

CN0100748

PLS/NDK
REPUBLIQUE DU SENEGAL
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

SECRETARIAT D'ETAT A LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

CONTRIBUTION A L'ETUDE DE L'INTERACTION TRAVAIL DU SOL -
FERTILISATION EN AMELIORATION FONCIERE
CAS DE LA STATION DE NIORO
RAPPORT DE STAGE PRESENTE PAR
Papa Léopold SARR

Octobre 1981

Centre National de Recherches Agronomiques
de BAMBEY

INSTITUT SENEGALAIS DE RECHERCHES AGRICOLES
(I. S. R. A.)

S O M M A I R E

.....

I N T R O D U C T I O N

I - PRESENTATION DU MILIEU SENEGALAIS

- 1- Climat - Végétation
- 2- Géologie
- 3- Géomorphologie - Modèle actuel

II - PRESENTATION DE NIORO DU RIP

- 1- Situation géographique
- 2- Climat Végétation
- 3- Géologie - Géomorphologie
- 4- Les Sols
 - Caractéristiques générales
 - Caractéristiques physiques
 - Caractéristiques chimiques
 - Organisation microscopique

III - MATERIEL ET METHODES

- 1- Dispositif Expérimental
- 2- Choix des traitements
- 3- Méthodes de Prélèvement
- 4- Méthodes d'analyses Physiques
- 5- Méthodes d'analyses chimiques

IV - Evolution des Rendements - Résultats

V - Discussion - conclusions

Bibliographie

Annexes

INTRODUCTION

La faiblesse des rendements agricoles et plus précisément celle des cultures vivrières en conditions naturelles constitue le gros problème de l'agriculture Sénégalaise.

Le déficit céréalier quasi endémique dans les zones rurales oblige à introduire des techniques nouvelles qui permettent de relever le niveau des productions agricoles et plus particulièrement celui des cultures vivrières.

C'est dans ce cadre que la recherche agronomique a mis au point des techniques permettant non seulement d'augmenter de façon substantielle les rendements agronomiques mais également de déplacer la fertilité naturelle très pauvre des sols vers une fertilité potentielle plus apte à cette production.

Après une première période d'études thématiques, la recherche agronomique a procédé à la mise en place, vers les années 64, d'un réseau de parcelles en semi-vraie grandeur (400 m²), destinées à étudier l'interaction travail du sol x Fertilisation.

Ce dispositif a été implanté dans toutes les écologies caractéristiques du Sénégal ; ceci du reste se comprend aisément, les méthodes à introduire devant tenir compte des impératifs locaux.

A partir de ce dispositif on a observé une évolution des rendements très différents en fonction des traitements.

Le but de cette présente étude est de voir si cette évolution des rendements s'est traduite sur les caractéristiques physiques et chimiques du sol ; Autrement dit il s'agit de voir s'il est possible de déceler au niveau du sol des indices traduisant des évolutions différentes de la fertilité des sols sous l'effet des traitements.

Pour ce faire, on avait dans un premier temps choisi de procéder à une étude détaillée du site de Nioro du Rip et de voir dans un deuxième temps si les résultats obtenus étaient confirmés en deux autres situations SENEGAL à savoir Thiénéba au Nord et SEFA au Sud ; cette comparaison devant permettre de vérifier la validité des indices retenus.

Malheureusement cela n'a pas été possible et compte tenu des difficultés rencontrées nous nous bornerons dans cette étude à caractériser dans le détail le site de Nioro du Rip.

L'évolution des différentes caractéristiques du sol sous l'effet des traitements à Nioro du Rip revêt une importance toute particulière dans l'effort de réalisation d'une agriculture d'autosuffisance alimentaire des lois qu'on sait que les sols de plateaux de la région de Nioro représentent une part appréciable des terres cultivables au SENEGAL.

I - PRESENTATION DU MILIEU SENEGALAIS

Le SENEGAL se trouve à l'extrême ouest de l'Afrique occidentale ; Il est situé entre les latitudes 13°30' et 16°30' Nord.

1°)- Climat et Végétation

De par sa situation géographique le SENEGAL abrite toutes les nuances du climat tropical de rythme soudanien.

La conséquence fondamentale de cette position latitudinale est que l'agriculture y est sous la dépendance du climat ; d'une manière générale ce climat se manifeste par l'alternance d'une saison sèche longue (6 à 9 mois) et d'une saison pluvieuse courte.

Schématiquement on peut découper le Sénégal en trois zones caractéristiques

- La zone Nord- depuis le Fleuve Sénégal jusqu'à la latitude 14°40' N . Cette zone est sous la dominance d'un climat sahélien à sahélo-soudanien avec une longue saison sèche et une moyenne annuelle des précipitations variant entre 200 et 600 mm.

- La zone centre-Sud- marquée par un climat à caractéristiques soudano - sahéliennes avec des hauteurs de pluies comprises entre 600 et 1200 mm et des pluies plus régulières.

Les températures moyennes annuelles sont de l'ordre de 28°C ; Les variations entre minima et maxima sont importantes et de l'ordre de 20°C. L'évaporation est forte en saison sèche (10 mm/j) est plus faible en saison pluvieuse 2-3 mm/j.

- La zone Sud est sous la dominance d'un climat que Brigaud (1965) a qualifié du tropical sud-soudanien avec des hauteurs de pluies de 900 à 1600 mm. Les températures moyennes sont de l'ordre de 27°C, les variations minima/maxima sont les plus importantes de l'ordre de 30°C. L'évapotranspiration est de 16 mm/ j en saison sèche et de 3 mm/j en saison des pluies.

Dans cette présentation simplifiée du climat nous n'avons pas parlé des influences maritimes qui certes modifient localement les climats et créent des sous-types , mais dont les effets de toute façon ne sont pas assez profondément ressentis sur le continent.

Au delà de toute considération zonale, le climat se manifeste, à peu de choses près de la même façon partout. En plus de l'alternance des deux saisons, la pluviométrie varie d'une année à l'autre et même eu sein d'une saison pluvieuse. De plus les pluies de Juin-Juillet revêtent un caractère orageux avec parfois des intensités pouvant atteindre le régime des vents est sous la dominance des Alizés.

- Vents secs continentaux venant du Nord et du Nord-Ouest en saison sèche.

- Vents humides venant de l'Ouest et du Sud-Ouest en hivernage et qui apportent les pluies.

Comme pour le climat la végétation obéit à une zonation qui se superpose avec celle du climat, Il faut signaler l'importance de l'action anthropique sur cette végétation qui fait qu'il est pratiquement impossible de reconstituer la végétation climatique.

- La zone Nord

Cette zone peut-être subdivisée en deux sous-zones en fonction de l'occupation humaine.

- La zone Nord-Ouest caractérisée par l'extension d'un tapis herbacé parsemé de quelques espèces arborescentes épargnées par le reboisement ; Il s'agit d'espèces dont les produits entrent dans l'utilisation pratique des habitants. Les principales sont représentées par les Acacia, Adansonia et Parinari etc.

- La zone Nord-Est

Cette zone est moins exploitée c'est essentiellement une zone de paturage transhumant caractérisée par l'apparition de taillis denses et quelques lambeaux ; plus ou moins importants de forêt relique,

- La zone Centre

Elle correspond à la zone climatique soudano-sahélienne et si elle trouve couverte par une forêt claire dominant un tapis herbacé de graminées vivaces. Le développement des combretacées y est important, Les espèces arborescentes les plus représentées sont comme pour les autres zones celles qui sont couramment utilisées par les populations,

- La zone Sud

Elle est recouverte par une forêt sèche soudanienne ; on y trouve mélangées à la flore soudanienne des espèces guinéennes. Cette forêt domine soit un sous bois ligneux constitué de combretacées et de bambous (*Oxytheranthera abyssinica* j, soit un tapis herbacé de grandes andropogonées vivaces annuelles.

2°)- Géologie

Le substrat géologique du SENEGAL est relativement homogène ; il s'agit de formations continentales détritiques gréseuses-argileuses qui se sont déposées à la fin du tertiaire et qu'on appelle "Continental terminal".

D'après Dieng (1963-65) Ces formations sont comprises entre les dépôts marins datés de l'Eocène inférieur et la latérite fini-Pliocène. Dans l'étude qu'il a faite de la bordure orientale du Bassin sénégal-mauritanien il subdivise ces formations en trois niveaux :

- Continental terminal inférieur ou "faciès de NIERI-KO" avec des faciès grossiers et conglomératiques.

- Continental terminal moyen dont les formations sont corrélatées avec les formations marines de l'Eocène moyen.

Continental terminal supérieur corréolé avec les formations marines du mio-phocène . Il couvre la majeure partie du territoire sénégalais et est constitué de grès argileux versicolores. Du point de vue stratigraphique, les quelques données fournies par les rares sondages nombreuses que la puissance de ce matériau est plus importante à l'ouest qu'à l'est ; Tout se passerait comme si la nappe du continental terminal allait on s'épaississant d'Est en Ouest.

D'une manière générale on observe la puissance des séries détritiques surmontant les séries marines lacustres, ce qui traduit l'importance des phénomènes d'érosion par ablation, transport qui concerne la pétrographie LEPRUN (1967) et CHAUVEL (1977) montrent que ce matériau ne renferme que des minéraux relativement résistants (quartz, kaolinite et ilinoxydes de fer accompagnés de quelques minéraux lourds).

3°) - Géomorphologie et modèle actuel

Les phénomènes géomorphologiques ont d'une manière générale marqué de toute leur empreinte les matériaux du Continental terminal,

Les études de Michel (1960) montrent l'importance des phénomènes d'érosions, de transport, remaniement liés au développement des réseaux hydrographiques installés sur les vastes plateaux indurés. L'alternance des périodes de transgressions (colluvionnement) et de régression (surcuscusement) constitue le moteur de l'évolution géomorphologique.

L'importance de ces phénomènes est à la mesure de la monotonie et de l'homogénéité de la topographie de ces régions. En effet, hormis le décrochement entre la presqu'île du Cap-Vert et le reste du continent marqué par la falaise de THIES qui se prolonge au Nord par le Mont-Rolland avant de disparaître sous les dunes cotibros et au sud par un ensemble d'occidents tectoniques dont le Horst de N'Diaye représente l'élément majeur, le relief du Sénégal est monotone et très plat. Cette monotonie est renforcée dans sa partie septentrionale par un important ensablement (grand erg du Cayor, formations sableuses de l'Ogôlin) représenté par des alignements dunaires orientés NE-SO.

Le relief actuel est essentiellement constitué de vastes plateaux et buttes aplanies se raccordant par des pentes très faibles (1 à 2 %) à des dépressions largement couvertes. Ces plateaux sont entaillés par un réseau de vallées fertiles à fond plat et colmaté ; ces vallées ne sont plus le siège d'aucun écoulement elles ne jouent plus que le rôle de collecteur d'eau ruisselée pendant la période pluvieuse.

Le tracé de ces vallées aurait été influencé par les accidents tectoniques ; Il est intéressant à ce propos de noter que l'axe général des divers cours d'eau correspond aux axes de fracturations. Au niveau de la Casamance il s'agirait d'un mouvement de subsidence particulièrement sensible on bordure du littoral faisant rejouer de vieilles fractures.

II - PRESENTATION DU SITE DE NIORO DU RIO

Les coordonnées géographiques du point d'Essai de Nioro du Rio sont les suivantes :

- 13°44' latitude Nord
- 16°47' longitude Ouest

1°)- Climat-Végétation

Les études de Dancette (1978) sur la période 1931-1975 montrent que la pluviométrie n'est ni atteinte ou dépassée dans au moins 80 % des cas, situent la zone de Nioro à 800 mm. Comme nous l'avons vu dans la présentation générale, ce climat est très agressif (fortes pluies, alternance de périodes d'excès d'eau et de déficit hydrique).

Du point de vue des équilibres pluviométriques et évapotranspiration potentielle Dancette (1973) met en évidence l'opposition entre une période humide (juin-octobre) durant laquelle la pluviométrie est très supérieure à l'ETP et une période sèche marquée par l'absence totale de pluies et de fortes valeurs de l'ETP.

La végétation naturelle de cette région est une forêt claire complétement dégradée par l'action de l'homme, cette action se manifeste par l'intermédiaire des feux de brousse, du défrichement et du pâturage.

La zone se présente actuellement sous forme de parc à *Cordyla pinnata* avec des *Combretaceae* (*Combretum glutinosum* et *Guiera senegalensis*). Bertrand (1973) a qualifié la région de Nioro comme étant une mosaïque de formations simples et complexes ligneuses ou herbacées.

2°)- Géologie et Géomorphologie

La géologie de Nioro comme pour toute la partie méridionale du SENEGAL est marquée par le continental terminal.

La géomorphologie comme pour l'ensemble du territoire a évolué sous le rythme des alternances transgression/Régression. La période oulgienne est très marquée dans cette région (P: arigot de Nioro). La situation de cette région à mi-chemin entre deux réseaux hydrographiques hiérarchisés (le Saloum au Nord et le Baobolon au Sud) lui confère une évolution géomorphologique assez particulière ainsi que le modèle, qui en est résulté.

Les plateaux sont ceinturés par des séries de cuirasses ferrugineuses dont la répartition suit un axe NU. SE ; cet axe correspond à la ligne des anciens axes de drainage reliant d'une part le réseau en pleine dégénérescence du Saloum avec des axes peu actifs (cuirasses discontinues et peu épaisses) d'autre par le réseau jeune du Baobolon avec des axes de drainage plus actifs (cuirasses continues et épaisses). La mise en place de ces cuirasses a été corrélée avec l'abaissement des nappes phréatiques au quaternaire.

3°) - Les Sols

3.1/ Caractéristiques générales

Les sols que nous étudions appartiennent aux sols ferrugineux tropicaux lessivés sans tache ni concrétion sur colluvions du Continental terminal. Il s'agit plus précisément d'un sol rouge colluvial de bordure de butte.

Ces types de sol évoluent avec la topographie ; cette évolution se traduit par une augmentation de l'épaisseur des sols, de la texture argileuse et par une meilleure différenciation des horizons vers le bas des pentes.

Les phénomènes géomorphologiques (ablations, transports) très importants ont engendré un matériau nouveau dérivé du continental terminal qui se substitue aux grès argileux comme roche mère des sols.

Ce type de sol présente des traces de remaniement sur l'ensemble du profil en relation avec l'importance des phénomènes de transport.

Toutes ces considérations, nous amènent à établir des relations génétiques de type sol-topographie-géomorphologie.

Sauf exception ces sols ne reposent jamais sur cuirasse et les phénomènes de ségrégation du fer y sont rarissimes voire inexistants. Leur caractéristique essentielle est représentée par l'opposition très nette entre leur horizon supérieur sableux appauvri et les horizons profonds plus argileux et compacts.

3. 2/ Caractéristiques physiques

Comme nous le disions dans la présentation du milieu, les formations du Continental terminal représentant les roches-mères de ces sols sont constituées de minéraux relativement résistants ; Elles ne pourront être affectées que par des processus de différenciation pédologique favorisant les phénomènes d'organisation et de réorganisation plutôt que les processus de transformation minéralogique et chimique.

En effet l'essentiel des minéraux de ces sols sont hérités du matériau originel ; il s'agit en particulier d'argile kaolinique, d'oxyde de fer de quartz et de quelques minéraux lourds très peu altérables.

Les caractéristiques physiques de ces sols seront dans une large mesure dépendantes du type d'argile qu'ils contiennent et de la nature sableuse de leur horizon superficiel.

L'analyse minéralogique (Rayons X et ATD) met en évidence la prédominance de la kaolinite dans la phase argileuse ; on note quelques interstratifiés et quelques argiles micacées.

Les résultats de l'analyse granulométrique détaillée montrent de fortes variations dans la répartition verticale de la fraction argile granulométrique avec une meilleure cristallinité en surface (aplitude des pics).

Par suite de l'absence des phénomènes de gonflement/Retrait (argile kaolinique) ces sols présentent une structure naturelle très peu favorable (absence de fissuration, empilement des grains de sables).

Dans l'horizon 0-20 cm on a une structure grumeleuse grossière à polyédrique due à l'action de la faune et de la flore (racines essentiellement) ; Dans l'horizon 10-30 cm la structure polyédrique tend vers une structure massive avec de gros agrégats (10-40 mm),

Au de là de cette limite le profil se présente comme une masse continue compacte sans aucune structure apparente.

La porosité est relativement faible, elle y est de l'ordre de 40. Cette porosité augmente avec la profondeur en liaison avec l'augmentation du taux d'argile.

Les caractéristiques hydriques sont les suivantes :

- bon drainage interne en fonction de leur position topographique à mi-pente entre les buttes cuirassées et les Tralwegs.

- La capacité de rétention d'eau est faible, les valeurs moyennes sont de l'ordre de 12 % d'humidité pondérale.

L'eau utile varie en surface entre 4 et 7 %.

3.3/ Evolution du Profil Cultural

Cette évolution s'effectue en deux phases marquées par des processus nettement différents :

- En période des pluies

Le fait dominant est l'action des pluies à forte intensité. Le caractère extrêmement agressif constitue un véritable facteur de dégradation du sol. Cette action se manifeste sur le sol par deux phénomènes.

- Un tassement qui induit une destruction de la structure et une baisse de la porosité.

- Un phénomène de battance ou plus exactement un effet Splash qui se manifeste surtout au début de saison pluvieuse lorsque le couvert végétal n'est pas encore bien développé.

Ces phénomènes entraînent d'une part un colmatage et, d'autre part, accentuent les phénomènes d'appauvrissement (les éléments fins mis en solution étant entraînés par les eaux de ruissellement et éliminés du profil).

La cohésion du sol en cette période est très faible.

En saison sèche

L'évaporation intense pendant cette période et l'absence totale des pluies favorisent le dessèchement du profil.

Le profil présente un aspect uniforme compact et massif ; les éléments structuraux sont argileux et de taille variable ; il s'agit plus exactement d'éclats qui, soumis à la pression des doigts deviennent pulvérisants.

La cohésion du sol durant cette période augmente considérablement et est la grande partie responsable de la "prise en masse".

Plusieurs facteurs interviennent simultanément sur la prise en masse tels la texture, la porosité, l'humidité du sol et la vitesse de densification du profil. À l'état actuel des connaissances il est difficile de définir avec précision la prise en masse ; Tout au plus on peut le constater comme le préconise Nicou (1974) par un ensemble de mesures (densité apparente, porosité de structure, mesures pénétrométriques et détermination des efforts de traction).

Cependant un certain nombre d'hypothèses ont été avancées pour expliquer ce phénomène dont les premières faisaient intervenir le rôle de la silice colloïdale et le fer. Les études récentes menées par Specklin (1977) montrent que ces éléments considérés seuls n'interviennent pas dans le processus de prise en masse ; Ces études ont mis l'accent sur l'importance du rôle que joue la matière organique liée au ciment argile-fer dans ces phénomènes.

3.4. Caractéristiques chimiques

Les sols de la région de Nioro du Rip comme la plupart des sols du Sénégal sont avant tout très pauvres ; Cette pauvreté naturelle est renforcée d'une part par l'absence de restitutions pour compenser les exportations des cultures dans les exploitations paysannes et, d'autre part par les pertes d'éléments minéraux par lixiviation et appauvrissement.

De nombreuses études relatives à ces pertes par lixiviation ont été réalisées au SENEGAL nous en citerons quelques-unes.

Ainsi Bonfils et Charreau (1962) montraient qu'un drainage important atteignant les deux mètres de profondeur se réalisait en Août et Septembre avec entraînement d'éléments minéraux. Si les hauteurs d'eau de drainage variaient leur concentration en éléments minéraux par contre ne varient pas. Les plus fortes concentrations de cations des eaux de drainage concernent le calcium (Ca) le magnésium et à un degré moindre le Potassium.

Les principaux anions sont représentés par le chlore, les nitrates, les sulfates et les bicarbonates.

Charreau C., Fauck R., (1970) dans une étude effectuée sur Sols du Sénégal on estime quantitativement les pertes en éléments chimiques :

- 30 kg/ha de N
- 20 kg/ha de K_2O
- 150 kg/ha de CaO

Plus récemment Pièri (1978) dans l'étude de la composition de la solution du sol d'un sol sableux du Sénégal à l'aide de capteurs en céramique poreuse a mis en évidence d'importants phénomènes de lixiviation ; Il montre dans cette étude que le calcium est l'élément le plus entraîné (15 kg/ha de CaO) vient en suite l'azote (8 kg/ha) et le potassium très bien lessivé (2 kg/ha de K_2O). Il montre en plus que l'utilisation de KCl comme engrais accroît fortomont les pertes en Ca (27 kg/ha de CaO).

Glendel (1971) par une étude menée sur parcelles cultivées et nues à Nioro montre que la minéralisation de la matière organique est très active en début de cycle. Le taux d'azote minéral sans apport d'engrais atteint très vite 106 kg/ha et est réparti de façon homogène dans tout le profil. On note une décroissance rapide du taux d'azote minéral après cette phase de minéralisation active pendant que se développe une intense activité nitrifiante comme peut en témoigner à différents stades le rapport.

Azote nitrique / Azote ammoniacal					
% AN	7/7	21/7	24/7	4/8	
AA	0,5	0,6	4,1	4,0	

Dans le cas d'un apport d'engrais (Urée) l'ammonification se fait plus ou moins rapidement ; on a un premier pic d'ammoniac dans l'horizon 10-20 cm vers le 24/7 et un deuxième dans l'horizon 20-40 cm vers la mi-Août. La nitrification comme précédemment suit rapidement l'ammonification et les quantités de nitrates passent rapidement de 52 kg/ha le 24/7 à 134 kg/ha le 4/8.

Une partie de ces éléments nutritifs sont soit absorbés par les plantes dans le cas des parcelles cultivées, soit éliminés au niveau des parcelles nues ; La quantité de nitrates restant après la mi-Août étant évaluée à 25 kg/ha.

Ganry (1973) dans une étude en microlysimètres consacrée à la décomposition de plusieurs types de résidus de récolte montre que la fraction organique composée de résidus dont le diamètre est supérieur à 2 mm disparaît totalement dès la première année dans le cas de la matière verte ; Par contre la paille compostée et les racines dans cette fraction résiste fortement à la biodégradation la première année mais disparaît totalement la deuxième année. Cette biodégradation affecte du reste et de façon importante tout le stock de matière organique libre.

