

BILAN DES ETUDES
CHIMIQUES & PEDOLOGIQUES

ENTREPRISES A LA STATION EXPERIMENTALE

D E S E F A

P a r

J.P. COINTEPAS - Pédologue

S O M M A I R E

INTRODUCTION	1
<u>I.- LE MILIEU NATUREL</u>	3
A - LE CLIMAT	3
B - VEGETATION	3
C - LE SOL	3
1 - Porosité du sol	5
2 - Climat du sol : température	8
a) Influence de la nature du sol	8
b) Influence de la profondeur	8
c) Amplitude des variations en surface	9
d) Effet du couvert végétal	9
e) Effet du travail du sol	10
3 - Le sol et l'eau	11
a) Variation du taux d'humidité	11
a) Variations du taux d'humidité en cours d'hivernage	14
b) Dessiccation du sol pendant la saison sèche	15
c) Réhumidification du sol en début d'hivernage	15
b) Perméabilité	16
a) Variation de la perméabilité avec la profondeur	17
b) Variation de la perméabilité dans le temps	17
c) Variation de la perméabilité sui- vant la couverture végétale	18
4 - Erodibilité de sol	19

D - CONCLUSION	20
II.- <u>LA MATIERE ORGANIQUE</u>	23
A - LE PROBLEME AGRONOMIQUE	23
B - LES METHODES D'ANALYSE	24
C - LES ESSAIS ETUDIES	24
a) Un essai d'engrais NPK	25
b) Une comparaison de la fertilité de deux par- celles voisines, l'une sous forêt, l'autre sous culture	26
c) Une étude des effets du chaulage et du phosphat- te de fond	26
d) Un essai "NPK 27 formules"	26
e) Un essai "jachère-engrais vert" étudiant l'effet de la régénération du sol	27
f) Une série de prélèvements agronomiques	28
D - LES RESULTATS OBTENUS	30
1°- Matière organique totale (carbone).....	30
A/- Modification du milieu écologique	30
B/- Brassage du sol par les instruments de défrichement	31
a) Influence des variations saisonnières .	32
b) Influence de la culture	33
c) Influence des engrais minéraux	39
d) Corrélation entre le taux de carbone du sol et les données agronomiques	39
2°- Humus	41
a) Influence des saisons	42
b) Influence de la culture	43
c) Engrais vert et jachère	43

d) Culture d'arachide	45
e) Culture de riz	45
f) Influence des fumures	45
g) Corrélation entre le taux d'humus et les données agronomiques	46
3°- Azote total	51
 E - CONCLUSION	 54
1°- Amélioration par décomposition des racines d'une graminée	54
2°- Mobilisation de certains éléments peu solubles	55
3°- Amélioration de la structure du sol	55
4°- Augmentation de l'activité microbienne ...	55
a) La précision des analyses	56
b) L'hétérogénéité du sol	57
 <u>III.- LE PHOSPHORE</u>	 58
A - LE PROBLEME AGRONOMIQUE	58
1°- Nature des engrais	58
2°- Dose de phosphate	58
3°- Date d'épandage	59
 B - METHODE D'ANALYSE	 60
1°- Phosphates assimilables	60
a) Phosphate citrique (méthode DIER)	60
b) Méthode TRUOG	60
2°- Phosphates totaux	61
 C - LES ESSAIS ETUDIES	 63
 D - RESULTATS	 63

1°- Phosphate citrique	63
2°- Méthode TRUOG	64
3°- Méthode biologique	69
4°- Phosphates totaux	73
 E - CORRELATION DES TENEURS EN P2O5 AVEC LES RENDEMENTS CULTURAUX	 73
1°- Arachide	73
2°- Riz	76
 F - CORRELATION AVEC D'AUTRES ELEMENTS DU SOL ...	 77
1°- Corrélation entre les différents modes de dosage de P2O5	 77
2°- Corrélation avec la matière organique ...	77
3°- Corrélation avec le pH et les bases échangeables	 80
 G - ETUDE EN LABORATOIRE DE LA FIXATION DES PHOS- PHATES	 80
1°- Fixation d'un phosphate soluble sur le sol	80
a) Mode opératoire	80
b) Résultats	81
2°- Variations de l'assimilabilité des phosphates bicalcique et tricalcique	 83
a) But de l'expérience	83
b) Mode opératoire	84
c) Résultats	84
 H - CONCLUSION	 86
 <u>IV.- LE pH</u>	 89
a) Apport de chaux	90
b) Apport de phosphates	91

<u>V.- BASES ECHANGEABLES</u>	94
1°- Essai NPK 3 ³ "partial confounding"	94
2°- Essai chaulage et phosphate de fond	96
3°- Essai jachère-engrais vert	97
4°- Essai rotations	97
5°- Essai NPK 27 formules	100
 CONCLUSION	 103
 CONCLUSION GENERALE	 105

INTRODUCTION

Cette étude n'a pas pour objet d'apporter des faits nouveaux sur la fertilité des sols de Moyenne Casamance. Nous avons simplement voulu faire le point de toutes les études analytiques entreprises depuis six ans par les pédologues de la station de SEFA. Au cours de cette période, en effet, nous avons accumulé de nombreuses observations et effectué plusieurs milliers d'analyses physiques et chimiques.

Les premières années, les résultats analytiques ont été importants car le défrichement des sols forestiers de Moyenne Casamance a sérieusement bouleversé l'équilibre physicochimique du sol, ce que les analyses chimiques ont bien mis en lumière (cf. FAUCK, C.R. Congrès Science du Sol-Léopoldville et Paris). Par la suite, un nouvel équilibre biologique et chimique s'est établi sous l'influence de la culture continue. L'agronome peut se demander si cet équilibre est stable. On sait en effet qu'en milieu coutumier, les agriculteurs sont obligés de laisser en jachère pendant de nombreuses années leurs terrains épuisés. Il est donc indispensable, étant donné les sommes investies pour le défrichement de la forêt, de savoir si la culture intensive avec engrais vert et fumure minérale peut conserver et même améliorer la fertilité du sol, ou si la diminution progressive de la fertilité est un facteur inéluctable lié au climat tropical.

Les méthodes pédologiques classiques que nous avons utilisées n'ont pas permis de répondre à ces questions. D'autres techniques analytiques doivent être mises en oeuvre. Cependant avant d'effectuer ce changement d'orientation dans nos recherches, il nous a paru indispensable de jeter un coup d'oeil sur les résultats acquis.

La C.G.O.T., lors de sa création, s'était fixé pour programme la production extensive de l'arachide. La baisse continue des rendements amena les dirigeants de cet organisme à changer de programme ; très vite est apparue la nécessité de pratiquer un assolement où entrerait une sole de régénération par l'engrais vert. L'emploi des engrais minéraux s'est avéré également comme une pratique rentable.

Ces problèmes ont fait l'objet d'études précises basées sur les méthodes statistiques permettant ainsi d'adopter les méthodes de production conciliant à la fois les nécessités de la rentabilité et celles de la conservation de la fertilité du sol. Les études pédologiques ont été pratiquées sur les mêmes essais afin, d'une part de bénéficier des mêmes méthodes statistiques, et d'autre part mettre en corrélation les résultats culturaux avec les résultats de l'analyse chimique. Nous avons donc rassemblé ici tous les éléments apportés par ces recherches et avons essayé de les relier aux données agronomiques obtenues par les autres chercheurs de la station, ou par les Unités de culture de la C.G.O.T..

---oOo---

I.- LE MILIEU NATUREL

La concession C.G.O.T. se trouve située en Moyenne Casamance (Sud Sénégal) sur un plateau étroit compris entre la vallée du fleuve Casamance et de la Soungrougrou, à environ 100 km de l'océan.

A - LE CLIMAT.

Le climat, qualifié par AUBREVILLE de soudano-sahélien à influence maritime est caractérisé par 2 saisons :

- une saison des pluies, qui dure environ 5 mois (juin à novembre),
- une saison sèche de 7 mois pendant laquelle il n'y a aucune précipitation.

La pluviométrie moyenne des 7 dernières années est de 1298 mm en 88 jours avec maximum de 1529 mm en 1950, et minimum de 964 mm en 1957.

La température moyenne oscille autour de 27°C avec maximum de 40° au mois d'avril.

B - VEGETATION.

La végétation naturelle est une savane arborée à *Daniella Oliveri*, *Kaya senegalensis*, *Albizia ferruginea*, *Pterocarpus erinaceus*, *Bombax costatum*, *Combretum nigricans* et *glutinosum*.

C - LE SOL.

Les sols sont du type ferrugineux tropicaux lessivés à tendance

latéritique. Ils se sont formés sur des sédiments argilo-sableux du Miocène dont la couleur varie du blanc au rouge.

D'après leur couleur et leur position topographique, on peut distinguer :

- des sols rouges de crête occupant les lignes de crête en bordure des grandes vallées et des marigots affluents,
- des sols beige-rosés et beiges sur les pentes,
- des sols gris de bas-fonds,
- des sols sableux de rizière,
- des sols beiges sur les plateaux de l'intérieur.

A l'exception des sols de rizière qui forment un groupe à part, tous les sols de la région ont sensiblement même texture, même composition chimique. On note seulement dans les sols rouges foncés de crête une richesse chimique un peu plus élevée, une structure un peu meilleur, conditionnant une meilleure perméabilité (1). Une analyse d'argile effectuée par le laboratoire de l'I.D.E.R.T. à BONDY montre que les sols rouges de crête doivent leur couleur à la présence d'hématite, alors que les sols beiges contiennent surtout de l'illite et de la goethite.

TABLEAU N° 1

Résultats d'analyses cristallographiques et thermiques.

Types de sol	Surface (0-5 cm)	Profondeur 1 m
Sol beige de plateau	Kaolinite : 80 % Goethite Gel hydroxyde ferrique	Kaolinite : 80 % Goethite Illite : très peu. Gel hydroxyde ferrique
Sol beige de pente	Kaolinite : 80 % Gel hydroxyde ferrique	Kaolinite : 80 % Gel hydroxyde ferrique plus abondant qu'en surface.
Sol rouge de crête	Kaolinite : 80 % Hématite Gel hydroxyde ferrique	Kaolinite : 80 à 85 % Hématite Gel hydroxyde ferrique

Tout porte à croire qu'il s'agit de sol plus ou moins fossile, qui ont évolué dans des conditions voisines de la latéritisation sous un climat plus humide et sous une forêt plus dense que la forêt actuelle. En effet, le rapport Silice sesquioxide est très souvent inférieur à 2.

Sont également fossiles les nombreux affleurements "latéritiques" qu'on rencontre un peu partout. Ce sont en fait des cuirasses de nappe dont la formation est liée aux modifications du système hydrographique général.

Les mouvements orogéniques qui se sont produits au cours des périodes géologiques ont provoqué une baisse par intermittence du niveau de base de la Casamance. A chaque période de stabilité correspondait un niveau de nappe phréatique qui a donné naissance aux différentes cuirasses de nappe visibles aujourd'hui.

A l'époque actuelle, les profils qui ont été plus ou moins tronqués par l'érosion continuent à évoluer. Les conditions climatiques actuelles font penser que cette évolution se fait dans le sens d'un lessivage du fer et de l'argile plutôt que d'une latéritisation. Cette hypothèse pourrait faire l'objet d'une étude détaillée de pédogénèse des sols de la région. Les résultats fragmentaires que nous rapportons dans ce chapitre constituent l'ébauche de cette étude. Ils ont été souvent obtenus avec des moyens de fortune et sont donc très approximatifs. Ils doivent être considérés comme une base de départ plutôt que comme des résultats définitifs.

1. - Porosité du sol -

A l'aide d'une sonde très primitive réalisée dans une boîte de conserve, nous avons effectué quelques prélèvements dans la couche 0 - 60 cm de deux types de sol. Les résultats sont mentionnés dans le tableau ci-joint. On constate que la densité apparente du sol augmente régulièrement jusqu'à 25 ou 30 cm. Elle diminue ensuite jusqu'à 50 cm. La densité réelle restant sensiblement constante, il en résulte que la porosité totale passe par un minimum vers 25 à 30 cm.

TABLEAU N° II

Densité des sols en place

Profondeur	F O R E T			C U L T U R E		
	Densité apparente		Densité réelle.	Densité apparente		Densité réelle
	Sol rouge de crête	Sol beige de pente	Tous types de sol	Sol rouge de crête	Sol beige de pente	Tous types de sol
0 - 5 cm	1.38 ± 0.02	1.33	2.60	1.45	1.61	2.62
6 - 11 cm	1.46 ± 0.02	1.41	2.62	1.54	1.68	2.62
12 - 17 cm	1.47 ± 0.01	1.43	2.62	1.65	1.66	2.62
18 - 23 cm	1.51	1.50	2.62	1.68	1.72	2.62
30 - 35 cm	1.47	1.62	2.62	1.61	1.62	2.61
60 - 65 cm	1.45	1.56	2.57	1.43	1.49	2.58

Si, d'autre part, on considère une colonne de terre qui draine sous une charge constante, lorsque la vitesse de perméabilité minimum est atteinte, le sol peut être considéré comme gorgé d'eau et la mesure de l'humidité d'un tel sol permet de connaître le volume maximum occupé par l'eau lorsque le sol est gorgé d'eau. On a constaté par cette méthode que dans les sols en culture le pourcentage des pores envahis par l'eau est voisin de 100 % dans l'horizon 25 - 30 cm. L'observation d'une coupe de sol juste après une pluie confirme ce résultat de laboratoire. Les sols de la région sont donc des sols qui drainent très mal par suite de l'engorgement de l'horizon 25 - 30 cm.

Le phénomène est d'autant plus accentué sous culture que

cette profondeur correspond à la semelle de labour. Par contre, on retrouve vers 60 cm des conditions identiques sous culture et sous forêt. Ce qui s'explique aisément puisque les outils de défrichement (notamment les root cutter) ne descendent guère au-dessous de 30 à 40 cm.

TABLEAU N° III

Porosité totale

Profondeur	F O R E T				C U L T U R E			
	Sol rouge		Sol beige		Sol rouge		sol beige	
	Porosi- té calcu- lée	Porosité max. ac- cessible à l'eau	Porosi- té calcu- lée	Porosi- té max. accessi- ble à l' eau	Prosi- té calcu- lée	Porosi- té max. accessi- ble à l'eau	Porosi- té calcu- lée	Porosité max. acces- sible à l'eau
0 - 5 cm	33.8%	25.6%	36.7%	24.6%	30.8%	20.1%	23.9%	22.0%
6 - 11 cm	30.2%	22.2%	32.7%	23.4%	26.7%	13.5%	21.3%	18.1%
12 - 17 cm	29.8%	22.2%	31.7%	20.5%	22.4%	15 %	22.0%	16.2%
18 - 23 cm	28.0%	18.3%	28.5%	18.3%	21.3%	17.7%	19.9%	15.9%
30 - 35 cm	29.8%	19.5%	23.5%	19.5%	23.7%	22.6%	23.3%	20.4%
60 - 65 cm	30.0%	27.2%	25.1%	22.2%	31.1%	22.5%	28.4%	24.7%

On notera enfin que les sols rouges ont une porosité totale plus élevée que les sols beiges de pente. Ceci est probablement dû à l'action flocculante des hydroxydes de fer présents dans le sol rouge.

2 - Climat du sol : température.

Plusieurs études sur la température du sol ont été entreprises à l'aide de thermomètres-sondes à mercure. Elles n'ont jamais pu être menées à bien par suite de nombreux déboires : thermomètres aberrants ou détruits par des rodeurs et par la chaleur des feux de brousse, etc...

Il nous a donc été impossible de calculer des moyennes annuelles. En outre, le petit nombre de thermomètres disponibles n'a pas permis de faire une étude statistique précise.

Le problème mériterait d'être repris à l'aide de sondes thermocélectriques : ces instruments sont aussi précis que les thermomètres à mercure, ils sont en outre moins fragiles, et leur faible prix permettrait d'obtenir un grand nombre de chiffres et de calculer des moyennes plus exactes.

Nous pouvons malgré tout énoncer les résultats suivants :

a) Influence de la nature du sol.

Les sols rouges semblent s'échauffer plus rapidement que les sols beiges, mais les amplitudes diurnes y sont plus faibles. Ce résultat devra être confirmé par des expériences plus nombreuses.

b) Influence de la profondeur.

Les variations diurnes de la température de l'air se répercutent dans le sol jusqu'à 60 cm de profondeur. Au-delà, seules les variations saisonnières sont détectables. Quelques chiffres à titre indicatif :

TABLEAU N° IV

Variation de température en profondeur

	Température de l'air	Forêt			Culture		
		10 cm	60 cm	100 cm	10 cm	60 cm	100 cm
En Août	26.8	26.6	26.4	27.1	27.4	28.5	29.2
En Mai	30.3	34.2	36.2	33.0	37.8	37.0	35.5

c) Amplitude des variations en surface.

TABLEAU N° V

	Température de l'air			Forêt			Culture		
	m	M	moy.	m	M	moy.	m	M	moy.
Août	22.4	31.2	26.8	24.8	28.4	26.6	25.7	29.0	27.4
Mai	22.0	38.6	30.3	28.5	39.9	34.2	27.7	47.8	37.8

d) Effet du couvert général.

Les différences entre forêt et culture sont visibles sur le tableau n° V. Alors que la différence entre les maxima ne dépasse par 1° en hivernage, elle atteint 8° au plus fort de la saison chaude.

A 1 m de profondeur, en saison sèche, on enregistre également des différences entre le sol de culture et forêt.

Sol nu : 36°

Sous forêt : 33°

La nature des cultures n'apporte pas de grandes différences. Signalons cependant que la meilleure protection est offerte par les graminées (riz, sorgho). La jachère dont la croissance est plus lente ne protège le sol qu'à la fin d'Acût lorsque les graminées qui la composent atteignent 50 à 80 cm en hauteur. Cette protection se prolonge jusqu'en février, mars, époque des feux de brousse et maintient au ras du sol une température et une humidité voisine de celle régnant sous forêt.

Il serait intéressant de faire une étude plus complète de la couverture du sol tant au point de vue température et humidité qu'au point de vue chimique et microbiologique. On démontrerait sans doute l'intérêt qu'il y aurait à laisser le sol à l'abri de l'échauffement. Pratiquement, on ne pourrait réaliser cette protection qu'en empêchant le brulis des jachères et des pailles de riz.

e) Effet du travail du sol.

Nous avons noté plusieurs fois que, pendant la saison sèche, les parcelles ayant porté de l'arachide enregistraient des écarts de température moindres qu'un champ de riz par exemple. En effet, l'arrachage de l'arachide contribue à ameublir le sol en surface d'où meilleure aération. Le sol ainsi travaillé s'échauffe ou se refroidit moins vite qu'un sol compact.

TABLEAU N° VI

	Température à 10 cm		
	min.	max.	Moyenne
Air sous abri début Mars	13.5	40.0	26.7
Sol non travaillé	24.7	42.9	33.8
Sol travaillé	26.1	39.5	32.8

3 - Le sol et l'eau.

Les relations entre sol et eau jouent un rôle fondamental :

- dans la formation du sol : les différences entre sol rouge et sol beige sont certainement dues à des différences de pédoclimat et en particulier d'humidité. Les sols rouges et beiges rosés situés sur les pentes perdent davantage d'eau par drainage oblique et correspondent donc à un pédoclimat plus sec.
- dans les problèmes cultureux : La rapidité de dessèchement du sol en fin d'hivernage, et son durcissement sont des problèmes qui ont toujours gravement préoccupé les techniciens de la C.G.O.T.

Il était donc important d'étudier le problème de l'eau dans les sols de la C.G.O.T.. Cette étude n'a pu être qu'esquissée et nécessiterait des moyens plus importants.

a) Variation du taux d'humidité.

Nous avons essayé de mesurer l'humidité équivalente (ou capacité de rétention) et le point de flétrissement des sols de la région.

L'humidité équivalente a été déterminée à la centrifugeuse et par la méthode de BOUYOUCOS. On trouvera dans le tableau ci-après les valeurs comparées obtenues par les deux méthodes.

TABLEAU N° VII

Profondeur	Centrifugation (1000 g)	Méthode BOUYOUCOS
0 - 10 cm	7.4	12.9
15 - 25 cm		15.0
25 - 30 cm		20.5
60 cm	19.0	18.8
100 cm		23.8

La méthode de BOUYOUCOS donne des résultats beaucoup plus élevés que la centrifugation. La différence est d'autant plus grande que le sol est moins argileux. Ce résultat est du reste confirmé par de nombreux auteurs (1).

Quant au point de flétrissement, nous en avons obtenu une estimation en déterminant l'humidité au-dessous de laquelle de jeunes plantules de ricin commencent à se flétrir.

Humidité équivalente et point de flétrissement varient beaucoup avec les types de sol. Le tableau n° VIII nous permet de comparer les 3 types de SEFA.

Outre ces deux données fondamentales du rapport sol-eau, nous avons effectué toute une série de mesure par carottage pour suivre le dessèchement du sol après les pluies.

(1)- DE LARUBIA & BLASCO communication VIème congrès Science Sol, 1,28

TABLEAU N° VIII

Humidité équivalente et point de flétrissement.

