (Ca + Mg)} + \sqrt{3} \quad a \quad (Al)}}_{ARK}$

La présence de l'aluminium en solution diminue fortement l'assimilabilité du potassium.

... / ...

Dans les sols relativement riches en K, les valeurs (\(\lambda \) KO) et (A R e K) sont en corrélation avec le prélèvement en K par les plantes et avec les rendements (ADDISCOTT et TALEBUDEEN - 1969).

Dans les essais en serre A R e K est en corrélation avec l'exportation de la première coupe de plante test après 28 jours.

Dans des sols plus pauvres comme les sols tropicaux, il n'y a qu'une faible corrélation entre les rendements et (A.R. e.K.), mais on peut trouver une corrélation entre l'exportation et K et (P B C K).

Cette corrélation est améliorée en associant A R e K et P B C K;

elle augmente avec les coupes successives (de la Tère à la 7ème) dans des expérienses en serres (FARINA - NATAL, 1921).

Dans des essais d'épuisement avec le blé (6 cycles de 21 jours)

(FERGENBAUNT S. et HAGIN J., 1962) trouvent une relation linéaire avec le AF

de WOODRUFF

$$\triangle F = RT \ln \frac{\int K \int}{\sqrt{\int Ca + Mg}}$$

K extrait par les plantes

de 🛕 F

Réserves en K non échangeable.

Après l'exportation de K labile du sol, il y a une libération de K non échangeable qui rend à redonner l'équilibre K du sol. La première libération est assez rapide, et provient du pool ce intermédiaire puis dans un second temps, la libération est plus lente, le potassium provient des feuillets de l'argile ou des minéraux (Illite; micas).

Dans la méthode de HAYLOCK, le K intermédiaire est en ralation avec le K difficilement échangeable des essais en pots.

FARINA a montré que le K intermédiaire HYLOCK montrait une corrélation croissante en fonction des coupes successives de la 2ème à la 7ème. Le chaulage bloque Al sous forme insoluble et ramène au problème pré cédent.

V.A. Méthodes par cultures en pots.

Les méthodes en pots sont des tests d'exportation, maximum du potassium par les plantes, en utilisant des épuisements par des plantes test.

Les pots sont généralement de petite dimension, concenant de 100 à 1000 ml de capacité. Le sol est souvent mélangé avec du sable pour faciliter 1'enracinement qui doit être très dense.

Test de NEUBAUER.

Un test ancien est celui de NEUBAUER.

50 gr de terre + 50 gr de sable + 50 graines de blé.

On ajoute au sol une solution nutritive complète ne comportant pas de K; après 21 jours de culture on recueille les plantes et les racines après lavage du sol on analyse le K des cendres

K assimilable = $\frac{K \text{ (plante + racines)} - K \text{ graines}}{50 \text{ gr de sol}}$

Test par épuisement.

100 gr. de terre (tamisée 2 mm) est mélangée avec 100 gr. de sable (lavé aux acides et à 1 eau).

Dans un pot de 500 ml on verse successivement 100 gr de graviers de quartz + 200 gr du mélange terre + sable.

On peut utiliser des graines de mals ou de Soudan grass (Sorghum vulg) ou de Raygrass. On met un ou deux grains par cm2 ou plus en fonction de la dimension des grains. On ajoute une solution complète (NP Ca Mg oligo-éléments) privée de K. Tous les 30 jours, on pratique une coupe du végétal.

Dans le cas des Graminées à coupes successives (Ray-Grass - Aragrostis), on peut pratiquer jusqu'à 6 coupes successives si la culture est bien menée (il faut éviter une détérioration progressive de la culture, liée principalement au problème de l'arrosage si possible par le bas). Les plantes sont séchées et analysées (K exporté total).

On détermine K échangeable du sol avant culture et après le dernier épuisement.

On détermine le potassium difficilement échangeable.

K difficilement échangeable = Exportation totale K - (K échangeable

avant culture - K-échangeable-après culture).

(Méthode de STANFORD-de MENT)

Cette méthode a été très utilisée à la S.C.P.A. (QUEMENER).

On sème une culture d'orge, ou éventuellement de graminée à coupes successives, dans un pot en plastique sans fond posé sur

nutritif privé de K, au bout de 14 jours les plantules ont absorbé la solution et vécu sur leurs réserves en potassium.



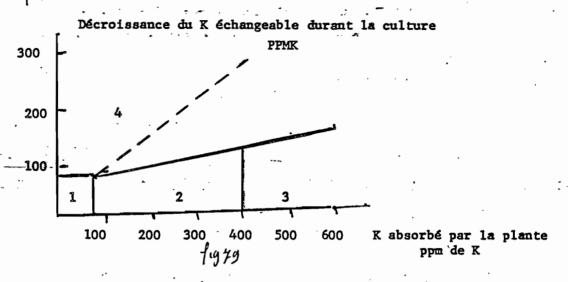
On transporte alors 1 ensemble plantules + support + racines sur un autre bac contenant la terre à analyser



Ce second post peut contenir 50 gr. de terre, ou un mélange 50 gr. de terre + 50 gr. de sable, et arrosé convenablement avec de 1ºeau distillée.

Les plantules continuent à se développer à partir des réserves nutritives du premier support, et les racines <u>puisent le potassium</u> dans le second pot rempli de la terre à analyser.

On laisse les plantules se développer 20 jours (l'expérience totale dure 34 jours) et on <u>analyse le K exporté</u>. De même, on dose le K échangeable du sol avant et après culture.

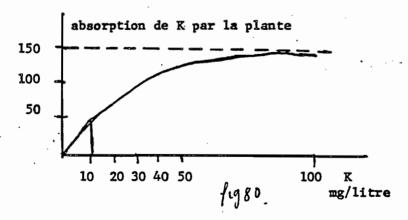


Le graphique représentant la décroissance du K échangeable en fonction de l'exportation peut être divisé en plusieurs secteurs :

- 1. Forte réponse (sol pauvre et peu fixateur).
- 2. Réponse incertaine (sol moyennement riche et peu fixateur).
- 3. Réponse faible (sol riche et peu fixateur).
- 4. Réponse probable (soi movement riche mais à fort pouvoir de rétrogradation.

V. s. Signification agronomique des différents tests.

K en solution et K dans le sol



L'absorption du potassium par la plante en culture hydroponique (coulante) croît en fonc tion de la concentration de la solution en K. L'augmentation est linéaire jusqu'à 10 mg/l puis décroît.