De l'ensemble de ces études se dégagent deux constatations fondamentales :

- d'une part la tendance quasi générale des sols à la lixiviation.
- d'autre part la vitesse de biodégradation de la matière organique ;

Cette "fusion" de la matière organique en plus des facteurs écologiques (humidité, chaleur) s'expliquerait par l'explosion de la micro-faune au moment des premières pluies.

Les mesures des différents paramètres chimiques effectuées sur les échantillons de sols reflètent ces tendances.

Les valeurs des différents paramètres chimiques mesurés sont les suivantes (tableau représentant les mesures effectuées sur sol de bordure de l'essai. Amélioration foncière analyse du profil).

Profondeur		0-8 cm	8-30 cm	30-140 cm
Granulométrie	Argile %	8,5	13,4	28,6
	Limon %	2,7	2,1	3,3
	Sable très fin %	9,9	10,4	10,4
	Sable fin %	51,9	44,6	31,4
	Sable grosseur %	25,7	29,9	26,2
- - - a -				
M.O	Matière organique %	1,29	0,47	0,34
	Carbone %	0,75	0,27	0,20
	Azote total %	0,58	0,52	0,30
	Rapport CIN %	13	3	7
Phosphore	Phosphate total (P ₂ O ₅) ppm	30	71	81
	Phosphore assimilable	8	7	6
Complexe	Ca m.e pour 100 g	2,78	1,71	1,61
	Mg m.e pour 100 g	0,63	1,46	0,92
	K " " "	0,000	0,03	0,08
	Na " " "	0,01	0,01	0,01
Absorbant	Somme des bases 5m.e %	3,50	2,21	2,62
	Capacité d'échange CEC	3,83	2,74	4,65
	Saturation $V = \frac{S \times 100}{CEC}$	91	81	56
P I -				
pH	pH eau	6,70	6,511	6,05
	pH KCl	5,70	5,60	5,15

Le PH varie très peu avec la profondeur il est légèrement acide ; il existe en plus une différence de l'ordre d'une unité PH entre le PH eau et le PH KCl et qui est un indice de la tendance de ces sols à l'acidification. On verra par la suite que la mise en culture et l'emploi des engrais minéraux renforce cette tendance à l'acidification.

- La matière organique est très peu importante ; Sa répartition varie avec la profondeur de 1,20 % en surface (0-8 cm) elle passe à 0,34 % en profondeur. Cette matière organique est représentée essentiellement par les résidus de récolte et a un particulier par les racines. De même l'azote total varie avec la profondeur, le rapport C/N varie de 13 % en surface à 6 % dans l'horizon de profondeur.

- Le complexe absorbant est très pauvre ; cette pauvreté est due à la faible quantité des colloïdes minéraux et organiques et surtout à la nature de ces derniers. Piéri (1977) explique que les propriétés électro-chimiques de surface des colloïdes sur ces sols sont fortement modifiées par la présence d'enrobements de silice colloïdale. Le pouvoir tampon des sols est très faible en relation avec la grande quantité de sables quartzes inactifs qu'ils renferment.

- La fixation du phosphore dans ces sols est très faible comme en témoigne les quantités de phosphore assimilable.

III - MATERIEL ET METHODES

- 1- Dispositif expérimental d'Etude
- 2- Le choix des traitements
- 3- Méthodes de Prélèvement
- 4- Méthodes d'Analyses physiques
 - 4.1. Mesures in Situ
 - Densitométrie
 - Pénétrométrie
 - 4.2. Mesures au laboratoire
- 5- Méthodes d'Analyses chimiques

1)- Dispositif d'étude

Cette étude vise à aider à l'appréciation régionale de la potentialité de production des terres ; Cette appréciation se fera par l'implantation de champs d'améliorations foncières à effet de longue durée avec introduction progressive de pratiques nouvelles. Elle comporte deux aspects :

- Un rôle d'information du milieu rural en général
- Un rôle d'adaptation régionale ou locale des thèmes confirmés par l'expérimentation.

L'importance de cette étude réside dans le fait de prouver aux paysans la possibilité de maintenir ou d'améliorer en permanence la fertilité des sols par des méthodes à la portée de tous ceux disposant d'un petit matériel d'équipement et adaptées à leur intention en fonction des impératifs locaux.

C'est dans cet esprit qu'il faudra appréhender les modifications introduites dans le dispositif au cours de sa réalisation en rapport avec la capacité d'équipement en matériel du monde paysan.

A l'origine l'assolement rotatif était quadriennal avec les successions culturales suivantes : Régénération - Arachide I- Sorgho - Arachide II.

Le terrain est divisé en quatre blocs représentant chacun une rotation ; chaque bloc est divisé en 9 parcelles de 20m x 20 m représentant chacune un traitement. Si la disposition des blocs n'est pas rigoureuse celles des parcelles l'est par contre strictement. Le dispositif n'est pas répété il est unique pour un point d'expérimentation donné.

Les traitements résultent de la combinaison des facteurs travail et fumure à trois niveaux.

<u>N° Parcelle</u>	<u>Nature du travail</u>	<u>Niveau fumure</u>
1	Grattage superficiel à l'fler	F ₀ : sans Fumure
2	Grattage " "	F ₂ : Fumure NPK annuelle
3	" " "	F ₃ : Fumure forte
4	Houe sine	F ₀ : Sans fumure
5	" "	F ₂ : NPK annuelle
6	" "	F ₃ : NPK fumure forte
7	Culture attolée lourde	F ₀ : sans fumure
8	" "	F ₂ : NPK annuelle
9	" "	F ₃ : F.F. NPK

Ce dispositif initial a subi d'importantes modifications en cours de réalisations tant sur le plan de la fertilisation et du travail que sur les successions culturales. En effet comme le montre le tableau retraçant l'histoire des blocs à Nioro. Les cultures de la rotation quadriennale ont subi d'importantes modifications.

<u>Années</u>	<u>Sole I</u>	<u>Sole II</u>	<u>Sole III</u>	<u>Sole IV</u>
1763	Jachère	Arachide I	Sorgho	Arachide II
1964	Arachide I	Sorgho	Arachide II	Jachère
1365	Sorgho	Arachide II	Jachère	Arachide I
1966	Arachide II	Jachère	Arachide I	Sorgho
1967	Jachère	Arachide I	Sorgho	Arachide II
1968	Arachide I	Sorgho	Arachide II	Jachère
1969	Sorgho	Arachide II	Jachère	Arachide I
1970	Arachide I I	Jachère/Mil	Coton	Sorgho
1971	Jachère	coton	Sorgho	Arachide II
1972	Coton	Sorgho	Arachide II	Mil
1973	Sorgho	Arachide II	Maïs	Coton
1974	Arachide II	Maïs	Coton	Sorgho
1975	Maïs	Coton	Sorgho	Arachide II
1976	Coton	Sorgho	Arachide II	Maïs
1977	Sorgho	Arachide II	Maïs	Coton
1978	Arachide II	Maïs	Coton	Sorgho
1979	Maïs	Coton	Sorgho	Arachide II
1980	Coton	Sorgho	Arachide II	Maïs

Ce tableau montre que l'arachide I est remplacé en 1370 par le coton. Compte tenu également de la disparition de plus en plus importante de la pratique de la jachère on raison des impératifs de la culture de l'arachide dans le monde rural la sole de régénération a été remplacée en 1973 par la culture du Maïs dans le dispositif.

Modifications du travail du sol

En raison de l'évolution de l'équipement en matériel agricole dans le milieu rural (diffusion de la traction bovine), Le travail du sol a été modifié en 1976 :

- Le niveau anciennement représenté par un grattage superficiel à l'Iler devient II avec emploi de la houe Sine.

- Le Niveau F₂ devient F₃ traction Lovino lourde, labour 18-24 cm et Passage Canadien. Pour les modifications intervenues dans la fumure nous allons par souci de clarté les présenter sous forme de tableau et par cultures.

De toutes les cultures seule celle de l'arachide I n'a pas subi de modifications ni pour la fumure ni pour le travail du sol,

- Arachide II

	Traitement 5	Traitement 3
1963	150 kg/ha de 6-20-10 jusqu'en 1976	85 kg/ha de Kcl de 1903-1966
	à partir de 1976 150 kg/ha de 8-18-27	50 kg/ha $SO_4(NH_4)_2$ o n 1967 50 kg/ha de $SO_4(NH_4)_2$ +100kg ha Kcl en 1968 et 1963.
		50kg/ha de $SO_4(NH_4)_2$ +90kg/ha Kcl + 60 kg de supertriple en 1970 et 1971.
		100kg/ha de 7-21-29 en 1972-73
		à partir de 1974 150 kg/ha de 0-78-27.

- Sorgho

	Traitement 5	Traitement 3
	à partir de 1963 jusqu'en 1980 150 kg/ha de 14-7-7	Jusqu'à 1965 300 kg/ha de $(NH_4)_2 SO_4$
		1966-67 300 kg/ha de $(NH_4)_2 SO_4$ + 85 kg/ha de Kcl.
		1968-69 150kg/ha d' urée+25 kg/ha Kcl
		1970-71 56kg/ha de $SO_4(NH_4)_2$ + 50 kg/ha de supertriple + 50kg Kcl + 150 kg/ha Urée.
		A partir de 1972 ---- 1980 150 kg/ha de 10-21-21 + 150 kg/ ha Urée.

• Cotonnier

Traitement 5	Traitement Y
1970 et 1971 60 kg/ha de $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$ + 22kg/ha de KCl + 28 kg/ha de bicalcique t 150 kg/ha de 10-10-18-11 S	1970 et 1971 50 kg/ha de $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$ + 50 kg/ ha de Suportriple ² + 90 kg/ha de KCl + 75 kg/ha d'urée.
1972 - 1973 150 kg/ha de 10-14-18	1972 et 1973 150 kg/ha de 7.21.29 + 75 kg/ha d'Urée
à partir de 1974 153 kg/ha de U-13-27 t 50 kg/ha d'Urée	à partir de 1974 150 kg/ha de 8.18.27 t 50 kg/ha d'Urée

• Mafs

Traitement 5	Traitement Y
de 1973 à 1977 150 kg/ha de 8-14-18 + 100 kg/ha d'Urée	1973 et 1974 300 kg/ha de 8-14-18 + 200 kg/ha d'Urée
à Partir de 1978 100 kg/ha de C-10.27 t 100 kg/ha d'Urée	à partir de 1975 200 kg/ha de C-14.18 t 200 kg/ha d'Urée.

A partir de 1975 une fumure organique a été apportée sur les parcelles 3, 6 et 9 sous forme de fumier à raison de 5 tonnes/ha de matière sèche sur la sole devant être cultivée en sorgho.

Toutes ces modifications ont été introduites dans le système en cours de réalisation au fur et à mesure que la capacité d'acquisition de matériel agricole du monde rural augmentait afin de mieux répondre aux impératifs locaux du paysanat,

2^o) - Le choix des traitements

Il nous était impossible dans cette présente étude de prendre en compte l'ensemble des traitements du dispositif expérimental.

Nous avons procédé à un choix de trois traitements assez contrastés en vue de mettre en évidence des différences. Les traitements retenus sont les suivants :

- Traitement 1 ou témoin

Le témoin ne reçoit pas de fumure (F_0). Le travail du sol était au départ effectué sous forme de grattage superficiel à l'fler comme dans le système traditionnel. Ensuite à partir de 1975 ce grattage a été remplacé par un travail léger à 5 cm de profondeur à la houe sine. Ce travail représente le niveau F_1 . Il s'effectue de préférence en humide à Nioro du Rip.

Le choix du témoin s'impose parce qu'il nous servira de référence pour les modifications induites sous l'effet des traitements intensifs et semi-intensifs sur le sol.

- Traitement (5 F_2 x V_2)

Fertilisation niveau 2 (F_2) Fumure minérale NPK avec restitutions partielles soit par enfouissement de pailles de Maïs soit par brûlis de pailles de Sorgho.

Le travail du sol représente le niveau (F_2) il était représenté par un travail léger à la houe sine en humide ; Puis à partir de 1976 par un labour moyen à 12-15 cm. Ce labour s'effectue suivant les cultures au début ou fin de cycle mais de toute façon en condition humide. Labour de fin de cycle avec enfouissement de pailles de Maïs et pour toutes les autres cultures labour de début de cycle.

Ce traitement nous permettra de mesurer l'effet des traitements semi-intensifs.

- Traitement 3 F_3 x V_3

Fertilisation niveau F_3 fumure minérale NPK forte plus un phosphatage de fond au départ de l'expérimentation (500 kg/ha de phosphate tricalcique) ; A partir de 1975 on amène une fumure organique sous forme de fumier à raison de 5 tonnes/ha de matière sèche.

Le travail du sol sous ce traitement représente le niveau 3. 1.1 s'agit d'un labour à 18-24 cm de profondeur. Ce labour est réalisé de préférence en humide aussi bien pour le labour de début de cycle (Sorgho) que pour le labour de fin de cycle (Maïs) sans enfouissement de pailles, les pailles sur ce traitement étant toutes exportées.

Ce traitement représente le terme le plus intensif du dispositif il nous permettra de mesurer son effet sur l'évolution du sol.

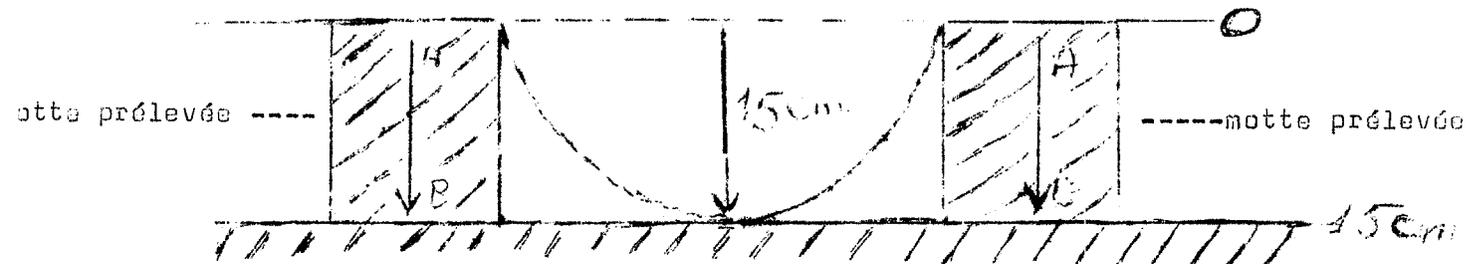
3°)- Méthodes de Prélèvements

Los prélèvements d'échantillons de sol ont été effectués en Janvier-Février 1980 sur les parcelles 1, 5 et 9 sur la sole cultivée en sorgho en 1979.

Ces prélèvements ont porté sur deux horizons (0-15 cm) et (25-35 cm) pour les échantillons destinés aux mesures physiques. Pour chaque parcelle et pour chaque horizon nous avons effectué 7 répétitions réparties le long des deux diagonales et distantes de quatre mètres; Pour éviter les effets de bordure nous avons éliminé de chaque côté une frange de 5 mètres de large.

Les mesures de densité apparente in situ ont été réalisées au densitomètre à membrane.

Le prélèvement des mottes s'est fait en même temps que les mesures de densité apparente in situ; Pour cela, nous avons à l'aide d'un couteau et de boîte prélevé de part et d'autre de la membrane du densitomètre deux mottes de 1500 cm³ de volume approximativement (kg ci-dessous). Nous avons en même temps prélevé de la terre pour les autres analyses physiques.



Les prélèvements d'échantillons pour les analyses chimiques comprennent quatre horizons : 0-15 cm ; 15-30 cm, 30-60 cm et 60-90 cm ;

L'état avancé de la prise en masse du sol à cette époque de l'année empêche tout prélèvement à la tarière. Pour réaliser ces prélèvements nous avons ouvert le profil, jusqu'à 1,50 m et avons prélevé à la pelle.

Tous les prélèvements racinaires ont été réalisés en humidité durant l'hivernage 1980 sous culture d'arachide. Ces prélèvements sont réalisés à l'aide de cylindres horizontaux; Ils ont porté sur les 50 premiers centimètres divisés en cinq tranches de col de 10 centimètres chacune.

Les emplacements des prélèvements racinaires ont été légèrement décalés de ceux sur lesquels on avait effectué les mesures in situ afin d'éviter les risques de perturbation.

4°) Méthodes d'Analyse physique

4.1- Mesures in situ

- Densitométrie

Les mesures de densité apparente in situ ont été réalisées au densitomètre à membrane. Les mesures ont été réalisées en deux profondeurs 5-15 cm et 25-35 cm. Toutes ces déterminations ont été effectuées en 9 répétitions.

- Pénétrométrie

Les mesures de pénétrométrie ont eu lieu aux mêmes emplacements que ceux ayant servi à la détermination de la densité apparente ; Elles ont été effectuées avec un pénétromètre à percussion jusqu'à une profondeur de quarante centimètres. Le pénétromètre est constitué d'une tige en fer terminée par une pointe de longueur égale à 50 cm, cette tige est surmontée d'une deuxième tige indépendante de 35 cm le long de laquelle coulisse un poids tombant de 5 kg ; Les deux tiges sont séparées par un disque à trépied qui assure la stabilité de l'ensemble.

Le travail dépensé pour enfoncer la tige de 1 cm est donné par la formule :

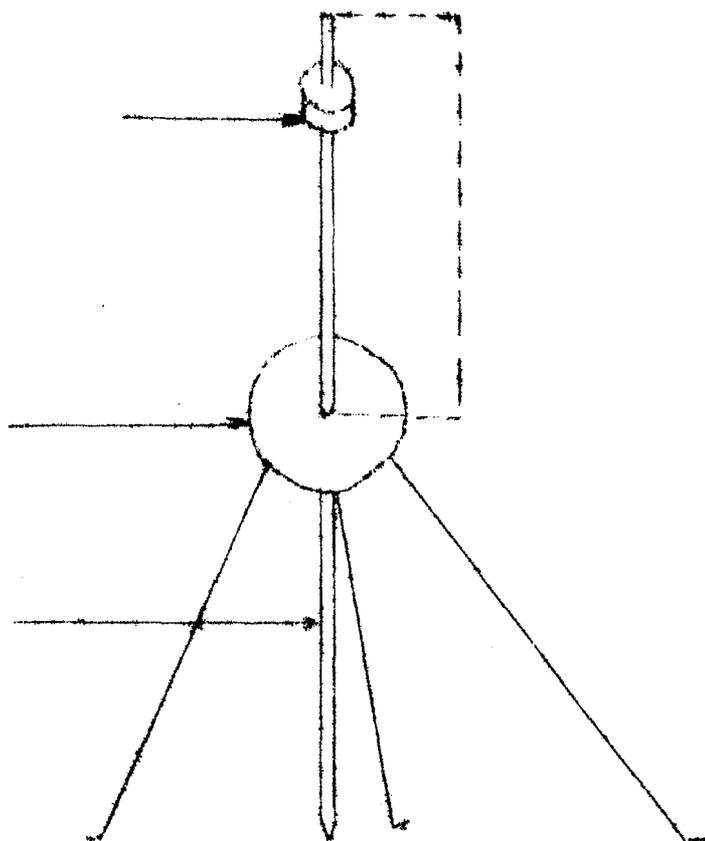
$$W = P \times h \times N$$

avec

$$P = 5 \text{ kg}$$

$$h = 35 \text{ cm}$$

$$N = \text{nombre de coups nécessaires.}$$



4-2. Mesures au laboratoire

- Mesure de la résistance mécanique à la pénétration sur mottes naturelles. Les mottes prélevées au champ sont mises à sécher à l'étuve à 105°C pendant 24 heures puis taillées en petits échantillons à l'aide d'un petit cube de 3 cm d'arête. C'est sur ces échantillons que vont être effectuées les mesures de résistance à la pénétration.

La pénétrométrie est une méthode de mesure globale de la résistance mécanique d'un massif de terre ; Elle intègre particulièrement la cohésion, l'humidité et la porosité de l'échantillon.

Les mesures ont été effectuées grâce à un pénétromètre à enfoncement continu réalisé par MAERTENS de l'INRA Toulouse ; Il est constitué d'un plateau mobile porte échantillon actionné par un moteur et allant à l'encontre de l'appareil de mesure constitué par une série de ressorts étalonnés dont la compression entraîne une aiguille indicatrice qui permet de lire la force sur le cadran qui lui est associé.

Le principe de mesure consiste à déterminer la force nécessaire pour faire pénétrer dans un échantillon à zéro % d'humidité une aiguille de 2,2 mm de diamètre à la vitesse de 1 mm/s jusqu'à l'éclatement de ce dernier. Les forces sont exprimées en grammes.

- Sur échantillons remaniés (texturés)

Cette méthode par rapport aux mesures directes sur mottes naturelles présente l'avantage d'une meilleure homogénéisation des échantillons.

La préparation des échantillons consiste à faire des gâteaux texturaux selon la méthode de Keyrabi et Mounier (1963) ; Pour obtenir une bonne homogénéisation il est nécessaire de malaxer la terre à l'aide d'une forte spatule en présence d'une quantité d'eau optimale. Cette quantité d'eau a été choisie de façon que le malaxage soit aisé sans pour autant que la terre soit trop humide pour éviter toute sédimentation des éléments. En pratique nous avons utilisé 13 % d'humidité pour les échantillons de l'horizon 5-18 cm et 16 % d'humidité pour les échantillons de l'horizon 25-35 cm plus riche en argile.

Les échantillons ainsi malaxés sont mis à ressuyer, sous vide dans de petits buchners de quatre centimètres de diamètre pendant une heure ; Les buchners sont recouverts d'une feuille de plastique pendant toute la durée du ressuyage afin d'éviter un dessèchement trop important à surface.

Les échantillons sont ensuite mis à sécher à l'étuve à 105°C pendant 24 heures. On détermine avant et après passage à l'étuve l'humidité des échantillons. Ensuite comme pour les mottes naturelles on découpe de petits échantillons à l'aide d'un petit cube et on procède de la même façon pour les mesures.

- Mesure de la densité apparente sur mottes pénétrométriques.