Profondeur	F O R E T				C U L T U R E			
	Sol rouge		Sol beige		Sol rouge		Sol beige	
	Humidité équivalen- te	Point de flétrisse- ment	Humidité équiva- lente	Point de flétris- sment	Humidité équiva- lente	Point de flétris- sment	Humidité équiva- lente	Point de flétris- sment.
0 - 5 cm	7.8 ‰		9.0 ‰	4.5	7.3 ‰	4.1 ‰	7.4 ‰	3.9
5 - 10 cm	7.0 ‰		7.5 ‰	3.8	7.6 ‰	7 ‰	7.2 ‰	3.8
15 - 20 cm	7.7 ‰		8.0 ‰	4.8	7.8 ‰		8.3 ‰	(5.1) ?
30 cm	9.1 ‰		9.4 ‰	5.5	9.9 ‰		10.5 ‰	4.6
60 cm	18.0 ‰		16.3 ‰	10.9 ‰	18.5 ‰		16.5 ‰	9.4
100 cm	19.0 ‰		17.4 ‰	12.3	19.0 ‰		17.7 ‰	12.1

a) Variation du taux d'humidité en cours d'hivernage.

Faute de cases lysimétriques, il n'était pas question de faire un bilan d'eau à l'aide de la relation.

$$\text{Drainage} + \text{Evaporation} = \text{Précipitation}$$

Nous nous sommes contentés de suivre grosso modo le dessèchement du sol après chaque pluie. Les résultats sont schématisés dans les courbes ci-dessous pour les horizons 0 - 5 cm et 25 - 30 cm sous culture et sous forêt.

M. DOMMERGUE signale dans son rapport annuel 1956 que l'activité microbienne présente tous les caractères des milieux hydromorphes, lorsque l'humidité du sol dépasse 11 %. Sachant qu'entre le 20 juillet et le 10 septembre, il y a 38 jours de pluie sur 50, soit presque 4 jours sur 5, l'éventualité d'avoir plus de 3 jours de beau temps est donc rare. Elle se présente en fait 1 à 2 fois pendant cette période. Dans ces conditions, il est légitime de penser que les sols se comportent pendant une grande partie de l'hivernage comme des sols à engorgement temporaire de surface.

En profondeur, au-dessous de 0,60 m, une fois le régime des pluies établi, l'humidité ne varie guère. Elle est un peu supérieure à l'humidité équivalente mais n'atteint pas la saturation.

b) Dessiccation du sol pendant la saison sèche.

Pendant deux ans de suite, nous avons suivi la dessiccation progressive du sol au cours de la saison sèche. En 1956, une pluie tardive et exceptionnelle au mois de décembre est venue compliquer nos observations. Mais en 1957, la saison des pluies s'est terminée brutalement après 3 ou 4 jours de précipitations abondantes. On était donc dans les conditions idéales pour suivre le dessèchement du sol.

Les graphiques joints donnent un exemple du dessèchement du sol en 1957 - 1958 (figure 4).

On peut constater que l'humidité décroît assez rapidement au début puis se stabilise à une valeur limite. Il existe des fluctuations assez difficiles à expliquer mais qui ne sont pas dues, pensons-nous aux prélèvements. Il est assez aisé de lier certaines variations en surface et à faible profondeur avec les variations d'hygrométrie de l'air, par contre les variations en profondeur sont beaucoup plus difficiles à expliquer. Il est possible sans que nous ayons pu l'observer clairement que cette légère remontée d'humidité soit à l'origine du départ de la végétation chez certaines espèces (floraison des *Pterocarpus erinaceus*, *Daniellia obovata*, *Cordia africana*, et *Cassia sieberiana*).

On remarquera que le sol cultivé se dessèche très vite en fin d'hivernage. Dans les parcelles cultivées, le point de flétrissement est atteint en 15 jours dans la couche superficielle, alors que le sol de forêt ne l'atteint qu'en janvier, c'est-à-dire 2 mois et demi après.

Au contraire, à 1 m de profondeur sous forêt, le sol est moins humide que sous culture et s'approche du point de flétrissement. Cela est dû à la transpiration des grands arbres qui se poursuit pendant toute la saison sèche. Sous culture au contraire, le sol est en partie protégé de l'évaporation par sa croûte superficielle, laquelle limite les remontées d'eau venant des profondeurs du sol (mulch naturel).

c) Réhumidification du sol en début d'hivernage.

L'hivernage 1957 a débuté par une série de grosses pluies

tombant chaque jour. Cette période a été suivie d'une période de sécheresse en fin juin. Des prélèvements de terre ont été faits avant et après ces pluies, ce qui nous a permis de connaître la profondeur de pénétration du front humide.

La première pluie, une pluie de 25 mm, a pénétré jusqu'à près de 20 cm de profondeur. Une seconde pluie de 17 mm, survenue le lendemain, a fait descendre l'humidité jusqu'à 30 cm de profondeur. Ce qu'on a pu vérifier facilement par le calcul connaissant la densité apparente du sol et l'humidité avant et après la pluie.

En fin juin est intervenue une période sèche de 8 jours. L'humidité en surface est descendue au point de flétrissement et ceci malgré une pluie de 7 mm 48 heures avant (le mois de juin est caractérisé par une température élevée et une évaporation assez intense). Ces faits montrent qu'il suffit de 30 à 40 mm d'eau s'infiltrant totalement pour pouvoir commencer les travaux culturaux. Néanmoins, il serait très dangereux de commencer les semis avant la fin de juin sans risques de voir les jeunes plantules encore insuffisamment enracinées se dessécher complètement si les pluies cessent pendant quelques jours. Les ressources d'eau en profondeur sont, en effet, insuffisantes pour compenser les pertes par évaporation.

L'humidité atteint 1 m de profondeur sous cultures vers la fin juillet, après 165 mm de pluie en 1957, et 245 mm en 1956. Sous forêt, le front humide atteint 1 m pour une pluviométrie un peu moindre : 115 mm en 1957. La répartition des pluies explique la différence entre 1956 et 1957 : il y a eu de nombreuses petites pluies en 1956 qui s'évaporaient avant de pénétrer en profondeur, alors qu'en 1957, les pluies ont été moins nombreuses mais régulièrement réparties avec un ruissellement pratiquement nul, d'où pénétration complète et meilleure utilisation de l'eau. En théorie la pluie minimum nécessaire pour humecter le sol jusqu'à 1 m serait de 105 mm pour le sol cultivé, et 70 mm pour le sol de forêt.

B/- Perméabilité.

Nous avons effectué des mesures de perméabilité du sol en essayant de nous rapprocher au maximum des conditions naturelles ; notre méthode consistait à prélever un cylindre de terre de 20 cm de

hauteur. Ce cylindre était ramené au Laboratoire et mis à drainer sous une charge constante de 1 cm de hauteur. On mesurait la vitesse d'infiltration pendant plusieurs jours. Par suite du manque de matériel adéquat, les cylindres de terre prélevés étaient d'un assez faible diamètre (7 à 8 cm) d'où, au cours de l'expérience, des effets de parois assez importants qui rendent les chiffres obtenus critiquables en valeur absolue. Nous pouvons cependant en tirer quelques renseignements intéressants :

a) Variation de la perméabilité avec la profondeur.

Pour des conditions d'expérience identiques, la perméabilité passe brusquement de 4 à 5 mm/heure dans les 20 premiers centimètres, à 3 à 4 mm par jour dans les horizons de 20 à 100 cm. Cette variation brusque explique l'engorgement de la zone 20 à 30 cm, engorgement que l'on observe après chaque précipitation.

Noter que les valeurs obtenues pour la vitesse de filtration sont très faibles surtout en comparaison de l'importance moyenne des précipitations. Cette disproportion explique l'importance de ruissellement.

b) Variation de la perméabilité dans le temps.

Dans la couche 0 - 20 cm, la perméabilité n'est pas constante. Le graphique donne un exemple de variation de la perméabilité en surface. Cette diminution de la perméabilité avec le temps est due à une dispersion des colloïdes qui viennent obturer les pores par lesquels a lieu le drainage. Si on arrête l'expérience et si on fractionne la colonne de terre, on constate que la zone superficielle n'a plus aucune structure mais présente l'aspect d'une boue liquide. Cette zone qui est peu épaisse au début devient de plus en plus importante au fur et à mesure que l'expérience se prolonge, ce que traduisent les changements de pente de la courbe. L'eau recueillie après percolation est chargée en colloïdes.

Cette variation de perméabilité commence au bout d'un temps variable suivant les échantillons : une demi-journée à une journée et demi. Ceci correspond à des pluies exceptionnellement longues et ne se produit qu'assez rarement dans des conditions normales. Par

contre, dans les cuvettes ou dans les zones de drainage naturel qui sont recouvertes d'eau bien après la fin des précipitations, il se forme une pellicule imperméable qui empêche toute infiltration. Ce phénomène va en s'accroissant comme dans notre expérience et on comprend que les zones mal drainées soient recouvertes par des mares dont la surface augmente au cours de l'hivernage et où l'eau subsiste plusieurs jours après la fin de la pluie. Ces zones sont asphyxiantes pour les plantes et parfaitement stériles. Quand la saison des pluies se termine, la masse colloïdale reste dispersée et forme un ciment particulièrement dur rendant presque impossible la pénétration des outils (arracheuse à arachide). La considération de ce phénomène oblige donc à étudier soigneusement le drainage des eaux de pluies en excès.

A partir de 40 cm de profondeur, la perméabilité reste constante pendant tout le temps où l'échantillon est soumis à la même charge. L'eau de percolation reste toujours limpide. Cela provient de la stabilité des colloïdes argileux situés en profondeur.

c) Variation de la perméabilité suivant la couverture végétale.

Il existe une différence considérable entre sol de forêt et sol cultivé. La différence est de l'ordre de 1 à 50 pour la couche 0 - 20 cm, de 1 à 20 ou 30 pour la couche 20 à 40 cm. Il est à noter que ces écarts sont du même ordre que les écarts entre ruissellement sous culture et sous forêt à pluviométrie égale et à pente égale. Ce phénomène nous explique qu'il n'y ait pratiquement pas de ruissellement sous forêt. Mais alors il risque de se poser dans l'avenir un problème d'ordre hydraulique : si la différence d'infiltration sous culture et sous forêt est si élevée, la mise en culture de grandes surfaces pour la région risque d'appauvrir singulièrement les réserves d'eau du sous-sol et en particulier de faire baisser le niveau des nappes phréatiques.

Il eut été intéressant d'étudier les variations de la perméabilité suivant la nature des cultures : engrais vert, jachère, riz, arachide. En fait nos moyens n'auraient pu permettre une étude suffisamment précise pour être significative. Il serait intéressant de reprendre le problème par la méthode de la station de VERGIERE.

4 - Erodibilité du sol.

Nous ne nous étendrons pas sur ce problème qui a fait par ailleurs l'objet de plusieurs rapports. Nous mentionnons le problème dans la mesure où il vient se greffer sur les questions de fertilité étudiées ici.

En effet, les caractéristiques du sol étudiées dans les paragraphes précédents :

- la texture,
- la structure assez stable mais très faible (le test de HENIN appliqué à quelques échantillons de sol donne une teneur moyenne en agrégats de 11 à 14 % et un indice de structure de 1,4 à 1,6).
- la présence d'une zone d'engorgement à faible profondeur,
- la faible perméabilité,

font que le sol est très sensible à l'érosion.

A ces caractéristiques de sol s'ajoutent des conditions de climat très dures :

- précipitations abondantes ; on enregistre chaque année 1 ou 2 précipitations de 100 mm sans interruption,
- intensité élevée (jusqu'à 4.5 mm/minute). Les précipitations les plus brutales se produisant en début d'hivernage lorsque le sol est nu, l'impact des gouttes d'eau obtient son effet maximum qui est un lissage du sol en surface et une diminution importante de l'infiltration.

Le ruissellement qui en résulte a des effets mécaniques considérables dont les répercussions sur la fertilité du sol sont graves. Nous avons pu chiffrer les pertes causées par l'érosion en nappe :

- 60 à 70 % des éléments entraînés sont des éléments fins (colloïdes argileux et organiques, limons) alors que dans le sol en place ces mêmes éléments ne représentent que 16 à 18 % des particules,

- les pertes en matière organique peuvent atteindre 0,5 t/ha/an (réserve totale 15 t/ha environ).

En 1955, l'érosion en nappe sur une pente de 2 % cultivée mécaniquement a enlevé la totalité de l'argile et de la matière organique sur une épaisseur moyenne de 0,5 mm. Le résultat en est la formation à la surface du sol d'une pellicule de sable parfaitement lavé et totalement stérile.

Les remèdes sont :

- laisser en forêt les pentes supérieures à 1,5 %,
- cultiver toutes les autres surfaces suivant les courbes de niveau,
- aménager les pentes en terrasses à lit en pentes pour l'évacuation de l'eau.

Il eut été préférable de prévoir des terrasses pour la conservation et l'infiltration de l'eau de façon à conserver le maximum de réserves d'eau au sol. En fait ce système n'est pas à recommander car outre le fait que le réseau devrait être très important, il contribuerait à maintenir au voisinage des collecteurs de grosses nappes d'eau. Or nous avons vu que le maintien d'une nappe d'eau pendant plusieurs heures à la surface du sol provoque une diminution de l'infiltration. Les nappes d'eau iraient en s'agrandissant, et de grandes surfaces seraient ainsi perdues pour la culture. Il est donc préférable d'évacuer l'eau à une vitesse telle qu'il n'y ait pas stagnation sur les parcelles cultivées, mais aussi à une vitesse inférieure au seuil d'érosion afin d'éviter le ravinement des collecteurs et des évacuateurs.

La marge est très faible et rend les systèmes antiérosifs difficiles à mettre au point.

D - CONCLUSION.

Le milieu naturel : climat, sol, conditionne étroitement

le plein épanouissement de la production agricole, ce milieu est un milieu difficile et qui pose des problèmes ardues aux techniciens.

Le climat se caractérise par des excès en tous domaines :

1) Saisons sèches très longues pendant lesquelles il ne tombe pas une goutte d'eau. En conséquence aucune plante ne peut subsister à l'état vivant pendant la saison sèche à l'exception des arbres et arbustes (ricin pérennes...). De ce fait, il est impossible de faire des cultures dérobées, ces cultures dérobées qui en régions équatoriales ou tempérées peuvent être une source d'engrais vert ou former une plante de couverture.

Dans ces conditions, le problème de la couverture du sol dont nous avons cependant souligné l'intérêt, devient un problème délicat. Il existe nombre de plantes de couverture qui s'acclimatent parfaitement à SEFA (*Pueraria*, *Centrosema*, *Vitiver*...). Mais pour résister à la sécheresse, elles doivent être bien enracinées et donc être semées dès le début d'une saison pluvieuse. A la saison sèche suivante, les parties aériennes sèchent et ne repartent en début de saison des pluies suivantes que si elles n'ont pas été la proie des flammes. Malheureusement, les feux courants de fin de saison sèche les détruisent presque toujours.

La végétation naturelle des jachères et les résidus de récoltes (paille de riz notamment) pourraient constituer un couvert suffisant pour le sol. Mais eux aussi sont régulièrement détruits par les feux.

Le seul remède serait la lutte contre les feux de brousse. Le problème devient alors un problème psychologique et social qui n'est plus du ressort des agronomes. Car si le feu de brousse voit son importance accrue par suite de la longueur de la saison sèche, il est d'origine essentiellement humaine et pourrait être supprimé par une réglementation draconienne.

2) Saisons des pluies courtes caractérisées par une pluviométrie excessive. Ces pluies tombant sur un sol dénudé causent des dégâts particulièrement importants. La brièveté de la saison des pluies fait qu'il est impossible de cultiver des plantes qui poussent dans des régions à pluviométrie moindre mais mieux répartie.

Les sols n'apportent pas non plus d'éléments favorables à la mise en valeur de la région.

- teneur en éléments fertilisants très faible.
- tendance à la dispersion des colloïdes d'où glaçage du sol en surface, diminution de la perméabilité, formation d'une croûte qui devient très dure en saison sèche,
- présence d'un horizon d'engorgement à faible profondeur. Cet horizon constitue un facteur défavorable pour beaucoup de plantes (mil, sorgho, coton...). Il est assez révélateur de constater que certaines plantes de la zone sahélienne pennisetum, mil, sorgho, se développent rapidement au début de l'hivernage. Puis ce développement cesse totalement pendant la pleine saison des pluies pour reprendre avec une extraordinaire rapidité au moment où les pluies s'espacent et deviennent peu importantes. On a vu en 1957 des graminées du genre Pennisetum, adventices des champs de riz, fauchées avec celui-ci en novembre, répartir du pied et fleurir 15 jours après, alors que les pluies avaient cessé depuis trois semaines ou 1 mois.

C'est à partir de ces données naturelles peu favorables dans l'ensemble que la Station de SEFA a essayé d'améliorer la fertilité du sol et d'augmenter les rendements des quelques plantes susceptibles d'un intérêt économique en tête desquelles se placent le riz de culture sèche et l'arachide.

II - LA MATIERE ORGANIQUE

A - LE PROBLEME AGRONOMIQUE.

Le premier projet de la C.G.O.T. consistait à cultiver arachide sur arachide pendant plusieurs années. En fait la baisse de rendement fut spectaculaire et ceci dès les premières années. Elle s'accompagnait d'une baisse très nette du taux de matière organique. Il semblait donc important de trouver pour le sol une source de matière organique. Le fumier étant inconnu, on s'est tourné vers l'engrais vert. Le succès obtenu a conduit à généraliser sur de grandes superficies la culture de l'engrais vert.

De nombreux essais précis ont permis de déterminer la meilleure plante engrais vert et son mode de culture. Le critère était le rendement en arachide l'année suivante. Un essai réalisé par FAUCK en 1953 et 1954 a montré que le meilleur engrais vert est constitué par un mélange graminée-légumineuse (pois d'angole et mil). Ensuite vient le sorgho, un peu inférieur arithmétiquement quoique statistiquement identique. Ces deux plantes sont nettement supérieures à une année de jachère. La plus-value pour l'arachide qui suit est de 12 % dans le cas du mélange graminée-légumineuse, de 8.6 % dans le cas du sorgho. Un essai plus récent confirme les excellents résultats donnés par le sorgho-engrais vert. Le déchaumage et l'enfouissement de la jachère apportent une légère amélioration des rendements (7 %) par rapport à la jachère classique (brûlée en fin de saison sèche), mais ce mode de régénération reste inférieur au sorgho (13 à 18 %).

Par ailleurs, l'essai 1953/54 a montré qu'il était préférable d'enfouir l'engrais vert assez tôt. Si on enfouit trop tard, en effet, la pluviométrie est insuffisante et la matière organique n'est pas suffisamment décomposée pour que la culture suivante en bénéficie. Un engrais vert qui reçoit 340 mm de pluie après son enfouissement a un meilleur effet sur les rendements culturels qu'un engrais vert qui ne reçoit que 120 mm.

Pour confirmer ces résultats aux champs, il restait à

prouver par l'analyse que le taux de matière organique avait été relevé et que cette amélioration était durable.

B - LES METHODES D'ANALYSE.

Les seules analyses pratiquées à SEFA concernant la matière organique sont :

Le carbone - l'azote total - l'humus.

Le carbone : est dosé par la méthode De WALK LEY & BLACK : oxydation à froid de la matière organique par le bichromate, réduction du bichromate en excès par le sel de Mohr et titrage en retour par le bichromate en présence de diphénylamine.

L'azote total : est dosé par la méthode KJEHLDAHL. L'ammoniac distillé est reçu dans une solution d'acide borique à 2 % et titrée par $\text{SO}_4\text{H}_2 \text{ N}/50$ en présence du réactif de Tashiro.

L'humus : la méthode utilisée est celle de M. CHAMINADE avec extraction à l'oxalate neutre d'ammonium à 3 %. Nous avons également fait quelques essais avec la méthode d'extraction au flucru-re de sodium suivie du dosage des humus totaux et précipitables.

C - LES ESSAIS ETUDIES.

Toutes les études pédologiques ont porté sur des essais agronomiques précis sur petites parcelles (essais par la méthode des blocs, du carré latin ou du "partial confounding"), et on a comparé les tests

chimiques aux rendements culturels. Les échantillons de sols étaient prélevés dans l'horizon 0 à 12 cm sur chaque parcelle élémentaire. Il y avait environ 10 prélèvements par parcelle de 30 m². Les 10 prélèvements étant homogénéisés, on n'en gardait qu'un échantillon de 2 kg environ.

Dès le début des études pédologiques, on a adopté comme date de prélèvement :

- début d'hivernage : mi-juin, juste après le déchaumage précédant la mise en culture,
- fin d'hivernage : mi-novembre après enlèvement des récoltes.

Les essais étudiés ont été les suivants :

a) Un essai d'engrais NPK.

Essai en "partial confounding" 3^3 avec 3 doses d'engrais. Deux répétitions.

Succession culturale : (assolement quadriennal).

- Engrais vert sorgho en 1953. L'un des blocs a reçu uniformément 1.000 kg/ha de phosphate tricalcique (phosphate de fond). Le second bloc n'a pas reçu d'engrais.
- Arachide en 1954 avec les doses d'engrais NPK à trois niveaux.
- Riz en 1955 les parcelles ont été divisées en deux. Une moitié recevant à nouveau la même formule qu'en 1954, l'autre moitié ne recevant aucun engrais et servant à tester l'arrière action de la fumure 1954.
- En 1956 l'essai qui aurait dû être en arachide n'a pas été poursuivi.