- Dans des essais Neubauer diversement enrichis, les quantités de K absorbé varient de 16 à 250 ppm soit 75 % du K échangeable.

L'absorption augmente avec l'accroissement de concentration de la s

184

ilution du sol, mais à concentration égale, la nutrition dans le sol est moins intense qu'en solution.

Il semble que dans le sol la présence des autres ions en équilibre avec la phase solide diminue l'absorption de K.

Dans des sols fortement cultivés Blanchet trouve une corrélation as lâche entre le K échangeable et la réponse des plantes à la fumure potassique Cette corrélation est fortement améliorée si l'on utilise les relations $\frac{K}{T}$ ou $\frac{K}{T}$ (échangeables).

L'absorption dépend donc de la densité de K par rapport aux autres cations qui ont une action antagoniste.

Dans-cet ordre d'idée, les normes d'interprétation du K échangeable sont déterminées à 1°I.N.R.A. ou à la S.C.P.A. en fonction du taux d'argile ou en fonction de la ĈEC.

Interprétation du K échangeable.

Dans les sols de FRANCE. La Station agronomique de LAON indique une teneur normale qui varie de 0,15 à 0,3 %. de Kopour des taux d'argile variant 10 à 40 %.

La S.C.P.A. indique une valeur moyenne de 0,2 à 0,4 °/ $_{\circ}$ en K_2^0 pour une capacité d'échange variant de 10 me à 25 me p. 100 gr. (en me de K environ 4 % de 1a CEC).

V.6. Exemples de teneurs en potassium dans les sols tropicaux.

De nombreux sols tropicaux, surtout en climat humide (plus de 1200m de pluie annuelle) sont très appauvris en K échangeable/

L'argile kaolinique to contient pas-de réserves en K non échangeable.

... / ...

Les réserves des minéraux primaires sont souvent à grande profondeur. Lorsqu'il existe du potassium de réserve (par exemple extrait par NO3H concentré et bouillant), il ne se libère que lentement.

Dans des cultures fourragères de Basse Côte d'Ivoire, on a prélevé jusqu'à 5 % de la réserve totale en K.

Cependant, le K total de réserve peut surtout permettre la prévision de la fertilité à long terme. La fertilité annuelle est fonction du K échangeable.

Interprétation du K échangeable.

Pour les cultures de caféier en RCA, FORESTIER (1965) fournit les valeurs suivantes en fonction du taux de A + L.

A + L %	10 %	30	55	85
Teneur moyenne	0,1	0,18	0,4	.0,65
Sol carence	0,05	0,1	0,28	0,32

Teneurs en K en m.e. p. 100 gt: Tal 19

Ces valeurs ont été confirmées dans d'autres régions de climat comparable. On peut les appliquer pour d'autres plantes telles que le palmier à huile, l'Hévés ou des plantes vivrières.

Dans le cas de la canne à sucre qui est très exigeante en K, la te neur en K échangeable doit être supérieure à 2 % de la somme des bases S, et la valeur minimum ne doit pas être inférieure à 0,1 me/100 gr

pour un sol où S = 10 m.e. - K = 0,2 m.c.

Cette norme peut s'appliquer à de nombreuses cultures (Bananier, Cacaoyer, etc...).

Equilibre K - Ca - Mg.

Dans le cas du Caféier, il y a déficience en Magnésium si Mg/K inférieur à 2, si K = 0,15 m.é., Mg doit être supérieur à 0,3 m.é.pour evite la cancer

Dans le cas du Bananier, le rapport Mg/K doit être supérieur à 3; au dessursil y a une maladie, le "Bleu du Bananier", causé par la carence en Mg.,

... / ...

de même pour le cotonnier.

Si $\frac{Mg}{K}$ < 3 des apports d'engrais potassiques diminuent les rendements Inversement, si $\frac{Mg}{K}$ > 50 il y aura exence en potassium.

Dans les sols argileux à montmorillonite des Antilles Ca + Mg peut atteindre 50 m.é./100 gr.

Si le K échangeable est inférieur à 1 m.é., il se produit une maladie du Bananier "le degrain" dû à une carence en potassium/

L'excès d'eau peut nuire à l'absorption du K ou du Mg.

V.7. Apports d'engrais potassiques.

Pour des cultures arbustiles comme le palmier à huile, 1 Kg de C1K par pied, & fact passer le rendement en huile de 350 Kg à plus de 2.000 Kg/Ha.

La culture de caféier, de cacaoyer, etc ... bénéficient de l'apport d'engrais potassiques. De même des plantes vivrières, Maïs, Igname.

Les apports d'engrais potassiques doivent être fractionnés en deux ou 3 fois.

Problème du Riz.

Les rizières installées en sols argileux, et récemment mis en culture sont rarement carencés en K.

De très vieux sols de rizière peuvent présenter des carences en K..

Prélèvement du potassium par les plantes.

.NYE et TUKER donnent en formule suivante.

- . Vitesse relative de croissance des plantes = R
- . Absorption moyenne par unité de longueur de racine I
- . Poids total de la plante = W
- . Longueur des racines = L
- . Pourcentage d'élément nutritif moyen P

$$P = \frac{I}{R} \times \frac{L}{W}$$

L'exportation est proportionnelle à la longueur des racines, et le pourcentage d'élément est en raison inverse de la vitesse de croissance et du

poids du végétal.

Certains végétaux comme le Tabac doivent avoir une teneur importante en K dans les feuilles à maturité (4 %). Tout ce qui s'oppose au développement racinaire diminue la teneur en K dans la feuille.

Cas particulier de sols très fixateurs.

Certains sols riches en Illite (50 % du taux d'argile) ont des pouvoirs fixateurs très élevés pour K (Sols sur calcaires du Moyen Orient).

Des apports très importante d'engrais potassiques n'améliorent pas quantitativement et qualificativement les cultures.

Jusqu'à K \geqslant à 8% de CEC, le sol montre une déficience.

L'acétate d'ammonium extrait 2 fois plus de K que l'acétate de magne sium.

Le sol peut être amélioré par l'apport de matières organiques et d'engrais phosphatés (amélioration de l'enracinement, libération de H et K solubles). L'azote doit être apporté sous forme de $SO_L^{-1}(NH_L)_2$.

Van der Marcl. Soil Sci. 78, 108 (1954)

Dechett. P.H.T. Studies of Soil Potassum. II The immediate

9/I relations of label Potassum in The Soil.

y. Soil Sci. 15-9-23 (1964)

Guernener y. (1949) The Measurement of Soil Potassium 3 voltut when national de la Potasse I. P. I Berne - No 4 - 48 L.