La densité apparente d'une motte de terre est donnée par la relation :

$$d_a = \frac{M}{V}$$

où M représente la masse de la motte de terre sèche déterminée par pesée après passage à l'étuve à 105°C pendant 24 heures. ;

V le volume globale de la motte sèche (volume apparent)

Pour la détermination de ce volume apparent on utilise une technique semblable à celle préconisée par MAERTENS (1964) et améliorée par MONNIER et coll (1973) ; Cette méthode consiste à plonger dans un bochur rempli de pétrole et placé sur une balance, l'échantillon préalablement imbibé de pétrole à saturation ; on lit sur la balance la poussée d'Archimède correspondant au volume apparent de la motte,

Cette méthode est très fiable à condition de ne pas travailler sur des mottes de très petite taille (poids inférieur à 5 g) sinon les phénomènes de tension superficielle introduisent une erreur systématique non négligeable.

Pour les autres mesures physiques nous avons employé des méthodes classiques. La granulométrie détaillée a été réalisée par la méthode internationale, la détermination des composés organiques par la méthode DUCHAUFOUR le carbone total par la méthode Anne et au Leco, la caractérisation minéralogique par les rayons X et l'ATD.

5 - Les Méthodes d'Analyse chimique

La plupart des analyses chimiques ont été réalisées à l'aide de méthodes connues que nous n'exposerons pas. Nous exposerons dans ce paragraphe les méthodes d'analyse de l'azote qui ont subi un certain nombre de modifications récemment.

- Méthode de détermination des formes d'azote organique.

La fractionnement des formes organiques de l'azote se fait par une méthode simplifiée dérivant de celle préconisée par DECAU (1968). Il s'agit d'une hydrolyse acide à ébullition pendant 16 heures ; la prise d'essai est de 20 grammes de terre auxquels on ajoute 60 cc d'acide chlorhydrique 6 N.

L'hydrolysate est ensuite passé à la centrifugeuse à trois reprises afin de bien rincer la fraction non hydrolysable représentée par le culot ; le surnageant est recueilli dans une fiole et ajusté à 200 ml.

La fraction non hydrolysable sous forme de culot est mise à sécher à l'étuve à 60°C pendant 24 heures ; Une fois séchée elle subit un Kjeldhal et on dose l'azote qu'elle contient par nitration après déplacement de l'ammoniac par la soude 6 N et entraînement à la vapeur par distillation.

Sur le surnageant on réalise deux opérations :

- On prélève 50 ml de cette solution que l'on distille et dose directement ; Ce dosage donne la forme soluble directement distillable ou fraction "azote ammoniacal."

- *fin* prélève une seconde fois 50 ml du surnageant sur lesquels on opère cette fois un kjeldhal ; l'azote de cette fraction est dosé comme précédemment.

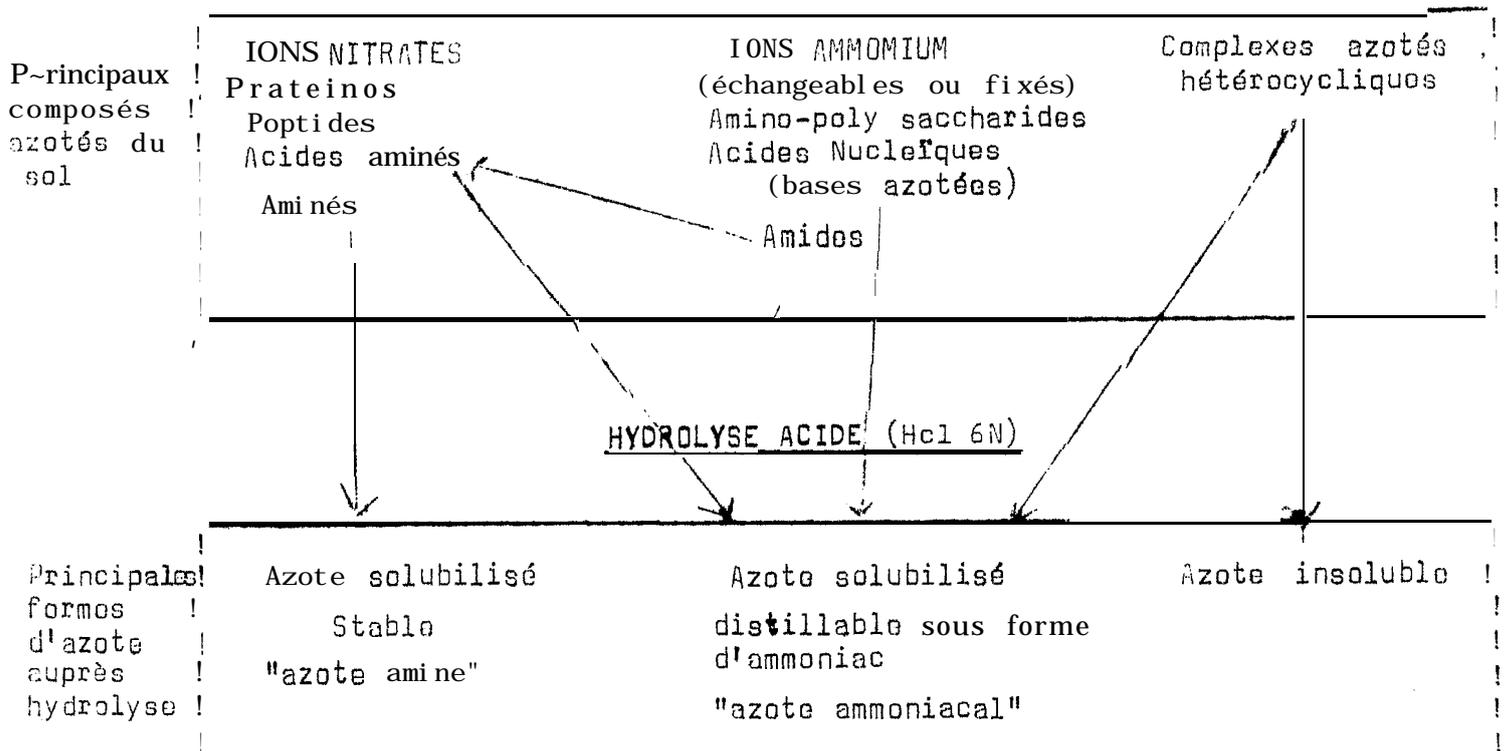
Le résultat de ce dosage diminué de la fraction azote ammoniacal donne la forme soluble non directement distillable ou fraction "azote amine".

L'hydrolyse acide permet de définir trois formes d'azote organique :

- Une forme azote ammoniacal
- Une forme azote aminé
- Une forme azote non hydrolysable

Le tableau ci-dessous d'après Decau (1969) récapitule les principales formes d'azote obtenues après hydrolyse et leur provenance.

AZOTE TOTAL



AZOTE TOTAL

. Dosage de l'azote soluble dans l'extrait kcl.

- Extraction

En général le rapport sol/liquide d'extraction est de 10 (20 grammes de sol dans 200 ml de kcl N) ; Pour les sols sableux pauvres en azote soluble, la prise d'essai est élevée à 50 grammes.

On agite le mélange pendant une heure à l'agitateur rotatif puis on filtre ; le filtrat est recueilli dans une fiche de 200 ml.

- Dosage de l'azote minéral soluble

Ce dosage se fait selon la technique décrite par Breuner (1965).

a- Dosage de l'ammoniacal

La prise d'essai est de 50 ml d'extrait KCl ; on ajoute 0,2 g de magnésium. On distille par entraînement à la vapeur, on recueille environ 30 ml de distillat dans 5 ml de mélange acide borique- phthaléine et on titre en retour par l'acide sulfurique N/200.

b- Dosage de l'azote nitrique

on ajoute 0,2 g d'alliage de Dewarda sur la prise d'essai de tout à l'heure et on distille comme précédemment et on recueille cette fois 50 ml de distillat pour éviter d'en perdre de l'azote. La nitration se fait comme pour l'ammoniacal.

c- Dosage de l'azote total

La méthode utilisée est celle décrite par Guiraud et Fardeau (1977); Elle utilise le fer réduit pour la réduction des nitrates.

La prise d'essai est toujours de 50 ml qu'on introduit dans un matras de 150 ml avec un gramme de fer réduit 6 ml de H₂SO₄ 36 N. On réalise un kjeldahl en portant progressivement à ébullition ; on laisse l'ébullition se poursuivre jusqu'à l'apparition de fumées blanches, ensuite on retire les matras, on les laisse refroidir puis on ajoute le catalyseur de DUMAZERT et 3 ml d'H₂SO₄ et on ramène à ébullition pendant 3 heures.

On nitre ensuite après déplacement à la soude et entraînement à la vapeur, par l'acide sulfurique N/200.

L'azote organique est représentée par la différence :

Azote total - (Azote ammoniacal + azote nitrique).

IV - PRESENTATION DES RESULTATS

A- Analyse de l'Evolution des Rendements

1°)- Action des facteurs climatiques

2°)- Effets des traitements

2-1. Effet travail du sol

2-2. Effet fumure

2-3. Comparaison globale des traitements

Conclusion

B- Résultats des Mesures physiques

C- Résultats des Mesures chimiques

V - DISCUSSION - CONCLUSIONS

Bibliographie

Annexes

A- Analyse de l'évolution des rendements agronomiques

1°)- Action des facteurs climatiques

L'évolution des rendements des différentes cultures de la rotation quadriennale à Nioro du Rip durant la période 1963-1977 se fait en dents de scie ; On note de grandes fluctuations dans les valeurs des productions (diagrammes 1, 2 et 3) sous tous les traitements.

Parallèlement on note de grandes variations dans la pluviométrie durant la même période ; Bien que ces rythmes de fluctuations ne sont pas strictement synchroniques, il est certain que ces variations de la pluviométrie se répercutent sur la production des cultures. Il est cependant difficile d'établir la liaison entre les variations de la pluviométrie et celles des rendements.

Nous allons essayer grâce à un modèle mis au point par le département d'hydrologie de l'IRAT Montpellier de tester l'action des facteurs climatiques sur les rendements.

Ce modèle a été élaboré en vue de l'évaluation et de l'analyse fréquentielle des termes du bilan hydrique sous culture ou sous végétation naturelle. Les programmes sont distincts selon qu'ils s'adressent aux régions humides ou régions arides. Ils procèdent par pas de temps de 10 jours y ces périodes décennales ne simulent pas les processus réels des relations sol - plante - atmosphère qui déterminent le bilan hydrique. Néanmoins des coefficients de réglage permettant de les ajuster à des conditions spécifiques de sol et de végétations observées.

Ces coefficients de correction sont au nombre de 2 :

• Le Coefficient additif A

il intervient au niveau du sol par modification des valeurs de l'humidité relative du sol ; il rend compte des effets des caractéristiques du sol (granulométrie) sur le potentiel de l'eau ; il sera nécessaire de l'ajouter dans le cas des sols très sableux de zone tropicale sèche.

$$HR \text{ ajustée} = HD/RU \pm A \text{ avec } (0 \leq A \leq 0,50)$$

- RU réserve utilisable maximale pour une profondeur donnée d'exploitation racinaire.
- HD eau disponible.

• Le Coefficient K

il intervient au niveau de la plante et de l'atmosphère ; c'est un coefficient multiplicatif de l'ETP, il module l'ETM par rapport à cette dernière (ETM = KETP) selon 10 stades de végétation de la plante et les effets de la chaleur.

En régions arides le modèle opère à RU variable croissante ; Dans ces régions le départ de végétation se fait à partir d'un profil desséché jusqu'au voisinage du point de flétrissement ; il est indispensable de simuler l'accroissement de la RU ou fur et à mesure de la progression du front de réhumectation en fonction de la pluie.

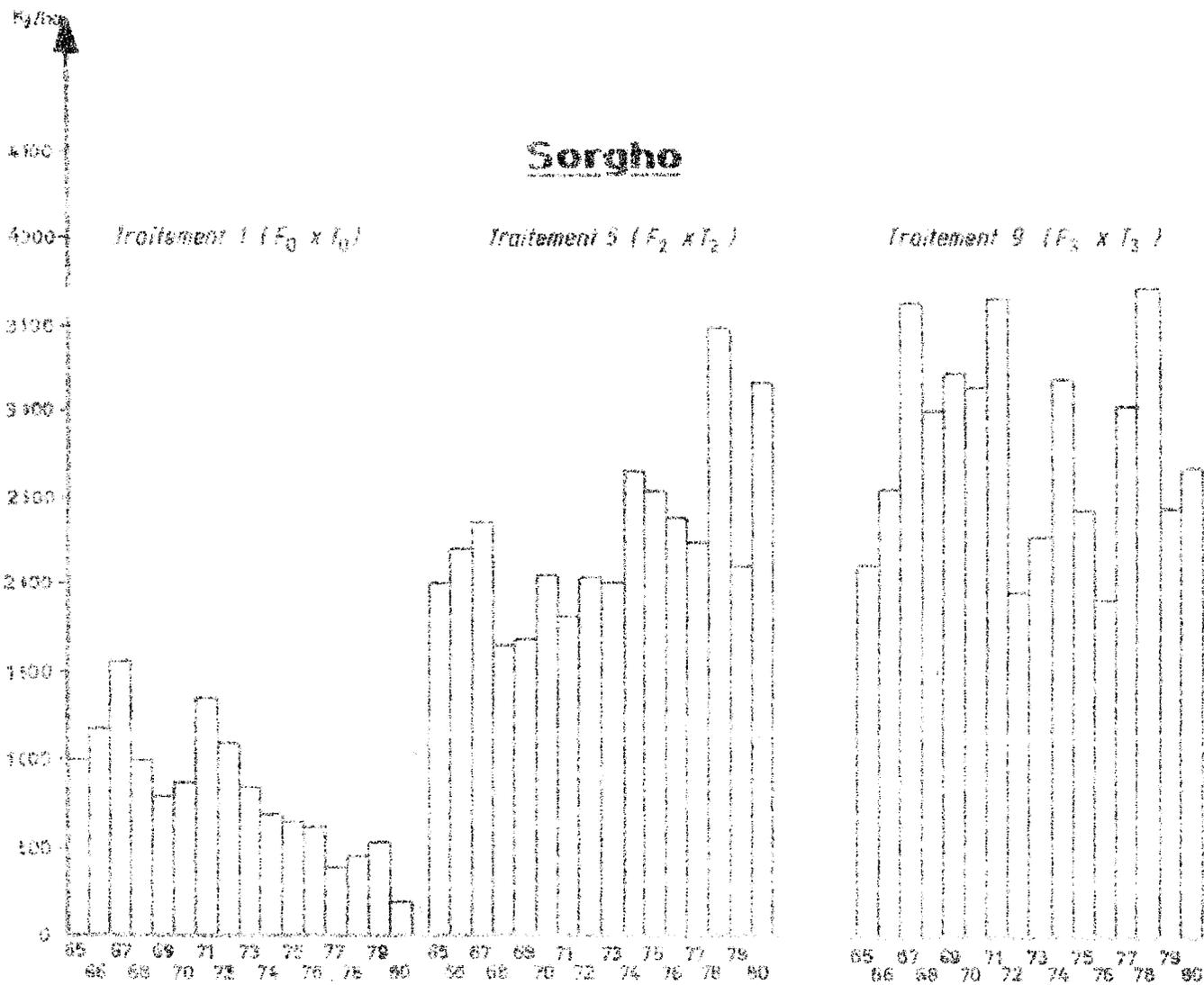


DIAGRAMME I

Années

Arachide II

Mais

Traitement 1 ($F_0 \times T_0$)

Traitement 5 ($F_2 \times T_2$)

Traitement 9 ($F_3 \times T_3$)

Traitement 1 ($F_0 \times T_0$) Traitement 5 ($F_2 \times T_2$) Traitement 9 ($F_3 \times T_3$)

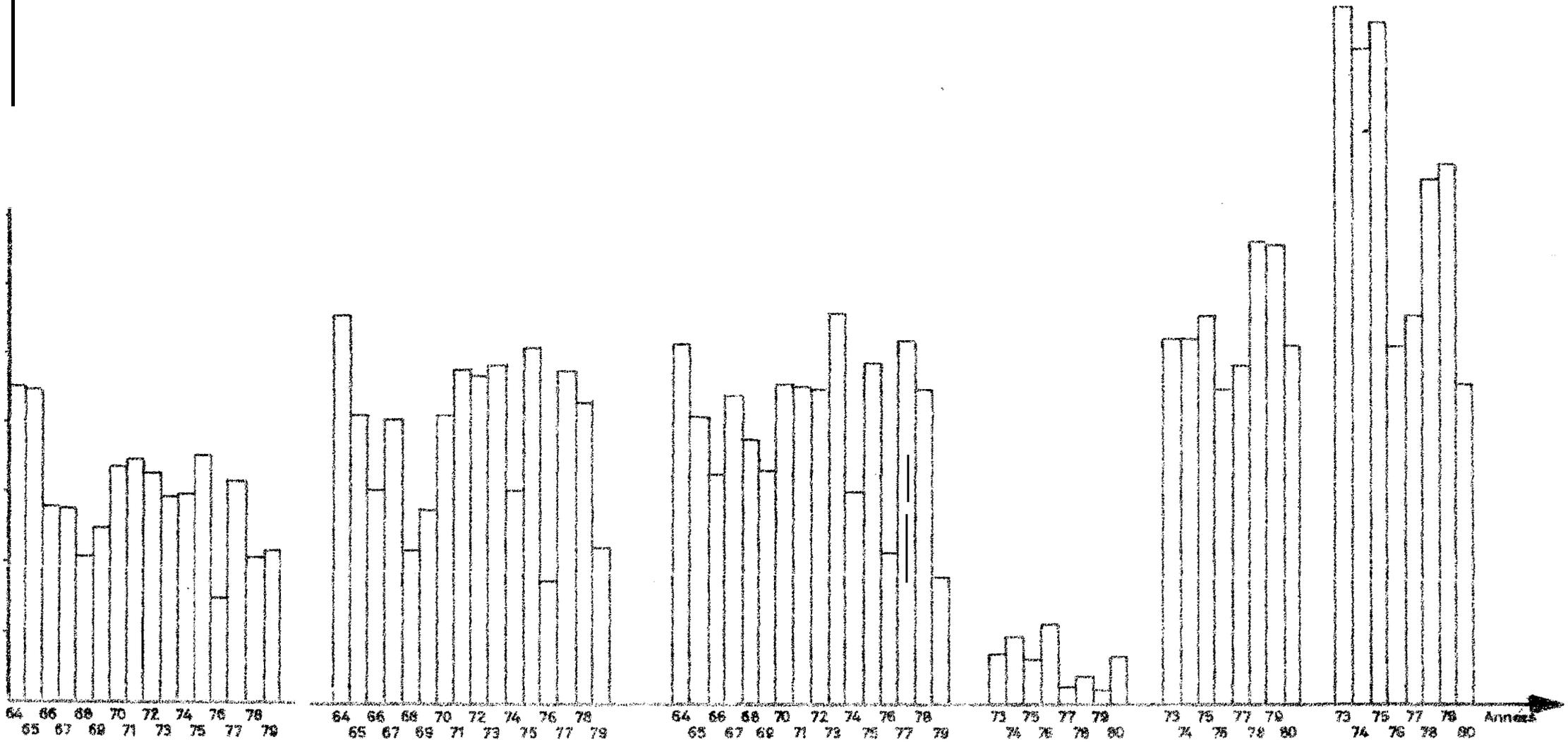


DIAGRAMME II

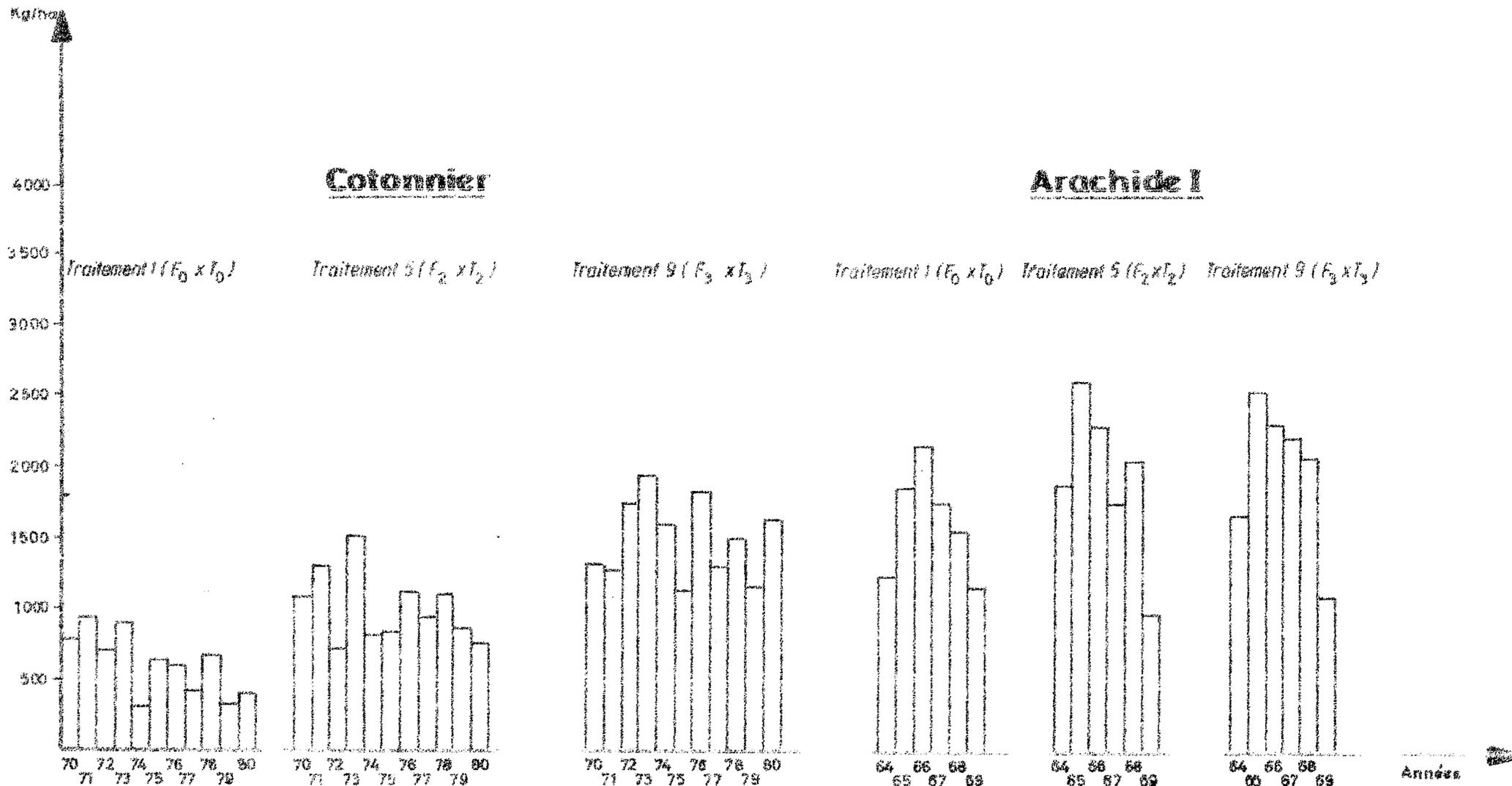


DIAGRAMME III

L'excès d'eau infiltrée, par rapport à l'ETR et à la RU constitue le drainage.

$$D = HD - (RU + ETR)$$

Le total du drainage et du ruissellement FDR est donné par la relation.

$$RDR = HO - RU$$

Nous avons même cette étude sur culture d'Arachide (arachide II) ;

Les valeurs de K pour l'arachide aux différents stades de développements végétatifs sont données ci-dessous (Forest 1974).