Les prélèvements de terre ont eu lieu avant et après arachide, avant et après culture de riz.

b) Une comparaison de la fertilité de deux parcelles voisines, l'une sous forêt, l'autre sous culture.

Essai réalisé en 1955, la culture étant une culture de riz. Les deux parcelles étaient deux carrés de 15 m x 15 m, divisés en 25 parcelles élémentaires. On a prélevé des échantillons de terre en juin et en novembre, avant et après riz.

c) Une étude des effets du chaulage et de phosphatage de fond.

Essai par la méthode des blocs avec parcelles subdivisées. Huit répétitions.

Traitements étudiés :

- | | | | | | |
|----|---|---|---|---|---|
| 1) | témoin : sans engrais, | | | | |
| 2) | 500 kg/ha de phosphate tricalcique épandu sur l'engrais vert sorgho | | | | |
| 3) | 1.000 kg/ha de chaux agricole | " | " | " | " |
| 4) | 2.000 kg/ha de chaux agricole | " | " | " | " |

Succession culturale :

- Engrais vert sorgho en 1955.
- Arachide en 1956. Subdivision des parcelles initiales en 3. A l'une des parcelles élémentaires conservées comme témoin, on a comparé l'action d'une fumure complémentaire NPK (150 kg/ha de 2.28.10) et celle d'une fumure NPK avec un. cligocélément, le molybdène (150 kg/ha de 2.28.20 + 5 kg/ha de molybdate d'ammonium).
- Riz en 1957. Epandage uniforme d'une fumure NPK sur tout l'essai.
- Arachide en 1958. Prélèvement de sol en 1955 avant et après enfouissement d'engrais vert, en 1956 avant et après arachide, en 1957 avant et après riz.

d) Un essai "NPK 27 formules".

Essai par la méthode des blocs subdivisés : six répétitions.

Traitements principaux : 26 formules NPK appliquées chaque année sont comparées à un témoin sans engrais. Parcelles subdivisées en deux, une moitié recevant 500 kg de phosphate tricalcique sur engrais vert. L'autre moitié ne reçoit rien.

Succession culturale :

- Engrais vert en 1954, application du phosphate de fond sur chaque demi-parcelle.
- Arachide en 1955 application des 27 formules,
- Riz en 1956 " " "
- Arachide en 1957 " " "

Prélèvement de sol en novembre 1956 seulement.

e) Un essai "jachère engrais vert" étudiant l'effet de la régénération du sol.

Méthode des blocs avec parcelles subdivisées. Huit répétitions.

Traitements étudiés :

- Jachère brûlée,
- Jachère améliorée (déchaumée et enfouie)
- Engrais vert graminée (sorgho),
- Engrais vert légumineuse (cassia).

Subdivision des traitements en deux :

- Une moitié suit l'assolement quadriennal classique : sol de régénération, arachide, riz.
- L'autre moitié subit une régénération de 3 ans suivie d'une arachide. La quatrième année l'essai se trouve entièrement en arachide et on peut ainsi comparer les effets de la régénération en un an ou en trois ans sur les rendements en arachide.

f) Une série de prélèvements agronomiques "pour voir" dans des parcelles d'un demi-hectare portant des assolements variés sans répétition :

- Culture continue d'arachide,
- Culture continue de riz.

Désignation de l'essai	Type de l'essai	Date de prélèvement	Sujet d'étude de l'essai
Essai NPK 3 ³	Partiel confounding à 2 blocs	1954-55	N, P et K à niveaux avec et sans phosphate de fond
Essai chaulage-phosphatage de fond	8 blocs subdivisés	1955-57	Etude effet du chaulage et du P2O5 de fond avec et sans complément annuel.
Essai 25 parcelles	25 parcelles disposées suivant 1 carré	1955	Comparaison niveau de fertilité culture et forêt.
Essai jachère Engrais vert	8 blocs subdivisés	1955-57	Régénération du sol par l'engrais vert en 1 an ou 3 ans.
Essais parcelle 43	prélèvements agronomiques	1954-57	Assolements divers et épuisement par culture continue de riz ou d'arachide.
Prélèvements forêt	- id -	1954-57	
Essai NPK 27 formules	6 blocs subdivisés	Nov.1956	Comparaison de 27 formules NPK avec et sans phosphatage de fond.

TABLEAU N° IX

Caractéristiques des essais étudiés

C U L T U R E P R A T I Q U E E

1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959
Engrais vert	Arachide	Riz	-	-	-	-
-	-	Engrais vert	Arachide	Riz	Arachide	-
-	-	Riz forêt	-	-	-	-
-	-	EV et J EV et J	EV et J Arachide	EV et J Riz	Arachide Arachide	Riz Riz
		Cultures	diverses			
		Forêt				
-	Engrais vert	Arachide	Riz	Arachide	Engrais vert	Arachide

- Alternance céréale arachide sans régénération par l'engrais vert.
- Assolement quadriennal avec un engrais vert.
- Assolement quinquennal.

g) Une série de prélèvements sous forêt en des emplacements voisins des parcelles précédentes.

D - LES RESULTATS OBTENUS.

1°/- Matière organique totale (carbone).

Les parcelles cultivées de la C.G.O.T. contiennent de 5.5 à 6 % de carbone, soit environ 1 % de matière organique totale. Dans les sols forestiers voisins, la teneur en carbone approche 8 %; soit 1.3 % de matière organique totale.

Le sol forestier perd donc le quart de sa teneur en carbone lorsqu'il est mis en culture.

Plusieurs explications peuvent être invoquées :

A) Modification du milieu écologique qui accélère les processus de combustion de la matière organique par :

a) Brassage et aération du sol par les labours avec remontée d'argile ;

b) la température moyenne du sol plus élevée sous culture ; en saison des pluies, la différence entre les deux moyennes est faible : 1 à 2°C. Par contre en saison sèche, la température superficielle du sol de forêt est inférieure d'au moins 5 à 6°C à celle de la culture. La différence entre les maxima atteint 9°C.

c) l'évaporation très élevée sous culture. Si bien qu'en plein hivernage, l'humidité du sol subit des variations assez importantes en fonction de la fréquence des pluies tandis que le sol forestier conserve une humidité à peu près constante. En saison sèche les différences s'atténuent ; l'humidité de la couche 0 - 20 cm est la même dans les deux cas. Cependant le sol forestier se dessèche moins vite et l'action microbienne se trouve prolongée d'autant.

d) l'apport de matière verte, source de la matière organique est continu et important sous forêt (racines et feuilles d'arbres, graminées...) sous culture au contraire l'enlèvement des récoltes provoque une exportation de la plus grande partie de la matière verte. La source de matière organique est alors réduite aux produits de décomposition des racines.

B) Brassage du sol par les instruments de défrichement.

Ce brassage a pour effet de répartir sur une profondeur de 20 cm et même parfois plus tous les éléments nutritifs qui étaient concentrés dans la couche 0 - 10 cm.

Les analyses ont montré que dans une jachère de 3 ans, un déchaumage à la charrue-disque remonte la teneur en argile de 8.9 à 12 %, et abaisse la teneur en carbone de 0.76 à 0.65.

Par ailleurs l'étude de la structure (porosité) et des teneurs en éléments chimiques montre qu'il existe de grandes différences entre culture et forêt jusqu'à 40 cm de profondeur (profondeur de travail des lames de rootcutter). Au-dessous, au contraire, il y a similitude complète des propriétés de sol. Si on effectue des prélèvements de sol tous les 10 cm dans la couche 0 - 30 cm, on trouve des résultats (1) qui exprimés en % de la teneur moyenne de la couche 0 - 30 cm sont les suivants :

(1) FAUCK : résultats inédits.

TABIEAU N° X

Profondeur	Forêt		Culture	
0 - 10 cm	7.41 ‰	135 ‰	3.82 ‰	101 ‰
10 - 20 cm	5.61 ‰	102 ‰	4.44 ‰	117 ‰
20 - 30 cm	3.43 ‰	63 ‰	3.12 ‰	82 ‰
Moyenne...	5.48 ‰	100 ‰	3.79 ‰	100 ‰

On voit que sous forêt la plus grande partie du carbone est dans la couche 0 - 20 cm, alors que sous culture elle descend à 25 cm environ.

Les deux phénomènes indiqués plus haut suffisent donc à expliquer les variations de teneur en carbone du sol par la mise en culture de la forêt primitive. Quelle est la part de l'un ou l'autre ? Il est difficile de répondre car en plus de cela, la nature des substances organiques sous forêt et sous culture doit être différente.

a) Influence des variations saisonnières.

Les principaux résultats obtenus et rassemblés dans le tableau n° XI montrent une influence des variations saisonnières sur les teneurs en matière organique. Il y a diminution systématique du taux de carbone pendant la saison humide et augmentation pendant la saison sèche.

Explication vraisemblable : en saison humide la croissance des végétaux, l'intense activité microbienne provoquent une destruction de la matière organique. En saison sèche au contraire, les végétaux et les micro-organismes voient leur activité ralentie. Les produits de

synthèse de leur activité s'accroissent plus vite qu'ils ne sont détruits et on assiste à un enrichissement du sol en matière organique. Pour les prélèvements sous forêt le manque de résultats ne nous permet pas de comparer avec les sols cultivés.

TABEAU N° XI

	Juin 1954	Nov. 1954	Juin 1955	Nov. 1955	Juin 1956	Nov. 1956	Juin 1957
Essai NPK 3 ³ sans phosphate de fond	6.74	6.02 ⁺	6.66	6.33			
avec " " "	5.20	5.23	5.82	5.68			
Essai Jachère engrais vert			6.16	6.48	6.33	6.01	6.06
Essai chaulage			5.74	6.03	5.45	5.47	5.12
Essai 25 parc. (culture) forêt			3.34 6.68	6.41 7.78			
Prélèvements (culture agronomiques) forêt			6.22 7.52	6.02 -	6.21 7.65	5.83 7.81	

b) Influence de la culture.

La nature de la plante cultivée semble avoir une action sur le taux de matière organique. Lorsqu'on parle de l'arachide ou du riz comme de plantes épuisant le sol, on peut penser qu'ils diminuent les teneurs en matière organique du sol. Examinons les résultats d'analyses pour chaque culture.

Engrais vert et jachère : de nombreux essais pratiqués à la Station de 1950 à 1954 montrent que le sorgho-engrais vert augmente le taux de carbone, la plus-value variant de 0 à 15 % environ.

La jachère apporte également une plus-value, quicqu'arithmétiquement moins élevée.

L'essai jachère-engrais vert entrepris en 1955 avait pour but de préciser ces premières observations. En fait les résultats de cet essai ont été décevants. L'hétérogénéité du sol sur lequel était réalisé l'essai était telle que les différents traitements étaient significativement distincts avant même de commencer l'essai.

TABEAU N° XII

Teneur en carbone avant le début de l'essai.

Traitements	Teneur en carbone ‰	
Jachère brûlée	5.92	100
Jachère enfouie	5.93	100
Sorgho-engrais vert	6.38	108
Cassia-engrais vert	6.40	108
PPDS à P = 0.05	0.41	7

Cependant si on étudie les variations annuelles de chaque traitement par rapport à sa teneur au début de l'essai, on élimine le facteur hétérogénéité au départ (cf. tableau n° XIII), page 34.

Or, on constate que les résultats sont encore très divergeants. En 1955, dans un cas sur deux l'engrais vert et la jachère enfouie ont augmenté le taux de carbone. Dans toutes les autres parcelles, ce taux n'a pas varié. Par contre en 1956, les parcelles qui sont encore en engrais vert ou en jachère (régénération 3 ans) voient leur teneur en carbone diminuer dans les mêmes proportions que les parcelles cultivées en arachide (régénération 1 an). En 1958, après 4 ans d'essai, toutes les parcelles traitées en engrais vert pendant

3 ans ont un taux de carbone identique. Il en est de même pour les parcelles restées en jachère pendant un an. Seule la jachère (brûlée ou enfouie) renouvelée pendant 3 ans de suite a relevé le taux de carbone de façon significative.

On serait donc tenté de préférer une jachère de plusieurs années à un engrais vert. L'étude des rendements d'arachide obtenue en 1958 montre que, malgré les résultats analytiques, c'est toujours l'engrais-vert-sorgho qui, 3 ans après son enfouissement, constitue le meilleur précédent cultural.

TABLEAU N° XIII

Variations relatives des teneurs en carbone de l'essai jachère-Engrais vert

Traitements	Durée de Régénération	1955 EV et J		1956 Arachide		1957 Riz		1958 Arachide	
		Juin	Nov.	Juin	Nov.	Juin	Nov.	Juin	Nov.
Jachère brûlée	1 an	100	102	110	108	-	-	-	102
	3 ans	100	103	100	91	-	-	-	117
Jachère enfouie	1 an	100	115	108	97	-	-	-	105
	3 ans	100	102	103	106	-	-	-	117
Sorgho-engrais vert	1 an	100	109	106	97	-	-	-	101
	3 ans	100	103	97	92	-	-	-	100
Cassia-engrais vert	1 an	100	111	106	96	-	-	-	101
	3 ans	100	100	95	96	-	-	-	107
PPDS à P = 0,05 : 9 %									

TABLEAU N° XIV

Résultats en arachide obtenus en 1958

Mode de régénération	Durée de régénération	
	1 an	3 ans
Jachère brûlée	100 %	100 %
Jachère enfouie	102	103
EV-Sorgho	113 ⁺	107 ⁺
EV-Légumineuse	112 ⁺	103 ⁺

Cette influence de l'engrais vert sur les rendements se poursuit en 1959 où les deux soles étaient cultivées en riz.

TABLEAU N° XV

Rendements en riz obtenus en 1959

Mode de régénération	Durée de régénération	
	1 an	3 ans
Jachère brûlée	100 %	100 %
Jachère enfouie	87 %	107
EV-Sorgho	119 ⁺	142 ⁺⁺
EV-Légumineuse	118 ⁺	150 ⁺⁺

(+) résultat significatif à P = 0,05
 (++) " " " P = 0,01

Ce résultat nous prouve que l'action de l'engrais vert est durable puisqu'elle se fait sentir encore cinq ans après. D'autre part, on peut voir que l'action de l'engrais vert n'est pas une simple action mécanique due au retournement du sol sinon la jachère enfouie aurait eu une action positive. Enfin, l'effet de l'engrais vert ne semble pas lié à la masse de matière verte enfouie. La légumineuse qui a toujours donné moins de matière verte que le sorgho a pourtant une action statistiquement équivalente (sauf sur arachide (en 1958)), lorsque la durée de régénération est de 3 ans. Mais n'oublions pas que l'arachide est une légumineuse qui succède à trois cultures successives de légumineuse (cassia ou pois d'angle) et de ce fait peut souffrir d'un déséquilibre azoté. Par contre le riz qui succède donne des rendements arithmétiquement supérieurs (différence presque significative). Il semble donc que la nature de la plante utilisée comme engrais vert a réellement une action. Cette action est sans rapport avec les taux de carbone du sol.

Par ailleurs, on a étudié la variation du taux de carbone aussitôt, avant et après enfouissement d'un engrais vert. Les résultats sont rapportés dans le tableau n° XVI.

TABEAU N° XVI

Variation du taux de carbone au moment
de l'enfouissement d'engrais vert

Date de prélèvement	Teneur en Carbone %	Variation relative
Avant enfouissement (13/9/55)	5.74	100
Enfouissement le 14/9/55		
3 semaines après (7/10/55)	5.72	100
6 semaines après (24/10/55)	6.03 ⁺	105
9 mois " (Juin 1956)	5.45 ⁺	95
1 an " (Nov. 1956)	5.47	95
PPDS à P = 0.05	0.21	

Ainsi la décomposition de la matière organique a augmenté le taux de carbone du sol, un mois et demi après enfouissement. Pendant la saison sèche suivante le sol s'est appauvri au point de contenir moins de matière organique qu'avant l'enfouissement de l'engrais vert. Nous sommes donc amenés à conclure que l'engrais vert augmente le taux de carbone du sol mais que cette augmentation est très variable et peu durable. Le sol revient très vite à son équilibre primitif.

Arachide et riz : De nombreux prélèvements ayant été effectués avant et après chaque culture, nous avons essayé de déterminer l'effet des différentes plantes de l'assolement. Nous avons constaté que, d'une façon générale, le taux de carbone diminue après une culture d'arachide. Le riz aurait peut-être une action améliorante. Mais ce résultat est moins systématique.

En fait, nous ne pouvons tirer de conclusions définitives car il nous est difficile, dans les conditions où nous avons opéré, de faire la distinction entre l'effet de la plante cultivée et l'effet dû à des conditions pédoclimatiques particulières.

c) Influence des engrais minéraux.

Dans ce domaine, nous n'enregistrons encore aucun résultat définitif.

L'essai NPK 3³ présente des variations moins sensibles du taux de carbone au cours des saisons dans les parcelles ayant reçu du phosphate de fond.

Dans la parcelle cultivée en arachide depuis sept ans, la demi-parcelle qui reçoit de l'engrais a un taux de carbone systématiquement plus élevé que la demi-parcelle qui n'en reçoit jamais.

Résultat en contradiction avec les précédents : l'essai chaulage, par contre, ne permet pas de déceler une influence du phosphate tricalcique ou de la chaux sur la teneur en carbone.

d) Corrélation entre le taux de carbone du sol et les données agronomiques.

TABLEAU N° XVII

Corrélation avec les rendements en arachide

E S S A I	Juin	Novembre
Essai jachère engrais vert	+ 0.12	+ 0.19
Essai chaulage phosphate de fond	-	+ 0.20

Toutes ces corrélations sont positives mais très faibles et non significatives.

TABLEAU N° XVIII

Corrélation avec les rendements en riz

E S S A I	Juin	Novembre
Essai 25 parcelles	0	0.28
Essai jachère engrais vert	+ 0.018	-

Ces corrélations ne sont pas significatives.

Il n'y a donc aucun rapport entre les rendements d'une culture et la teneur en carbone organique du sol.

2°/- Humus

Les sols cultivés de la concession contiennent environ 1 % d'humus (chaminade) avec des valeurs oscillant entre 0.8 % et 1.4 %.

Dans les sols forestiers, la teneur en humus dépasse 2 % il y a donc une variation du simple au double après défrichement.

Nous avons essayé de l'expliquer à propos de la matière organique totale. Ces explications restent valables pour l'humus et nous n'y reviendrons pas. Nous mentionnerons seulement une étude de R. FAUCK sur la répartition de l'humus dans quelques sols (1). L'expérience a été menée de façon plus précise que pour le carbone puisqu'on a effectué des prélèvements tous les 5 cm dans la couche 0-30 cm. Nous nous sommes contentés de rapporter ici les résultats exprimés en pour cent de la teneur moyenne de la couche 0-30 cm.

TABEAU N° XIX

Profondeur	Forêt	Engrais vert	Arachide	Jachère
0 - 5 cm	171 %	130 %	135 %	143 %
5 - 10 cm	125 %	115 %	124 %	133 %
10 - 15 cm	87 %	111 %	105 %	116 %
15 - 20 cm	78 %	87 %	91 %	92 %
20 - 25 cm	74 %	78 %	76 %	82 %
25 - 30 cm	74 %	78 %	69 %	72 %
0 - 30 cm	100 %	100 %	100 %	100 %

On voit donc que la plus grande partie de l'humus se trouve dans la couche 0-10 cm en forêt, alors que sous culture il est réparti entre 0 et 15 à 18 cm.

(1) L'étude de l'évolution des sols sous culture mécanisés et le problème des prélèvements de terre. Bulletin de l'AFES.

C'est pourquoi les échantillons de sol destiné à l'analyse ont été prélevés dans les 10 premiers cm en forêt, et dans les 12 premiers cm sous culture, de façon à éliminer les différences de teneurs dues à la seule répartition des éléments dans les couches du sol.

a) Influence des saisons.

Les résultats obtenus dans les différents essais sont regroupés dans le tableau suivant :

TABLEAU N° XX

	Juin 1954	Nov. 1954	Juin 1955	Nov. 1955	Juin 1956	Nov. 1956	Juin 1957	Nov. 1957
Essai NPK 3 ³	1.32 1.11	0.87 ⁺ 0.76 ⁺	0.93 1.32 ⁺	0.73 ⁺ 0.83 ⁺				
Essai J.EV.			1.32	1.48 ⁺	1.34 ⁺	1.14(?)	1.25 ⁺	1.80
Essai chaulage			1.30	1.25	1.33 ⁺	1.60 ⁺	1.44 ⁺	1.48
Essai 25) cult. parcelles (forêt			1.29 1.82	0.87 ⁺ 1.39 ⁺				
Prélèvements)cult. agronomiques(forêt	1.18	1.30 1.80	1.23 1.37	1.56	2.28	0.92 2.79	1.49 2.66	1.36 2.68

Le tableau général montre qu'il y a de grandes variations d'un essai à l'autre. Bien entendu, certaines variations peuvent être attribuées aux analyses. Cependant nous nous sommes toujours efforcés de faire faire les mêmes analyses par le même labocrantin de façon à éliminer les erreurs d'opérateur. Comme nous le verrons à propos de l'influence des cultures, il est très difficile de séparer celle-ci de l'influence de la saison (début ou fin d'hivernage) ou de l'année (pluviométrie en particulier). Il suffit d'étudier les prélèvements sous la forêt qui, en principe, doit être toujours égale à elle-même pour voir qu'il est impossible de trouver une périodicité dans le

taux d'humus qui soit fiable à la périodicité des saisons ou aux variations climatiques telles que pluviométrie, évaporation... Bien mieux, on verra d'après le tableau des résultats que dans l'essai 25 parcelles sous forêt réalisé en 1955, le taux d'humus a baissé de Juin à novembre alors qu'il a augmenté dans les autres prélèvements effectués sous forêt.