Hylock O.F. A Method for estimating the availability
of non eschangeable potassuim
Proc- 6th wt. cong. Soil. See I, 1, 403 (1956)

Salmon R.C. Release of non-exchangeable potassum from some Rhodesian Soil croffed with grass- y. agr. Sci. Camb. 15, 135 (1985-

Nash V.E. 1971 potassum release characteristies of some Soils on The ministraction of some Soils on The ministraction of some Soils on The agents. Soil Sci-Yal. 111. no 5, May 1971

Pratt P.F (1965) "Potassum" in "Method of Soil Analysis"

Madison Wisconsin An. Soc of Agro. -1072-1030 (1975-

De Ment 9.0; Stanford. a. Bradfort B.W (1959) Amethod for measuring Short Term nutrient-absorption by plant potassium Borl Sa. Soc Amer Proc 23-47-50 (1959)

Tunker P.B. Studies of Soil potassum. IN Equilibrium cation activity
ratios and responses to potassum ferligger of Nigerian oil Palms.

4. Soil Sci 15, 35, 1984

Woodruff (.4. The energies of replacement of calcuim by potassum in Soil's Soil Sci Soi Amer Proc · 19, 16x-121 (1955) 1) Addis-cott T.H. 4 talibu cleen p (1989) - The bufferung capacity of potassium reserves in Soils · Potash · Review · (Bern)

Chammadi R. E Vudi: des Careures mourales du Sol for l'experimentation en petits Vases de Vegetation. Saidu Sol no 2 (1964)

Farma 4.P. (1920) Fertility Studies of the Rafor soil Series in Natal

Potassium availability in Six depth more ment of Avalon

medium SandyLoam.

Land boum Vor Sing A greathural Plansearch.

192.1 Final Resert

Hagin g. Feigen haum S (1958) Estimation of available potassium reserves in Sil - Potanium Symp. - 7, 919

2 Blanchet R. (1959) Energie d'absorption des vois mineraire par le colloicles
du Set et nutrition minerale des plants

Ann Agro. -10 not, 5-53 902, -115-149 203, 167.

åème PARTIE

LES METHODES D'ANALYSE DES SOLS SALES

I - Rappel des caractéristiques des sols salés.

Rappel des principaux cations et anions des sols salés. Les sols salés contiennent des cations et anions à l'état soluble.

Cotions No K Ca Mg ++

Anions Cl So = Co = Co H

Accessoirement des nitrates et des phosphates. Les Borates Bo_q≡ peuvent s'accumuler en sols alcalins.

Rappel des définitions.

Sols salins. Sols salin, à alcalis Sols à alcalis.

Sols Salins : (Solontchaks des Russes).

contiennent beaucoup de sels solubles.

La conductivité de l'extrait de pâte saturée est supérieure à 4 m mhos cm.

Le rapport Na ech./T est inférieur à 15 %

Le pH est inférieur à 8,5.

On rencontre des sels solubles : chlorures, sulfates, bicarbonates.

Les colloïdes sont floculés.

Les sels solubles peuvent se concentrer en surface sous forme d'efflorescences blanches. C'est le salant blanc.

Sols solins à alcalis :

La conductivité électrique est supérieure à 4 m mhos cm Le rapport Na/T est supérieur à 15 % (de 10 à 30 %) Le pH est supérieur à 8,5. Les colloïdes demeurent floculés.

Les sols à alcalis non salés (Sclonetz) :

Le rapport Na/T est supérieur à 15 % (de 10 à 30 %). La conductivité électrique est **\$V**érieure à 4 m mhos. Le pH est supérieur à 8,5 et peut atteindre 10.

C'est principalement la structure dégradée qui définit les Solonetz. Les colloïdes sont dispersés. L'humug peut être solubilisé par la solution alcaline du sol. Ces solutions peuvent se concentrer en surface et former une croûte noire. C'est le salant noir.

Lorsque le sol a alcalis a été soumis à un phénomène de lessivage, l'argile peut être entraînéren profondeur, il y a formation d'horizon A₂ et B. C'est le Solonetz-Solodisé.

II - Mode d'accumulation et de migration des sels dans les sols.

Le point de départ est l'accumulation de sels solubles par remontée capillaire. C'est le sol salin.

Les sels de sodium dominent car ils sont les plus solubles, en particulier les chlorures, les sels de Ca et Mg s'accumulent plus lentement surtout s'il s'agit de sulfates et de carbonates.

On peut avoir plusieurs niveaux d'accumulation :

Dans la partie inférieure du sol proche de la nappe, le contact de carbonate de soude et d'argile calcique provoque la précipitation de carbonate de calcium - Co₃Ca.

Argile Ca +
$$Co_3Na_2$$
 Argile Na + Co_3Ca .

Le sulfate de sodium est un peu plus mobile car le sulfate de calcium précipite au delà d'une concentration de 2g litre

Argile Ca +
$$So_4Na_2$$
 Argile Na + So_4Ca .

A partir de la profondeur, vers la surface on trouve :

L'accumulation de calcaire,

l'accumulation de gypse,

l'accumulation de chlorure en surface.

L'alcalinisation du sol peut se faire également à partir-des chlorures mais la proportion de Na doit dépasser 50 % des cations en solution.

$$\frac{Na}{S}$$
 % > 50 % ou encore $\frac{Na}{Ca}$ > 1

L'équilibre Sol/solution obéit à la loi de Gapon.

Richards de Riverside (USA) définit le S.A.R. (sodium absorption ratio):

S.A.R. =
$$\frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca+Mg}{2}}}$$
 (extrait saturé)

Le SAR est en rapport avec le % de Na dans le complexe ESP (exchangeable sodium percentage) :

$$\frac{Na}{T}$$
 ou ESP = $\frac{100 \times (-0.0126 + 0.01475 \text{ SAR})}{1 + (-0.0126 + 0.01475 \text{ SAR})}$

Cette relation est valable même pour un rapport sol/eau variable.

Pen le trucs: ESE = 0.988 SAR - 061 - empyrique.

Le prusq. Cufaile SAR of partials molalitée, a partir disactivits données per l'implieur d'instructions de partir de la partir de la partir de la partir de activité sont plus fix l'est activitée aufficient d'intrunction de la solinité.

III - Méthodes de mesure de la solinité.

(1)

Extrait à l'eau.

Les sels solubles sont dissous par équilibre du sol et d'eau démintralisée avec des rapport variobles sal/eau.

Pâte saturée.