- Semis levée	K = 0,6
- Levée développement	
- Première feuille	K = 0,8
- Floraison-Formation gynophores	K = 1
- Maturation	0,55 K 0,7

Nous avons établi sur la culture d'arachide II une courbe de réponse.

$$\text{Production} = 7 (ETM_{mm} - ETR_{mm})$$

Les courbes obtenues à partir de cette étude sont de nature parabolique les coefficients de corrélation étant plus significatifs quand la représentation est parabolique que lorsqu'elle est linéaire ; Nous avons donc retenu la représentation parabolique pour les courbes ; leur équation générale est du type.

$$y = a + bx + cx^2$$

avec y = Production (rendements)

X = déficit hydrique

L'établissement des courbes obtenues (fig. 1, 2 et 3) nous permet de tirer un certain nombre de conclusions :

- Quel que soit le traitement considéré la sensibilité de l'arachide à l'alimentation hydrique apparaît très nettement,

- Lorsque le déficit augmente la production diminue ; ceci est vérifié pour l'ensemble des traitements particulièrement durant les années 1970 et 1977.

- Lorsque par contre le déficit est faible (inférieur à 70 mm) la production est limitée par d'autres facteurs ; On peut évoquer ici l'action des fortes pluies du mois d'août qui entraînent une baisse importante de la production de fleurs par avortement ou pourrissement, ou le mauvais comportement hydrique des sols (engorgements des sols),

Il faut cependant remarquer que pour la période considérée les conditions pluviométriques apparaissent rarement limitantes ; En effet sur les 16 années de la période c'est seulement en deux années (1970 et 1977) que le déficit hydrique a dépassé 150 mm.

Fig.1: Courbe production = f($E_{TM_{mm}} - E_{TR_{mm}}$)

Traitement 1 ($F_0 \times T_0$)

$$y = 1406 + 5,40x - 0,04x^2$$

$$r = 0,5385$$

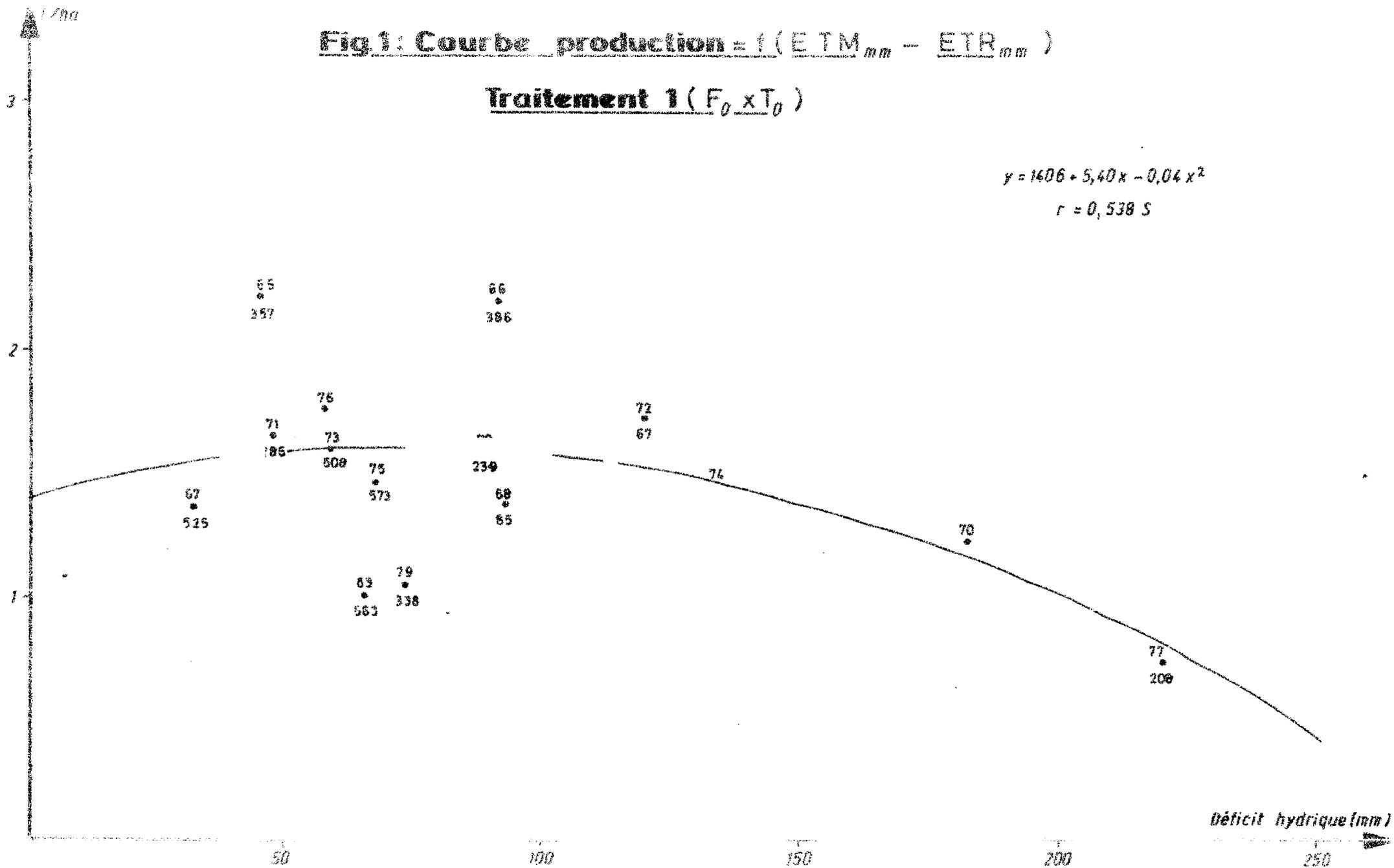
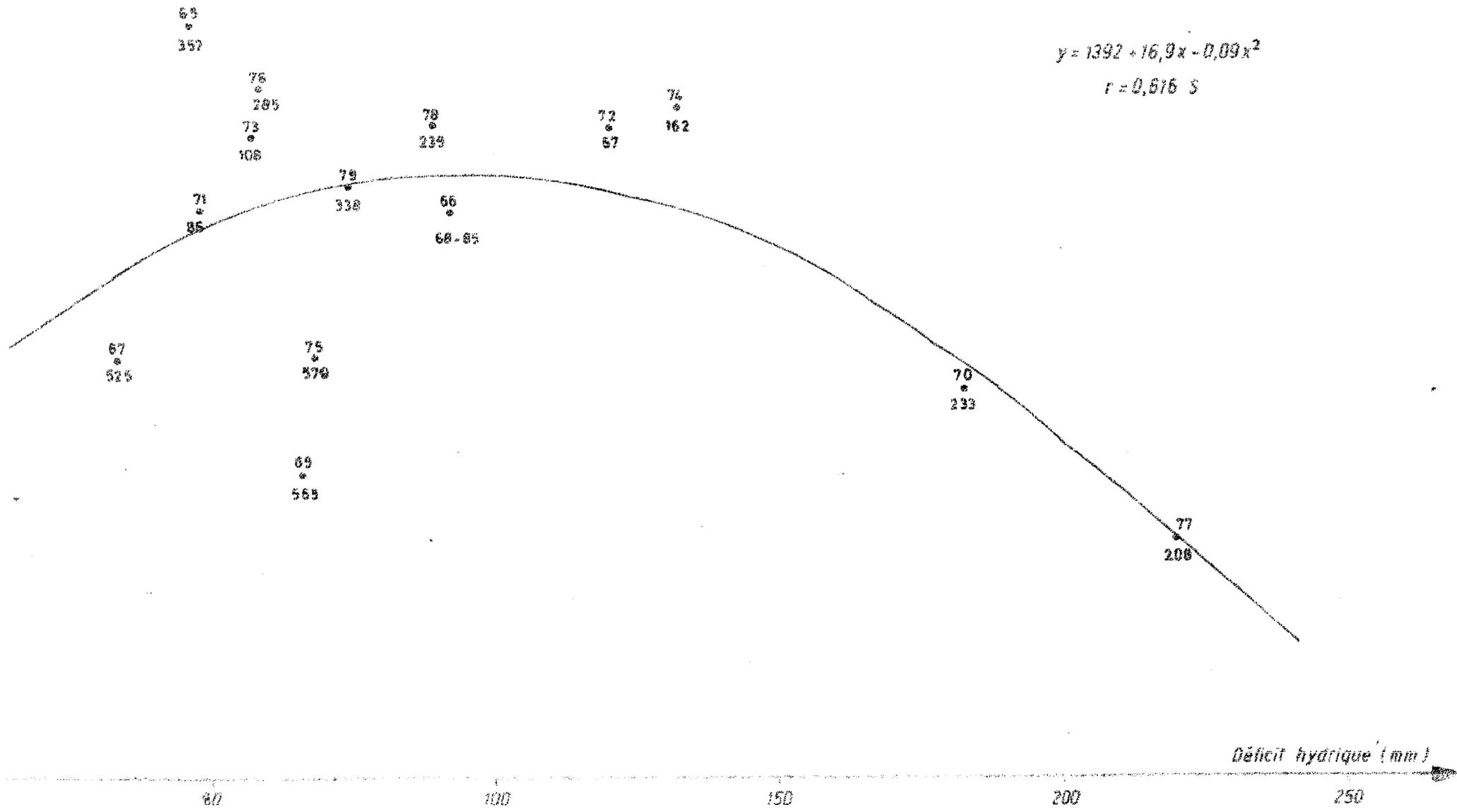


Fig. 2 : Courbe production = f (ETM_{mm} - ETR_{mm})

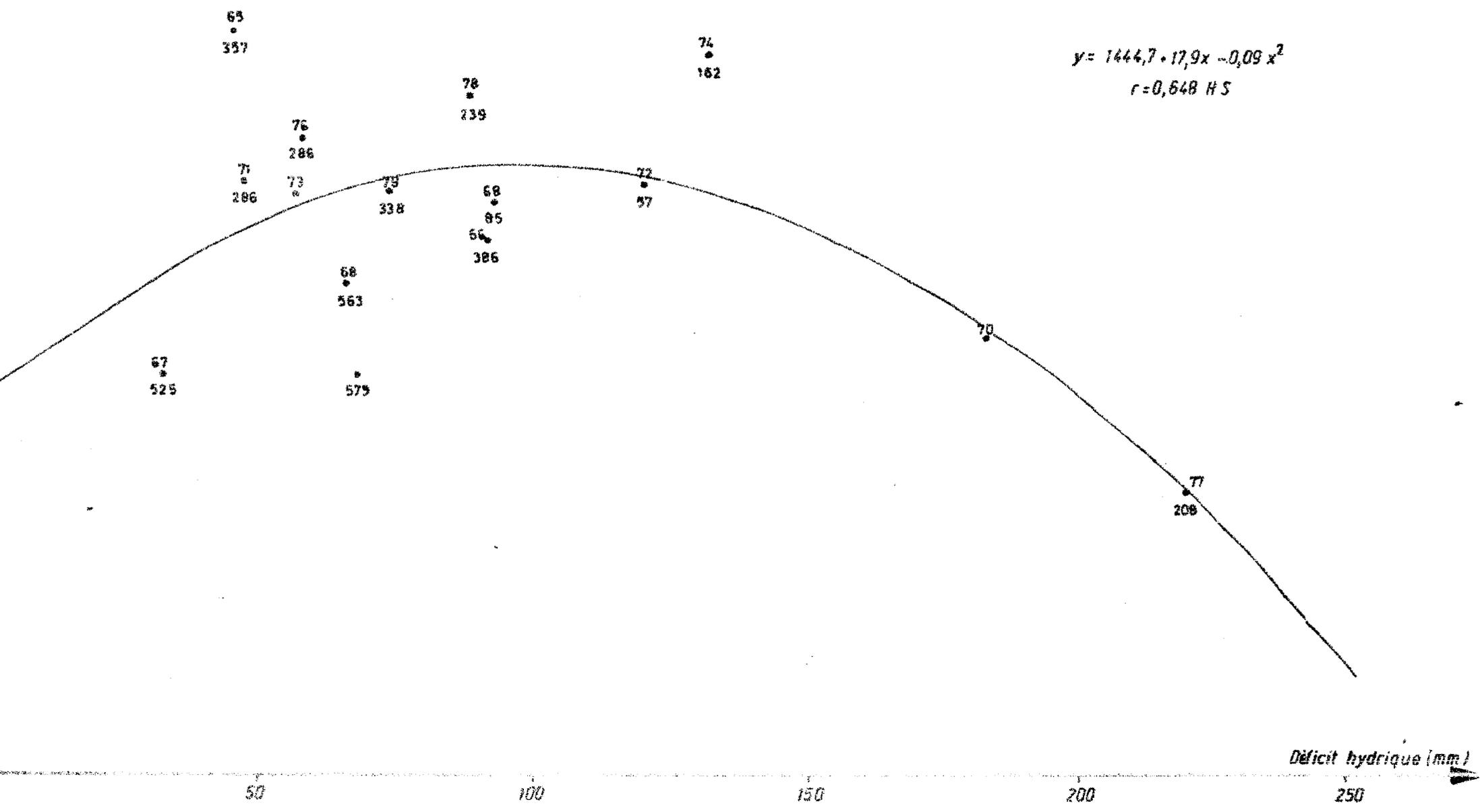
Traitement 5 (F₂ x T₂)



/ho

Fig. 3 : Courbe production = f(ETM_{mm} ETR_{mm})

Traitement 9 (F₃ x T₃)



La détermination d'un optimum de production pour un déficit hydrique de 100 mm donne :

- 1600 kg/ha pour le témoin
- 2200 kg/ha pour le 5
- 2400 kg/ha pour le 9

On remarque en outre que le coefficient de corrélation R augmente avec l'intensité des traitements ; Le témoin apparaît moins sensible à l'effet du déficit hydrique que les autres traitements ; ceci est en relation avec son très faible niveau de production,

Cette étude contribue à montrer qu'il existe bien une liaison déficit hydrique/Rendements ; l'action de ce déficit se manifeste de la même façon sur l'ensemble des traitements mais que malgré tout il subsiste un effet traitement très marqué,

Nous nous proposons dans le paragraphe suivant d'étudier cet effet des traitements sur les rendements. Nous testerons dans un premier temps l'effet propre de chaque facteur (travail du sol et fertilisation) sur les rendements et dans un deuxième temps, nous procéderons à une comparaison globale des traitements afin d'en tester les effets combinés des deux facteurs.

2°)- Effets des traitements

Comme nous venons de le voir, malgré l'action de la pluviométrie, l'évolution des rendements est marquée par l'effet des différents traitements.

2-1. Effet du travail du sol

		Rendement moyen	F calculé	F à 1 %	Signification
Arachide I	T1	1847	0,34	5,06	NS
	T2	1919			
	T3	1983			
Arachide II	T1	1830	0,31	4,76	NS
	T2	1880			
	T3	1936			
Sorgho	T1	1795	2,46	4,76	NS
	T2	2012			
	T3	2199			
Coton	T1	910	1,95	4,88	NS
	T2	1104			
	T3	1101			
Mars	T1	1509	5,99	4,92	5
	T2	2488			
	T3	2688			

Tableau 1 - Effet du travail du sol sur les rendements

Le tableau 1 montre que l'effet du travail du sol n'est significatif que dans le cas de la culture de maïs. En effet malgré des écarts type très élevés l'effet du travail est nettement significatif.

Pour le sorgho et le cotonnier la comparaison des moyennes ne donne pas de différences significatives. Cependant bien que cet effet ne soit pas significatif on note un effet du travail du sol se traduisant par un gain de production sur le 9 par rapport au témoin qui est de l'ordre de 400 kg/ha pour le sorgho et de 200 kg/ha sur cotonnier.

Par contre sur les deux arachides le travail ne marque absolument pas ; on obtient non seulement les différences ne sont pas significatives, mais encore les différents en valeur absolue sont très faibles.

2-2. Effet de la Fumure

		Rendement moyen	F calcul	F à 1 %	Signification
Arachide I	F ₀	1627			
	F ₁	2086	5,54	5,05	S
	F ₃	2035			
Arachide II	F ₀	1565			
	F ₂	1909	15,74	4,76	S
	F ₃	2111			
Sorgho	F ₀	1048			
	F ₂	2231	91,74	4,76	THS
	F ₃	2660			
Coton	F ₀	682			
	F ₂	976	48,77	4,88	THS
	F ₃	1456			
Maïs	F ₀	783			
	F ₂	2604	60,26	4,92	THS
	F ₃	3357			

Tableau 2 - Effet de la fumure sur les rendements moyens

L'effet de la fumure contrairement à celui du travail du sol est significatif pour toutes les cultures.

L'effet de la fumure est plus marqué sur l'arachide II que sur l'arachide I mais comme pour le travail du sol ces cultures sont moins sensibles à l'effet des traitements.

Par contre cet effet marque fortement le maïs et le sorgho et à un degré moindre le coton.

L'action de la fumure est plus marquée pour ces cultures où elle induit des gains de production très appréciables.

Conclusion

L'effet de la fumure est plus marquant que celui du travail du sol, il induit sur toutes les cultures des différences significatives, l'effet du travail du sol par contre n'est significatif que dans 10 cas sur maïs ; il contribue cependant dans le cas du sorgho et du cotonnier.

à augmenter les rendements des traitements 5 et 9 par rapport au témoin. Cet effet ne manque pas du tout dans le cas de l'arachide.

Cette analyse montre également que les cultures répondent d'une façon différente à l'effet des traitements ; En effet aussi bien pour le travail du sol que pour la fumure il apparaît une hiérarchisation des cultures par rapport à la réponse aux différents traitements.

2-3. Comparaison globale des traitements

	Traitement	Rendement moyen	F calculé	F à 1 %	Signification
Arachide I	1	1582	821	6,36	NS
	5	1956			
	9	1978			
Arachide II	1	1497	3,93	2,65	TH S
	5	1983			
	9	2120			
Sorgho	1	840	54,73	5,15	THS
	5	2264			
	9	2786			
Coton	1	522	33,6	5,49	THS
	5	1012			
	9	1519			
Maïs	1	325	53,74	5,78	THS
	5	2820			
	9	3868			

Tableau 3 : effet global des traitements 1, 5 et 9 sur les rendements moyens

Le tableau 3 montre qu'à l'exception de la culture de l'arachide I. Les traitements induisent des effets sur les rendements qui sont tous significatifs.

Les traitements sont en effet tous significativement différents pour le sorgho, Maïs, cotonnier et arachide II.

Cette première analyse nous a permis d'écartier l'arachide I pour 10 calcul de T.

Le test de T va nous permettre de comparer deux à deux les différents traitements pour chaque culture ; Il nous permettra en plus de voir l'effet des modifications des traitements sur les rendements de ces mêmes cultures,

Arachide 1

	Traitement	T calculé	T à 1 %	Signification
Période 1965-1975	1-5	0,94	0,6787	THS+**
	1-9	2,93		THS***
	5-9	0,81		THS*
1976-1980	1-5	1,50	0,8721	THS
	1-9	1,55		THS
	5-Y	0,10		NS

Tableau 4 : Test T sur Arachide II

Pour l'arachide II nous avons considéré deux périodes celle allant de 1965 à 1975 durant laquelle le travail du sol sur le traitement 5 se limitait à un grattage superficiel à la houe sine et une deuxième allant de 1976 à 1980 au cours de laquelle ce travail a été remplacé par un labour atteignant 15 cm de profondeur,

Le test fait apparaître que durant la première période la différence entre les traitements 5 et 9 était très hautement significative. Par contre durant la deuxième période et grâce au labour le niveau de production du 5 remonte significativement de sorte que la différence initiale entre les deux traitements disparaît,

Le tableau 4 montre par ailleurs que le témoin est toujours très significativement différent des deux autres.

Sorgho

	Traitoments	T calculé	T à 1 %	Signification
Période 1965 à 1975	1-5	7,813	0,6787	THS**
	1-3	8,59		THS***
	5-9	3,84		THS***
Période 1976 à 19801	1-5	7,97	0,8721	THS***
	1-9	6,29		THS**
	5-9	0,20		NS

Tableau 5 : Test T sur sorgho

Lo tableau 5 montre que pour les deux périodes considérées le témoin est toujours très différent des traitements 5 et 9 ; cette différence est plus nette sur le Sorgho que sur l'arachide (valeur de T).

Pour la comparaison des traitements 5 et 9 on remarque la même tendance que pour l'arachide II, la modification du travail sur le 5 intervient à porter de 1376 supprime la différence qui était très hautement significative dans la période 1965-1975.

Mais

	Traitamonts	T calculé	T à 1 %	Signification
	1-5	3,80	0,6787	THS**
	1-5	3,07		THS ⁱⁱ **
	5-9	3,84		THS*

Tableau 7 : Test T sur rendements du Cotonnier

CONCLUSION

La comparaison des traitements montre qu'à l'exception de l'arachide I l'effet des traitements sur les rendements des autres cultures est hautement significatif.