Il est fort possible que des facteurs très localisés (micro-climat du sol...) influent sur l'évolution du sol. Dans ces conditions, il devient impossible d'étudier les facteurs de variations de l'humus à moins d'opérer dans des conditions rigoureusement déterminées. Ce sont ces considérations qui nous amèneront plus loin à parler des expériences en milieu artificiel

b) Influence de la culture.

Comme pour le carbone, on peut penser que les cultures jouent un certain rôle. La tradition veut, en effet, que certaines plantes soient considérées comme épuisantes et que l'engrais vert par contre soit une source d'humus très importante. Etudions à la lumière de nos résultats l'effet des différentes cultures.

c) Engrais vert et Jachère.

L'engrais vert semble produire une remontée du taux d'humus.

Dans l'essai chaulage où la question a été suivie de près grâce à une série de prélèvements effectués tous les 15 jours, on constate que l'enfouissement de l'engrais vert provoque une forte baisse du taux d'humus : ceci étant dû sans doute à un brassage et un approfondissement de la couche arable jusqu'à 20 cm de profondeur.

Ensuite, le taux d'humus remonte. Il n'atteint son niveau primitif qu'en Juin de l'année suivante.

TABEAU N° XXI

Date de prélèvement	Teneur en humus	
13/9/55	1.31 ‰	Enfouissement de l'engrais vert
14/9/55		
7/10/55	1.01 ‰	
24/10/55	0.98 ‰	
15/11/55	1.27 ‰	
6/56	1.34 ‰	
PPDS à P = 0,05 = 0.08 ‰		

L'essai Jachère E-V donne des résultats plus difficiles à interpréter. On se souvient que l'essai est divisé en 2 parties. La première année, tout l'essai est soit en jachère soit en engrais vert ; les deux années suivantes, une moitié de l'essai porte des cultures d'arachide ou de riz suivant l'assolement quadriennal classique, l'autre moitié restant en E-V ou en jachère pendant 3 années.

La première année, on constate une nette augmentation de la teneur en humus en Novembre, ce qui semble normal. Par contre, pendant l'hivernage 1956, il y a une baisse générale de Juin à Novembre suivie d'une remontée de Novembre 56 à Juin 57, et ceci même dans les parcelles en engrais vert.

TABLEAU N° XXII

TRAITEMENT	Juin 55	Nov.55	Juin 56	Nov.56	Juin 57	Nov.57
Assolement quadriennal classique	1.35 ‰	1.52 ‰	1.36 ‰	1.10 ‰	1.18 ‰	1.78 ‰
Régénération en 3 années d'engrais vert	1.26 ‰	1.44 ‰	1.32 ‰	1.18 ‰	1.32 ‰	1.82 ‰

Cette remontée est plus élevée dans les parcelles en engrais vert. Mais le calcul statistique montre que la différence n'est pas significative. Ceci est peut être dû au fait que la succession de 2 engrais verts pendant 2 années de suite donne de moins bons résultats.

FAUCK avait déjà fait une observation semblable en 1953 et en 1954.

Les prélèvements agronomiques effectués sur parcelles plus importantes indiquent généralement une remontée du taux d'humus.

Nous concluons donc en disant que l'engrais vert et surtout l'engrais vert-sorgho augmente le taux d'humus dans beaucoup de cas. Cette augmentation varie de 10 à 15 ‰. Elle atteint son maximum en fin d'hivernage ou en fin de saison sèche suivant les cas.

La jachère ne semble pas relever le taux d'humus de façon aussi rapide. Cependant on a remarqué que ce sont les jachères de longue durée qui présentent les taux d'humus les plus élevés.

d) Culture d'arachide :

Dans la plupart des essais étudiés, les parcelles en arachide ont vu leur taux d'humus diminuer pendant la saison de culture.

Une exception cependant : l'essai chaulage en 1955 a vu son taux d'humus passer de 1.33 à 1.60, variation hautement significative.

A vrai dire, il est difficile de séparer les variations dues à la culture des variations saisonnières ou climatiques. Dans une parcelle où l'on cultive arachide sur arachide depuis 8 ans, le taux d'humus oscille entre 0.9 et 1.5 suivant les saisons, mais ne semble pas diminuer et il est difficile de parler d'épuisement du sol en humus.

e) Culture de riz :

Les résultats sont trop variables pour permettre d'en tirer une conclusion générale. Dans 4 cas (essai NPK 3^e en 1955, essai 25 parcelles en 1955, prélèvements agronomiques divers en 1957) le taux d'humus a baissé sous culture de riz.

Dans l'essai jachère-engrais vert 1957, il a au contraire augmenté. Dans l'essai chaulage 1957, il a augmenté mais de façon non significative.

Là encore, il ne nous est pas possible de séparer l'action du riz des variations annuelles. Notons une fois encore que dans un essai de culture continue de riz, le taux d'humus semble stabilisé autour de 1 ‰.

f) Influence des fumures :

Les engrais minéraux n'ont aucune action significative.

Il est fréquent de trouver des valeurs moyennes supérieures sur les parcelles ayant reçu de l'engrais, notamment de l'engrais phosphaté (phosphate de fond ou fumure annuelle), mais la dispersion des résultats est telle qu'aucune différence n'est significative. Le chaulage n'a aucune action sur l'humus.

Le problème mériterait néanmoins d'être étudié de façon plus précise.

g) Corrélation entre le taux d'humus et les données agronomiques :

- Corrélation avec le poids de matière verte enfouie sous forme d'engrais vert. Elle est très faible et non significative. FAUCK indique qu'avec une telle corrélation, il faudrait 130 tonnes de matière verte pour augmenter le taux d'humus de 1 $\%$.

Sur l'essai jachère-engrais vert, la corrélation taux d'humus en Juin par rendement est nulle. La corrélation taux d'humus Novembre avec le rendement est + 0.22, ce qui est plus élevé mais n'est pas significatif.

Dans l'essai chaulage, les rendements arachide étant fortement liés à la teneur en phosphate, nous avons dû calculer la corrélation partielle humus x rendement à teneur en phosphate constante. Pour la teneur en humus du mois de Juin cette corrélation est nulle. Au mois de Novembre, elle est de + 0.14. Il n'y a donc pas de corrélation entre l'humus et les rendements en arachide.

- Corrélation avec les rendements en riz. Les corrélations obtenues sont résumées dans le tableau n° XXIII.

TABEAU N° XXIII

Coefficient de corrélation. Essai	Humus mois de Juin x rendement.	Humus mois de Novembre x rendement.
Essai 25 parcelles	- 0.19	+ 0.11
Jachère Engrais vert	+ 0.14	0
Chaulage	+ 0.22	0.11

Une seule corrélation est significative, celle de l'humus mois de Juin avec le rendement de l'essai chaulage. Encore est-ce une corrélation très faible.

On voit donc qu'il n'y a pas de rapport entre l'humus tel que nous l'analysons et le rendement des cultures.

- Corrélation avec la teneur en carbone.

Essai NPK 3³

TABIEAU N° XXV

Culture	Date de prélèvement	Avec phosphate de fond	Sans phosphate de fond
Arachide (	Juin 1954	- 0.10	- 0.12
	Novembre 1954	+ 0.24	+ 0.68 ⁺
Riz (	Juin 1955	+ 0.37	+ 0.07
	Novembre 1955 (1) (2)	+ 0.48 ⁺	- 0.15
		+ 0.33	+ 0.43

L'étude statistique de ces chiffres montre que dans le cas des parcelles avec phosphate de fond, les coefficients sont statistiquement voisins et peuvent être remplacés par un coefficient unique et significatif : $r = + 0.29$
(+) : résultat significatif.

Pour l'essai sans phosphate de fond, tous les coefficients sont différents.

Essai chaulage et phosphate de fond.

Le tableau n° XXVI donne les coefficients obtenus. Ceux-ci varient d'une saison à l'autre.

TABLEAU N° XXVI

Date de prélèvement	Corrélation
Avant enfouissement	+ 0.18
Après enfouissement	
1 mois	+ 0.39 ⁺
1 mois 1/2	+ 0.51 ⁺
6 mois	+ 0.37 ⁺
1 an	+ 0.38 ⁺

C'est au moment où la teneur en matière organique est maximum et le taux d'humus minimum, un mois et demi après enfouissement de l'engrais vert, que la corrélation est la plus élevée. C'est le moment, en effet, où l'activité microbienne génératrice d'humus est maximum. Partout ailleurs, la corrélation avoisine + 0.4.

Essai Jachère-Engrais vert

TABLEAU N° XXVII

Date de prélèvement	Culture	Corrélation
Juin 1955	Engrais vert	+ 0.28 ⁺
Nov..1955	"	+ 0.31 ⁺
Juin 1956	Arachide	+ 0.34 ⁺
Nov. 1956		+ 0.22
Juin 1957	Riz	+ 0.31 ⁺

Essai 25 parcelles

TABLEAU N° XXVIII

Date de prélèvement	Végétation	Corrélation
Juin 1955	Forêt culture	+ 0.20 - 0.14
Nov. 1955	Forêt culture	+ 0.41 ⁺ + 0.16

Sur l'ensemble des études ainsi effectuées, la corrélation entre humus et carbone est positive et faible ($r = + 0.30$ environ) humus obtenu par la méthode CHAMINADE. Nous pensons donc que cette méthode d'analyse doit être abandonnée dans les études futures.

Nous avons utilisé également comme réactif d'extraction le fluorure de sodium à 2 %. Sur l'extrait, nous avons dosé l'humus total et l'humus précipitable par les acides. L'humus non précipitable (acides fulviques) était déduit par différence.

Les résultats obtenus sur l'essai jachère-engrais vert sont rassemblés dans le tableau n° XXIX. Il n'y a aucune différence entre les traitements. La corrélation entre humus totaux et rendements en riz en 1957 est encore très faible : + 0.12, et non significative. Dans l'essai chaulage, on note une légère augmentation de l'humus total par la chaux à la dose de 1 t/ha, mais ce résultat n'est toujours pas significatif.

TABLEAU N° XXIX

Teneur en humus de l'essai Jachère-Engrais vert en 1958

	Juin (517 B)			Nov. (518 B)		
	HT	HP	HNP	HT	HP	HNP
Jachère brûlée	4.7	2.9	1.7	4.8	2.7	2.1
1 an	4.7	3.0	1.7	4.8	2.7	2.1
3 ans	4.6	2.8	1.8	4.9	2.7	2.2
Jachère enfouie	4.9	3.0	1.9	5.0	2.6	2.4
1 an	4.9	3.1	1.8	4.9	2.6	2.3
3 ans	4.9	2.9	2.0	5.1	2.7	2.4
Sorgho EV	4.9	2.8	2.0	4.7	2.5	2.2
1 an	5.0	2.9	2.1	4.9	2.6	2.3
3 ans	4.8	2.8	2.0	4.5	2.5	2.0
Cassia	4.9	2.7	2.2	4.8	2.7	2.1
1 an	5.1	2.7	2.3	4.7	2.6	2.1
3 ans	4.8	2.6	2.1	4.8	2.8	2.1
Régénération 1 an	4.9	2.9	2.0	4.8	2.6	2.2
3 ans	4.7	2.8	2.0	4.8	2.7	2.2
Moyenne générale	4.8	2.9	2.0	4.8	2.6	2.2

HT = Humus totaux

HP = Humus précipitables (acides humiques)

HNP = Humus non précipitables
(acides fulviques)

3°/- Azote total

Le nombre d'analyses d'azote total a été beaucoup moins élevé que pour l'humus et le carbone. Les chiffres obtenus oscillent entre 0.35 et 1.1 % sous culture. Sous forêt ils sont plus élevés : 0.6 à 1.5 %.

TABEAU N° XXX

	Juin 1954	Nov. 1954	Juin 1955	Nov. 1955	Juin 1956	Nov. 1956	Juin 1957	Nov. 1957
Essai NPK 3 ³								
sans phosphate de fond	0.95	1.08	1.05	0.86				
avec " " "	0.96	0.99	1.06	0.85				
Essai jachère-engrais vert				0.74	0.48	0.56	0.43	0.44
Essai chaulage					0.94	0.55	0.36	0.37
Essai 25 parcelles :								
culture			0.39	0.37				
forêt			0.68	0.69				
Prélèvements agronomiques								
culture			0.94	0.86	0.44	0.58	0.44	0.47
forêt				1.53		0.94		

Les variations saisonnières des teneurs en azote sont difficiles à établir avec des résultats aussi hétérogènes.

L'influence des culture et engrais est à peu près certaine. Dans l'essai NPK 3³, on constate une augmentation du taux d'azote de 12 à 14 % sous l'influence de la culture d'arachide et un appauvrissement d'environ 20 % après culture du riz. L'appauvrissement est d'autant plus marqué que le sol a reçu plus d'engrais et surtout d'engrais phosphaté (phosphate de fond). Tout se passe comme si en présence de P205 le riz exploite davantage les réserves azotées du sol. L'apport d'engrais à la dose la plus forte (200 kg/ha de sulfate d'ammoniac) n'a pas compensé de façon significative cet appauvrissement. Il serait souhaitable d'épandre des doses plus fortes d'engrais azoté.

DOMMERGUES (1), analysant l'essai 25 parcelles, constate une baisse de 5 % du taux d'azote total entre Juin 1955 et Novembre 1955 sous une culture de riz. Parallèlement, il constate une diminution de l'activité nitrifiante pendant la même période. Il resterait cependant à prouver que le riz est seul responsable de cette diminution. Ce résultat souligne néanmoins l'intérêt des assolements où alternent riz et arachide.

Sur le même essai NPK 3³, on a effectué des analyses foliaires d'arachide et de riz. On n'a pas pu établir de corrélation significative entre les teneurs en azote du sol, des feuilles et les rendements.

L'azote n'est pas un élément nutritif qu'il soit indispensable d'apporter à l'arachide. Celle-ci, en effet, fixe l'azote de l'air par l'intermédiaire des bactéries de ses nodosités, lesquelles sont nombreuses et fonctionnelles comme a pu l'observer ECREMENT en 1955 (900 nodosités fonctionnelles par pied 70 jours après le semis).

Le riz, on le sait, répond aux engrais azotés. En l'absence de phosphatage de fond, on trouve une corrélation positive et significative entre azote du sol et azote des feuilles ($r = + 0.38$ et $+ 0.58$). Lorsqu'il y a eu phosphatage de fond, la corrélation est nulle.

Entre azote du sol et rendement, la corrélation est toujours faible et non significative ($r = 0.20$). Entre azote des feuilles et rendement, les rapports sont plus complexes. S'il y a eu apport d'engrais NPK en début de saison, la corrélation est égale à $+ 0.25$; elle est plausible mais non significative. En l'absence de fumure NPK, la corrélation devient plus élevée et significative ($r = + 0.40$).

Nous en concluons qu'en l'absence d'engrais, les rendements en riz sont liés à la teneur en azote du sol et des feuilles. En cas de forte nutrition (en particulier phosphatée), la physiologie de la plante se trouve modifiée et l'azote stocké dans les feuilles n'influe pas sur le rendement en grain.

(1) Y. DOMMERGUES : C.R. VI^e Congrès Sc. Sol Paris V. 98

La teneur en azote du sol n'est pas modifiée par l'apport de chaux.

Outre l'azote total, nous avons dosé l'azote nitrique et ammoniacal sur des échantillons de sol fraîchement prélevés. Les résultats varient peu d'une saison à l'autre ou d'un essai à l'autre.

- Azote ammoniacal : 0.60 ‰

- Azote nitrique : 0.09 ‰

Dans l'essai Jachère-Engrais vert, on remarque que c'est la jachère répétée pendant 3 ans qui a les plus fortes teneurs suivies de l'engrais vert-légumineuse. Le sorgho-engrais vert a les valeurs les plus faibles, l'assolement quadriennal normal se situe à des valeurs intermédiaires. Aucune de ces différences n'est cependant significative.

E - CONCLUSION.

Le bilan de cette étude sur la matière organique est donc assez décevant. Il a été facile au départ de prouver le bouleversement considérable apporté par le défrichement et la mise en culture de la savane arborée. La diminution considérable du taux de carbone, d'humus et d'azote ont amené les pédologues à pousser un cri d'alarme devant ce qui semblait être un appauvrissement du sol.

L'introduction du sorgho-engrais vert a eu un effet spectaculaire sur les rendements d'arachide plus-value de 18 % par rapport à une jachère naturelle, et plus-value de 300 % par rapport à une culture continue d'arachide. Et pourtant, malgré le tonnage élevé de matière verte enfouie (20 à 30 t/ha de matière verte, soit 4 à 6 t/ha de matière sèche), la teneur en matière organique du sol n'a pas changé. Un peu plus tard, des essais d'assolement ont montré qu'une culture de riz avait pour l'arachide qui suivait le même effet améliorant que l'engrais vert. Là encore, les analyses chimiques n'ont pas permis de trouver une corrélation entre ce résultat agronomique et une caractéristique chimique du sol.

Ces observations confirment les conclusions d'un pédologue américain J.S. JOFFRE (1) : la teneur en matière organique du sol représente un équilibre qui est fonction avant tout des conditions climatiques. Toute incorporation artificielle de matière organique ne peut modifier cet équilibre et ne peut donc changer la teneur globale en matière organique.

Quel serait alors l'effet réel de l'engrais vert ?

1°- Amélioration par décomposition des racines d'une graminée

Ceci expliquerait l'action du riz qui est équivalente à celle d'une jachère de longue durée. Bien que les pailles soient brûlées sur place, les racines restent en place et peuvent se décomposer pendant une partie de la saison sèche.

Certains résultats confirment cette hypothèse : C'est ainsi qu'en étudiant l'influence de l'engrais vert sur la culture d'arachide qui succède, on a constaté qu'il n'y avait pas de différence entre un engrais vert complètement enfoui, un engrais

vert dont on fauchait et exportait les parties aériennes et un engrais vert laissé en mulch sur la surface du sol.

2°- Mobilisation de certains éléments peu solubles

Le meilleur exemple est constitué par le phosphate tricalcique qui est inassimilable directement par le riz et l'arachide et donne de fortes plus-values lorsqu'il est appliqué sur le sorgho-engrais vert, en tête d'assolement.

3°- Amélioration de la structure du sol

Lorsqu'on examine des coupes de sol dans un champ deux ou trois mois après l'enfouissement de l'engrais vert, on observe au voisinage des paquets de matière verte mal décomposée, une coloration plus foncée du sol et surtout une belle structure grumeleuse. Cet effet est assez fugace et devient imperceptible après les premiers travaux de labour au début de l'année suivante. Dans les unités de culture où l'on pratiquait jusqu'en 1956 un assolement triennal avec la succession : engrais vert, arachide et arrachage mécanique de l'arachide, on avait constaté que le sol durcissait moins vite dans la sole d'arachide de 2ème année que dans la sole de 3ème année. Le phénomène était sensible au point qu'on pouvait y prolonger l'arrachage mécanique pendant au moins une semaine.

4°- Augmentation de l'activité microbienne

DOMMERGUES (1) a montré que l'engrais vert avait sur les bactéries nitreuses et les germes cellulolytiques une action nettement plus importante que la jachère naturelle. Cette action se faisait sentir dans la zone d'enfouissement de la matière verte, c'est à-dire à 20 ou 25 cm de profondeur, alors qu'en surface on ne relevait pas de différence sensible entre les deux traitements. Les années suivantes, d'autres prélèvements ont été analysés au laboratoire de HANN (azote minéralisable et dégagement de CO₂). Deux ans après l'enfouissement de l'engrais vert, il n'est plus possible de

(1) DOMMERGUES : C.R. VI^e Congrès Science Sol (1956) III-65

déceler son arrière-action sur la flore microbienne. C'est au contraire dans les parcelles qui avaient été laissées en jachère que le taux d'azote minéralisable est le plus élevé. Dans les parcelles où se sont succédés trois engrais verts ou trois jachères, on note une légère supériorité de la jachère surtout en ce qui concerne l'azote minéralisable.

On ne peut cependant, sur les seuls résultats des analyses biologiques, conclure à la supériorité des jachères de longue durée. Un essai de rotation qui dure depuis 5 ans permet de comparer l'influence d'une jachère de 3 ans et celle d'un engrais vert sur les rendements en arachide.

Rendements arachide lorsque l'arachide succède à :

1) 3 ans de jachère	100
2) 1 an de jachère	102
3) 3 ans d'engrais vert	109
4) 1 an d'engrais vert	111
5) 4 ans d'arachide	75

On voit que, contrairement aux résultats de l'analyse biologique, c'est l'engrais vert qui du point de vue agronomique reste pour l'instant le meilleur instrument de régénération de la fertilité du sol.