Se rapproche le plus de la solution du sol.

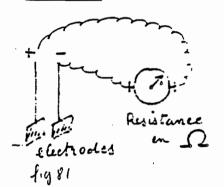
200 g de sol auquel on rajoute de l'eau jusqu'au point de liquidité, on arrête lorsque le sol constitue une pâte fluide (un fente se referme spontanément). La surface doit être brillante sans eau libre 'en surface ou dans les cavités.

On laisse gonfler 12 heures on complète jusqu'à saturation finale, on extrait le liquide libre, par succion sous vide.

On peut extraire environ 30 ml de liquide.

butanon de Buchnez On mesure la conductivité électrique avec un conductivimètre.

Vide



La cellule de conductivité comprend deux électrodes de platine de 1cm2 de surface distantes de 1 cm.

La mesure se fait à 25°, et il y a un système de correction de température. La cellule a un coefficient pour calculer la résistance en ohms.

La conductivité est l'inverse de la résistivité

L'unité est le mho ou Siemen

quide exercat

l'unité est le mille mho = mho 10^{-3} ms ou le micro mho = mho 10^{-6} /25

Table de conductivité d'après Riverside.

Sel en % .Extrait saturé	Cond. L m mhos	Effet sur les plantes
0,1 0,3 0,5	0 - 2 2 - 4 4 - 8 8 - 16 > 16	 non salé peu salé modérement salé. Effet sur de nombreuses plantes sauf luzerne, coton, betteraves, céréales résistantes. fortement salé. Peu de plantes résistantes. très fortement salé. Flore spécifique.
		Salicornia. Sueda.

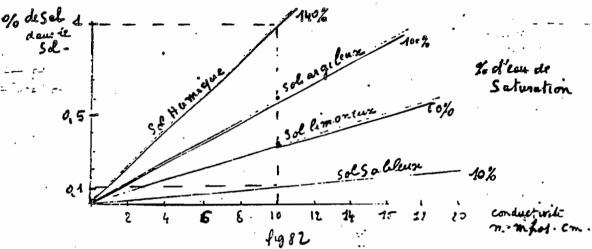
QUELQUES CARACTERISTIQUES DU SOL OBTENUS A PARTIR DE L (conductivité).

Milli-équivalent de sel par litre : 12,5 L m mhos cm.

ppm de sel en solution : 640 L % de sel en solution : 0.064 L

% de sel dans le sol : 0,064 L x % eau de la pate saturée

pression osmotique en atm : 0,36 L



Le sel en % du poids de sol sec varie pour une même conductivité, en fonction du taux de colloïde, donc de la porosité totale refletant l'humidité.

EXTRAIT %

100 g de sal sont agité dans 200 ml d'eau. Le sol est séparé du liquide par centrifugation. On mesure la conductivité électrique de l'extrait. Dans un sol ne contenant pas des quantités trop fortes de gypse. Il y a une relation entre : L extr. saturé et L extrait ½.

L extr. saturé = L extrait
$$\frac{200}{\%}$$
 eau de la pate saturée

On peut déterminer l'humidité de la pate sur un petit échantillon séparé de 20 g. L'extraction ½ est plus constante, elle dissout mieux les carbonates, elle dissout un peu plus de sulfates que la pâte saturée. Le Sodium échangeable n'est pas hydrolysé.

EXTRAIT 1/5 et 1/10.

Extraits dilués pour obtenir les sels totaux dans le cas des sols moyennement salés. Il y a une forte hydrolyse de Na échangeable, une partie du calcium échangeable est déplacé ; il se forme du sulfate de sodium soluble.

METHODE D'ANALYSE (SSC BONDY) POUR LES SELS SOLUBLES. LES BASES ECHANGEABLES. LA CAPACITE ET ECHANGE.

Dans les sols salés, gypseux, calcaires

Dosage des anians :

 $Co_3 = Co_3H^*$ = Méthode acidimétrique (Titrimétrie)

Cl = Méthode chlorométrique

Nitrate d'argent électrode d'argent (Titrimétrie)

elemente to suspension d'argele

Colorimétrie du Thiocyanate mercurique

So⁴⁼ = Turbidimétrie du So⁴ Ba (ou gravimétrie)

Dosage des cations :

Ca⁺⁺ = Photométrie de flomme, d'émission ou d'absorption atomique. Mg⁺⁺

a = Les extraits sont purifiés par filtration millipore puro

- 2) Mesure du complexe obsorbant.
 - % Elimination des chlorures.

Lavage du sol à l'alcool éthylique avec contrôle de la conducti-

vité électrique. L < 40 micro mhos.

Mise à sec des extraits. Reprise à l'eau Dosage des chlorures (So⁴⁼ - Co₂H⁻)

de Na, Ca; Mg, K.

On retrouve les chlorures de l'extrait ½

. ., Les sulfates et carbonates sont très peu dissous.

21 - Extraction du sodium échangeable et des sulfates totoux.

Sur le culot du lavage alcool extrait par NH4 Cl N à pH = 7

Dosage de Na – Dosage de K. Na échangeable = Na (NH4 Cl) + Na (alcool) – Na (extrait ½) Dosage de So 4 = sulfates totaux So 4 Ca + So 4 Na 2 + So 4 Mg K échangeable = K(NH4 Cl) + K(alcool) – K(extrait ½)

1.3 - Extraction de Ca et Mg échangeables.

Extraction par $\underline{\text{CH}^3 \text{ Co}^2 \text{ Na}}$ à pH = 8,2 sur sol préalablement lavé à l'alcool.

Sur l'extrait ou dose So⁴ (faible) Co₂H (très faible)

De même : Ca⁺⁺ Mg⁺⁺ K⁺

Ce qui donne : Ca⁺⁺ et Mg⁺⁺ échangeables (ou retranche So⁴ et Co₃=) et K échangeable.

La CEC peut être déterminée par la méthode au $CaCl^2$, en dosant Co_3 et So^{4} dans l'extrait No_3K (1).

(1) On peut éliminer l'excès d'acétate de Na du culot du sol par un nouveau lavage à l'alcool. Na est extrait por un mélange Cl Ca - ClK et dosé en photométrie de flamme danne la CEC.

IV - Conséquences agronomiques de la salinité et de l'alcalinité.

Destruction de la structure.

Lorsque le sol est salé et alcalisé, le lessivage du sol provoque un gonflement des colloïdes et une perte de perméabilité. Dans les sols à alcalis le lessivage du Na⁺ provoque son remplacement par H⁺. Il se développe une légère acidité mais la structure demeure instable.