Cet effet des traitements est très marqué sur les céréales et sur l'arachide II. La différence de comportement des deux arachides s'explique par le fait que l'arachide I vient après Jachère dans la rotation alors que l'arachide II vient en fin de rotation. L'arachide I venant après une jachère améliorante est moins sensible à l'effet des traitements surtout dominé nous l'avons vu par l'effet de la fumure.

La modification d'un des facteurs des traitements comme le travail dans le cas du 5 contribue à relever le niveau de production ; ce qui montre que les cultures réagissent aux effets immédiats des traitements.

Ainsi nous constatons des différences de rendements très importantes sous l'effet des traitements appliqués ; l'augmentation des productions des différentes cultures du témoin au 9 devrait se matérialiser par des évolutions différentes des paramètres du sol.

Nous nous proposons dans le paragraphe qui suit d'essayer de déterminer s'il existe une liaison entre l'augmentation des rendements sous l'action des traitements et les modifications induites sur les paramètres du sol,

B- Analyses Physique;

1°)- Analyse de la porosité

- Données bibliographiques sur une méthode d'analyse des systèmes de Porosité.

La mesure de : La répartition des classes de porosité d'un sol se fait classiquement par l'établissement de la courbe des p_f aux différentes humidités.

Toutefois cette procédure, lorsqu'elle s'applique à des échantillons remaniés ne répond pas toujours aux préoccupations du manipulateur.

Une autre démarche pour l'étude de l'organisation interne de la porosité dans le sol en place a été imaginée par un groupe de chercheurs de l'INRA : principalement G. MONNIER, J.C. FIES et BUI HVU TRI.

Cette organisation interne de la Porosité est importante à connaître puisqu'elle a une incidence directe sur :

- la circulation de l'eau
- la colonisation du sol par le système racinaire
- la minéralisation
- l'activité de la microflore et de la microfaune.

D'après les travaux de ces auteurs on peut considérer que la porosité d'une couche de sol en place est caractérisé par la superposition de deux systèmes :

- Une porosité "structurale" qui représente l'espace poreux correspondant aux fissures délimitant les éléments structuraux et aux vides canalisants d'origine biologique ou parfois liés à des processus pédologiques.

- Une porosité dite "Mottière" qui est propre aux éléments structuraux ou groupements d'éléments structuraux. Cette porosité mottière se subdivise en deux :

- Une porosité propre aux éléments structuraux élémentaires, dite porosité "texturale". Elle est caractéristique du matériau et se trouve liée à sa composition granulométrique et représente les volumes des vides menagés par les particules élémentaires à l'état humide ou sec.

- Une porosité de "fissuras intra mottière".

Lorsque les motte~~s~~ proviennent d'une structure continue ou massive la porosité de fissures intra mottière est alors nulle et la porosité mottière fond avec la porosité texturale.

Ces différentes classes de porosité sont liées par les relations suivantes :

Le volume total des vides dans 100 cm² de sol en place c'est-à-dire la porosité globale P_g en % est donnée par la relation,

$$P_g = P_g + \frac{(100 - P_s) P_m}{100} = P_m + \frac{(IOC = P_m) P_s}{100}$$

La relation entre la porosité mottière et la porosité texturale est donnée par :

$$P_m = P_{fm} + \frac{(100 - P_{fim}) P_t}{100}$$

ou P_g = Porosité globale du sol on place

P_s = Porosité de structure

P_m = Porosité mottière

P_{fim} = Porosité de fissuras intra mottière

P_t = Porosité texturale

Pour évaluer ces différentes classes de porosité il est nécessaire de procéder aux mesures suivantes :

- Densité réelle
- Densité apparente texturale
- Densité apparente mottière
- Densité apparente globale du sol

- Résultats des analyses physiques

Compte tenu de la grande variation dans les résultats des différents répétitions nous travaillerons essentiellement sur les moyennes,

- Surface (5-15 cm)

Les résultats des mesures de densité apparente sur mottes naturelles au laboratoire apparaissent très irrégulières particulièrement en surface ; cette irrégularité s'explique par le caractère très hétérogène des échantillons prélevés suite à des perturbations créées en surface par le buttage du sorgho.

	Témoin (F ₀ x T ₁)	5 (F ₂ x T ₂)	9 (F ₃ x T ₃)
Densité apparente globale du sol en place	1,54	1,57	1,50
Densité apparente flottière	1,55	1,59	1,56
Densité apparente Texturale	1,76	1,70	1,71

Tableau 8 - résultats des mesures de densité apparente dans l'horizon 0-15 cm.

Les résultats des mesures de densité apparente globale est texturale donnent des différences très nettes entre traitements en surface. Les résultats des mesures sur mottes naturelles sont très irrégulières en relation avec l'hétérogénéité des échantillons ce qui explique les faibles écarts qu'on observe entre traitements.

L'établissement d'un système de porosité à partir des résultats des mesures de densité apparente et de la densité réelle du sol met en évidence l'effet des traitements sur la porosité du sol (Tableau 8b.)

	Témoin (F ₀ xT ₁)	5 (F ₂ xT ₂)	9 (F ₃ x F ₃)
Porosité Globale	42	40,8	43
Porosité Mottière %	42	40	40,8
Porosité Texturale %	33,9	35,6	35,1
Porosité de Structure %	0	1,4	4,6
Porosité de fissures in ka Mottière %	12,3	6,8	8,8

Tableau 8 b - Système de Porosité (0-15 cm)

L'examen du tableau 8 b montre qu'au niveau de la porosité de structure on note un effet des traitements beaucoup plus marqué sous le 9 que sur le 5 ; cet effet n'existe pas sous le témoin. Cette porosité structurale présente sous les traitements 5 et 9 traduit l'effet immédiat du dernier labour.

D'autre part, l'effet des traitements sur la porosité texturale est également très net ; En effet les différences qu'on observe entre le témoin d'un côté et les traitements 5 et 9 de l'autre sont significatives. Cette différence se répercute sur la porosité de fissures intramottière qui diminue sous les traitements 5 et 9 par rapport au témoin. Cette diminution peut être attribuée soit à une modification de texture ou du mode d'assemblage des éléments structuraux élémentaires soit à une action de la matière organique. Cette modification peut également traduire l'action dégradante des instruments mécaniques et du piétinement sur le sol qui induit un tassement plus important en surface sur 5 et 9 par rapport au témoin.

• profondeur (25-35)

	Témoïn (F ₀ xT ₁)	5 (F ₂ x T ₂)	9 (F ₃ x T ₃)
Densité apparente: Globale	1,48	1,52	1,49
Densité apparente: Globale	1,51	1,50	1,56
Densité apparente Texturale	1,81	1,81	1,81

Tableau 9a- Résultats des mesures de densité apparente dans L'horizon 25-35

Les résultats du tableau 9a montrent que l'effet des traitements est moins marqué sur les mesures de densité dans cet horizon que dans l'horizon de surface ; En outre on remarquera que les densités texturales sont strictement identiques.

La conversion des résultats de ces mesures en porosité donne le tableau suivant (ci-dessous).

	Témoïn (F ₀ xT ₁)	5 (F ₂ xT ₂)	9 (F ₃ xT ₃)
Porosité globale %	44,3	42,2	43,0
Porosité Mottière %	44	43,41	41,1
Porosité Texturale %	31,7	31,7	31,7
Porosité de fissures intra Mottière %	18,06	17	13,7

Tableau 9b- Système de Porosité horizon (25-35)

Les données du tableau 9 b montrant que l'effet dû au dernier labour qui se traduit par une porosité de structure ne se manifeste plus que sous le traitement 9 y ceci pourrait s'expliquer par la profondeur du labour et par l'ancienneté du travail sous le 9,

Comme pour l'horizon de surface, malgré une porosité texturale strictement identique cette fois, on note une diminution très nette de la porosité de fissures intro mottière sous le 9 par rapport aux deux autres traitements ; cette différence pourrait s'expliquer par un effet texture ou une action de la matière organique ; nous verrons dans la discussion ce qu'il en est exactement.

On remarque d'autre part que globalement la porosité au niveau de cet horizon est supérieure à celle de l'horizon de surface ; cette différence peut s'expliquer par l'action de l'homme en surface par le tassement qu'elle induit. Elle peut également s'expliquer par le gonflement naturel du sol beaucoup plus important dans cet horizon en relation avec le taux d'argile qui y est plus élevé.

2°) Résultats des mesures pénétrométriques

• Pénétrométrie au champ

Si l'on considère globalement les résultats des mesures de pénétrométrie au champ le témoin non travaillé apparaît plus moule que les traitements 5 et 9 ; ceci est particulièrement marqué dans l'horizon (0-10 cm). Ce résultat a priori paradoxal peut s'expliquer par un effet tassement en surface sous l'action d'agents dégradants essentiellement représentés par :

- l'action des pluies à forte énergie cinétique
- l'action des instruments mécaniques
- le piétinement par l'homme et par les animaux,

ce tassement, compte tenu des conditions de réalisation des labours (labour traction bovine) est plus marqué sous 9 et 5 que sous le témoin.

	Témoin (F0xT1)	5 (F2xT2)	9 (F3xT3)
10-5 cm	8,6	12,8	11,4
12-10 cm	7,25	6,2	3,1
14-12 cm	8,25	9,8	8
16-14 cm	8,75	9	6,7
18-16 cm	9	10	8,6
20-18 cm	9	11,3	7,3
22-20 cm	7,8	11,8	15,2
24-22 cm	7,2	11,3	14,2
26-24 cm	7,5	11,1	14,2
30-26 cm	12,25	22,7	29,9
35-30 cm	22,25	28,8	39,7
40-35 cm	24,9	33,7	41,8

Tableau 10- Accroissements du travail (J) pour passer de 5 à 40 cm.

Les résultats du tableau 10 montrent qu'en dessous de la limite des 10 premiers centimètres on note un effet du traitement 9 sur les résultats de la résistance à la pénétration.

D'abord dans la tranche de sol comprise entre 10 et 20 cm on note un effet améliorant du travail du sol sous 9 qui se traduit par une diminution des accroissements du travail. Cette différence traduit un effet résiduel du labour.

Dans cette même tranche de sol les résultats des mesures sous le témoin et sous 5 sont relativement comparables.

En dessous de cette limite des 20 centimètres jusqu'à 40 cm de profondeur l'effet du labour ne se fait plus sentir.

• Pénétrométrie sur mottes naturelles et texturales au laboratoire

• En surface (5-15 cm)

	Témoin(F0xT1)	5(F2xT2)	9 (F3xT3)
Mottes Naturelles	1695	1139	1197
Mottes Naturelles	2037	1643	1798

Tableau 11 - Résultats des mesures de pénétrométrie au laboratoire-
Mottes naturelles et texturales horizon (5-15 cm).

Pour les mesures sur mottes naturelles comme sur motte texturales les résultats du tableau 11 montrent une nette différence entre d'une part le témoin, et, d'autre part le 5 et le 9.

L'effet du travail du sol sur la force de résistance à la pénétration apparaît ici très nettement même sur le traitement 5 où cet effet n'apparaissait pas pour les mesures in situ.

Il n'y a pas de différence entre les résultats des mesures sur les traitements 5 et 9 ce qui semble montrer que cette différence avec le témoin est due à l'effet du labour sur ces traitements.

■ En profondeur (25-35 cm)

	Témoïn(F ₀ xT ₀)	5 (F ₂ xT ₂)	9 (F ₃ xT ₃)
Mottes naturelles	1961	1874	1785
Mottes texturales	5412	5016	4658

Tableau 12- Résultats mesures de pénétrométrie au laboratoire sur mottes naturelles et tsxturalos (horizon 25-35cm)

Les résultats des mesures de pénétrométrie effectuées sur mottes naturelles montrent une tendance allant dans le sens d'une diminution de la force de résistance à la pénétration avec l'intensité des traitements ; ces différences sont cependant très faibles et non significatives.

Par contre celles mises en évidence par les mesures sur mottes texturales apparaissent très nettement significatives.

3°)- Evaluation de la densité racinaire de l'arachide

Les résultats de ces mesures (cylindres horizontaux) met en évidence une action très marquée des traitements 5 et Y sur l'enracinement de l'arachide.

Cet effet des traitements se manifeste aussi bien en surface qu'en profondeur avec ces différences plus importantes dans l' horizon 25-35 entre le témoin et le traitement 9.

Les résultats du tableau 13 (ci-dessous) montrant d'autre part que la répartition des racines de l'arachide est essentiellement superficielle en conditions naturelles (témoin) et que l'application des traitements intensifs induit une amélioration de la profondeur d'enracinement et une homogénéisation du profil racinaire de l'arachide.

	Témoïn(F ₀ xT ₀)	5 (F ₂ xT ₂)	9 (F ₃ xT ₃)
5-15 cm	0,15	0,19	0,28
25-35 cm	0,06	0,13	0,22

Tableau 13, Densités racinaires de l'arachide en g/cm³ horizons (5-15) et (25-35 cm)

Ainsi nous venons de montrer l'effet des traitements sur le comportement physique des sols se matérialisant par un certain nombre de modifications ; nous nous proposons dans un deuxième temps d'essayer d'expliquer dans la mesure du possible ces modifications.

Nous avons pensé à l'action de la matière organique ou à un effet textural pour expliquer ces changements ; c'est dans ce but que nous avons effectué l'analyse des composés organiques du sol et la granulométrie détaillée (voir tableaux Annexes).

Les résultats de ces analyses n'ont pas donné des différences suffisamment significatives pour expliquer les modifications observées.

Nous avons entrepris alors des études micromorphologiques dont malheureusement je ne puis vous exposer les résultats dans ce présent texte qui nous permettront d'en expliquer un certain nombre.

C- Analyses chimiques

Comme pour les mesures physiques nous présenterons les résultats des analyses chimiques en tableaux ; nous travaillerons essentiellement sur les moyennes des répétitions internes.

	Témoïn(F ₀ xT ₀)	5(F ₂ xT ₂)	9(F ₃ xT ₃)
0-15 cm			
PH eau	5,88	5,47	5,57
PH kcl	5,13	4,44	4,48
M.O %	0,55	0,52	0,46
Carbone total ‰	3,23	3,01	2,7
Azote total ‰	0,31	0,32	0,24
Phosphore total ppm	75	100	137
Phosphore assimi/ observation ppm	10	25	35
Ca meq/100 g	1,82	0,99	1,06
Mg meq/100 g	0,28	0,11	0,14
K meq/100 g	0,06	0,07	0,06
T meq/100 g	1,91	1,64	1,55
15-30 cm			
PH eau	5,79	5,48	5,48
PH kcl	4,95	4,40	4,30
M.O %	0,41	0,44	0,40
Carbone total ‰	2,39	2,57	2,33
Azote total ‰	0,26	0,303	0,18
P ₂₀₅ total ppm	83	93	113
P ₂₀₅ observation ppm	3	13	26
Ca meq/100 g	1,82	1,35	1,02
Mg meq/100 g	0,22	0,17	0,13
K meq/100 g	0,04	0,08	0,12
T meq/100 g	1,98	1,91	1,72

Tableau 14- Récapitulation des résultats des analyses chimiques effectuées sur les échantillons prélevés en 1980.

Les résultats exposés dans le tableau 14 montrent que dans la tranche de sol comprise entre 0 et 30 cm la plupart des valeurs des paramètres chimiques baissent sous le traitement 9 par rapport au témoin.

En effet les taux de matière organique, de carbone total et de l'azote total baissent sous le traitement 9 de même que les valeurs des éléments échangeables à l'exception du potassium ; Corrélativement à ces baisses les valeurs de la capacité d'échange cationique baissent également.

Ces baisses sont plus importantes dans l'horizon 0-15 cm que dans l'horizon sous-jacent (25-35 cm).

D'autre part ce tableau montre que l'application des traitements intensifs 5 et 9 induit une acidification du sol.

Cependant la comparaison des valeurs du PH mesurées sous le témoin à celle du profil de bordure montra que la simple mise en culture induit cette acidification qui est toutefois renforcée par l'application des traitements intensifs.

Ce tableau met en évidence une accumulation du phosphore sous les traitements 5 et 9.

L'établissement des bilans minéraux et l'évaluation des variations des stocks minéraux nous permettront de mieux expliquer l'évolution des paramètres chimiques du sol.

Si l'on compare les résultats des analyses de 1972 et 1980 à ceux du profil de bordure considéré comme point zéro de l'expérimentation on peut mettre en évidence une tendance évolutive différente sous l'effet des traitements appliqués.

	Profil de bordure	Echantillons prélevés en 1972			Echantillons prélevés en 1980		
		1(F ₀ T ₀)	5(F ₂ T ₂)	9(F ₃ T ₃)	1(F ₀ T ₀)	5(F ₂ T ₂)	9(F ₃ T ₃)
0-15 cm							
Carbone total %	7,5	4,8	5,1	4,8	3,2	3,01	2,7
Azote total %	0,6	0,34	0,36	0,35	0,31	0,32	0,24
P mg/100g	2,70	1,2	1,3	1,7	1,02	1	1,06
Mg meq/100g	0,63	0,7	0,6	0,5	0,30	0,11	0,41
K meq/100 g	0,08	0,06	0,07	0,09	0,06	0,07	0,06
T meq/100 g	3,83	2,3	2,8	3,00	1,91	1,64	1,55

15-30 cm	Profil de bordure	Echantillons prélevés en 1972			Echantillons prélevés en 1980		
		1(FoxTo)	5(F ₃ xT ₃)	9(F ₃ xT ₃)	1(FoxTo)	5(F ₂ xT ₂)	9(F ₃ xT ₃)
Carbone total	2,7	3,4	4	3,5	2,4	2,6	2,3
Azote total	0,52	0,27	0,32	0,31	0,26	0,30	0,18
Ca meq/100 g	1,71	1,2	1,4	1,8	1,82	1,35	1,02
Mg meq/100 g	0,46	0,4	0,5	0,6	0,22	0,17	0,13
K meq/100 g	0,03	0,03	0,03	0,06	0,04	0,08	0,12
P meq/100 g	2,21	3,0	3,0	3,0	1,93	1,91	1,72

Tableau 15 - Retrçant l'évolution des paramètres chimiques dans les horizons 0-15 cm et 15-30 cm.

L'examen des résultats du tableau 15 montre l'importance des pertes en éléments minéraux du sol au fur et à mesure que dure l'expérimentation.

Si l'on considère les analyses du profil de bordure comme représentatives du point de départ de l'expérimentation on peut établir une évolution en trois étapes très différentes suivant les traitements :

- Sur le témoin on note une chute brutale des valeurs des différents paramètres chimiques dès la mise en culture ; Ensuite les valeurs de ces éléments semblent se stabiliser ; par contre pour le traitement 3 la chute des valeurs semble s'effectuer de façon progressive et continue et il n'y a pas de stabilisation, les valeurs des mesures de certains paramètres accusent des baisses de l'ordre de 50 % par rapport à celles effectuées en 1972. Cette tendance à la baisse se généralise sur les deux horizons les plus superficiels 0-15 cm et 15-30 cm et est surtout marquée pour le taux d'azote total.

Cependant on note, malgré cette baisse du taux de l'azote total, un effet des traitements intensifs sur l'aptitude du sol à minéraliser ses réserves en azote et sur la distribution des germes organiques de l'azote.

			% N-Ammoniacal dans N-Total	% N - Amino dans N-Total	% N Hétérocyclique dans N-Total
Témoïn FoxTo			19,46	50,7	26,9
0-15 cm	5	F ₂ xT ₂	21,50	58,3	20,21
	9	F ₃ xT ₃	22,44	60,5	17,06
Témoïn FoxTo			22	51	25,7
15-30 cm	5	F ₂ xT ₂	22,1	52,3	25,6
	9	F ₃ xT ₃	23	51	26

Tableau 16. % des différentes fractions d'azote organique dans N. Total pour les horizons 0-15 cm et 15-30 cm.

L'examen des résultats du tableau 16 montre que le pourcentage dans N-total de la fraction "azote aminé" augmente du témoin au 9. Tandis que celui de la fraction azote hétérocyclique évolue en sens inverse dans l'horizon 0-15 cm. Dans l'horizon 15-35 il n'y a pratiquement plus de différence ; ce résultat tient de la répartition en surface de la matière organique.

Les résultats des analyses d'azote sur extrait KCl sur sol normal et sol incubé pendant 15 jours mettent en évidence une différence de comportement du sol sous les différents traitements ; des résultats obtenus montrent que les sols sous traitements 5 et 9 ont une plus grande capacité de minéralisation de leur réserve et ce malgré une baisse du taux de l'azote total relativement sensible sous 9.

		N-NH ₄	N-NO ₃	N Total
Témoïn FoxTo		1,33	1,62	7,1
5	F ₂ xT ₂	2,5	1,6	7,4
9	F ₃ xT ₃	2,1	1,8	7,6

Tableau 17- a. Résultats de l'analyse Extrait KCl sans incubation en ppm.

	N-NH ₄	N-NO ₃	N Total
Témoïn FoxTo	6,82	22,5	31,3
5 F2xT2	5,20	27,9	36,6
9 F3xT3	4,94	35	39,5

Tableau 17 b. Résultats de l'analyse Extrait kcl après incubation 15 jours avec 20 ppm de N en ppm.

DISCUSSION

La connaissance du comportement des paramètres physiques et chimiques du sol dont nous disposons après les différentes mesures effectuées, va nous permettre de comparer les effets des trois traitements considérés sur le sol et de mieux mettre en relief les modifications qu'ils induisent.

Nous chercherons à voir si les différences mises en évidence par les mesures traduisent bien un effet traitement sur le comportement du sol et s'il marque des changements profonds à effet durable.

Si l'on considère l'horizon 5-15 cm on remarque suivant les traitements des différences assez nettes :

- Un effet croissant du travail du sol en fonction de l'intensité des traitements se traduisant par une amélioration de la porosité structurale.

- Un effet du travail du sol sur la diminution de la porosité de fissures intra-mottilière sous le 5 et le 9.

- Un effet sur la force de résistance à la pénétration plus net sur les mesures effectuées au laboratoire qu'au champ et qui traduit un effet améliorant du travail du sol.