Après sept années d'étude, le problème de la corrélation entre la fertilité du sol et les tests de laboratoire reste entier. Plusieurs problèmes doivent encore être résolus :

a) La précision des analyses

Les variations dues aux traitements sont, en effet, à la limite de précision de l'analyse et ne peuvent être décelées que par un très grand nombre de répétitions pour chaque traitement.

b) L'hétérogénéité du sol

Elle ôte toute signification à l'analyse. C'est ainsi par exemple que le taux de carbone le plus élevé que nous ayons rencontré se trouve dans une parcelle qui n'a pas d'engrais vert depuis 4 ou 5 ans, et où on fait alterner des cultures de sorgho et d'arachide. La parcelle où l'on cultive de l'arachide sans interruption depuis 7 ans présente un taux d'humus très supérieur à la moyenne (1.3 à 1.5 ‰ au lieu de 1 ‰

Mais avant tout, c'est la véritable nature de la matière organique et les causes de son évolution qui restent les inconnues à résoudre. C'est dans ce sens que doivent s'orienter les nouvelles recherches de la station.

III - LE PHOSPHORE

A - LE PROBLEME AGRONOMIQUE.

De nombreuses études (notamment à BAMBEY) ont montré que les sols ferrugineux tropicaux sont très pauvres en phosphore. On sait également que l'arachide, plante pivot de notre assolement répond énergiquement aux engrais phosphatés. La Station Expérimentale a donc réalisé de nombreux essais portant sur la nature, la dose et la date d'épandage des engrais phosphatés.

1°- Nature des engrais

On a essayé successivement le phosphate tricalcique, le bicalcique et le super.

Le phosphate tricalcique n'a aucune action directe sur l'arachide et le riz. Par contre il augmente de façon considérable la quantité de matière verte dans une culture de sorgho-engrais vert et son arrière-action est importante sur l'arachide qui succède. Cette arrière-action est nulle sur le riz qui tient la troisième place, et faible ou nulle suivant les essais sur l'arachide de 4ème année. On a donc été amené à faire des épandages de phosphates tricalciques en fumure de fond sur l'engrais vert.

Le super et le bicalcique ont une action immédiate sur l'arachide. A dose égale de P205, le bicalcique est préférable. Il rétrograde moins rapidement. Son action est lente mais durable.

2°- Dose de phosphates

Pour le tricalcique, les seuls essais précis et prolongés portent sur des doses de 400 à 500 kg/ha. La plus-value apportée par cet engrais est très nette : 20 % sur l'arachide qui succède.

Le riz étant moins sensible à l'action de P205 qu'à celle de l'azote n'est pas influencé par le phosphate de fond. Après 4 ans d'assolement, le phosphate de fond n'a qu'une faible action.

Un autre essai avec 1 t/ha de phosphate de fond n'a pas donné les résultats escomptés : c'est l'essai NPK 3³ en "Partial confounding" déjà mentionné dans l'étude sur la matière organique. En effet, une attaque de rosette n'a pas permis de chiffrer la plus-value sur arachide en 2ème année. Le riz de 3ème année a répondu de façon significative au phosphate de fond (+ 11 %). L'essai n'a pas été poursuivi en 4ème année. Un essai actuellement en cours indiquera si les fortes doses de phosphate tricalcique n'ont pas un effet plus durable et économiquement plus valable que l'apport annuel de bicalcique.

Avec le super et le bicalcique, les essais sont beaucoup plus nombreux. Les doses appliquées varient entre 0 et 300 kg/ha. Pour l'arachide, on atteint un palier de production avec des doses de 70 à 100 kg/ha de bicalcique.

Sur riz les résultats obtenus sont plus difficiles à interpréter puisque, nous l'avons vu, le riz est plus sensible à l'action de l'azote et à l'interaction azotexphosphore qu'au phosphore lui-même.

3°- Date d'épandage

Le tricalcique est apporté avant semis d'engrais vert et constitue une fumure de fond.

Le bicalcique est apporté annuellement entre le premier et le second déchaumage. L'épandage en couverture est techniquement difficile à réaliser et n'a pas donné lieu à des essais.

Le problème des engrais phosphatés est donc un problème d'un intérêt économique et technique fondamental. Le laboratoire de pédologie s'est efforcé de confirmer les résultats agronomiques et d'en déduire une corrélation entre P₂₀₅ du sol et rendement culturaux de façon à déterminer à priori les doses optimum d'engrais à appliquer aux différentes parcelles de grande culture.

B - METHODES D'ANALYSE

1°- Phosphates assimilables

a) Phosphate citrique (méthode DYER)

Extraction à l'acide citrique 2 % et dosage de P2O5 par précipitation du phosphate sous forme de phosphomolybdate d'ammonium.

b) Méthode TRUOG

Extraction par l'acide sulfurique 0.02 N et dosage colorimétrique de P2O5 par le bleu de molybdène ou le vanadomolybdate d'ammonium.

La colorimétrie au bleu de molybdène est délicate à réussir car elle exige des conditions parfaitement standardisées. Malgré ces conditions, nous avons eu de nombreux échecs. Le réducteur utilisé étant le chlorure stanneux, il est possible que l'extrait de sol contienne des corps oxydants plus énergiques que Cl_2Sn . L'expérience serait à reprendre avec l'hydroquinone ou l'hydrazine dont nous ne disposons pas (ou l'acide ascorbique) (1).

La colorimétrie au vanadomolybdate d'ammonium est fidèle mais peu sensible. La faible teneur en phosphate des sols de Casamance nous obligeait à partir de grandes quantités de terre (10 g de terre pour 400 cc de SO_4H_2 0.02 N) et à concentrer l'extrait avant de colorimétrer. Tous les résultats mentionnés dans les paragraphes suivants ont été obtenus par cette méthode.

2°- Phosphate biologique

Nous avons utilisé sur une grande échelle le dosage du phosphate assimilable par l'*Aspergillus niger*. La méthode est longue, un peu imprécise mais beaucoup plus sensible que la méthode TRUOG et en assez bonne corrélation avec les rendements culturels. L'*Aspergillus*

(1) BOUVATTIER - Annales INRA vol. 11 n° 2 p.219

étant sujet à de grandes variations de développement, chaque échantillon était répété 4 fois, et dans chaque série d'analyse on avait soin d'intercaler en quadruple exemplaire un ou deux témoins constitués par des solutions connues de phosphate monopotassique.

3°- Phosphate totaux

Le phosphate extrait à l'acide nitrique bouillant était dosé sous forme de phosphomolybdate d'ammonium (méthode LORENZ). Devant les résultats décevants obtenus, et la difficulté pour former un opérateur, nous avons essayé de doser le phosphate nitrique par colorimétrie au vanadomolybdate d'ammonium. La liqueur résultant de l'attaque nitrique étant fortement teintée en jaune ou en brun, il était nécessaire de la décolorer au préalable avec un oxydant énergique. L'eau régale s'est avérée inutilisable, l'acide chlorhydrique gênant le développement de la coloration au vanadate d'ammonium (1). Par contre, on obtient de bons résultats en décolorant la liqueur par ébullition en présence d'acide perchlorique concentré et sans amener à sec. Il est cependant préférable de construire une courbe étalon avec une solution de phosphates ayant subi les mêmes opérations que la solution à doser. En effet, la courbe ainsi obtenue présente de légères différences avec une courbe tracée directement à partir de la solution étalon. Le mode opératoire est donc le suivant :

- ébullition de 5 g de terre dans 10 ml NO_3H pendant 5 heures,
- filtration. Extrait amené à 250 ml
- Prélèvement de 100 ou 150 ml qu'on amène à quelques ml par évaporation.
- ajouter 1 ml d'acide perchlorique. Ebullition jusqu'à décoloration.
- amener à 50 ml et colorimétrer.

(1) SEGALIN : Ann. Institut Madagascar

TABLEAU N° XXXI

Résultats des différents dosages sur l'essai NPK 3³

Mode de dosage P2 05	Dose complémentaire	Parcelles avec phosphatage de fond (1t/ha de tricalcique en 1953)					Parcelles sans phosphatage de fond				
		Arachide		R i z			Arachide		r i z		
		Juin 1954	Nov. 1954	Juin 1955	Nov. 55(1)	Nov. 55(2)	Juin 1954	Nov. 1954	Juin 1955	Nov. 55(1)	Nov. 55(2)
Phosphate citrique	0	93	85	45	45	54	40	12	12	8	5
	1	96	78	68	41	44	45	11	13	10	7
	2	79	72	61	34	46	41	13	13	17	5
Phosphate Truog	0	-	85	83	69	68	-	17	20	15	12
	1	-	82	71	59	63	-	19	21	16	16
	2	-	103	71	63	71	-	20	20	20 ⁺	15
	0	33	37	33	31	-	19	18	24	19	20
	1	33	38	34	32	-	20	21	24	23 ⁺	18
	2	35	41	37	36	-	19	24 ⁺	23	29 ⁺	20

P.S.- (voir note complémentaire page suivante)

NOTE COMPLEMENTAIRE - (concernant le tableau précédent)

Les dosages de Juin sont effectués avant l'apport d'engrais. Ils rendent compte de l'arrière-action de la fumure complémentaire de l'année précédente.

Les dosages de novembre rendent compte de la fumure de l'année.

La dose complémentaire annuelle est :

- Novembre 1954 : 0.50 et 100 kg/ha de super (0.8 et 16 kg P2 O5)
- Novembre 1955 (1) : 0.100 et 200 kg/ha de bicalcique
(0.38 et 76 kg P2 O5)
- Novembre 1955 (2) : aucune fumure.

C - LES ESSAIS ETUDIES

Les dosages de phosphates ont porté sur les mêmes essais que les études de matières organiques. On pourra donc se reporter au tableau de la page 60.

D - RESULTATS

1°- Phosphate citrique

Les résultats obtenus sur l'essai NPK 3³ montrent une grande hétérogénéité de résultats qui rend les interprétations statistiques impossibles. Le tableau n° XXXI ne donne qu'une moyenne des différentes répétitions, mais cela suffit à donner une idée sur la dispersion des résultats. En outre, la corrélation avec les rendements culturaux est faible. C'est pourquoi nous avons préféré abandonner cette méthode en faveur de la méthode TRUOG ou de la méthode biologique.

2°- Méthode TRUOG

Un grand nombre de résultats ont été accumulés par cette méthode.

- a) le tableau n° XXXI indique les résultats obtenus dans l'essai NPK 3₃
- b) L'essai chaulage et phosphatage de fond a été suivi pendant 3 ans.

TABLEAU N° XXXII

Résultats de l'essai chaulage (P2 05 en ‰)

TRAITEMENTS	Arachide 1956		Riz 1957		arachide 1958
	Juin	Nov.	Juin	Nov.	Juin
Témoin	0.018	0.017	0.015	0.016	0.020
Phosphate de fond (400 kg/ha de Balylifos sur EV en 1955)	0.036 ⁺	0.028 ⁺	0.021 ⁺	0.022 ⁺	0.022
Chaux 1 t/ha	0.019	0.017	0.015	0.016	0.020
Chaux 2 t/ha	0.020	0.017	0.015	0.017	0.021

On note donc un relèvement significatif de la teneur en P2 05 du sol par le Baylifos sauf en dernière année où il ne marque plus. En 1956, les 4 traitements avaient été subdivisés en 3 parties :

(+) Résultat significatif à P = 0.05

- témoin.
- 150 kg/ha de 2.28.10, soit presque 100 kg/ha de bicalcique
- 150 kg/ha de 2.28.10 + 5 kg/ha de molybdate d'ammonium.

En 1957, l'essai a reçu une dose uniforme de 150 kg/ha de 0.27.17, soit sensiblement la même dose de P2 05 que les deux traitements ayant reçu du 2.28.10 en 1956. On a donc pu étudier en 1956 l'action de trois traitements et en 1957 l'arrière-action de ces trois traitements influencée ou non par un nouvel apport de P2 05.

TABLEAU N° XXXIII

Traitements	Arachide	R i z		Arachide
	Nov. 1956	Juin 1957	Nov. 1957	Juin 1958
Témoin	0.018 ‰	0.016 ‰	0.015 ‰	0.022 ‰
NPK	0.021 ⁺	0.017	0.019 ⁺	0.021
NPK + Molybdène	0.021 ⁺	0.017	0.020 ⁺	0.020

On voit qu'un apport de 150 kg/ha de 2.28.10 marque positivement à l'analyse. En Juin de l'année suivante, la différence entre les trois traitements a diminué et n'est plus significative bien que très plausible ($0.10 < P < 0.05$). Le nouvel apport d'engrais en 1957 a marqué d'autant plus que les parcelles avaient reçu plus d'engrais phosphaté l'année précédente. La différence disparaît à nouveau en Juin suivant. Le tableau XXXIV exprime ce résultat sous une autre forme, en ce sens que les teneurs en P2 05 sont exprimées en ‰ du témoin.

TABLEAU N° XXXIV

Traitements	Dates	Témoin	NPK	NPK + Mc
Témoin	Nov. 56	100	122	106
	Nov. 57	100	119	125
Phosphate de fond (400 kg/ha)	Nov. 56	100	126	136
	Nov. 57	100	138	154
Chaux 1 t/ha	Nov. 56	100	94	111
	Nov. 57	100	92	95
Chaux 2 t/ha	Nov. 56	100	119	116
	Nov. 57	100	140	142

On constate que dans les parcelles à phosphate de fond, et dans les parcelles chaulées à raison de 2 t/ha, les actions des phosphates 1956 et 1957 s'ajoutent au moins en partie. Dans les autres traitements, il n'y a pas d'arrière-action. Ce résultat est important car il nous montre que le phosphate assimilable disparaît d'une saison à l'autre mais n'est pas perdu puisqu'une petite dose d'engrais peut le faire retourner à l'état assimilable. Ce résultat est un argument en faveur des fumures annuelles et à l'encontre du phosphatage de fond. Car si un phosphatage de fond massif stocké dans le sol ne peut être rendu utilisable que par une fumure annuelle, même peu importante, sa rentabilité s'en trouve diminuée.

c) L'essai NPK 27 formules étudiait l'effet de 27 équilibres NPK.

Ces 27 formules s'appliquaient à des parcelles ayant reçu ou non 500 kg/ha de phosphate tricalcique en phosphatage de fond. Etant donné le grand nombre de parcelles (324 parcelles élémentaires) que comportait cet essai, on s'est contenté d'étudier les 5 formules ci-dessous :

TABLEAU N° XXXV

N° de la Formule	Equilibre NPK en %			Formule commerciale		
Témoins	0	0	0	0	0	0
8	60	0	40	15.8	0	10.5
13	0	60	40	0	26.1	17.5
16	40	35	25	11.9	10.4	7.5
25	50	50	0	13.3	13.2	0

Les analyses ont porté sur des échantillons prélevés en Novembre 1956 donc trois ans après l'épandage du tricalcique. Celui-ci marque encore puisque la teneur moyenne en P_2O_5 des parcelles traitées est de 60 % plus élevée que la teneur des parcelles témoins.

TABLEAU n° XXXVI

N° de la Formule	Témoin	8	16	25	13	Moyenne
P_2O_5 (kg/ha)	0	0	15	20	39	-
Sans phosphate de fond	0.017 ‰ 100	0.017 ‰ 104	0.017 ‰ 104	0.018 ‰ 108	0.021 ‰ 128+	0.018 ‰ 100
Avec phosphate de fond	0.029 ‰ 100	0.027 ‰ 93	0.026 ‰ 91	0.025 ‰ 86	0.037 ‰ 130	0.029 ‰ 160

Il faut donc un apport de 100 kg/ha de bioalcoque (39 kg/ha de P_2O_5) pour obtenir un effet marquant sur le P_2O_5 du sol. L'augmentation

de teneur en P2O5 est assez comparable à celle qu'on trouve dans l'essai chaulage en Novembre 1957 (exception faite du traitement Baylifs x NPK + Mc). Mais on ne retrouve plus le même accroissement dû au phosphate de fond. L'interaction phosphate de fond x fumure annuelle existe donc mais semble assez variable suivant les années et les essais. Son étude serait à poursuivre par des essais nouveaux.

d) Sur l'essai jachère-engrais vert, la méthode TRUOG donne un résultat intéressant. Au bout de 3 ans, les parcelles qui ont eu un traitement de régénération de 3 ans ont un taux de P2O5 assimilable supérieur aux parcelles n'ayant eu qu'un an de régénération. Le résultat est très hautement significatif dans le cas de la jachère. Il est plausible mais non significatif dans le cas des engrais verts. En fait, ce sont plutôt les traitements de un an qui ont vu leur taux de P2O5 baisser sans qu'on puisse l'expliquer.

TABEAU N° XXXVII

Traitements	Régénération en 1 an	Régénération en 3 ans
Jachère brûlée	0.012 ‰	0.017 ‰
Jachère enfouie	0.011	0.016
Sorgho-EV	0.013	0.017
Légumineuse - EV	0.014	0.015

Les résultats moyens sont du reste variables d'une saison à l'autre comme le montre le tableau suivant :

TABLEAU N° XXXVIII

Traitements	Teneur en P205 ‰						
	Jachère-EV		Arachide		Riz	Arachide	
	Juin	Nov.	Juin	Nov.	Nov.	Juin	Nov.
Jachère brûlée							
1 an	0.019	-	0.018	-	0.012	0.019	0.018
3 ans	0.019	-	0.019	0.017	0.017	0.021	0.018
Jachère enfouie							
1 an	0.020	-	0.018	-	0.011	0.021	0.019
3 ans	0.018	-	0.016	0.016	0.016	0.021	0.017
Sorgho-engrais vert							
1 an	0.020	-	0.017	-	0.013	0.021	0.018
3 ans	0.019	-	0.019	0.018	0.017	0.021	0.017
Légumineuse-engrais vert							
1 an	0.019	-	0.018	-	0.014	0.020	0.019
3 ans	0.019	-	0.017	0.018	0.015	0.018	0.018

3°- Méthode biologique

a) Essai NPK 3³ : le tableau n° XXXI indique les valeurs de P205 biologiques dans les différents traitements. On remarque tout d'abord que l'écart des teneurs en P205 entre parcelles avec phosphate de fond et parcelles sans phosphate de fond est relativement moins élevé que dans la méthode TRUOG mais ces teneurs restent constantes pendant les trois années où on a effectué les dosages, tandis que les méthodes DYER et TRUOG enregistrent des baisses importantes pendant la même période. En outre les compléments annuels ne marquent pas lorsqu'il y a eu phosphate de fond, alors qu'ils donnent des résultats significativement plus élevés dans l'essai sans phosphate de fond. Les doses marquantes sont 16 kg/ha de P205 super, ou 38 kg/ha de

P205 bicalcique. La méthode est donc plus sensible que la méthode TRUOG qui n'a enregistré qu'un seul résultat significatif pour un apport de 38 kg/ha de P205.

b) L'essai chaulage et phosphatage de fond a donné les résultats suivants exprimés en P205 ‰.

TABLEAU N° XXXIX

TRAITEMENTS	Arachide en 1956		Riz 1957		Arachide 1958
	Juin	Nov.	Juin	Nov.	Juin
Témoin	0.023	0.018	0.028	0.037	0.038
Baylises (400 kg/ha)	0.025 ⁺	0.022 ⁺	0.032	0.040	0.048 ⁺
Chaux 1 t/ha	0.023	0.018	0.029	-	0.040
Chaux 2 t/ha	0.023	0.019	0.028	0.039	0.039

Il y a augmentation de la teneur en P205 de 1956 à 1958, et ceci, même dans les témoins. Ce phénomène qui vient à l'encontre des observations faites dans les autres essais, n'a pas reçu d'explication. On note que le phosphate tricalcique marque toujours en troisième année, alors que le chaulage n'a aucune influence.

D'autre part, les traitements annuels apportés ont une arrière-action assez longue, puisqu'elle se fait sentir jusqu'en Juin 1957. Par la suite, il se produit un nivellement des traitements (Tableau n° XL).

TABLEAU N° XL

Traitements	Arachide 1956	Riz 1957		Arachide 1958
	Nov.	Juin	Nov.	Juin
Témoin	0.018	0.028	0.036	0.040
NPK	0.020 ⁺	0.030 ⁺	0.041	0.042
NPK + Mo	0.020	0.030	0.040	0.042

Dans le tableau n° XLI nous avons essayé, comme pour le phosphate TRUOG, de comparer les effets de la fumure annuelle et son interaction avec le phosphate de fond en considérant, non plus les valeurs analytiques mais les valeurs relatives en % du témoin qui n'a pas reçu de fumure annuelle.