Lorsque le sol contient naturellement du Gypse et du carbonaté de Ca, le lessivage par l'eau provoque le remplacement de Na+ par Ca++ et l'on peut revenir à un sol normal.

La matière organique et les engrais acides favorisent le lessivage:

Action directe sur les plantes.

Dans le cas des sols salins c'est la très forte pression osmotique des solutions du sol qui provoque la toxicité.

C'est donc la concentration de la solution, plus que le pourcentage en poids de sel, qui agit.

Dans les sols à alcalis, la combinaison des ions Na⁺ et du pH élevé a une action toxique. Les racines peuvent être dissoutes dans les solutions alcalines. Il y a en plus une action de la perte de structure qui amène une compocité et un manque d'oération excessifs.

Les sols à texture grossière sont moins affectés par l'alcalinité que les sols à texture fine. Par contre, c'est l'inverse pour les effets nocifs de la salinité; les sols sableux sont d'avantage affectés.

Régénération du sol. Test rapide d'alcalinité.

Si l'on prend le pH d'une solution 1/5 et de la pâte saturée :

On observe une différence plus ou moins grande entre les deux

Si différence faible = sol faiblement alcalin

Si différence forte = le sodium s'hydrolyse dans l'extrait 1/5 et provoque une forte augmentation de pH Le sol est fortement alcalin.

Besoins en gypse.

mesures :

Si le sol ne contient pas de gypse ou de calcaire, on peut rajouter du gypse pour l'améliorer.

On met une quantité connue de sol ; en contact avec une solution connue (presque saturée) de sulfate de calcium ; en excès - on dose Ca++ avant et après contact, et aussi Mg++.

La perte de Ca++ par la solution, non compensée par un gain de Mg⁺⁺ mesure directement le besoin en gypse du sol. (c'est à dire pour remplacer Na⁺).

Méthodes pratiques de régénération du sol.

Lessivage des sels.

Si le sol peut se drainer en quelques semaines sur environ 1 m il peut être régénéré.

On détermine la quantité de sel dans la couche explorée par les racines

Soit S1 la quantité initiale de sel en tonnes ha

So la quantité résiduelle que l'on désire atteindre

F la capacité de rétention pour l'eau

K un coefficient empyrique (texture - composition du sel)
 (K environ 1,67)

Qa = l'eau de lessivage en m3 ha La formule de Panin est la suivante :

 $Qa = 2,3 \text{ KF Log } \frac{Si}{50}$

Une formule plus simple est celle de Kovda.

Y = n 400 - x

Y = quantité d'eau en mm (pour le lessivage)

x = quantité moyenne de sel en pourcentage

n = coefficient de perméabilité qui varie de 0,5 à 2.

Calcul des quantités d'amendement :

La quantité totale d'amendement en Æ ha peut être calculée de la façon suivante :

20 NA

N = nombre de milli équivalents de Na⁺ pour 100g de sol.

A = nombre de g d'amendement calcaire ou de gypse pour fournir 1 m.e. de Ca soluble.

La formule est basée sur 2000 £ de terre ha

La quantité de Na⁺ peut être réduite à 10 % de T plutôt que supprimée totalement.

- a) le calcaire est utilisé dans les sols à galcalis dégradés, légèrement acides.
- b) dans les sols calcaires et alcalins, la matière organique améliore le lessiyage, en particulier elle accroit la teneur en (Co3H)₂Ca soluble qui élimine Na échangeable.
 - c) dans les sols gypseux la matière organique peut être dangereuse.

$$So^4Ca + 2 CHO \rightarrow 2Co^2 + SH_2 + Ca(OH)_2$$

en milieu alcalin et mal drainé, il peut y avoir <u>sulfato-réduction</u> avec production de SH₂ toxique.

De même en milieu acide (sols sulfates acides, hydromorphes) la présence de fer et l'oxydation réduit la toxicité. Formation de Pyrite (SFe) et de Jarosite (So Fe)

- d) Dans les sols alcalins riches en calcaire, on peut dissoudre ce dernier par l'acide sulfurique dilué.
- e) Dans les sol à alcalis non calcaires et non acides, le gypse donne de bons résultats.

Analyse des eaux d'irrigation :

On détermine sa conductivité électrique. Le pourcentage Na somme des cations

Le Bore. Le carbonate résiduel : (Co₃= + Co_{3H}-)-(Ca⁺⁺ + Mg⁺⁺)

Conductivité m. mhos	<u>Na</u> %	В	Co ₃ No ² résiduel ml/l	Qualité de l'eau	Con& g. 1.
<0,75	∠ 50	0,3-1	<pre>\$\langle 1,25 \$\langle 1,25 1,25-2,5 \$\rangle 2,5\$</pre>	Très ban	0,45
0,75-2	50-65	0,7-2		Admissible	-1,2
2-3	65-92	1-3		Douteux	1,9
> 3	> 92	1,2-3,8		Impropre	>1,9

escemple de Sol Gale de Turisce (Aoualet mohammed) 1992 fig ()

Comparaison des esctrents

Saturi 1 1 5 50

Dansle cas cle 1 Nat = Cl = Un'ya par hyolwhyse.

Sour model cahun

de l'equelles Sol/Solution

Dans le cas de 1 et 1/10 Na>Cl- Hydrolyse de Na

Sof> catt

une partre de Sot est le ci Na + dy a echange sur le comptere ente Cattet Na "

La denslution de SOY augment avec la deletion la denslutain de CP-Mgtet Kt 4+ contante CO3 H- est maximum dans l'estrant 1

F	Conductivité micromhos em a 25° /6.5.					
apport Sol lution -		peusali	sale'	fartement sale	Tres fortenent Sale	
1/5		500	1000	2000	4000	
1 10		250	500	1000	2000	

m. e. de sel

50

25

100

200

Tale 32

----____× (Cu)#⊤ Avualeh mohamed

1972 .

Etude comparative de pluseurs methods d'unalifse de Sols Sals', cal caux, Cypseux.

Raffort 4 ª anne 35 TOM . Done 0 0 05 TOH 99 P

US Salundy laboratory-Staff (Richards L.A.) 1954 Diagnosis and unprovement of Salun and alcali Sois

Agr. Handbook no 60 1eed. 1954

usqly-4) 1912. Le concept d'Activité consque en Solution a queuse. et se asplications à l'étude de sols sales

3 parkes (31.p. 12.p. 20p)
Roneo ORSTON' DAKAR.