En effet l'analyse du système de porosité fait ressortir une amélioration de la porosité structurale d'autant plus importante que le traitement appliqué est intense ; la valeur de cette porosité nulle dans le témoin passe à 1,4 % et 4,6 % respectivement pour le 5 et le 9. Cette amélioration relève de l'effet immédiat du dernier labour.

D'autre part la porosité de fissures intra-mottilière diminue sous le 5 et 9 par rapport au témoin ; cette modification traduit une amélioration de la microporosité du sol..

Pour la pénétration les résultats des mesures effectuées au champ mettent en évidence un effet améliorant du travail du sol dans l'horizon 10-20 cm pour le traitement 9 ; cet effet ne se manifeste pas sous le 5 et ne peut être attribué qu'à un arrière effet du labour ou rapport avec son ancienneté sous le 9.

Par contre les mesures effectuées au laboratoire font ressortir un effet très net du travail du sol sur la force de résistance à la pénétration. Il faut préciser qu'au laboratoire on n'a pas à proprement parler de pénétration mais plutôt un éclatement sous l'action d'une force qu'on applique par poinçonnement.

Les résultats de l'analyse granulométrique (fig. III) de même que ceux de la détermination des composés organiques du sol ne permettent pas d'expliquer ces modifications.

Dans l'horizon sans cultural (25-35 cm) on remarque comme pour l'horizon sus-jacent des modifications importantes suivant les traitements :

- Un effet du travail du sol sur l'amélioration de la porosité structurale uniquement sous le 9 ; cet effet relevé de la profondeur du labour sous ce traitement.

- Un effet sur la diminution de la porosité de fissures intra-motière uniquement sous le 9 ; En effet si l'on exprime les valeurs de cette porosité de fissures en pour cent de la porosité motière on obtient 41 %, 39 % et 31 % respectivement pour le témoin le 5 et le 9 ; ceci montre l'importance de la porosité propre des éléments structuraux sous le 9 par rapport au témoin et au 5. Comme pour l'horizon de surface cette baisse de la porosité de fissures intra-motière traduit une amélioration de la microporosité du sol.

Les mesures de pénétration in situ contrairement à celles effectuées dans l'horizon de surface (5-15 cm) traduisent un durcissement du sol sous les traitements 5 et 9 par rapport au témoin. En effet les accroissements de travail nécessaires pour pénétrer d'un centimètre sous le témoin sont multipliés par 1,5 et 2 respectivement sous le 5 et le 9.

Ce durcissement n'apparaît pas dans les mesures effectuées au laboratoire. En l'absence des phénomènes d'encadrement comme dans le cas des mesures in-situ, on a une dispersion de la pression exercée sur les échantillons à porosité de fissures élevée (témoin et 5) qui leur confère un seuil d'éclatement plus élevé.

Du point de vue chimique les résultats des analyses montrent une baisse généralisée de la valeur des différents paramètres chimiques à l'exception du phosphore sous les traitements 5 et 9 comparés au témoin. Cette baisse qui affecte particulièrement le taux d'azote total et la capacité d'échange cationique des sols est corrélative de celle de la matière organique du sol sous ces traitements continue à baisser en surface.

Il apparait donc que si les techniques de restitutions organiques améliorent le statut minéral du sol et maintiennent un niveau de production élevé pour les cultures, elles ne sont pas satisfaisantes du point de vue du maintien du stock de la matière organique des sols,

On note d'autre part une acidification sous les traitements 5 et 9. Cette acidification s'accompagne de l'apparition sous ces traitements d'alluminium échangeable dans le profil, (tableau 18 annexe).

Dans le cas du phosphore les résultats des analyses mettent en évidence une accumulation de cet élément sous les traitements 5 et 9 ; cette accumulation se manifeste à la fois sur le phosphore total et assimilable la fixation du phosphore sur le complexe étant renforcée par l'augmentation de la concentration de cet élément dans la solution du sol. Cependant, nous n'avons pu montrer le rôle que joua cette accumulation du phosphore sur le comportement du sol.

En ce qui concerne les éléments minéraux échangeables et de l'azote total on note d'importantes pertes de calcium et magnésium échangeables ainsi que d'azote sous les traitements intensifs ; par contre le Potassium échangeable augmente sous le 5 et le 9.

Pour l'azote malgré une forte baisse sous le 9 en surface on note une amélioration qualitative qui se manifeste sur la répartition des formes organiques. En effet, le pourcentage de la forme azote aminé, source essentielle d'alimentation des plantes dans N-Total augmente avec l'intensité des traitements passant de 50 % sur le témoin à 61 % sur le 9 dans l'horizon de surface (0-15 cm) tandis que le pourcentage de la forme azote hétérocyclique non assimilable par les plantes passe de 26% sous le témoin à 13 % sous le traitement 9.

L'établissement des bilans minéraux apparents ainsi que les profils de répartition des éléments du stock nous permettra de mieux expliquer la dynamique de ces éléments.

Conclusion

L'intensification de l'agriculture dans la zone de l'Afrique au Sud du Sahara représente actuellement la seule voie capable de remédier au problème du déficit céréalier quasiment endémique dans cette partie du monde.

Si les différents systèmes d'intensifications offrent de réelles possibilités d'accroissement de la productivité il n'est pas certain qu'on arrive à maintenir le niveau de fertilité du sol sableux réputé pour son extrême fragilité.

L'idéal serait que cette augmentation de la productivité du sol ne présente pas en contre partie un danger potentiel,

Le but de ce travail a été précisément de voir si l'application des systèmes intensifs proposés permettait au moins de maintenir la fertilité du sol sableux à son niveau de départ.

Ce genre d'étude ne peut être mené que dans le cadre d'une expérimentation pluriannuelle c'est ce qui explique le choix des améliorations foncières comme support de ce travail ; cette expérimentation qui dure depuis 16 années et qui se poursuit encore aurait pu représenter un cadre idéal pour cette étude s'il n'avait pas de gros problèmes d'ordres méthodologiques.

En effet la disposition immuable des parcelles et surtout l'absence de répétitions dans le dispositif font que nous n'avons pu utiliser les statistiques pour mieux mettre en relief les différences qu'on observe. Les conclusions que nous tirons ne pourront donc être rigoureuses encore moins définitives, l'absence de répétition nous permettant pas d'évaluer la représentativité des résultats détenus.

De plus l'absence d'analyses à intervalles régulières nous empêche de parler d'évolution ; tout au plus ce travail nous permettra de mesurer le degré d'évolution du sol à une période déterminée de l'expérimentation.

Du point de vue des résultats on note un effet des traitements sur le comportement du sol,

Pour les mesures physiques l'effet des traitements se manifeste de deux façons :

-Une amélioration de la porosité structurale sous les traitements intensifs qui traduit l'existence de fissures dans les profils et qui est due à un effet immédiat du dernier labour.

-Une amélioration profonde à effet plus durable affectant l'arrangement des éléments structuraux du sol qui se manifeste sur les mesures de pénétrométrie et sur la porosité inter-mottilière. Elle traduit une amélioration de la microporosité du sol.

Cet ensemble de modifications sous l'effet des traitements intensifs favorise l'enracinement des plantes sous ces dernières comme en témoignent les résultats détenus.

Le traitement 9 apparaît très nettement plus homogène. Le traitement 5 est intermédiaire entre le 3 et le témoin et son hétérogénéité relativement élevée s'explique par le fait qu'il en cours d'évolution.

L'analyse de l'évolution des rendements montre que la productivité du sol, exprimée en kg/ha de matière sèche est fortement accrue par l'emploi des facteurs de production tels que les engrais, les variétés améliorées et une chaîne de culture attelée bovine. Elle montre un effet très marqué des traitements sur la définition d'une production optimale.

Cependant on note une diminution de la production du sol au fil des années avec une amplitude plus marquée sur le 9. Cette diminution nous a incité à nous poser la question de savoir si elle n'est pas corrélative de celle des potentialités du sol sableux.

Pour répondre à cette question nous établirons les bilans minéraux et les variations relatives des stocks minéraux de tous les éléments. Nous ne pouvons malheureusement donner ces résultats dans le Cadre de ce travail. Pour l'heure les résultats d'analyses chimiques dont nous disposons vont nous permettre de tirer un certain nombre de conclusions,

On note sous les traitements intensifs dans l'horizon 0-30 cm :

-Une acidification du sol avec apparition d'aluminium échangeable ; cette acidification procède d'un important processus de décalcification,

-Une chute des valeurs du complexe absorbant, du taux de matière organique, du taux d'azote total..

Toutes ces baisses sont fortement atténuées sous le 5 par l'association fertilisation minérale + restitutions organiques.

Ainsi il apparaît qu'à cette "intensification" entraîne une dégradation de la fertilité chimique du sol sableux.

Si l'intensification contribue à augmenter substantiellement la productivité du sol sableux, elle suppose pour le maintien du niveau de fertilité, une définition d'une véritable politique d'amendement calcique et surtout le contrôle de l'évolution de la matière organique du sol.

En effet le problème de loin important à résoudre est celui de l'évolution de la matière organique au système intensif. Si le maintien du statut calcique du sol ne pose pas de problèmes insurmontable, celui du statut azoté et le contrôle de l'évolution de la matière organique supposent de sérieux travaux allant dans le sens d'une meilleure connaissance des conditions de stabilisation de la matière organique en sol sableux et surtout d'une valorisation par transformation préalable des résidus de récoltes.

BIBLIOGRAPHIE

- Bertrand-R- 1973. Morphopédologie et orientations culturales des régions soudanaises du Sine-Saloum (SENEGAL). Rapport IRAT-SODEVA 299/ multigr
- Blondel-D. 1971. Contribution à la connaissance de la dynamique de l'azote minéral en sol ferrugineux à Nioro du Rip (SENEGAL) L'agro Trop extrait du vol XXVI N° 12.
- . Brigaud. P- 1965. Le climat dans les études SENEGALAISES N°9 C.R.O.S.
- Bremner. J.M. 1965, Inorganic forms of Nitrogen. Méthodes of soil Analysis page 1195-1198 Agronomy, CA Black editor.
- Charroau C. 1970. Problèmes posés par la fixation et l'intensification de l'agriculture en zone tropicale sèche.
- Charreau C. Nicou R. 1971. L'Amélioration du profil cultural dans les sols sablo argileux de la zone tropicale sèche et ses incidences agronomiques. Bulletin agronomique N° 23.
- Chauvel. A, 1972. Observations micromorphologiques de la partie supérieure des sols rouges ferrallitiques de Casamance. Essai d'interprétation de la dynamique actuelle sous couvert forestier Cah ORSTOM sur Pedol.
Vol X N°4
- Chauvel. A, 1977. Recherche sur la transformation des sols ferrallitiques dans la zone à saisons contrastées ; évolution et réorganisation des sols rouges de moyenne Casamance (SENEGAL) ORSTOM Paris.
- Dancette. C. 1979. Rapport d'activité 1979. Document ISRA. République du SENEGAL.
- Dieng. M, 1963. Etude géologique du Continental terminal du Sénégal-Oriental. B.R.G.M. Dakar 23 p.
- Dieng. M, 1965. Contribution à l'étude du Continental terminal B.R.G.M. Dakar.
- Fies. J.C, 1971- Recherche d'une interprétation texturale de la porosité des sols. Annales agronomiques Vol 23 N°6, p.655-685.
- Guiraud. J. Fardeau. C, 1977- Dosage par méthode de kjeldahl des nitrates contenus dans les sols et les végétaux. Ann. Agron. 28(3) P.329-333.

- Keyrabi. D. Monnier G., 1968- Etude expérimentale de l'influence de la composition granulométrique des terres sur la stabilité structurale. Annales agronomiques Vol 19 N°2, p. 129-152.
- Leprun. J.C, 1967- Les sols de la région de Coudiry (Sénégal-Oriental) inventaire, relation génétique et mise en place des matériaux. Centre ORSTOM Dakar-Hann, 138 p. multigr.
- Martous. C , 1964- La résistance mécanique des sols à la pénétration. Ses facteurs et son influence sur l'enracinement. Ann. agron, vol 15, N°5, p. 539-554.
- Monnier. G, 1965- Action des matières organiques sur la stabilité structurale des sols - Thèse Paris, I.N.R.A. 140 p.
- Monnier G, Stengel P. fies, J.C, 1973- Une méthode de mesure de la densité apparente de petits agglomérats ferreux **application** à l'analyse des systèmes de porosité du sol. Ann agron, 24(5), p 533-545.
- Michel. P. 1960- Recherches géomorphologiques en Casamance et Gambie méridionale arch. B.R.G.M. Méd.
- Nicou, R ; 1974- Contribution à l'étude et à l'amélioration de la porosité des sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche. Conséquences agronomiques-agro-trop; XXIX., P.1100-1127.
- Nicou, R., 1978- La prise en masse des sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche ouest, Africainn, Cosum-Edmonton,
- Piéri.C, 1969- Etude Pédologique de la région de Niore du Rip. IRAT/CNRA de Bamboey SENEGAL. 131 p multigr, 2 cartes.
- Piéri. C, 1978- Etude de la composition de la solution du sol d'un sol sableux du SENEGAL à l'aide de capteurs en Céramique poreuse. Agro-trop.
- Piéri. C , 1976- Améliorations expérimentales comparées de la capacité d'échange cationique d'un très sableux du SENEGAL par des apports de matière organique, de Goethite et de Phosphate Monocalcique - CNAA de Bamboey 8 p. multigr.
- Specklin.G, 1977- Contribution à l'étude de la prise en masse d'un sol sableux de la zone tropicale sèche ouest-africaine. DEA option pédologie - ENSA/USTL Montpellier
- Stoops. C, Jongerius. A, 1975- Proposal for a micromorphological classification of soils materials. A classification of the related distributions of fine and Coarse particles- Geoderma, 13, pp. 189-199.

PROFIL NIORO DU RIP

Date d'observation : Décembre 1978 - Août 1979
 Localisation : Station de NIORO du RIP
 Topographie : Faible pente orientée N - S
 Matériau originel : Continental terminal
 Végétation : Jachère herbacée de graminées

DESCRIPTION DU PROFIL

3 - 8 cm 5YR 5/4

Horizon brun rouge sableux ; humide à matière organique bien mélangée. Structure polyédrique grossière - présence de quelques galènes animales - cohésion faible porosité moyenne présence de racines.

passage progressif à

8 - 30 cm 5YR 5/4

Horizon sableux, matière organique diffuse dans l'horizon, Structure polyédrique moyenne, cohésion moyenne porosité faible,, débris de charbon (1 à 4 cm de diamètre)

passage progressif à

30-140 cm 2,5 YR 5/8

Sablo-argileux humide. Structure polyédrique fine à sub nu gulaire, cohésion moyenne à faible en profondeur, Porosité d'ensemble moyenne ; nombreuses galènes animales - fissures verticales et durcissement à l'état sec.

Classification:

sol ferrugineux tropical peu lessivé de bord de butte sur colluvions du continental terminal.

Parcelle 5-2. Tableau Récapitulatif
Résultats des mesures physiques

	Pt ₁	Pt ₂	Pt ₃	Pt ₄	Pt ₅	Pt ₆	Pt ₇	Pt ₈	Pt ₉	Moyenne	C.V. %			
5-15 cm														
A %									5,54	5,14	12,06			
LF %	5,24	2,54	4,82	6,69	5,02	2,56	4,95	2,66	4,76	3,33	2,80	3,31	2,83	10,72
STF %	9,59	9,86	9,53	8,66	9,84	8,33	8,72	2,11	9,88	9,17	7,73			
SF %	55,18	55,75	56,95	57,51	55,52	58,64	55,18	57,69	56,00	56,58	2,06			
SG %	26,08	27,46	26,00	26,26	25,80	26,09	28,01	25,58	25,27	26,28	3,37			
daC	1,550	1,570	1,590	1,590	1,580	1,570	1,520	1,590	1,570	1,57	1,50			
daM	1,587	1,588	1,655	1,605	1,603	1,572	1,563	1,572	1,573	1,59	1,76			
daT	1,720	1,692	1,693	1,687	1,717	1,691	1,705	1,727	1,739	1,71	1,011			
Pg	41,5	40,8	40	40	40,4	40,8	42,6	40	40,8	40,77	2,08			
PM	40,1	40,1	37,5	39,4	39,5	40,7	41	40,7	40,6	40	2,68			
PT	35,1	36,1	36,1	36,3	35,2	36,2	35,7	34,8	34,4	35,5	1,94			
FM	1245	767	1250	900	900	1462	1650	1037	1037	1139	25,27			
FT	2000	1817	1775	1717	1833	1725	1817	2000	1817	1833	5,62			
25-35 cm:														
A %	10,80	11,44	13,00	11,36	10,88	8,96	13,95	10,60	9,80	11,20	13,52			
IF %	1,80	2,10	2,14	2,24	2,01	2,09	2,90	2,02	2,51	2,09	9,76			
STF %	8,23	7,35	7,65	9,75	8,51	8,40	9,74	9,20	11,44	8,91	14,06			
SF %	53,04	52,64	52,11	50,57	52,70	54,21	48,71	52,19	51,88	52	3,112			
SG %	26,13	26,47	25,10	26,08	25,90	26,34	25,70	26	24,37	25,79	2,57			
daC	1,520	1,560	1,490	1,530	1,540	1,520	1,540	1,540	1,540	1,53	1,28			
daM	1,482	1,473	1,478	1,477	1,482	1,507	1,540	1,488	1,568	1,50	2,21			
daT	1,834	1,858	1,792	1,788	1,789	1,802	1,835	1,804	1,788	1,81	1,43			
Pg	42,6	41,1	43,8	42,3	41,9	42,6	41,9	41,9	41,9	42,22	1,76			
PM	44,1	44,4	44,2	44,3	44,1	43,1	41,9	43,8	40,8	43,41	2,90			
PT	30,8	29,9	32,4	32,5	32,5	32,0	30,8	31,9	32,5	31,6	3,03			
FM	1150	1700	1662	2000	1762	2025	2025	1862	1575	1873	7,43			

Tableau 5- Résultats mesures PH KCl

PH kcl 1

P _m	Pt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total	\bar{m}	C.V. %
0-15		5,20	5,40	5,30	4,95	4,95	5,00	5,10	5,05	5,25	46,2	5,13	3,15
15-30		5,25	4,90	5,00	4,80	4,75	4,80	5,30	5,00	4,80	44,6	4,95	4,03
30-60		4,85	5,00	5,05	4,55	4,75	4,85	5,45	5,05	4,95	44,5	4,944	5,02
60-90		4,95	4,90	4,80	4,85	4,80	5,05	4,95	5,15	5,00	44,45	4,94	2,36
													2,62

PH kcl 5

Parcelle 1

P _m	Pt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total	\bar{m}	C.V. %
0-15		4,30	4,30	4,40	4,50	4,40	4,55	4,55	4,45	4,20	39,65	4,40	2,75
15-30		4,50	4,25	4,20	4,50	4,55	4,50	4,40	4,60	4,55	39,95	4,44	3,68
30-60		4,85	4,80	4,75	4,65	4,90	4,90	4,75	5,00	4,95	43,55	4,84	2,38
60-90		5,05	4,95	5,05	4,50	5,35	4,85	4,80	4,45	4,45	43,45	4,83	6,47
												4,63	

PH kcl Y

Parcelle 5

P _m	Pt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total	\bar{m}	C.V. %
0-15		4,50	4,50	4,35	4,25	4,35	4,95	4,80	4,35	4,30	40,35	4,48	5,35
15-30		4,15	4,10	4,35	4,25	4,20	4,45	4,70	4,30	4,20	38,70	4,30	4,27
30-60		4,70	4,75	5,30	4,50	4,75	4,85	5,20	4,80	4,80	43,65	4,85	5,13
60-90		5,30	5,20	5,40	4,85	5,20	5,05	5,65	5,20	5,15	46,80	5,20	4,40
												4,71	

Parcelle 9

Tableau 6- Carbone total

Pt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total	\bar{m}	C.V. %
0-16	0,32	0,32	0,34	0,32	0,31	0,33	0,34	0,32	0,31	2,91	0,323	3,46
15-30	0,25	0,24	0,24	0,28	0,22	0,23	0,21	0,25	0,23	2,15	0,239	8,48
30-50	0,20	0,17	0,17	0,16	0,17	0,17	0,17	0,18	0,18	1,57	0,174	6,50
50-90	0,16	0,16	0,18	0,17	0,18	0,17	0,18	0,17	0,17	1,54	0,171	4,57
Total												

Parcelle 1

Pt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total	\bar{m}	C.V. %
0-16	0,31	0,29	0,28	0,30	0,35	0,28	0,23	0,27	0,40	2,71	0,301	16,31
16-30	0,27	0,27	0,27	0,25	0,27	0,23	0,25	0,24	0,26	2,31	0,257	5,84
30-60	0,18	0,19	0,20	0,21	0,17	0,18	0,20	0,17	0,19	1,69	0,188	7,42
60-90	0,18	0,19	0,18	0,18	0,19	0,17	0,19	0,18	0,17	1,63	0,181	4,38
Total												

Parcelle 5

Pt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total	\bar{m}	C.V. %
0-16	0,29	0,27	0,25	0,25	0,25	0,36	0,26	0,26	0,22	2,41	0,268	14,66
16-30	0,20	0,23	0,22	0,23	0,24	0,27	0,27	0,23	0,21	2,10	0,233	10,29
30-60	0,17	0,18	0,18	0,17	0,18	0,20	0,20	0,17	0,17	1,62	0,180	6,80
60-90	0,15	0,13	0,13	0,17	0,16	0,16	0,17	0,17	0,15	1,49	0,166	6,81
Total												

Parcelle 9

ANALYSE. M.O. Parcelle n° 1

Tableau 7. Matière organique

Pm Pt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total	m	C.V. %
0-15	0,55	0,55	0,58	0,55	0,53	0,57	0,58	0,55	0,53	4,99	0,55	3,19
15-30	0,43	0,1	0,41	0,48	0,38	0,39	0,36	0,43	0,39	3,68	0,41	8,11
30-60	0,34	0,29	0,25	0,27	0,29	0,29	0,29	0,31	0,31	2,68	0,30	6,29
60-90	0,27	0,27	0,31	0,29	0,31	0,29	0,31	0,29	0,29	2,63	0,29	5,04