TABLEAU N° XLI

Traitements	Dates	Témoin	NPK	NPK + Mo
Témoin	Nov. 56	100	111	101
	Nov. 57	100	124	115
Baylifos	Nov. 56	100	114	117
	Nov. 57	100	128	128
Chaux 1 t/ha	Nov. 56	100	103	115
	Nov. 57	100	-	-
Chaux 2 t/ha	Nov. 56	100	104	108
	Nov. 57	100	123	126

Comme pour le phosphate TRUOG, le fait d'apporter une fumure complémentaire en 1957 augmente l'assimilabilité des engrais apportés l'année précédente. Cette assimilabilité augmente à peu près uniformément de 14 % en moyenne. Par contre, l'assimilabilité du tricalcique n'a pas varié.

o) l'essai NPK 27 formules donne par la méthode biologique des résultats identiques à ceux que donne la méthode TRUOG (cf. tableau n° XLII). Comme pour l'essai chaulage, l'effet du phosphate de fond et celui des engrais annuels s'ajoutent. Cependant la plus-value est beaucoup plus importante pour des doses sensiblement identiques. (40 % au lieu de 15 à 20 %).

TABLEAU N° XLII

N° de la formule	Témoin	8	16	25	13
P205 (kg/ha)	0	0	15	20	39
Sans phosphate de fond	0.026‰ 100	0.026‰ 100	0.029‰ 111	0.026‰ 101	0.037 ⁺ ‰ 141
Avec phosphate de fond	0.029 ‰ 100	0.029 ‰ 100	0.035 ‰ 120	0.031 ‰ 105	0.041 ⁺ ‰ 140

On notera en passant qu'une dose de 20 kg/ha de P205 marque moins que 15 kg/ha. Il faut peut-être tenir compte dans ce résultat des autres éléments, à savoir N et K apportés en même temps mais dans des proportions différentes. Cette influence possible de N et K serait à étudier en laboratoire.

d) L'essai jachère-engrais vert n'a pas fait l'objet d'une étude suivie.

Nous rapportons au tableau XLIII les résultats obtenus en 1957. Comparés aux résultats obtenus par la méthode TRUOG, on trouve des chiffres en moyenne beaucoup plus élevés mais dont les variations sont assez semblables. Cependant aucune différence n'est significative.

TABLEAU N° XLIII

	Régénération en 1 an	Régénération en 3 ans
Jachère brûlée	0.030 ‰	0.032 ‰
Jachère enfouie	0.029	0.031
Sorgho-ev	0.031	0.027
Légumineuse-EV	0.029	0.027

4°)- Phosphates totaux

La méthode LORENZ nous ayant donné des résultats erronés, nous nous contenterons de mentionner (cf. tableau n° XLIV) quelques chiffres obtenus par la méthode colorimétrique dans le cas de l'essai chaulage.

TABLEAU N° XLIV

	Juin 1956	Nov. 1956	Juin 1957	Nov. 1957
Témoin	0.140 ‰	0.106 ‰	0.123 ‰	0.123 ‰
Bayliss	0.151	0.115	0.126	0.116
Chaux 1 t/ha	0.136	-	-	-
Chaux 2 t/ha	0.134	-	-	-

Dans l'essai NPK 27 formules, les prélèvements effectués en 3ème année indiquent une plus-value de 12 % apportée par le phosphate de fond. Aucune formule n'apportait une différence significative.

E - CORRELATION DES TENEURS EN P₂O₅ AVEC LES RENDEMENTS CULTURAUX

1°- Arachide

Etant donné les nombreux essais réalisés sur arachide, on a pu calculer les corrélations entre phosphate de sol, phosphate des feuilles et rendements cultureux.

Nous rapportons dans le tableau n° XLV quelques résultats de corrélation pour l'essai NPK 3₃.

TABLEAU N° XLV

	Sans phosphate de fond	avec phosphate de fond
P205 DYER (Nov. 55) x rendement P205 TRUOG (Nov. 55) x rendement P205 biologique x rendement	- 0.46 non calculé + 0.30	+ 0.02 non calculé 0
P205 TRUOG x P205 feuilles P205 biologique x P205 feuilles	+ 0.24 + 0.33	+ 0.84 ⁺ + 0.80 ⁺
P205 feuilles x rendement	+ 0.03	+ 0.02

Les corrélations les plus élevées entre rendement et teneur en P205 sont obtenues avec les prélèvements de novembre. On constate que la corrélation entre P205 du sol et rendement est faible. Dans le cas des parcelles sans phosphate de fond, ce résultat s'explique : l'arachide ayant subi une forte attaque de rosette, la corrélation perd une partie de son sens. Même constatation pour la corrélation P205 feuilles x rendement. Au contraire, la parcelle avec phosphate de fond était saine.

On peut donc conclure que pour un niveau élevé de P205 du sol, cet élément n'est plus le facteur limitant des rendements. Entre P205 du sol et P205 des feuilles, le lien est plus net. Lorsqu'il n'y a pas phosphatage de fond, la corrélation est faible et seulement plausible (P = 0.10). Elle est élevée et hautement significative quand il y a phosphatage de fond. Ainsi, lorsque les réserves du sol en P205 sont faibles, ce sont les graines qui absorbent ces réserves ; s'il y a surnutrition, les rendements se stabilisent à un certain niveau et ce sont les feuilles qui stockent P205.

On notera par ailleurs, que méthode biologique et méthode TRUOG donnent des corrélations identiques.

L'essai chaulage-phosphatage de fond, et l'essai NPK 27 formules confirment ces premiers résultats :

Essai chaulage-phosphatage de fond :

P205 biologique (Juin 56)	x	rendement arachide	r = + 0.39 ⁺
P205 TRUOG (Juin 56)	x	" "	r = + 0.42 ⁺
P205 biologique (Nov. 56)	x	" "	r = + 0.63 ⁺
P205 TRUOG (Nov. 56)	x	" "	r = + 0.46 ⁺

Essai NPK 27 formules :

P205 biologique (Nov. 56)	x	" "	r = + 0.46 ⁺
P205 TRUOG (Nov. 56)	x	" "	r = + 0.45 ⁺

Les corrélations données pour l'essai chaulage correspondent aux traitements principaux (chaulage ou phosphatage de fond) sans tenir compte des fumures ajoutées dans les parcelles après subdivision de l'essai. Lorsque on tient compte de l'essai complet, les corrélations de Novembre 1956 sont plus faibles :

P205 biologique (Nov. 56)	x	rendement arachide	r = + 0.43 ⁺
P205 TRUOG (Nov. 56)	x	" "	r = + 0.24 ⁺

La différence obtenue vient du fait que le phosphatage de fond marque beaucoup plus fortement sur les récoltes et la teneur en P205 du sol que la fumure annuelle.

Le phosphate biologique a donné une corrélation meilleure, preuve de sa meilleure sensibilité aux fumures annuelles. Le test de linéarité appliqué aux deux essais montre que la régression est linéaire et les équations obtenues dans les deux essais sont très voisines (cf. figures n° 5 et 6).

Il existe donc une corrélation entre P205 assimilable du sol et rendement arachide. Cette corrélation est assez constante et voisine de + 0.40.

Entre P205 total et rendement, nous n'avons qu'une seule corrélation obtenue avec les résultats de l'essai NPK 27 formules : r = + 0.24. Elle est à peine significative et très inférieure aux corrélations obtenues pour les phosphates assimilables.

2°- Riz

Essai NPK 3³ : en 1955 chaque parcelle avait été subdivisée en deux parties, l'une recevant une fumure NPK 3³, l'autre bénéficiant de la seule arrière-action de la fumure arachide de l'année précédente.

P205 biologique	(juin)	x	rendement riz	sans engrais	r = + 0.26
P205	"	x	"	avec engrais	r = + 0.10
P205	(Nov.)	x	"	avec engrais	r = + 0.27

La corrélation est toujours faible et à peine significative. On a comparé ces corrélations à celles que l'on obtient avec les teneurs en P205 des feuilles.

P205 biologique (Nov.)	x	P205 feuilles riz	(avec P205 fond)	r = + 0.31
"		"	(sans " ")	r = + 0.19

Le premier résultat seul approche de la -signification (P = 0.10).

P205 feuilles	x	rendement riz	(avec P205 fond)	r = + 0.10
"	"	"	(sans " ")	r = + 0.42 ⁺

Comme pour l'arachide lorsque le sol est très riche en phosphore, celui-ci s'accumule dans les feuilles mais est sans influence sur les rendements. C'est un autre facteur qui devient facteur limitant (l'azote probablement).

Au contraire, lorsque les réserves en P205 sont plus faibles, le stockage dans la feuille est peu important mais son influence sur les rendements est plus forte.

F - CORRELATIONS AVEC D'AUTRES ELEMENTS DU SOL

1°- Corrélation entre les différents modes de dosage de P205.

Dans l'essai chaulage, la corrélation entre P205 TRUOG et P205 biologique oscille entre + 0.30 et + 0.40. Elle est de + 0.51 dans l'essai NPK 27 formules. Toutes ces corrélations sont statistiquement identiques et peuvent être remplacées par un coefficient unique égal à + 0.38. Ce chiffre paraît assez faible si on considère la similitude des moyennes obtenues par les deux méthodes. En fait, si les moyennes sont souvent assez voisines, les valeurs trouvées par la méthode biologique sont beaucoup plus étalées par suite de la plus grande sensibilité de cette méthode. D'où une corrélation assez faible entre les deux méthodes.

L'essai NPK 27 formules nous a permis en outre de comparer les valeurs en P205 total avec celles que donnent la méthode TRUOG ($r = + 0.30$) et la méthode biologique ($r = + 0.38$)

2°- Corrélation avec la matière organique

L'influence de l'engrais vert qui rend assimilable le phosphate tricalcique normalement inassimilable, nous a amené à étudier la liaison pouvant exister entre les phosphates du sol et la teneur en matière organique de celui-ci.

Cette étude a été menée surtout dans le cas de l'essai NPK 3³ et de l'essai chaulage-phosphatage de fond. Nous avons effectué les calculs dans le cas des parcelles n'ayant pas reçu de complément annuel ou dans le cas où ce complément annuel n'a pas marqué. En effet, lorsque l'apport complémentaire d'engrais marque positivement sur les teneurs en P205 du sol, la corrélation perd tout son sens. D'autre part, nous nous sommes aperçus au cours des calculs que les corrélations P205 x carbone et P205 x humus par un même essai avaient des signes différents. Comme il existe une corrélation positive faible mais réelle entre carbone et humus, nous avons systématiquement recherché les corrélations partielles entre P205 et l'humus ou le carbone, c'est-à-dire la corrélation existant entre P205 et l'un de ces éléments lorsque l'autre garde une valeur constante. Le résultat obtenu est parfois intéressant ; par exemple dans l'essai NPK 3³ sans phosphate de fond, la corrélation entre P205 biologique et humus pour l'ensemble des

deux ans d'essai est de - 0.19 ; cette corrélation est presque significative. La corrélation partielle par contre est significative et égale à - 0.23. On prouve ainsi que l'assimilabilité des phosphates varie en sens inverse des teneurs en humus Chaminade. Le tableau n° XLVI donne les corrélations partielles entre P205 biologique, teneurs en humus et carbone, ainsi que le coefficient de corrélation moyen.

TABLEAU N° XLVI

Corrélations partielles dans l'essai NPK 3³

	Dates	Sans phosphate de fond	Avec phosphate de fond
Carbone	Juin 54	- 0.09	+ 0.28
	Nov. 54	+ 0.35	+ 0.67 ⁺
	Juin 55	+ 0.46 ⁺	0
	Nov. 55		
	(1)	- 0.14	+ 0.39 ⁺
	(2)	+ 0.31	-
	moyenne	+ 0.205	+ 0.375
Humus	Juin 54	- 0.12	+ 0.26
	Nov. 54	+ 0.25	- 0.37
	Juin 55	- 0.47 ⁺	+ 0.48 ⁺
	Nov. 55		
	(1)	+ 0.26	- 0.68 ⁺
	(2)	- 0.11	-
	moyenne	- 0.03	- 0.16

Quelques remarques s'imposent :

a) Il existe une corrélation entre matière organique totale et phosphate assimilable. Au contraire, avec l'humus les coefficients sont très variables et la résultante est un coefficient à peu près nul. Le phosphate de fond est donc fixé pour une part sur certains composés organiques, ces composés n'étant pas les acides humiques précipitables.

b) La corrélation matière organique x phosphate est un peu plus élevée lorsqu'il y a phosphate de fond.

c) Les corrélations trouvées sont généralement plus élevées pour les prélèvements de Novembre. Il se confirme donc que le prélèvement de fin d'hivernage est celui qui reflète le mieux la fertilité du sol.

d) Les corrélations P205 x humus changent de signe de Juin à Novembre et la répartition des signes est inverse selon qu'il y a eu ou non phosphatage de fond.

Dans l'essai chaulage-phosphate de fond, on trouve des résultats assez semblables :

P205 biologique x carbone	(Juin 1956	$r = + 0.42^+$
	) Nov. 1956	$r = + 0.37^+$

P205 biologique x humus	(Juin 1956	$r = - 0.24$
	) Nov. 1956	$r = + 0.21$

Avec la méthode TRUOG, nous avons moins de résultats et ils sont différents de ceux que donne la méthode biologique. L'essai chaulage donne les corrélations suivantes :

P205 TRUOG x carbone	(Juin 1956	$r = + 0.37^+$
	) Nov. 1956	$r = - 0.45^+$

P205 TRUOG x humus	(Juin 1956	$r = + 0.01$
	) Nov. 1956	$r = - 0.21$

Il y a ici parallélisme entre corrélation sur carbone et sur humus, en ce sens que la corrélation devient négative en novembre dans

les deux cas. On peut supposer que l'humus précipitable joue par lui-même ou par l'acidité qu'il crée en hivernage (baisse de pH) un rôle négatif sur l'assimilabilité des phosphates. On sait qu'il y a concurrence entre P2O5 et acides humiques vis-à-vis du fer, ce qui pourrait expliquer la corrélation négative. L'aspergillus aurait la possibilité d'extraire le phosphore de certains composés (phosphates de fer), ce que le réactif de TRUOG serait incapable de faire.

3°- Corrélation avec le pH et les bases échangeables

On a étudié la corrélation entre P2O5 du sol et certains facteurs tels que pH et somme des bases échangeables. Les corrélations sont nulles ou non significatives.

G - ETUDE EN LABORATOIRE DE LA FIXATION DES PHOSPHATES

Devant les résultats variés et souvent contradictoires des analyses de sol, nous avons essayé d'étudier les phénomènes en laboratoire en éliminant le facteur hétérogénéité du sol.

Deux types d'expériences ont été réalisés :

1°- Fixation d'un phosphate soluble sur le sol

A/- Mode opératoire.

On a mis en contact une même quantité de terre avec des quantités croissantes de phosphate monopotassique correspondant à des doses de 200, 400 et 800 kg/ha de phosphate bicalcique. Après quelques jours de contact, on a filtré, lavé et dosé P2O5 à la fois dans le filtrat et dans le sol. L'expérience a porté sur 3 types de sol :

- sol rouge de crête,
- sol beige de pente,
- sol beige de plateau.

et sur deux horizons :

- surface : 0 - 10 cm
- profondeur : 90 - 100 cm.

B/- Résultats.

On peut les résumer ainsi :

a) La fixation de P2O5 n'est pas influencée par le rapport
sol
solution de P2O5

La quantité de P2O5 fixée ne change pas sensiblement selon que l'on opère avec un rapport 1/2 ou 5.

b) Les couches profondes fixent davantage de P2O5 que la surface. Si on détermine la quantité de P2O5 fixé par le calcul suivant :

$$\text{P2O5 fixé} = \text{P2O5 apporté} - \text{P2O5 resté en solution},$$

on constate que les horizons profonds fixent presque tout le phosphate soluble à l'exception de la première dose qui n'est fixée qu'à 70 %. Les couches superficielles fixent moins de P2O5. Les trois types de sol se classent ainsi dans l'ordre croissant :

- sol beige de pente,
- sol rouge de crête,
- sol beige de plateau.

On note que cet ordre est exactement l'ordre inverse des teneurs en fer mobile (extrait à l'acide citrique) et le même ordre que les teneurs en fer extrait par NO_3H bouillant).

c) L'analyse du phosphate assimilable sur les échantillons ainsi traités ne permet pas de retrouver tout le phosphate fixé. Les deux graphiques joints (Fig. 8 et 9) indiquent les quantités de P2O5 assimilables extraits par la méthode TRUOG et la méthode Biologique.

Dans la méthode TRUOG, il y a peu de différences entre les échantillons de surface ou de profondeur. En outre, le classement par ordre d'assimilabilité croissante est l'inverse de celui trouvé au § 2 pour le P205 fixé.

Dans la méthode biologique, au contraire, la différence entre surface et profondeur est considérable, le P205 assimilable étant 3 ou 4 fois plus élevé en surface, même dans le sol rouge où, cependant, les teneurs en fer mobile sont identiques en surface et en profondeur. Nous en concluons que la matière organique joue un rôle important. La méthode TRUOG permettrait d'extraire surtout les phosphates fixés sur les hydroxydes de fer. L'*Aspergillus Niger* aurait la faculté d'extraire des phosphates plus fortement retenus et probablement des phosphates combinés à la matière organique.

d) Les deux méthodes s'accordent pour montrer que la teneur en phosphates assimilables des échantillons de surface tend moins rapidement vers une limite quand P205 augmente que les échantillons de profondeur.

e) Nous avons essayé ensuite de vérifier le rôle des oxydes de fer sur la fixation de P205.

N'ayant pas d'hydrosulfite de sodium, nous avons traité chaque échantillon de sol par de l'oxalate d'ammonium 0.2 M à pH 3.8. En présence de lumière, il se produit une réaction photochimique et la solution prenait une couleur jaune paille. On renouvelait la solution d'oxalate jusqu'à ce qu'elle reste incolore. L'échantillon après lavage et séchage à l'air était mis en contact avec une solution contenant 5000 γ de P205. On a dosé le P205 assimilable par la méthode biologique. Les quantités de phosphates assimilables exprimées en % des échantillons non traités sont les suivantes :

- sol rouge de crête 50 %
- sol beige de pente, 36 %
- sol beige de plateau, 60 %

C'est le sol beige de plateau qui a la plus faible teneur en fer mobile qui subit également la plus faible diminution de son pouvoir fixateur. Mais le sol beige de pente dont la teneur en fer mobile est intermédiaire entre les deux autres types de sol est celui qui a son pouvoir d'absorption le plus abaissé.

Les oxydes de fer ne sont donc pas les seuls à fixer le P205. L'argile joue certainement un rôle non négligeable et qui a été prouvé dans des expériences effectuées ailleurs (1).

f) Les quantités de P205 trouvées au cours de ces expériences étant beaucoup plus élevées que les teneurs mesurées dans les essais en plein champ, nous avons essayé de déterminer l'influence des alternatives de sécheresse et d'humidification correspondant à l'alternance des saisons sèches et pluvieuses. Un échantillon de sol était mis en contact avec une solution de P205., lavé puis soumis à des alternances de dessiccation à l'étuve à 40°C et de réhumectation. On a analysé cet échantillon par fraction, après 1, 2, 3 et 5 traitements successifs. L'analyse biologique a montré que les teneurs en P205 n'avaient pas varié au cours de l'expérience. Ce résultat ne doit cependant pas être considéré comme définitif. Il serait nécessaire de répéter l'expérience en augmentant la température de dessiccation et en effectuant d'autres analyses par la méthode TRUOG ou la méthode nitrique.

2°- Variations de l'assimilabilité des phosphates bicalciques et tricalciques.

a) But de l'expérience :

On peut calculer qu'à un apport de 100 kg/ha de phosphate bicalcique correspond un accroissement théorique de P205 du sol de 0.06 ‰. Or, au bout d'une saison de culture, le P205 assimilable n'a augmenté que de 0.003 ‰ et au bout de 2 ans de 0.006 ‰. De même un apport de 400 kg/ha de Baylifos (tricalcique) doit augmenter la teneur du sol de 0.04 ‰. Or en réalité, l'augmentation au bout de 2 ans de culture n'est que de 0.11 ‰. Il est donc important de savoir ce que devient l'engrais dans le sol.

(1) H. DORING - Etude sur les possibilités d'absorption par les plantes de l'acide phosphorique fixé aux colloïdes Zeit Pflanz 1956-75-3

b) Mode opératoire.

A un échantillon de sol tamisé au tamis de 2 mm, on a mélangé intimement du phosphate bicalcique ou tricalcique dans des proportions correspondant aux apports d'engrais suivants :

- Bicalcique 200 kg/ha
400 kg/ha
- Tricalcique 1000 kg/ha.

Le mélange ainsi obtenu a été placé dans des tubes en verre et soumis à un lessivage par un apport de 40 ml d'eau distillée tous les deux jours. Au bout de 5 mois, la quantité d'eau ainsi apportée correspondait à une pluviométrie de 1500 mm environ. Tous les mois, on retirait un tube de la série et on analysait la teneur en P₂₀₅ de la terre. L'eau de percolation était également analysée. L'expérience a été reproduite sur un sol rouge et sur un sol beige de plateau.

c) Résultats :

a) L'analyse des eaux de percolation montre que le lessivage de P₂₀₅ est infime. Les pertes seraient d'environ 1 %. Ces pertes étant constantes quelle que soit la durée du lessivage, nous sommes amenés à supposer qu'il s'agit d'un entraînement mécanique des particules situées dans les couches inférieures des colonnes de terre. Compte tenu du fait que le sol en place ne draine pas aussi bien que dans une expérience de laboratoire, on peut donc dire que la quantité de phosphates entraînés en profondeur est infime.