DES ENGRAIS

1°) Détermination des quantités de fertilisants

La fertilisation minérale dépend des besoins des végétaux pour un rendement donné. Ces besoins sont fonction de la composition de la plante et de son poids sec.

Composition moyenne des végétaux Z en mat. sèche

Eléments majeurs %	O C H N K P Ca Mg Fe	43 40-50 6-7 1-3 0,1-3 0,05-1 0,5-3,5 0,03-0,8 0,04-1,3	
Oligó éléments en ppm	C1- Mn Cu Zn B M0	200 ppm 25-63 18-36 12-23 2-80 2,4-4,3	

Exportations totales des différentes cultures (indépendantes des restitutions éventuelles)

	Rendement(T.ha)	N(K. ha)	P ₂ 0 ₅ (K. ha)	K ₂ 0(K. ha)	Kilo ha
Blé	3,2	105	. 60	120	
Betterave'	40	165	73	250	
Pomme de terre	30	150	56 [*]	270	
Maīs grain	5	125	80	100	• •
Riz	4,4	58	18	67	•
Arachide	2,7	80	. 22	54	
Palmier à huil	e 2 .	116	49	187	
Bananier	30	280	70	625	
Cotonnier	1	7 5	30	78	

Tal 34

Les fumures minérales doivent être basées sur ces exportations, mais ce n'est pas le seul élément du calcul

Le passif dépend 1) des exportations

2) des pertes eventuelles :
 par lessivage
 par évaporation
 par fixation à l'état insoluble

L!actif

est constitué par :

- l'apport d'engrais
- par les éléments <u>préexistants</u> dans le sol à l'<u>état soluble</u> et en particulier les reliquats des fumures précédentes
- par les éléments qui peuvent être mis à la disposition des plantes au cours de la période culturale:

Minéralisation des matières organiques
résidus de récoltes
matières humiques

<u>Libération</u> de certains éléments minéraux fixes par le sol, phosphore, potassium etc...

- <u>Le principe de la fertilisation consiste à équilibrer</u> actif et passif
 - Certains éléments du bilan sont faciles à connaître

"Exportations Apports d'engrais ou résidus

D'autres peuvent l'être par l'analyse

• Eléments solubles Reliquats de fumure •

Ces éléments sont de préférence analysés sur 1 m de profondeur.

- En ce qui concerne la capacité du sol à fournir des éléments à long terme, on ne peut le déterminer que par des essais aux champs, ou en cases lysimétriques, ces apports peuvent être variables suivant les conditions climatiques, de même que les pertes.
- Des essais réalisés avec des éléments marqués 15N 32P etc permettent de mieux séparer les éléments apportés de ceux préexistants dans le sol.
- Enfin les différents engrais ont un <u>coefficient d'utilisation</u>, c'est à dire le rapport entre l'élément absorbé par la plante, et l'élément apporté au sol. CV % élément absorbé

élément apporté

LOIS GENERALES DE LA FERTILISATION .

La fertilisation est basée sur les lois de l'alimentation des végétaux.

En ce qui concerne les plantes supérieures, seuls les éléments minéraux N. P. K. Ca. Mg etc sont puisés dans le sol, les constituants carbonés sont synthétisés à partir du CO₂ de l'atmosphère (fonction chlorophyllienne).

L'utilisation de l'azote de l'air ne se fait que par l'intermédiaire de microorganismes fixateurs (non symbiotiques-symbiotiques)

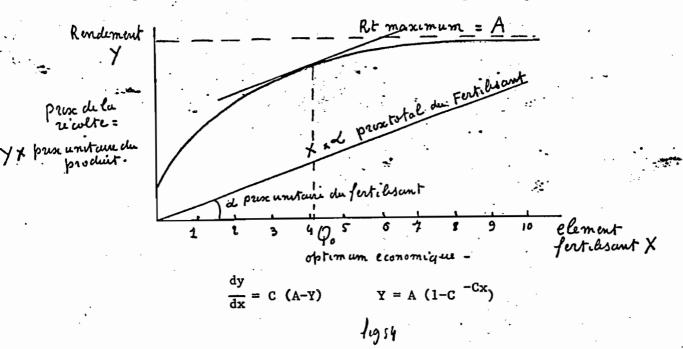
Loi d'utilisation des éléments minéraux

1°) Loi du minimum ou de Liébig

Si l'un des éléments nécessaires à l'alimentation des plantes, vient à manquer, l'action de tous les autres est compromise. C'est l'élément qui est au minimum qui conditionne la croissance des plantes, on l'appelle l'élément ou facteur "limitant".

2°) Loi des accroissements moins que proportionnels ou loi de Mitscherlich

Si l'on fait varier un facteur de croissance en laissant constant tous les autres, à des accroissements égaux de ce facteur correspondant des augmentations de rendement de plus en plus faibles.



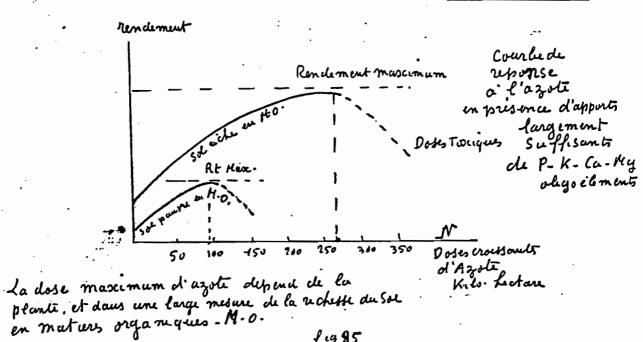
Les premières doses d'engrais donnent des accroissements importants de rendement, puis les dernières doses pour obtenir le rendement maximum A, sont les moins efficaces.

Compte tenu du prix des engrais, il y a une dose optimum du point de vue économique. Q, La valeur Y est exprimée en valeur monétaire (prix unitaire de la récolte X rendement, prix unitaire de l'engrais X quantité) la courbe de Mitscherlich permet le calcul économique de la dose optimum. La quantité optimum Q₀ est donnée par la tengente à la courbe, parallèle à la fonction linéaire du prix des engrais.

TE DETERMINATION PRATIQUE DE LA FUMURE

C'est l'azote qui est le principal facteur de croissance des plantes. L'azote ammoniacal ou nitrique est à la base de la synthèse des protéines végétales (proteosynthese).