ANALYSE. M. O Parcelle n° 5

Pm Pt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total	m	C.V. % C I
0-15	0,53	0,50	0,48	0,52	0,60	0,48	0,39	0,46	0,69	4,65	0,52	15,72
15-30	0,46	0,46	0,46	0,43	0,46	0,39	0,43	0,41	0,45	3,95	0,44	5,50
30-60	0,31	0,33	0,34	0,36	0,29	0,31	0,34	0,29	0,33	2,90	0,32	6,98
60-90	0,31	0,33	0,31	0,31	0,33	0,29	0,33	0,31	0,29	2,81	0,31	4,72

ANALYSE. M.O Parcelle n° 9

Pm Pt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total	m	C.V. %
0-15	0,50	0,46	0,43	0,43	0,43	0,62	0,45	0,45	0,38	4,15	0,46	13,81
15-30	0,34	0,39	0,38	0,39	0,41	0,46	0,46	0,39	0,36	3,58	0,40	9,61
30-60	0,29	0,31	0,31	0,29	0,31	0,34	0,35	0,29	0,29	2,78	0,31	6,90
60-90	0,26	0,31	0,31	0,29	0,27	0,27	0,29	0,29	0,26	2,55	0,28	6,44

Tableau C-

Pm	Pt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total	\bar{m}	C.V. %
0-15		1,90	2,15	1,77	1,37	2,20	1,88	1,95	2,01	1,95	17,18	1,91	11,93
15-30		2,21	1,93	2,02	2,13	2,02	2,09	1,68	1,80	1,95	17,83	1,98	7,83
30-60		3,07	1,89	2,20	2,01	2,27	2,05	2,06	2,37	2,23	20,15	2,24	14,53
60-90		3,46	3,10	3,24	3,27	3,51	2,83	3,54	2,87	3,01	28,83	3,20	7,9

Pm	Pt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total	\bar{m}	C.V. %
0-15		1,86	1,62	1,53	1,5	1,84	1,41	1,43	1,61	1,29	14,8	1,64	10,92
15-30		1,85	2,13	1,94	1,94	1,75	1,85	1,90	1,85	1,95	17,16	1,91	5,19
30-60		2,05	1,89	2,18	1,89	1,95	2,09	2,00	1,77	1,92	17,74	1,97	5,89
60-90		3,18	2,96	3,30	3,10	3,26	3,25	3,10	3,02	2,98	28,15	3,13	3,81

Pm	Pt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total	\bar{m}	C.V. %
0-15		1,53	1,43	1,51	1,43	1,54	1,96	1,54	1,61	1,37	13,92	1,55	10,45
15-30		1,89	1,55	1,60	1,60	1,71	1,97	2,00	1,59	1,55	15,46	1,72	10,15
30-60		2,11	2,04	1,96	1,88	2,31	2,25	2,04	1,77	2,13	18,43	2,05	7,83
60-90		2,50	2,30	2,54	2,50	2,43	2,59	2,72	2,75	2,35	22,68	2,52	5,68
Total													

Parcelle 9 (F₂ - F₃) 3 - TABLEAU SYNTHÉTIQUERésultats des mesures
physiques

5-15cm	Pt 1	Pt 2	Pt 3	Pt 4	Pt 5	Pt 6	Pt 7	Pt 8	Pt 9	Moyen.	C.V.%			
1%	3.84	3.74	5.07	4.74	4.04	6.30	5.03	5.69	5.26	4.86	17.79			
LF %	2.77	3.48	1.69	Y.30	3.49	3.00	3.40	3.52	3.59	3.15	15.32			
STF %	10.63	10.11	10.50	3.27	9.51	10.22	10.29	10.22						
SF %	52.03	56.38	55.75	55.67	55.41	53.04	54.66	54.43	32.25	9.97	10.08	55.07	4.31	3.15
SG %	24.73	26.29	26.69	26.94	27.55	27.44	26.62	26.14	2e.93	26.85	4.28			
daC	1.480	1.480	1.490	1.540	1.480	1.540	1.490	1.520	1.530	1.50	1.76			
daM	1.663	1.583	1.585	1.573	1.535	1.542	1.575	1.578	1.577	1.58	2.29			
daT	1.665	1.718	1.689	1.707	1.711	1.725	1.725	1.742	1.742	1.71	1.44			
Pg	44.1	44.1	43.8	41.9	44.1	41.9	43.8	42.6	42.3	43.18	2.27			
PM	37.2	40.3	40.2	40.6	42.1	41.8	46.6	40.4	40.5	40.41	3.41			
PT	37.2	35.2	36.3	35.6	35.4	34.9	34.9	34.3	34.3	35.3	2.65			
FM	1.525	1.187	1.037	1.150	900	1.650	925	1.312	1.082	1.196	21.50			
FT	1.950	1.825	1.825	1.892	1.850	1.917	2.104	2.025	1.792	1.909	5.39			

20-30cm	Pt 1	Pt 2	Pt 3	Pt 4	Pt 5	Pt 6	Pt 7	Pt 8	Pt 9	Moyen.	C.V.%
1%	9.46	9.71	9.37	10.79	10.54	9.77	10.64	9.19	9.90	9.93	5.93
LF %	3.71	3.03	3'00	3.33	3.28	2.79	2.82	2.93	3.03	3.10	9.40
STF %	9.09	9.47	3.00	9.08	9.06	8.97	9.10	8.46	9.40	9.16	4.33
SF %	54.25	51.20	50.69	51.97	51.89	51.12	51.64	52.04	51.79	51.95	1.88
SG %	22.69	26.59	27.94	24.83	25.23	26.35	25.80	27.38	25.88	25.85	5.95
daC	11.4001	1.500	1.500	11.470	1.500	1.500	1.510	1.500	1.490	1.49	0.8
daM	1.550	1.507	1.565	1.515	1.553	1.623*	1.560	11.537	1.643*	1.56	2.87
daT	1.858	1.859	1.792	1.814	1.825	1.816	1.800	11.756	1.789	1.81	1.82
Pg	44.1	43.4	43.4	44.5	43.4	43.4	43.0	43.4	43.8	43.6	1.04
PM	41.5	43.1	40.9	42.8	41.2	39.8*	41.1	42.0	48.0*	41.06	4.11
PT	29.9	29.8	32.4	31.5	31.1	31.5	32.5	33.7	32.5	31.6	3.95
FM	1.900	1.812	1.625	1.800	1.825	1.825	1.725	1.800	1.750	1.785	4.34
FT	6.167	6.500	4.250	4.250	5.500	4.500	4.167	3.542	3.042	4.658	24.98

Tableau 4 - Résultats mesures de Ph eau

Ph eau Parcelle 1

Pt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total	\bar{m}	CV %
0-15	5.90	5.95	6.10	5.85	5.50	5.75	5.35	5.95	6.10	52.95	5.88	2.94
15-30	6.15	5.65	5.75	5.70	5.50	5.70	6.10	5.90	5.70	52.15	5.79	3.49
30-60	5.80	5.80	5.75	5.40	5.70	5.75	6.50	6.00	5.85	52.55	5.84	4.75
60-90	5.75	5.05	5.80	5.55	5.70	6.10	5.85	6.10	5.95	52.65	5.85	2.91

Parcelle 1 (témoin)

Ph eau parcelle 5

Pt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total	\bar{m}	CV%
0-15	5.25	5.25	5.45	5.59	5.40	5.50	5.90	5.65	5.35	49.25	5.47	3.53
15-30	5.55	5.35	5.20	5.65	5.60	5.40	5.35	5.70	5.55	49.35	5.48	2.85
30-60	5.70	5.80	5.75	5.70	5.90	6.15	5.70	6.10	5.90	52.70	5.85	2.77
60-90	6.10	5.90	6.05	5.45	6.20	5.75	5.75	6.30	6.30	53.80	5.98	4.55

Parcelle 5 (F₂ x F₂)

Ph eau Parcelle 9

Pi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total	\bar{m}	CV %
0-15	5.65	5.75	5.55	5.35	5.35	5.85	5.85	5.35	5.40	50.10	5.57	3.64
15-30	5.30	5.403	5.45	5.55	5.25	5.60	5.70	5.45	5.65	49.35	5.48	2.65
30-60	5.55	5.60	5.10	5.30	5.65	5.75	6.10	1.75	5.85	51.65	5.74	4.22
60-90	6.03	5.80	6.30	5.65	5.85	5.80	6.55	6.10	6.05	54.15	5.02	4.40

Parcelle 9 (F₃ x T₃)

Tableau 9 : Somme des bases meq/100g

Pt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total	\bar{m}	CV %
0-15	1.97	2.17	2.52	1.78	2.19	2.06	2.36	2.41	1.97	18.43	2.16	10.47
15-30	2.38	2.13	2.22	1.71	1.95	1.95	2.29	2.37	1.86	18.86	2.10	10.75
30-60	2.94	1.81	2.19	1.81	2.28	2.09	2.20	2.44	2.52	20.26	2.25	14.76
60-90	1.17	2.87	3.06	2.57	2.72	2.61	2.70	2.74	2.53	22.97	2.55	20.05

Parcelle 1

Pt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total	\bar{m}	CV %
0-15	1.27	0.92	1.28	1.28	1.28	1.00	1.03	1.19	1.44	10.69	1.19	13.39
15-30	1.66	1.48	1.26	1.75	1.63	1.56	1.56	1.73	1.85	14.43	1.61	10.13
30-60	2.27	2.03	2.30	1.70	2.03	2.25	2.24	2.09	2.26	19.22	2.14	8.41
60-90	3.06	2.96	3.08	2.44	3.22	2.85	3.00	2.08	2.92	26.61	2.96	7.05

Parcelle 5

Pt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total	\bar{m}	CV %
0-15	1.45	1.24	0.99	1.14	1.16	2.07	1.32	1.07	0.99	11.43	1.27	24.92
15-30	1.21	1.13	1.41	1.08	1.11	1.67	1.90	1.10	0.96	11.55	1.28	23.12
30-60	1.90	1.92	2.11	1.53	2.05	2.16	2.38	1.83	2.14	18.02	2.00	11.42
60-90	2.42	2.31	2.65	2.41	2.54	2.40	2.99	1.75	2.35	22.34	2.54	8.29

Parcelle 9

Tableau 10 : Phosphore total en ppm

Pt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total	\bar{m}	CV %
0-15	71	71	80	72	81	71	72	85	70	673	74.77	7.5
15-30	88	82	79	90	82	85	79	92	80	747	83.0	5.4
30-60	101	80	85	77	90	80	78	88	89	768	85.3	8.9
60-90	100	99	100	81	22	88	102	90	105	787	87.4	29.4

Parcelle 1

Pt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total	\bar{m}	CV %
0-15	112	89	98	100	104	112	84	87	112	898	99.8	11.1
15-30	94	106	98	91	84	90	91	91	92	837	93.0	6.6
30-60	96	90	93	66	32	91	88	37	90	803	89.2	4.6
60-90	103	103	109	105	102	99	105	99	100	927	103.0	3.2

Parcelle 5

Pt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total	\bar{m}	CV %
0-15	163	151	135	112	124	141	120	151	132	1229	136.6	12.1
15-30	102	120	96	106	104	125	112	123	121	1014	112.7	10.0
30-60	87	88	97	86	95	107	92	90	87	830	92.2	7.4
60-90	91	89	99	98	96	97	99	101	93	863	95.9	4.2

Parcelle 9

Tableau II- Phosphore assimilable
en ppm

Pm	Pt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total	\bar{m}	C.V. %
0-15		15	12	10	8	8	10	9	10	9	91	10,1	21,3
15-30		7	7	8	20	9	9	8	6	7	81	9,0	47,1
30-60		7	8	8	6	8	12	8	13	10	80	8,9	16,3
60-90		6	7	11	8	8	10	7	9	9	75	8,3	19,3

Parcelle 1

Pm	Pt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total	\bar{m}	C.V. %
0-15		26	24	24	26	31	26	19	24	29	229	25,4	13,4
15-30		12	12	17	12	11	16	11	15	17	121	13,4	18,7
30-60		11	12	9	13	12	9	7	10	9	92	10,2	18,3
60-90		13	8	8	6	5	6	7	8	6	67	7,4	31,6

Parcelle 5

Pm	Pt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total	\bar{m}	C.V. %
0-15		45	44	33	28	33	30	27	42	34	316	35,1	19,6
15-30		16	30	24	24	25	31	23	31	27	231	25,7	18,7
30-60		8	<1	11	17	9	9	10	9	8	92	10,2	27,2
60-90		8	7	6	6	11	8	7	7	6	66	7,3	21,6

Parcelle 9

Tableau 12- Ca échangeable mg/100 g

P _m	Pt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total	\bar{m}	C.V. %
0-15		1,60	1,83	2,14	1,53	1,81	1,73	2,01	2,05	1,65	16,35	1,82	11,02
15-30		2,08	1,76	1,92	1,56	1,68	1,66	2,09	2,08	1,57	16,40	1,82	11,52
30-60		2,33	1,48	1,79	1,50	1,91	1,80	1,71	2,15	2,21	16,80	1,88	15,23
60-90		0,8	2,12	2,52	1,92	2,01	1,98	1,93	2,25	1,96	17,52	1,95	22,35

Parcelle 1

P _m	Pt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total	\bar{m}	C.V. %
0-15		1,07	0,77	1,08	1,00	1,10	0,84	0,84	1,02	1,22	8,94	0,99	13,90
15-30		1,41	1,25	1,07	1,44	1,35	1,29	1,22	1,48	1,64	12,15	1,35	11,62
30-60		1,86	1,82	1,94	1,43	1,74	1,82	1,83	1,84	1,83	16,17	1,80	7,73
60-90		2,07	2,34	2,21	1,75	2,38	1,94	2,09	2,25	2,42	19,46	2,16	9,63

Parcelle 5

P _m	Pt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total	\bar{m}	C.V. %
0-15		1,20	2,99	0,83	0,95	0,95	1,77	1,12	0,08	2,04	9,93	1,07	26,15
15-30		0,86	0,86	0,17	0,89	0,88	1,37	1,59	0,82	0,76	9,20	1,02	26,59
30-60		1,37	1,52	1,68	1,19	1,51	1,62	1,93	1,41	1,68	13,91	1,55	13,07
60-90		1,80	1,72	2,17	1,71	1,84	1,71	2,27	2,11	1,83	17,16	1,91	10,73

Parcelle 9

Tableau 13- Mg échangeable meq/100 grammes

Pm	Pt	1	2	3	4	5	6	7	a	9	Total	\bar{m}	C.V. %
0-15		0,29	0,28	0,32	0,20	0,29	0,26	0,29	0,30	0,26	2,49	0,28	11,54
15-30		0,24	0,31	0,24	0,41	0,21	0,24	0,14	0,24	0,24	1,97	0,22	25,79
30-60		0,56	0,28	3,36	0,27	0,31	0,25	0,44	0,25	0,27	2,99	0,33	29,89
60-90		0,31	0,70	0,49	0,60	0,65	0,58	0,71	0,44	0,53	5,01	0,56	21,98

Parcelle 1 (témoin)

Pm	Pt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total	\bar{m}	C.V. %
0-15		0,09	0,10	0,14	0,12	0,10	0,11	0,14	0,11	0,10	1,03	0,11	14,33
15-30		0,14	0,17	0,13	0,20	0,17	0,15	0,23	0,18	0,14	1,51	0,17	18,16
30-60		0,35	0,22	0,27	0,21	0,24	0,37	0,35	0,20	0,30	2,51	0,28	22,32
60-90		0,93	0,57	0,81	0,64	0,78	0,85	0,81	0,72	0,41	6,52	0,72	20,86

Parcelle 5 (F2 x T2)

Pm	Pt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total	\bar{m}	C.V. %
0-15		0,15	0,16	0,09	0,111	0,14	0,25	0,13	0,12	0,09	1,23	0,14	34,15
15-30		0,16	0,14	0,13	0,09	0,12	0,19	0,19	0,09	0,10	1,21	0,13	27,41
30-60		0,41	0,32	0,38	0,25	0,41	0,43	0,33	0,31	0,35	3,19	0,35	15,52
60-90		0,57	0,54	0,43	0,64	0,64	0,63	0,66	0,47	0,49	5,07	0,56	14,25

Parcelle 9 (F3 x T3)

Tableau 14- échangeable meq/100 g

Fm	Pt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total	\bar{m}	C.V. %
0-15		0,07	0,05	0,05	0,04	0,08	0,06	0,05	0,05	0,05	0,50	0,06	20,98
15-30		0,05	0,05	0,05	0,03	0,05	0,04	0,05	0,04	0,04	0,40	0,04	15,41
30-60		0,04	0,04	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05	0,03	0,42	0,035	19,26
60-90		0,02	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,05	0,04	0,03	0,35	0,039	22,50

Parcelle 1 (témoin)

Pt.	Pt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total	\bar{m}	C.V. %
0-15		0,10	0,05	0,05	0,16	0,05	0,04	0,04	0,05	0,10	0,62	13,068	53,20
15-30		0,10	0,05	0,05	0,10	0,10	0,11	0,10	0,06	0,06	0,73	0,08	29,32
30-60		0,05	0,03	0,05	0,05	0,04	0,05	0,05	0,04	0,05	0,42	0,047	17,50
60-90		0,05	0,04	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,45	0,05	13,33

Parcelle 5 (F2 x T2)

Fm	Pt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total	\bar{m}	C.V. %
0-15		0,07	0,08	0,06	0,08	0,06	0,04	0,05	0,05	0,05	0,56	0,06	19,72
15-30		0,18	0,12	0,09	0,07	0,10	0,10	0,11	0,18	0,09	1,04	0,12	31,89
30-60		0,11	0,07	0,04	0,08	0,12	0,10	0,11	0,10	0,10	0,83	0,09	25,44
60-90		0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,41	0,046	10,91

Parcelle 9 (F3 x T3)

Tableau 15 - N Total en ppm

P _m	Pt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total	\bar{m}	C.V. %
0-15		0,36	0,34	0,33	0,35	0,35	0,28	0,27	0,29	0,26	2,83	0,314	12,45
15-30		0,22	0,22	0,22	0,25	0,24	0,26	0,27	0,29	0,27	2,34	0,260	12,45
30-60		0,31	0,30	0,34	0,35	0,29	0,30	0,30	0,30	0,28	2,77	0,308	7,40
60-90		0,34	0,26	0,29	0,31	0,41	0,38	0,33	0,40	0,28	3,00	0,333	16,17

Parcelle ? (témoin)

P _m	Pt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total	\bar{m}	C.V. %
0-15		0,38	0,35	0,35	0,33	0,30	0,26	0,29	0,29	0,35	2,90	0,322	12,10
15-30		0,31	0,32	0,30	0,24	0,27	0,39	0,31	0,26	0,28	2,68	0,295	14,60
30-60		0,38	0,25	0,25	0,24	0,24	0,24	0,25	0,18	0,24	2,27	0,252	20,83
60-90		0,22	0,31	0,29	0,27	0,35	0,29	0,26	0,26	0,24	2,49	0,277	13,90

Parcelle 5 (F₂ x T₂)

P _m	Pt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total	\bar{m}	C.V. %
0-15		0,29	0,26	0,24	0,27	0,30	0,21	0,21	0,21	0,21	2,16	0,240	15,59
15-30		0,21	0,16	0,19	0,20	0,18	0,18	0,17	0,17	0,17	1,53	0,181	8,93
30-60		0,17	0,16	0,16	0,17	0,16	0,17	0,18	0,17	0,17	1,51	0,168	3,97
60-90		0,17	0,17	0,16	0,16	0,18	0,18	0,17	0,17	0,16	1,52	0,169	4,62

Parcelle 9 (F₃ x T₃)

Tableau 16- Extrait Kcl resultat

	N-NH4	N-HO3	N total
1	1,4	1,8	17,02
2	1	1,7	7
3	1,4	1,7	7
4	1,1	1,4	7,3
5	1,3	1,4	7
6	1,4	1,5	6
7	1,1	1,4	5,04
8	1,7	1,8	5,3
9	1,5	1,9	0,16
1	1,8	1,7	8,4
2	1,7	1,4	5,32
3	3,6	1,7	9,0
4	3,9	1,4	9,0
5	2,2	1,7	7,3
6	2,0	1,1	7,6
77	2,0	1,5	6,2
8	2,5	1,7	6,7
9	2,5	2,2	7,3
1	2,2	1,4	8,1
2	2,0	1,7	7
3	1,7	1,7	7,3
4	1,7	2,0	7,8
5	2,2	1,7	7,3
6	2,8	2,2	5,4
7	1	1,7	6,7
8	2,5	2,5	8,1
9	1,4	1,1	7,8

Tableau 17- Résultats des 9 répétitions de l'expérimentation incubal
15 jours à 20 ppm de N exprimés en: ppm.