Pour confirmer ce fait, nous avons effectué des prélèvements dans une parcelle de 3.25 ha ayant reçu 1000 kg/ha d'Hyperreno (tricalcique) sur engrais vert. Les échantillons ont été prélevés trois mois après l'enfouissement de l'engrais vert, sur une coupe de sol de 0,50 m de profondeur. Ces échantillons ont été analysés par la méthode TRUOG. Les résultats sont les suivants :

0 - 5 cm :	0.088 ‰
5 - 10 cm :	0.074
10 - 15 cm :	0.069
15 - 20 cm :	0.035
20 - 25 cm :	0.018
25 - 30 cm :	0.008
30 - 35 cm :	0.007
35 - 40 cm :	0.005
40 - 50 cm :	0.005.

La moyenne des 15 premiers cm est : 0.076 ‰, ce qui correspond aux valeurs trouvées dans l'essai NPK 3^e avec la même dose de phosphate tricalcique. Ces résultats sont la moyenne de 8 profils répartis au hasard dans la parcelle. La dispersion des résultats élémentaires est telle (hétérogénéité due au labour) que les teneurs des 4 premiers horizons ne sont pas significativement distinctes. La couche 20 - 25 cm représente une zone intermédiaire très hétérogène par suite des irrégularités dans les profondeurs de labour d'enfouissement. Au-dessus de 25 cm, la teneur en P205 est constante et égale au minimum rencontré partout ailleurs dans les couches profondes de la région. Si l'engrais était lessivé, on aurait constaté un taux de P205 supérieur au taux normal dans la zone située au-dessus de 25 cm et un passage plus progressif des couches superficielles aux couches profondes.

b) La terre extraite des tubes a été analysée par les trois méthodes : TRUOG, biologique, nitrique. Les résultats sont rassemblés sur les graphiques joints.

Au départ, les phosphates ajoutés sont presque complètement assimilables. Dans une expérience annexe on a mélangé des engrais phosphatés bicalcique et tricalcique à un sable inerte et ceci dans les mêmes proportions que pour les échantillons de terre de l'expérience. Par la méthode biologique, on retrouve 70 à 75 % du phosphate ainsi ajouté. Par la méthode TRUOG, on retrouve 90 et même 100 %.

Lorsque le lessivage se poursuit, les teneurs en P205 TRUOG diminuent puis se stabilisent vers le 3^{ème} ou 4^{ème} mois. Le phosphate biologique donne des valeurs assez constantes dès le premier mois de traitement.

(1) Il serait intéressant d'introduire les méthodes de dosage de P205 assimilable extrait par la soude 0.1 N (D.H. SAUNDERS, Afrique du Sud) et de P205 organique (cf. Bibliographie en microfilms rassemblée au laboratoire de SEFA).

SAUNDER dit avoir trouvé une corrélation de + 0.76 entre rendements culturels et P205 extrait à la soude 0.1 N pour 30 essais.

cf. également DUCHAUFOR : Précis de Pédologie (Masson, 1960) P. 372 - 374 et p. 391.

Quant au phosphate extrait par le réactif nitrique, les résultats sont plus confus, dûs probablement au manque de précision de la méthode d'analyse. Il semble, comme pour le phosphate TRUOG, qu'on observe une baisse rapide du taux de P_2O_5 et un retour aux taux initiaux.

Cette expérience de laboratoire montre donc que les engrais phosphatés passent d'une forme calcique assimilable à une forme peu assimilable du point de vue chimique mais utilisable par certains microorganismes, cette forme étant vraisemblablement un phosphate de fer. La matière organique joue aussi un rôle important bien que la présente expérience n'ait pas eu pour but de mettre en lumière ce rôle. Notre connaissance des phénomènes s'arrête à ce point. Dans quelle mesure les végétaux supérieurs utilisent-ils ces phosphates aussi bien que l'*Aspergillus Niger* ? Nous n'avons pour tout renseignements que les corrélations avec les rendements, et nous savons que ces corrélations avec les rendements sont assez faibles (+ 0.4 ou + 0.5). Nous savons en outre que l'engrais phosphaté donne sa plus-value maximum (20 à 25 %) pour des doses de 20 à 30 kg/ha de P_2O_5 , c'est-à-dire 50 à 75 kg/ha de bicalcique. Or à ces doses les méthodes d'analyses ne donnent pas de résultats significativement plus élevés que dans les témoins. On constate donc encore une fois une coupure entre le résultat de laboratoire et le résultat de l'essai au champ.

H - CONCLUSION.

Les essais très nombreux et souvent disparates entrepris en station et en grandes parcelles ont montré l'exigence des différentes plantes de l'assolement vis-à-vis des engrais phosphatés :

- l'arachide répond bien aux engrais tels que super ou bicalcique. Le besoin optimum se situerait vers 75 kg/ha de phosphate bicalcique.

- le riz assimile les phosphates de façon très variable. Le phosphate tricalcique est inassimilable. Le phosphate bicalcique apporte des plus-values qui peuvent atteindre 20 % pour 100 kg/ha de bicalcique. L'action de l'engrais phosphaté semble liée à la fumure azotée par suite d'une forte interaction N x P_2O_5 .

- le sorgho-engrais vert réagit très vivement au phosphate tricalcique. Cette action se poursuit sur les cultures suivantes. Ce qui l'oppose aux autres phosphates dont l'arrière-action d'une année à l'autre est très faible (4 % sur arachide).

Il est donc parfaitement rentable d'apporter une fumure phosphatée dans l'assolement pratiqué à SEFA. Il resterait à choisir les formes et doses à apporter. La solution consistant à pratiquer une fumure de fond en tête d'assolement complétée par un apport annuel, étant exclue par suite de coût prohibitif, il nous reste à choisir entre deux solutions :

- une fumure de fond constituée par une dose de 1 t/ha de tricalcique sur engrais vert,
- une fumure à base de phosphates bicalciques 75 à 100 kg/ha répétée chaque année.

Nous avons vu que le phosphate tricalcique à la dose de 400 ou 500 kg/ha marque sur l'arachide qui suit mais n'a aucun effet sur le riz cultivé en 3ème sole et un effet variable sur l'arachide qui occupe la 4ème sole. Nous n'avons malheureusement pas de renseignement sur la durée de l'effet produit par des doses plus élevées puisque le seul essai comportant un épandage de 1 t/ha, l'essai NPK 3₃ n'a pas été prolongé au-delà de la 3ème année.

D'autre part, les résultats de l'essai NPK 27 formules qui nous ont été communiqués nous montrent que le phosphate de fond (même s'il est associé à la potasse) n'a pas tous les ans la même action. Nous remarquons en effet que :

- 1955, 1 an après épandage la plus-value due au phosphate de fond : 6 %
- 1957, 3 ans " " " " " " de fond : 29 %
- 1959, 1 an " " " " " " de fond : 1 %

Rappelons que l'essai chaulage qui comportait à peu près les mêmes doses de tricalcique avait donné les résultats suivants :

- 1956, 1 an après épandage, plus-value due au phosphate de fond : 21%
- 1958, 3 ans " " " " " " : 4%

Au contraire, l'épandage annuel de bicalcique associé à un engrais potassique donne régulièrement 20 à 30 % de plus-value.

En l'absence de renseignements plus précis, nous sommes donc amenés à préconiser la formule suivante : sur des sols qui viennent d'être défrichés et mis en culture, apporter une forte fumure de fond sur engrais vert (1 ou 1.5 t/ha) ; ce système aura l'avantage de créer une bonne réserve de P2O5 et de Calcium échangeable dans les sols et par conséquent d'éviter une chute trop brutale du pH ; en outre, le phosphate agissant sur l'engrais vert et augmentant la quantité de matière verte permettra ainsi à l'engrais vert d'améliorer dès le départ la structure du sol. Si les conditions économiques l'exigent, on pourra se dispenser pendant un an ou deux de mettre de l'engrais phosphaté. Ensuite, on passera à la technique de l'apport annuel d'un engrais complet PK sur l'arachide et NPK sur le riz, de façon à maintenir les réserves en P2O5 du sol et à éviter un déséquilibre et une carence potassique (lutte contre la maladie de fin de cycle de l'arachide).

IV - LE pH

Après avoir donné des renseignements intéressants, nos études de pH ont subi un fort ralentissement à la suite de nombreuses difficultés techniques. Après quelques essais de mesure au pH mètre marque Heito alimenté par courant alternatif, les variations de tension dues au groupe électrogène nous ont obligé de recourir à un appareil à pile de marque Heito également. Celui-ci est tombé lui-même en panne et les délais de réparations ne nous ont pas permis d'effectuer des mesures de façon suivie. Nous pensons qu'il serait souhaitable de renouveler l'équipement de la station. La construction des pH mètres a fait de gros progrès et l'achat d'un ou mieux de plusieurs modèles (toujours à pile) permettrait d'avoir un bon contrôle des résultats. (cf. pH mètres TACUSSEL ou METROM(1)).

Les études de pH sur les sols de SEFA ont fait l'objet d'une communication de R. FAUCK au VIème Congrès de la Science du sol (2)

Nous en rappelons avec quelques développements les principaux points :

1°- Il existe une variation saisonnière du pH qui diminue d'environ 0.5 unité en saison des pluies pour remonter au point initial en Novembre, lorsque les pluies cessent.

2°- La mise en culture a provoqué une baisse du pH qui est passé de 6.4 sous forêt à 5.5 après 6 ans de culture.

3°- Le pH n'influe pas sur les cultures de riz mais semble avoir une influence sur les rendements arachide. Ceux-ci passeraient par un maximum pour un pH de 5.9.

4°- Pour corriger le pH, deux méthodes possibles :

(1) J. TACUSSEL, 14 rue du Dr Mouisset Lyon (6°)
METROM à HERISAU (Suisse)

(2) R. FAUCK : l'évolution du sol sous culture mécanisée. Le problème du pH et de sa corrélation. VI° Cong. Sc. Sol (Paris 1956), IV-55

a) apport de chaux.

On a réalisé un essai chaulage en apportant des doses de 1 et 2 t/ha de chaux.

On a constaté un accroissement significatif du pH. Le tableau XLVII donne un aperçu des résultats complets obtenus au cours des différentes périodes de l'année. On peut voir que l'enfouissement de l'engrais vert a causé une baisse sensible du pH qui, ensuite, est remonté à un niveau un peu inférieur au niveau initial dû sans doute à l'effet acidifiant de la matière organique formée. On n'a aucune donnée sur la durée de l'effet du chaulage sur le pH.

TABLEAU N° XLVII

	Témoin	Chaux 1 t/ha	Chaux 2 t/ha	Phosphate de fond
Avant enfouissement de l'engrais vert	5.7	6.3	6.5	5.8
23 jours après enfouissement	5.3	5.8	6.2	5.4
40 " " "	5.6	6.2	6.3	5.6
2 mois " "	5.5	5.9	6.3	5.6
9 mois " "	5.7	6.0	6.2	5.7

PPDS à P = 0.05.-

Une étude microbologique (1) effectuée par DOMMERGUES concluait à une augmentation significative des Azotobacter Chroococcum et de l'indice de nitrification. Le chaulage agirait sur les fixateurs d'azote sans que le taux d'azote se trouve changé. Par contre, il n'aurait aucune action sur les microorganismes dégradant la matière organique.

Les rendements arachide obtenus l'année suivante sur parcelles chaulées sont statistiquement identiques au témoin, que ce soit en 2ème ou en 4ème année d'assolement. L'arachide étant peu sensible au taux d'azote du sol, ces résultats concordent bien avec l'étude microbologique.

TABLEAU N° XLVIII

Rendements culturels sur l'essai chaulage

	Arachide 1956	R i z 1957	Arachide 1958
Témoin	100 %	100 %	100 %
Chaux 1 t/ha	101	97	104
Chaux 2 t/ha	95	94	105
PPDS à P = 0.05	8 %	14 %	7 %

On remarque cependant qu'en 1958, la dose 2 t/ha de chaux tend à donner une plus-value significative. Il est possible que la chaux agisse à longue échéance.

Ce résultat défavorable du chaulage est en contradiction avec les résultats obtenus à la station de BAMBEY où l'on a constaté que la chaux a une action améliorante même à faible dose (300 kg/ha) sur les rendements arachide (15 à 20 %) lorsqu'elle est épandue en fumure de fond. Elle agit également sur le mil lorsqu'elle est apportée chaque année. Cette différence est liée à la différence de nature des sols des deux stations, les sols de BAMBEY étant des sols lessivés, ceux de SEFA étant au contraire fortement lessivés et à tendance latéritique.

Dans ces conditions, l'épandage de chaux, malgré son intérêt pédologique, ne peut être envisagé économiquement à SEFA.

b) apport de phosphates.

Les engrais phosphatés contiennent de la chaux :

1 tonne de phosphate tricalcique apporte 500 kg de chaux,
100 kg de phosphate bicalcique apportent 40 kg de chaux.

On peut donc par des apports continus d'engrais remonter le pH ou au moins freiner sa chute. Nos conclusions s'appuient sur 3 essais.

Dans l'essai NPK 3³ "partial confounding", on constate que les parcelles ayant reçu du phosphate de fond ont un pH plus élevé de 0.5 unité environ. Cependant ne connaissant pas le pH des parcelles avant phosphatage de fond, il nous est difficile de dire si cette différence est bien due au tricalcique. Par contre les fumures annuelles n'ont aucune influence sur le pH.

TABLEAU N° XLIX

	Sans phos.de fond			avec Phos.de fond		
	P ₀	P ₁	P ₂	P ₀	P ₁	P ₂
Juin 1954 { sans engrais	6.0	6.0	5.7	6.5	6.5	6.4
Nov. 1954 { avec 0.50, 100 kg/ha de super)	6.3	6.3	6.3	6.0	6.5	6.3
Juin 1955	5.7	5.8	5.8	6.3	6.2	6.1
Nov. 1955 { sans complément)	5.3	5.3	5.3	6.2	6.2	6.1
{ avec 0.100, 200 kg/ha de bicalcique)	5.4	5.5	5.5	6.2	6.2	6.1
PPDS P = 0.05		0.2				

Pour l'essai chaulage et phosphate de fond, nous renvoyons au tableau n° XLVII où on peut constater que le phosphate tricalcique à la dose de 400 kg/ha ne modifie pas de façon statistiquement valable le pH.

Dans l'essai NPK 27 formules, l'influence de l'engrais est un peu plus nette. Nous donnons ici les valeurs du pH au bout de 3 ans d'essai et pour les cinq formules les plus représentatives.

TABLEAU N° L

	Formule commerciale			Sans phosphate tricalcique	Avec 500 kg/ha de phos. tricalcique
T	0	0	0	5.5	5.5
8	16	0	11	5.4 ⁺	5.4 ⁺
16	12	10	8	5.4 ⁺	5.5 ⁺
25	13	13	0	5.3 ⁺	5.5
13	0	26	17	5.5	5.6 ⁺

Ici se confirme que phosphate de fond seul ou bicalcique seul n'ont aucune action sur le pH. Par contre, les effets de ces deux engrais s'ajoutent et le pH en est légèrement relevé. Inversement, le sulfate d'ammoniaque a une action acidifiante qui ne peut être compensée que par l'action conjuguée des deux types de phosphates.

Ce résultat serait un argument en faveur de l'emploi du phosphate de fond à dose massive ou d'une combinaison phosphate bicalcique et tricalcique à dose moyenne, et serait en contradiction avec ce que nous avons dit au chapitre précédent. En fait, nous pensons que l'utilisation intensive des engrais ammoniacaux pouvant provoquer une acidification continue, il sera nécessaire de suivre l'évolution du pH du sol et peut-être de compenser une baisse trop forte du pH par une nouvelle fumure de fond ou par une augmentation des doses de phosphate annuel. Il est donc indispensable de poursuivre les études du pH sur une plus longue période.

Depuis la publication de FAUCK en 1956, nous avons effectué d'autres mesures, notamment sur l'essai Jachère-Engrais vert. Aucune différence significative n'a pu être trouvée entre les différents modes de végétation.

Nous avons également commencé des mesures de pH dans le sol en place à l'aide d'une électrode spéciale. Ces mesures étaient effectuées 24 heures après une pluie. L'étude a dû être stoppée à la suite d'une panne de pH mètre. Nous avons noté cependant une acidité moyenne plus forte qu'en milieu dilué. Les pH oscillaient entre 4.5 et 5.0. Dans les zones où l'eau stagnait plus longtemps, le pH pouvait même descendre au-dessous de 4.0. Une telle étude mériterait d'être reprise en liaison avec l'activité biologique du sol.

V - BASES ECHANGEABLES

Les éléments échangeables du sol jouent un rôle important dans la nutrition minérale de la plante. On sait qu'une culture d'arachide exporte environ :

- 40 kg de chaux,
- 20 kg de potasse,
- 10 kg de magnésie.

par tonne de gousses.

D'autre part, le pH du sol est en corrélation étroite avec sa teneur en éléments échangeables. Il est donc important de connaître les variations de ces éléments si on veut maintenir le pH à un niveau convenable.

La détermination des bases échangeables sur les sols de SEFA a été faite pour une grande part au laboratoire de spectrographie de BONDY après extraction à l'acétate d'ammonium à pH 7. Nous citerons ici quelques résultats obtenus :

1°- Essai NPK 3³ "partial confounding"

TABLEAU N° LI

		Sans phos. de fond	Avec 1 t/ha phos.de fond
Calcium	Juin 1954 (	1.73 mé%	2.27 mé%
	Nov. 1954) Arachide	0.98	1.54
	Juin 1955	1.24	1.78
	Nov. 1955 avec engrais)	1.01	1.68
	sans engrais(riz	1.04	1.82

		Sans phos. de fond	Avec 1 t/ha phos.de fond
Magnésium	Juin 1954 (Arachide	0.52 mé %	0.70 mé %
	Nov. 1954)	0.48	0.46
	Juin 1955	0.64	0.50
	Nov. 1955 avec engrais)	0.43	0.41
	sans engrais (riz	0.43	0.40
Potassium	Juin 1954 (Arachide	0.16	0.20
	Nov. 1954)	0.17	0.24
	Juin 1955	0.11	0.12
	Nov. 1955 avec engrais)	0.04	0.04
	sans engrais (riz	0.04	0.04

Sachant qu'une tonne de phosphate tricalcique contient 500 kg de CaO, ce qui donne une augmentation théorique de 0.55 mé% de Ca O sur une épaisseur de 20 cm, on voit que l'écart entre les deux colonnes peut être dû au phosphate de fond.

Le phosphate bicalcique augmente légèrement la teneur en calcium échangeable mais ce résultat n'est pas significatif. Le phosphate bicalcique n'est donc pas suffisant pour relever le taux de calcium du sol au moins à bref délai.

TABLEAU N° LII

Traitement en 1955	Sans phosphate de fond	Avec 1t/ha de phos.de fond
Bicalcique :		
0 kg/ha	0.98 mé %	1.75 mé %
100 kg/ha	1.00	1.56
200 kg/ha	1.05	1.83

La teneur en magnésium semble diminuer au cours de l'essai mais moins rapidement que le calcium.

Par contre, les pertes en potassium sont alarmantes. En deux ans, les teneurs en potassium tombent à moins du quart de leur valeur primitive. Ce résultat souligne l'importance des engrais potassiques pour maintenir la fertilité du sol.

2°- Essai chaulage et phosphate de fond;

Pour des raisons pratiques, le calcium a été la seule base échangeable analysée. Nous avons utilisé deux modes d'extraction : l'acétate d'ammonium à pH 7 et pH 4.8. Nous donnons les résultats pour Novembre 1957 et Juin 1958, les seuls qui soient en notre possession.

TABLERAU N° LIII

Date	Traitements	Acétate NH ₄ pH 7	Acétate NH ₄ -pH 4.8
Nov. 1957	Témoin Chaux 1 t/ha " 2 t/ha	1.13 mé % 1.27 1.47 ⁺	1.17 mé % 1.37 1.51
Juin 1958	Témoin Phosphate de fond Chaux 1 t/ha " 2 t/ha		1.39 1.34 1.65 1.90

Faute de résultats complets, nous n'avons pas pu calculer la corrélation entre les bases échangeables extraites à pH 4.8 et le pH du sol.

3°- Essai jachère-engrais vert.

Ici encore, nous donnons quelques résultats fragmentaires.

TABIEAU N° LIV

Traitements		Juin 1958	Novembre 58
Jachère brûlée	1 an 3 ans	1.21 mé % 1.40	1.07 mé% 1.28
Jachère enfouie	1 an 3 ans	1.16 1.33	1.02 1.25
Sorgho-engrais vert	1 an 3 ans	1.53 1.43	1.23 1.34
Légumineuse-engrais vert	1 an 3 ans	1.35 1.49	1.26 1.26
Moyenne régénération	1 an 3 ans	1.31 1.41	1.15 1.28

Ainsi l'engrais vert aurait la propriété d'augmenter les éléments échangeables du sol. Par contre, une jachère prolongée pendant trois ans tend à donner les mêmes résultats que l'engrais vert. Nous savons que ces résultats ne correspondent pas tout à fait aux résultats de rendements cultureux. Néanmoins, les traitements à base d'engrais vert restent en tête des teneurs en bases échangeables et il est probable qu'on ait là un des effets fondamentaux de l'engrais vert.