La proteosynthèse conditionne la photosynthèse (donc la croissance). La protéosynthèse et la photosynthèse ne se font dans de bonne conditions que si les éléments associés, (phosphore, potassium etc...) sont en quantité suffisante; ces éléments ont donc un rôle physiologique, en plus d'un rôle dans la constitution des tissus végétaux eux-mêmes (phosphore et soufre dans les graines etc). La fumure consiste donc à déterminer d'abord, la dose maximum d'azote à apporter au sol pour obtenir le rendement maximum. Cette dose maximum doit être déterminée dans les meilleures conditions générales, tant du point de vue des propriétés physiques que des éléments minéraux annexes, que des traitements phytosanitaires etc. Si l'on considère comme optimum les facteurs autres que l'alimentation minérale, on peut dans un premier temps corriger assez largement les carences possibles par des engrais phosphates, potassiques, calco magnesions ou oligo éléments, et rechercher dans un essai, par l'utilisation de doses croissante d'azote le rendement maximum de la courbe de Mitscherlich. C'est ce qu'on appelle la méthode des "courbes de réponse"



1 4 85

Cette courbe de réponse permettra dans un second temps de déterminer la quantité économique d'azote à ne pas dépasser compte tenu du prix de l'engrais.

DETERMINATION DES ELEMENTS ANNEXES

En ce qui concerne les éléments annexes tels que phosphore et potassium par exemplé, il est nécessaire qu'ils soient toujours à leur dose optimum dans le sol, ou légèrement excédentaires ce qui ne nuit pas au rendement. Cette dose optimum peut se déterminer par l'analyse du sol.

Pour chaque méthode d'analyse, on peut indiquer des seuils de teneur en élément, correspondant à un besoin élevé, un besoin modéré ou l'absence du besoin.

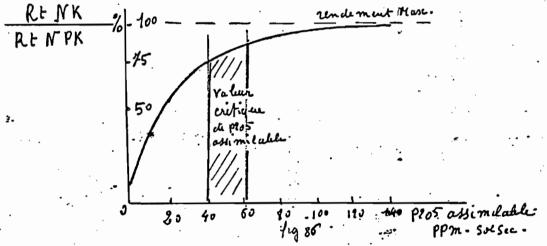
Ce seuil peut être déterminé par une courbe donnant la variation de l'indice :

Rendement : Rt (Fumure complète-élément dosé)

Rt (Fumure complète)

% en fonction de l'élément

dosé dans des sols de richesses variables



Au-delà de 50 ppm ou 0,050 % de P₂05 assimilable (méthode Olsen modifiée) La fumure incomplète NK donne 75 % du rendement de la fumure complete NPK. Ce type de courbe peut se faire pour les autres éléments tels que K échangeable par exemple, ou Mg etc. torsque la teneur dans le sol permet d'obtenir plus de 75 % du rendement maximum de la fumure complète, l'apport d'engrais est inutile.

En fait, la dose optimum dans le sol doit être obtenue à l'aide d'une fumure de fond dans le cas de sols à besoins élevés.

Cette fumure de fond dans le cas des éléments fixés par le sol (P. K. Ca. Mg) dépasse les besoins immédiats dela plante, mais permet d'obtenir le seuil de teneur minimum dans le sol dit : seuil critique.

La valeur de ce seuil critique est variable suivant les sols et dépend des facteurs généraux tels que (taux de matière organique, taux d'argile (et nature) capacité d'échange, teneur en oxydes (Fe₂O₃ - Al₂O₃) pH etc). Plus le sol a un pouvoir fixateur élevé plus les seuils critiques sont élevés - plusles fumures de fond doivent être élevées, lorsque le besoin est caractérisé.

FUMURE-D'ENTRELIEN

Lorsque les carences graves sont corrigées, si l'on veut maintenir le sol dans l'état de fertilité optimum, il faut au moins restituer les <u>exportations annuelles</u> par les plantes, donc amener au sol les quantités correspondant à l'analyse des produits exportés compte tenu des pertes éventuelles.

La quantité d'azote servant de base de calcul, les engrais phosphatés et potassiques seront calculés en fonction de la proportion N/P/K existant dans la plante (compte tenu du coefficient d'utilisation de l'engrais).

Le taux optimum du sol sera vérifié par des analyses faites à intervalles réguliers (tous les 3 ou 4 ans) ou lorsqu'on observe une baisse significative des rendements.

AUTRE METHODE DE DETERMINATION DES BESOINS EN AZOTE

Lorsqu'on a déterminé (par les courbes de réponse ou autres) la quantité d'azote correspondant à un rendement donné (par exemple 3 K d'azote pour obtenir 100 K de blé en Europe), on peut essayer de faire le calcul du besoin réel en azote pour une récolte donnée, en déterminant :

- Le reliquat restant dans le sol au début de la culture (sur un mètre) Stock avant culture.
- . La minéralisation nette de l'azote du sol pendant la période culturale.

Fumure annuelle = besoin global - minéralisation nette etstock avant culture

- L'analyse de l'azote soluble (NH₃ + NO₃) sur un mètre de profondeur avant semi: et après récolte permet de déterminer l'azote disparu du sol pendant la culture.
- L'exportation totale d'azote par la récolte moins l'azote disparu du sol, mesure la minéralisation nette.

récolte; ou légumineuses fourragères qui se décomposent rapidement, peuvent être pris en compte dans ce bilan annuel de la fumure azotée.

AUTRES METHODES DE DIAGNOSTIC DES CARENCES

Essais en petits vases de végétation (méthode Chaminade)

On utilise des pots en plastique de $10~\rm cm \times 10~\rm cm$ x $10~\rm c$

on apporte une solution nutritive de 33 ml par pot

20 ml
$$K_20 = 1 g$$

contenant $Ca0 = 0,350$
au total $Mg0 = 0,1$
 $S = 0,1$
 $S0_4 Mn = 0,450 g/litre$
 $S0_4 Zn = 0,223$
+ 13 ml $S0_4 Cu = 0,313$
 $S0_3 H_3 = 0,200$

+ 13 ml SO₄ Cu = 0,313 de BO₃ H₃ = 0,200 solution Molybd = 0,016 Perchlorure

de Fe = 1 ml par litre

Les apports d'azôte se font à raison de 173 mg N au premier apport.

120 mg toutes les semaines avec
l'arrosage.

"pour une expérience de 70 jours cela fait 1,255 g N.

On utilise une graminée fourragère (Ray grass - Aragrostis), et suivant la taille de 400 à 1000 graines au dm2.

On arrose le pot pour amener de l'humidité aux champs (après ressuyage).

On maintient l'humidité par des pesées régulières, chaque semaine.