4°- Essai rotations.

Cet essai d'un type assez voisin du précédent donne des résultats différents. En regard des sept types d'assolement étudiés, nous donnons la somme des bases échangeables en Novembre 1959.

- Engrais vert-engrais vert-engrais vert-arachide (1) :	1.37 mé%
- Jachère-jachère-jachère-arachide(2)	1.51
- Arachide-arachide-arachide-arachide (3)	1.56
- Jachère-arachide-sorgho-arachide (4)	1.52
.. - Engrais vert mulché-arachide-riz-arachide (5)	1.41
- Engrais vert fauché et exporté-arachide-riz-arachide (6)	1.49
-Engrais vert enfoui-arachide-riz-arachide	
+ 10 t/ha de fumier chaque année (7)	2.12.

On constate qu'une régénération par trois ans de jachère (2) se classe parmi les meilleurs rendements ce qui est en accord avec ce que nous avons trouvé avec l'essai jachère-engrais-vert. Par contre, la régénération par trois engrais vert successifs vient en dernière place, et ceci est en contradiction avec les résultats de l'essai jachère-engrais vert. On peut s'étonner de ce que le traitement (3) se classe en deuxième place. En fait la valeur donnée est la moyenne de plusieurs parcelles se répartissant ainsi :

- Arachide en culture continue sans engrais	1.48 mé%
- " " " avec 75 kg/ha de bicalcique et 75 kg/ha de CIK	1.46
- " " " avec 100 kg/ha bicalcique.	1.64
- " " " avec 10 t/ha fumier	1.65

L'arachide sans engrais ou avec une fumure PK ne change pas le taux de bases échangeables. Une fumure P et le fumier augmentent nettement ce taux. Le meilleur résultat est obtenu par une combinaison d'engrais minéral et de fumier qui apporte une augmentation de 50 % de la teneur en bases échangeables.

En résumé, une culture intensive avec utilisation des engrais minéraux a des effets presque identiques à une régénération par une jachère prolongée. Le meilleur système de culture (en dehors de toute question de rentabilité) serait celui qui utiliserait les engrais minéraux et le fumier de ferme.

Le tableau N° LV donne une répartition détaillée des éléments échangeables du sol.

TABLEAU N° LV

N° de Traitement	Culture	Fumure	Eléments échangeables (mé ‰)			
			Ca	Mg	K	Na
1	engrais vert	Néant	0.84	0.32	0.07	0.098
	Arachide	(1)	1.01	0.32	0.09	0.092
2	Jachère	Néant	0.92	0.38	0.04	0.085
	Arachide	(1)	1.06	0.57	0.07	0.113
3	Arachide	Néant	0.97	0.37	0.04	0.100
		(1)	0.94	0.37	0.06	0.097
		(2)	1.16	0.35	0.04	0.090
		Fumier	0.94	0.57	0.05	0.092
4	Arachide	(1)	0.96	0.44	0.07	0.099
	Sorgho	(3)	1.14	0.42	0.07	0.090
	Jachère	Néant	0.79	0.27	0.04	0.112
5	Arachide	(1)	0.91	0.38	0.05	0.094
	Riz	(3)	0.87	0.37	0.05	0.097
6	Arachide	(1)	1.02	0.29	0.06	0.083
	Riz	(3)	1.05	0.34	0.05	0.087
7	Arachide	1)+fumier	1.28	0.67	0.13	0.100
	Riz	3)+fumier	1.22	0.65	0.10	0.094

N.B.- Fumure {1} : 75 kg/ha bicalcique + 75 kg/ha Chlorure de potassium
 " {2} : 150 kg/ha bicalcique
 " {3} : 100 kg/ha bicalcique + 50 kg/ha CIK + 200 kg/ha
 sulfate d'ammoniac
 Fumier : dose uniforme de 10 t/ha

On remarquera que l'engrais sur arachide remonte le taux de calcium mieux qu'une jachère répétée. Lorsqu'on repasse à la jachère, le calcium est lessivé en trois ans et on retombe au taux initial. Le fumier apporte une forte dose de calcium échangeable.

L'apport répété de potassium augmente de 50 % en moyenne le potassium échangeable du sol. Cette amélioration disparaît en un an si on cesse d'apporter du chlorure de potassium. Le fumier constitue de très loin le meilleur engrais potassique.

Fumier et engrais minéraux réunis permettent de ramener les teneurs en éléments échangeables du sol à des valeurs voisines de celles qu'on trouve sous forêt. L'effet obtenu est donc infiniment supérieur à celui qu'on obtient par des jachères répétées.

5°- Essai NPK 27 formules

Pour cet essai, le laboratoire de SEFA s'est contenté d'analyser sur place le calcium échangeable à l'exclusion des autres éléments. Les résultats sont très hétérogènes et ne permettent pas de tirer des conclusions statistiquement valables. Nous tenons cependant à les mentionner ici car les variations vont dans le même sens que les variations de pH (cf. IV - partie : le pH).

TABLEAU N° LVI

	Formule commerciale			Sans phosphate tricalcique	Avec phosphate tricalcique
T	0	0	0	1.34 mé %	1.36 mé %
8	16	0	11	1.09	1.11
16	12	10	8	1.07	1.05
25	13	13	0	1.13	1.11
13	0	26	17	1.22	1.30

On voit qu'au bout de 3 ans, le phosphatage de fond n'a aucune action sur la teneur en calcium du sol. L'apport massif de bicalcique (formule 13) tend à maintenir le taux de calcium échangeable. Les engrais azotés facilitent le lessivage et les pertes en calcium.

Corrélation avec le taux de matière organique

1°- Essai NPK 3³

TABLEAU N° LVII

		Corrélation avec le carbone		Corrélation avec l'humus	
		Sans P205 de fond	Avec P205 de fond	Sans P205 de fond	avec P205 de fond
Juin 1954	Arachide	- 0.21	+ 0.77	+ 0.36	+ 0.09
Nov. 1954	"	+ 0.51°	+ 0.60°	+ 0.26	+ 0.21
Juin 1955	Riz	+ 0.41°	+ 0.78°	+ 0	+ 0.51°
Nov. 1955	(avec NPK	+ 0.61°	+ 0.81°	0	+ 0.47°
	(sans NPK	- 0.45°	+ 0.79°	- 0.50°	+ 0.29
Corrélation moyenne		+ 0.18	+ 0.76°		+ 0.32

On note tout de suite que l'humus n'est pas en corrélation avec la teneur en bases échangeables (sauf pour un ou deux cas) et par conséquent, ne joue pas un rôle déterminant dans leur fixation.

Avec le carbone, au contraire, on arrive à ce résultat important à savoir que normalement la matière organique ne jouerait pas un rôle important sur la fixation des bases échangeables du sol. Par contre, lorsqu'on apporte de l'engrais et notamment du phosphate tricalcique, la matière organique a une influence très importante.

° Résultat significatif à P = 0.05.-

2°- Essai 25 parcelles

Cet essai confirme ce que nous venons de voir pour l'essai NPK 3³. Dans une parcelle de riz qui a reçu de l'engrais, les corrélations sont les suivantes :

Humus x bases échangeables : + 0.32

Carbone x bases échangeables : + 0.63°

Sous forêt, les corrélations sont assez voisines :

Humus x bases échangeables : + 0.47°

Carbone x bases échangeables : + 0.63°

La première corrélation est un peu plus élevée que dans les sols cultivés. Cela tient peut-être à la nature différente de la matière organique sous forêt et sous culture.

(°) Corrélation significative.

- C O N C L U S I O N -

Les analyses de bases échangeables ont été trop peu nombreuses et ne permettent pas de tirer des conclusions approfondies. Un certain nombre de points importants ont été mis en évidence :

1°- Appauvrissement général en bases échangeables par mise en culture de la forêt naturelle.

2°- Lessivage intense de K20.

En trois ou quatre ans de culture, la teneur en potasse de certaines parcelles est descendue au-dessous de la teneur minimum dosable. Par ailleurs, une maladie physiologique a fait son apparition sur arachide. C'est la maladie "fin de cycle" caractérisée par une chute plus précoce des feuilles et le pourrissement des gousses avant leur maturation complète. Cette maladie serait due à un déséquilibre de la fumure : excès de P2O5 par rapport à K2O. Elle n'apparaît pas lorsqu'on applique une fumure PK ou un fumier de ferme.

Le lessivage de la potasse est par conséquent un danger réel auquel il est indispensable de remédier par des apports répétés d'engrais potassiques. Du reste, parmi les 27 formules NPK testées dans l'essai de BAMBEY, c'est toujours la même formule, une formule PK qui vient en tête pour l'arachide et ceci après 5 ans d'expérimentation.

3°- Lessivage moins rapide du calcium. Mais ce lessivage est accéléré par l'apport d'engrais ammoniacal.

4°- Importance fondamentale de la matière organique qui assure la fixation des bases échangeables apportées par les engrais minéraux. D'où l'influence bienfaisante de l'engrais vert et surtout du

fumier auquel on n'a pas encore prêté assez d'attention en grande culture à cause de son prix de revient prohibitif. Ce problème doit être revu dans le cadre de la culture associée qui, par son caractère familial, permet un meilleur équilibre entre culture et élevage.

A l'avenir, une plus grande place devra être faite à ce dernier, quitte à sacrifier quelque peu les cultures industrielles au profit des cultures fourragères. Il ne faut pas oublier, en effet, que la viande et le lait ne sont pas les seuls produits de l'élevage, mais que le fumier peut jouer un grand rôle dans les calculs de rentabilité d'une ferme grâce à l'accroissement des rendements cultureux qu'il provoque, à tel point que dans certaines régions de France, le lait est considéré comme un sous-produit du fumier de ferme.

CONCLUSION GENERALE

Le grand avantage d'une station de recherches agronomiques du type de celle dont dispose la C.G.O.T. à SEFA est de pouvoir allier à un laboratoire déjà bien équipé des champs d'expériences très variés et dont le comportement à la culture commence à être bien connu. Cet avantage doit être mis à profit pour mener des études très précises de pédologie.

Nous pouvons considérer que les études menées jusqu'en 1958 ont constitué un dégrossissage des problèmes de fertilité dans les sols ferrugineux tropicaux. Les méthodes d'analyses utilisées ont été surtout les méthodes classiques enseignées aux pédologues. Les résultats obtenus se sont avérés assez limités. Ces méthodes, en effet, conviennent aux pédologues cartographes qui ont à classer des sols très différents, et par conséquent les étudient d'un point de vue statique. Le point de vue qui nous intéresse est au contraire la "dynamique" d'un sol sous l'effet de facteurs naturels (climat, topographie) et artificiels (méthodes de culture intensive). Nous avons affaire à un milieu vivant soumis à de multiples influences. Nos méthodes doivent être différentes. Il ne faut pas hésiter à contrôler toute une série de facteurs pour n'en laisser agir qu'un ou deux. A l'avenir, il conviendra de limiter le nombre d'essais aux champs mais de les étudier à fond. Il faudra en outre multiplier les essais en pots ou en cases de végétation ainsi que les essais en laboratoire. Ces deux principes sont fondamentaux et devront rester présents à notre esprit lorsque nous aborderons les problèmes qui vont se poser à nous.

1°- Le premier problème qui va se présenter pour les recherches futures sera l'étude précise de l'évolution saisonnière du sol. Les dates de prélèvement précédemment choisies : juin et novembre étaient arbitraires. Nous avons vu que les prélèvements de novembre donnent les meilleures corrélations avec les rendements culturaux. En fait, il est possible que la meilleure date de prélèvement se situe un peu plus tôt. Il est possible aussi que cette date varie avec la nature de la culture et avec l'élément à doser. Chaque plante a ses exigences propres au point de vue nutritif. Certaines plantes sont épuisantes pour un élément, alors que d'autres au contraire enrichissent le sol en ce même élément. C'est le cas du riz qui épuise le sol en azote alors que l'arachide accumule de l'azote dans le sol. De même, l'effet de l'engrais vert sur la matière orga-

nique du sol est mal connu parce que la date de prélèvement est peut-être mal choisie. Il serait bon de suivre semaine par semaine l'évolution de la matière organique enfouie et d'étudier l'influence des facteurs climatiques, notamment de la pluviométrie, intervenant après enfouissement de la matière verte.

2°- Le second problème sera celui de l'élimination des variations dues à l'hétérogénéité du sol et aux irrégularités du climat. Il ne faudra pas hésiter à mener de nombreux essais dans des bacs de végétation où l'on pourra contrôler la pluviométrie, le drainage et la température du sol. Tous les bacs seront remplis d'un même type de sol bien homogénéisé au départ.

DOMMERCUES avait utilisé une méthode également très séduisante et qui mérite d'être reprise. Il enfouissait dans le sol une série de sacs en toile moustiquaire de nylon contenant un même échantillon de terre bien homogénéisé. Les sacs étaient déterrés à intervalles réguliers et analysés. L'expérience de DOMMERCUES n'a pas donné grand résultat car le nombre de répétitions (4) n'était pas suffisant. Mais on pourrait la reprendre en portant le nombre de répétitions à 8 ou 10.

Cette étude de l'évolution du sol pourrait porter sur la comparaison entre sol cultivé, sol de forêt et jachère prolongée. Dans la mesure du possible, il serait intéressant d'étendre ces recherches aux sols de rizières.

3°- Les méthodes d'analyses doivent également faire l'objet d'une mise au point. Dans le domaine de la matière organique, l'analyse du carbone doit rester le test de base. Mais nous avons vu que la teneur en carbone total varie peu même après un engrais vert. Il semble donc que la teneur en matière organique totale corresponde à un équilibre étroitement lié aux conditions climatiques. FAUCK signale également que dans les sols de Guinée, il y a une étroite corrélation entre taux de matière organique et taux d'argile du sol. Il semblerait donc que pour un sol donné, on ne puisse élever au-delà d'une certaine limite le taux de matière organique, la teneur en argile constituant un facteur limitant.

Dans ces conditions, l'amélioration de la fertilité doit être recherchée dans un changement de la nature de cette matière organique. L'analyse de la matière organique après séparation par den-

simétrie a donné des indications intéressantes à MADAGASCAR. Il peut en être de même à SEFA pour une étude de la décomposition du sorgho-engrais vert ou des pailles de riz comparée à celle des jachères.

En ce qui concerne la matière organique humifiée, tout est à reprendre. L'extraction de l'oxalate d'ammonium ne donne pas grand résultat. On peut l'expliquer par le fait que le réactif d'extraction est mal adapté aux sols tropicaux. Le principe de l'extraction, en effet, est basé sur l'échange des ions calcium de l'humate de calcium et leur précipitation sous forme d'oxalate de calcium. Cette méthode peut convenir pour des limons calcaires du type de ceux que l'on rencontre en pays tempéré mais elle ne correspond plus à rien en pays tropical où il y a très peu de calcium échangeable. Les variations enregistrées au cours des milliers d'analyses faites à SEFA sont sans corrélation avec les autres facteurs étudiés : rendement cultural, matière organique totale... L'humus extrait par le fluorure de sodium ne donne pas non plus les résultats escomptés. Mais il serait nécessaire de poursuivre un peu les recherches avant d'éliminer cette méthode.

4°- L'action des engrais devra faire l'objet d'études précises. Dans le cas du phosphore, nous avons vu que cet élément est bloqué dans le sol sous forme peu assimilable. Il semble cependant qu'il ne soit pas perdu et qu'il puisse réapparaître par simple apport de faibles doses d'engrais phosphaté.

On s'expliquerait ainsi que dans les parcelles de la station expérimentale où on apporte des engrais depuis 8 ans, les essais d'engrais phosphatés ne soient pas toujours significatifs. Cette hypothèse mérite d'être confirmée car les conséquences économiques en sont importantes, à ce moment là, en effet, il devient intéressant de pratiquer une bonne fumure de fond sous forme de phosphate tricalcique sur les terres nouvellement défrichées et d'apporter ensuite un faible complément annuel.

Pour cela, les formes de fixation du P205 doivent être étudiées au laboratoire en rapport avec les teneurs en argile et en hydroxyde de fer.

On pourra faire appel aux méthodes d'études de la fixation de P205 à l'aide du phosphate radioactif. Néanmoins, les expériences sont difficiles à réaliser et demandent un matériel spécial. Il sera préférable de les faire en France dans un laboratoire spécialisé.

Les résultats de ces études théoriques seront déterminants pour mener ensuite les recherches à la station sur le sol en place à l'aide d'essais statistiques.

5°- Utilisation systématique de tests biologiques. Le sol, que nous avons déjà vu, est un milieu vivant. Il faut donc suivre son évolution en tant que milieu vivant. Les tests biologiques sont un des meilleurs moyens à notre avis de suivre l'évolution du sol. Les tests appliqués jusqu'à ce jour n'ont pas apporté tous les résultats espérés. Des méthodes nouvelles réussiront peut-être mieux que celles qui ont été appliquées jusqu'à maintenant. L'utilisation de tests tels que azote minéralisable, dégagement de CO₂ (1) donnerait peut-être des indications intéressantes si on les applique systématiquement. Le rôle de l'azote et l'influence des phosphates sur l'azote du sol a fait l'objet de nombreuses recherches aux Indes (Dahr). DABIN (2) avait trouvé une relation entre N et P₂₀₅ total dans les sols du Dahomey. Des études dans ce sens, à l'aide des tests biologiques, pourraient être entreprises à SEFA, en étroite collaboration avec le laboratoire de Dakar-Hann.

6°- Les tests de structure du sol (test de HENIN) ont été appliqués dans quelques essais, notamment l'essai rotation. Les premiers résultats n'apportent rien de nouveau. Le test d'analyse des agrégats met en évidence l'extrême fragilité de la structure des sols de SEFA. Il n'y a pour ainsi dire pas d'agrégats stables au Benzène.

Les traitements étudiés ne sont pas significativement distincts à l'exception de la Jachère 3 ans qui améliore nettement la structure du sol. Dès l'année suivante, cet effet a disparu après la culture d'arachide. Les résultats agronomiques, nous le savons, contredisent ce résultat.

(1) DOMMERGUES - Notion de coefficient de minéralisation du carbone dans les sols - Agr. tropical 1960 - 1 - 54 - 60

(2) DABIN - C.R. VI^e Congrès Science Sol (Paris 1956) - IV - 58

Néanmoins, les recherches se poursuivent à BONDY concernant l'application du test HENIN aux sols de SEFA. Le laboratoire de SEFA devra suivre attentivement ces recherches et s'y associer en utilisant les directives du laboratoire de BONDY.

7°- Du point de vue pédogénèse, nous préconisons de poursuivre les études déjà amorcées.

- perméabilité et drainage des sols en place, porosité et ses variations.
- température du sol.
- Humidité du sol, ses variations au cours des changements de saison. Les expériences d'HALLAIRE (1) sur la mesure de l'évapotranspiration potentielle et réelle ont fait leurs preuves à Versailles. Leur application aux conditions de SEFA apporterait des renseignements très utiles sur la pédogénèse en milieu tropical à saisons sèches prolongées. On pourrait lier ces études de bioclimatologie et de pédoclimat à des problèmes tels que : phénomènes d'oxydo-réduction et de mouvement du fer dans le sol, en particulier au niveau de l'horizon à taches et concrétions, variations de la vie microbienne aérobie et anaérobie, etc...

La station de SEFA n'a donc pas terminé son oeuvre de recherches. Elle est bien équipée et située dans un milieu écologique qui la sépare nettement des autres stations : Bambey, Bouaké. Son gros handicap

(1) HALLAIRE - Diffusion capillaire de l'eau dans le sol - Ann. Agric. 1953 n° 2-143

- La circulation de l'eau dans le sol sous l'effet de l'évapotranspiration et l'utilisation des réserves profondes UNESCO - Actes du Colloque de Madrid. Le problème potentiel de l'eau dans le sol et de la disponibilité de l'eau pour la végétation (Centre d'Etude de l'Eau - Secrétariat d'Etat à l'Agriculture de Tunisie).

(2) HALLAIRE & HENIN - Dessèchement du sol et profils hydriques. CR. Acad. Sc. 1958 T 246 2151-2153.

provient de son isolement, isolement qui se traduit sur le plan matériel par des difficultés d'approvisionnement. Une bonne organisation du travail est donc nécessaire. Il faut, en particulier, éviter d'avoir à mettre au point les méthodes d'analyse. Celles-ci doivent être mises au point par avance en France ou à DAKAR. La station de SEFA se chargera de l'application pratique et en série des méthodes les plus simples. La présence d'un chercheur sur place reste indispensable tant pour la surveillance du laboratoire que pour les observations à faire sur le terrain. La méthode qui consiste à envoyer périodiquement un chercheur basé sur un grand centre risque de ne pas donner lieu à un travail efficace. La conception et l'adaptation des méthodes de recherche doit se faire au contact des réalités du milieu. Par contre, de fréquents contacts avec les autres stations ou les laboratoires de France doivent permettre au chercheur d'être au courant des méthodes les plus récentes et de s'approvisionner plus rapidement.

Les recherches devront porter sur des points précis. Il vaut mieux étudier moins d'essais mais plus complètement et sur un grand nombre d'années, car l'expérience acquise montre que c'est après plusieurs années seulement que les phénomènes deviennent perceptibles par l'analyse.