Les coupes sont effectuées après 28 j, 21 j, 21 jours.

On pèse les récoltes au vert.

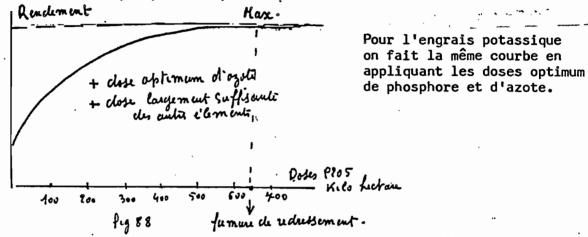
On compare la fumure complète avec des fumures carencées en 1 élément (méthode dite soustractive).

Exemple	fumure complète = 100 moins P = 37	On considère comme significative une carence qui baisse le rendement relatif de 30 %. Le phosphore, le calcium sont fortement carencés. Le potassium, le magnésium faiblement carencés. (essai sur Latosol de Madagascar
---------	---------------------------------------	--

Les carences en pot n'apparaissent pas forcément surle terrain, en raison du volume de sol exploré, mais elles conservent le même ordre d'importance.

DETERMINATION DE LA FUMURE DE FOND PHOSPHOPOTASSIQUE

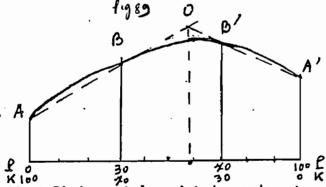
Lorsqu'on a determiné la dose optimum d'azote que l'on désire appliquer à une culture, on peut tracer des courbes de réponse à P et K en additionnant des doses croissantes de phosphates, ou d'engrais potassiques, le rendement maximum obtenu correspondra à la fumure de fond en phosphore et potassium.



L'intérêt des courbes de réponse pour un sol donné, est de permettre un contrôle exact des fumures, quels que soient les rendements désirés en fonction des données économiques particulières.

DETERMINATION DE L'EQUILIBRE DE LA FUMURE PAR LA METHODE DES VARIANTES SYSTEMATIQUES

Pour la dose optimum de Noon fait varier P et K de façon que la somme P + K en milliéquivalents = 10 000 par exemple soit constante



Si l'on trace la courbe des rendements pour les divers équilibre elle passe par un optimum. Cet optimum peut être obtenu avec seulement 4 essais symétriques

$$P = 0$$
 $K = 100$ A L 'intersection $P = 30$ $K = 70$ A C A' et B' donnent le point de rendement optimum 0. On peut faire la même courbe pour N et P. Les rapports $\frac{N}{a} = \frac{P}{b} = \frac{K}{c}$ resteront valables pour

différentes doses. a b c = constantes

METHODE FACTORIELLE

Pour trois doses croissantes d'azote N1, N2, N3 on essaie systématiquement trois doses de phosphore P1, P2, P3 et trois doses de potassium K1, K2, K3.

Soit 27 combinaisons	N1-P1 K1	NT P2 K1	N1 P3 K1	-N1 -P1- K2	N1 P1 K3
	N2 P1 K1	N2 P2 K1			
•	N3 P1 K1	N3 P2 K1	N3 P3 K1	N3 P1 K2	N3 P1 K3

etc...

A Brand. (M) Daes chow. (C/Hegu (c) Rechard (L) 1959

Application de la methode de Variants 5 yste matiques
a' l'étach els fu mus minérales. Possibilité de decegnostic
foliame du cotonnes.

Coton et flu Tropicales Vol TIV Pase 3

3. Chammade R. (1984) Etude des carenes minerals due Sal for l'exterimentation en telits vass de rejet sturn Science du Sul no 8.

4 relly of allow (4/ Roch (P) -1962

Fertilisation de vidrenement après de agnostre.

Olés carenes municles soi es sols de culture sichea

Modaguscai: - Trois purtes

Collegeo Sur la fahlet as sols Tropnecuese

Ternanciere 1954 (4.P.A.T.)

factouris cle Fertilet et utilisation des sus

maitation documentation Technique

ORSTOP 3872

CONCLUSION GENERALE

Le présent mémoire n'est pas un traité de pédologie ou d'agronomie mais une suite de techniques utilisables pour des études de pédologie appliquée, dans un but d'initiation pour des étudiants.

Certains problèmes généraux de fertilité, en particulier dans le cas des sols tempérés ou des sols salés, sont traités plus complètement dans d'autres ouvrages.

Les méthodes choisies et les exemples donnés se rapportent de préférence aux sols tropicaux car certaines valeurs quantitatives d'éléments fertilisants, certains seuils de réponse aux engrais sont très différents des normes habituelles des pays tempérés.

Les facteurs de fertilité physique et chimique ne peuvent être dissociés, ce sont souvent les premiers qui sont limitants.

Il n'en subsiste pas moins que des carences minérales extrêmement graves sont à l'origine des faibles rendements observés en pays tropicaux.

L'analyse chimique du sol et de la plante est donc appelée à rendre des services dans les diagnostics de carence pendant encore de nombreuses années. Les essais en pots et aux champs en sont le complément indipensable.

La correction des carences et la fertilisation, passe en premier lieu par le maintien d'un bon équilibre organique du sol.

Cet équilibre organique dépend beaucoup des conditions climatiques et en particulier de la longueur des périodes pluvieuses ou sèches, car la température demeure généralement élevée ;il dépend enfin des restitutions végétales et de la lutte antiérosive.

L'importance relative des compartiments de la matière organique conditionne la fertilité physique et chimique.

Les compartiments immobiles comme les humines jeunes et les acides humiques à grosse molécule ont un effet positif sur la fertilité.

Les compartiments mobiles, comme certains acides fulviques libres, ont au contraire un effet destabilisant et appauvrissant, ils peuvent faciliter l'accumulation d'éléments toxiques comme l'aluminium.

Ces compartiments évoluent très vite après défrichement, et sous culture, en quelques années; leur étude acquiert donc une importance plus grande qu'en milieu tempéré où ces constituants sont généralement plus stables.

La matière organique humifiée est généralement correlée avec tous les éléments de la fertilité, azote, phosphore, soufre, cations basiques, oligo-éléments ; elle conditionne pour une large part la capacité d'échange, et est le support de l'activité biologique, elle est aussi la cause principale de la structure physique.

Les différentes méthodes d'étude de la matière organique, des éléments minéraux et de la structure sont exposés brièvement, ainsi que les principaux modes d'interprétation des résultats, les techniques plus détaillées doivent être recherchées dans la littérature.