Traitement	N-NH ₄	N-NO ₃	N total	
1	3,3	26,6	32,5	
2	6	22,8	30,9	
3	2,7	26,3	31,1	m=32,
4	9,2	19,6	31,6	26
5	15,9	15,8	35,12	
6	12	15,1	30,2	
7	1,1	28,3	32,7	
8	6,2	24,6	35,1	
9	4,5	23,8	31,1	
1	5	25,8	34,1	
2	11,4	22,7	36,9	
3	9,8	22,1	34,9	
4	3,4	18,3	35,6	36,58
5	2,8	33,7	39,6	
6	4,8	25,2	35	
7	1,7	33,04	37,54	
8	3,4	26,6	34,7	
9	4,5	33,3	40,9	
1	2,5	33	39,7	
2	4,8	32,2	40,1	
3	6,2	27,4	36,6	
4	9,2	22,1	41,7	39,42
5	8,7	24,9	36,3	
6	0,8	39,5	43,1	
7	1,4	35	39,5	
8	6,4	30,2	39,7	
9	4,5	25,5	38,08	

Tableau 18- Al³⁺ échangeable mzg/100 g

Prof. (cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total	m	CV %
0-15 cm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	
15-30 cm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	

Parcelle 1
(témoin)

0-15	0,06	0,05	0,04	0,02	0,03	0,06	0,02	0,02	0,03	0,33	0,04
15-30 cm	0,03	0,13	0,16	0,02	0,02	0,02	0,06	0,02	0,01	0,47	0,05

Parcelle 5
(F₂ × T₂)

0-15 cm	0,02	0,02	0,05	0,04	0,03	0	0	0,04	0,04	0,24	0,03
15-30 cm	0,10	0,09	0,02	0,07	0,08	0,02	0	0,05	0,09	0,62	0,07

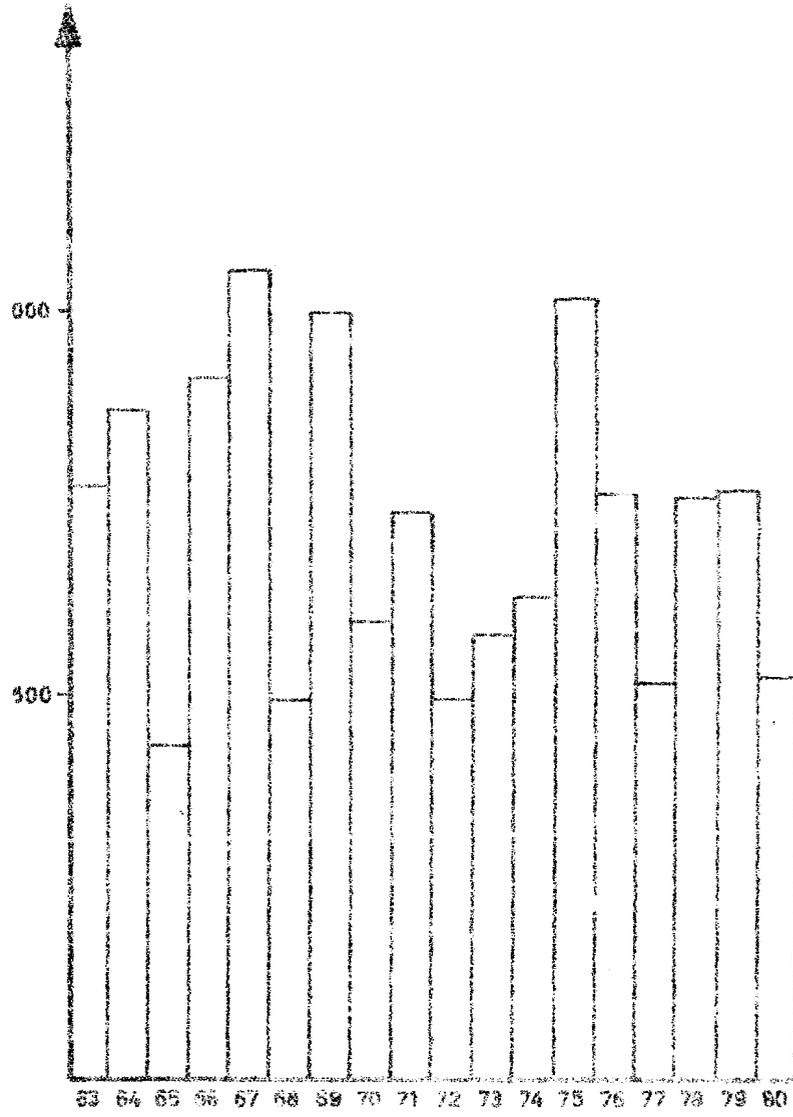
Parcelle 9
(F₃ × T₃)

Parcelle 1 (témoin FoxTo) Surface (5-15 cm) et (25-35 cm)

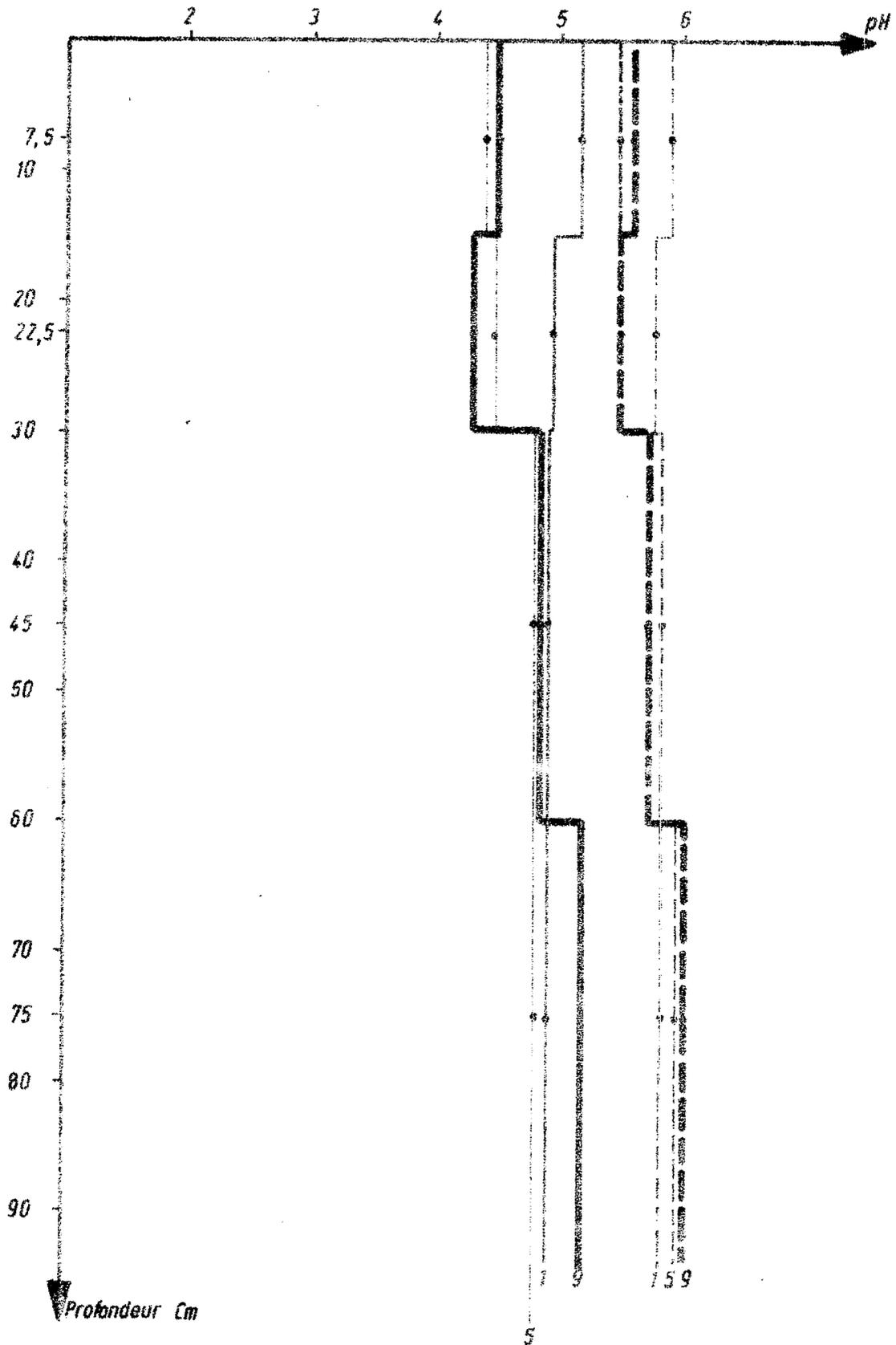
1. Tableau Récapitulatif des Résultats des mesures Physiques

5.-15 cm	Pt1	Pt2	Pt3	Pt4	Pt5	Pt6	Pt7	Pt8	Pt9	Moyenne	S.M.
A %	7,26	7,48	3,63	7,02	5,21	4,9	5,00	8,53	4,72	5,97	27,32
LF %	3,22	3,31	3,32	3,43	2,9	8,23	3,00	3,9	3,41	3,3	7,9
STF %	9,84	8,1	7,16	7,41	10	8,41	6,7	5,45	6,40	7,72	19,8
SF %	54,85	54,9	58,46	57,2	56,1	57,8	58,24	55,7	59,31	56,95	2,86
ST %	24,83	26,31	27,38	24,94	25,85	25,67	27,10	26,50	26,16	26,1	3,32
da champ	11,530	11,540	11,540	11,530	11,540	11,550	11,520	11,40	11,40	11,536	0,56
da M	11,563	11,528	11,542	11,523	11,538	11,530	11,625	11,738	11,737	11,59	5,2
daT	11,758	11,750	11,762	11,741	11,763	11,742	11,763	11,81	11,763	11,76	1,08
Porosité globale %	42,3	41,9	41,9	42,3	41,9	41,5	42,6	41,9	41,9	42	0,72
Porosité mottière %	41	42,3	41,8	42,5	42	42,3	38,7*	34,4*	34,4*	40	7,9
Porosité texturale	33,7	34	33,5	34,3	33,5	34,3	33,5	31,8	33,5	33,56	2,08
LF-M	1820	1700	1675	1650	1675	1775	1637	1762	1562	1695	4,41
F.T	2342	2642	1833	1800	1883	1317	2992	3083	1846	2260	21,8
25-35 cm											
	10,04	9,63	10,76	10,23	11,08	10,25	8,81	15,00	9,66	10,61	15,8
	3,09	2,28	2,82	2,51	2,80	2,50	2,55	3,11	2,74	2,71	9,7
	5,71	4,68	8,24	7,35	6,27	8,85	7,16	7,18	6,43	6,86	17,4
	54,82	55,98	53,12	54,43	53,69	53,44	54,96	50,81	53,96	53,90	2,55
	26,34	27,43	25,06	25,48	26,25	24,96	26,52	24,00	27,21	25,92	4,09
	1,480	1,460	1,480	1,490	1,490	1,480	1,480	1,440	1,480	1,48	di, 84
	11,502	11,475	11,482	11,490	11,965	11,495	11,758	2,150	11,978	11,699	14,9
	1,855	1,824	1,796	1,799	1,808	1,794	1,796	1,961	1,799	1,81	1,36
	44,1	44,9	44,1	43,8	43,8	44,1	44,1	45,3	44,1	44,2	1,08
	43,3	44,3	44,0	43,8	25,8*	43,6	33,7*	18,9*	25,3*	35,9	26,63
	30	31,2	32,2	32,1	31,8	32,3	32,3	29,8	32,1	31,5	2,95
	2525	1850	1837	1887	2125	1862	1837	-	1762	1961	12
	7500	7683	4167	4458	5125	4417	4875	6583	3500	5301	25,06

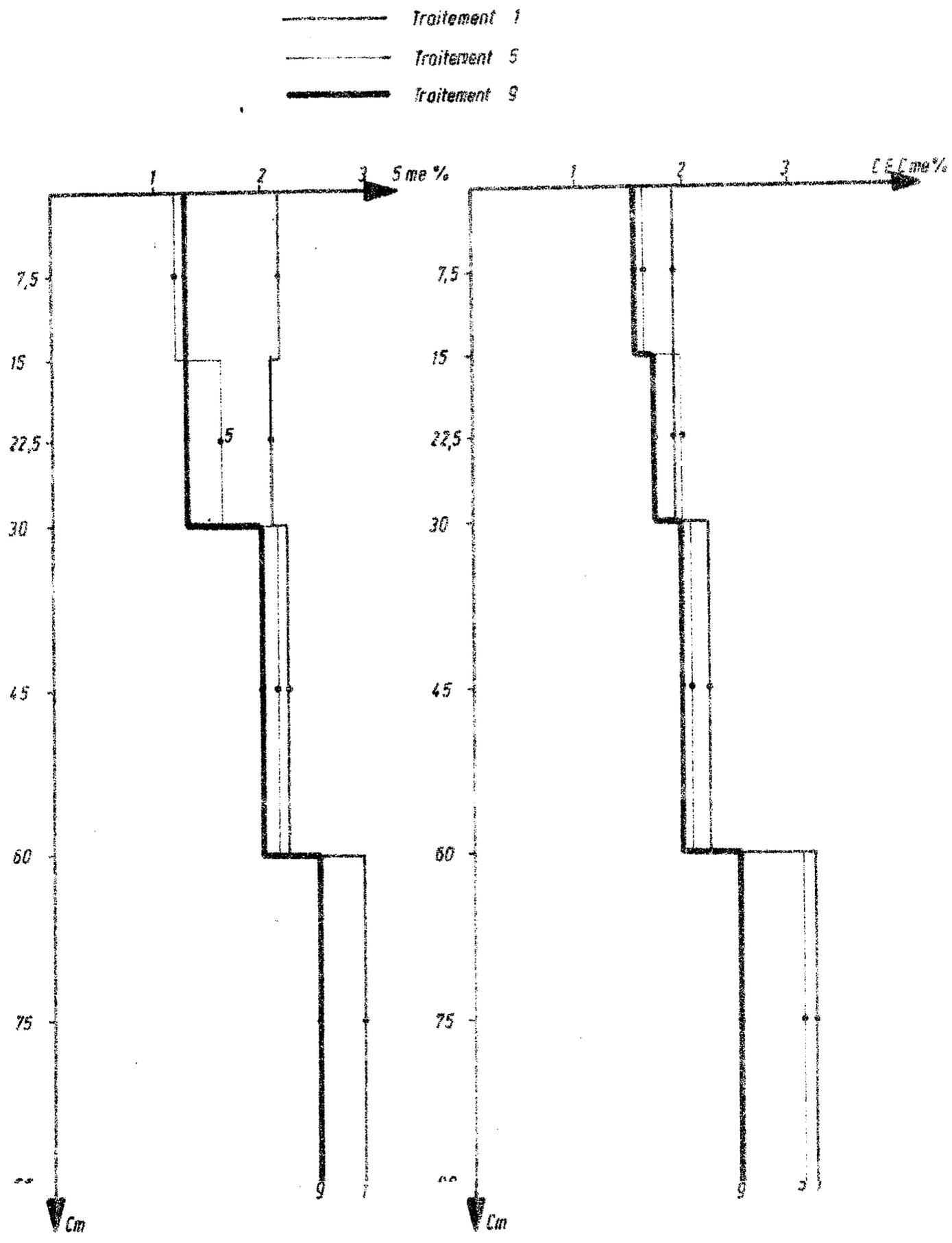
Pluviométrie NIORO



- PH total
- PH
- Traitement 1
- Traitement 5
- Traitement 9



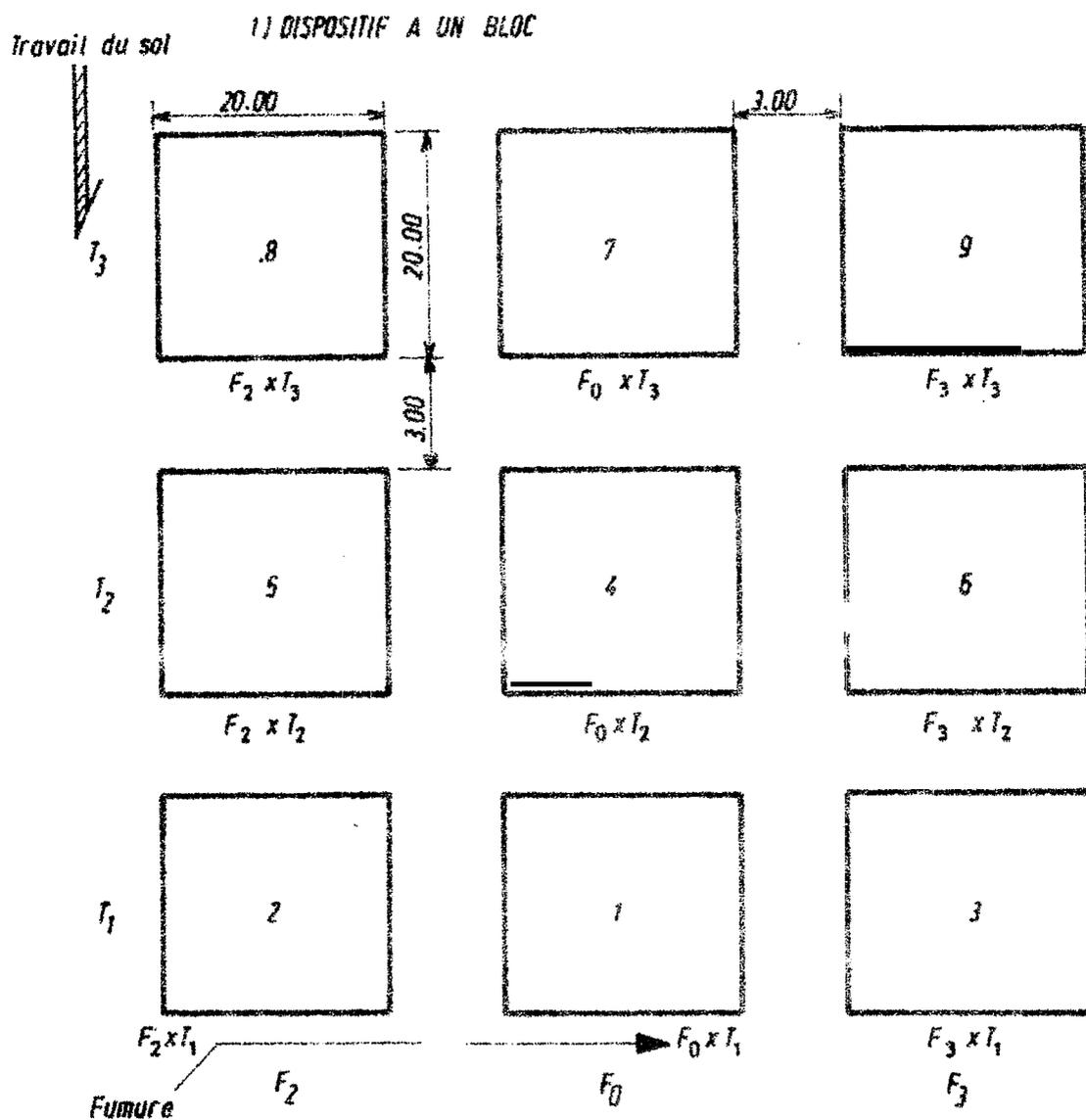
Evolution du pH avec la profondeur sous les traitements 1-5 et 9



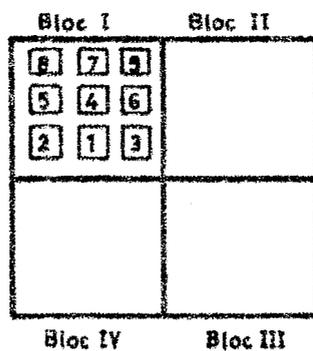
Variations de la somme des bases et de la CEC

avec la profondeur sous les traitements 1-5 et 9

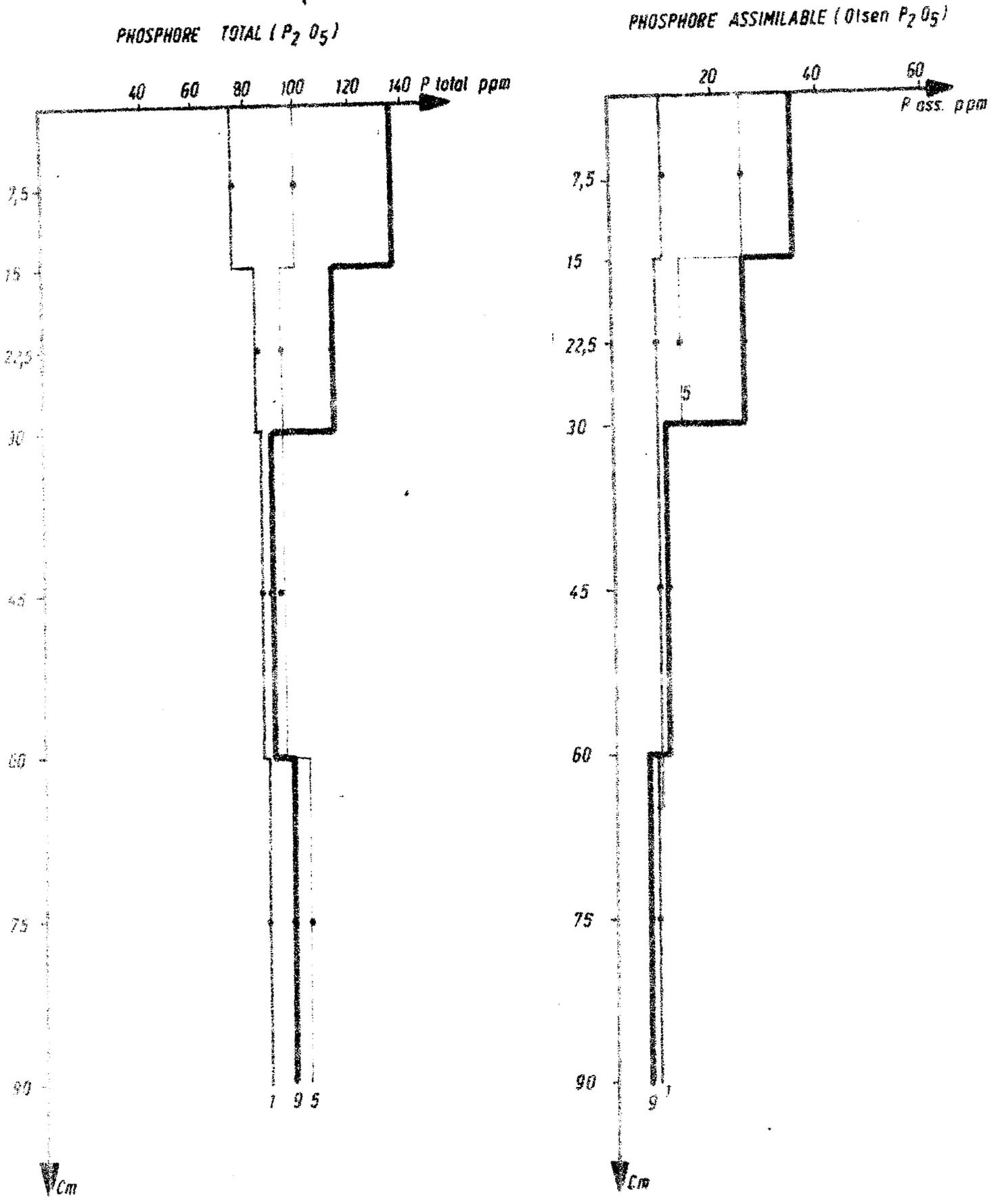
Dispositif expérimental des améliorations foncières



2) DISPOSITIF D'UNE ROTATION

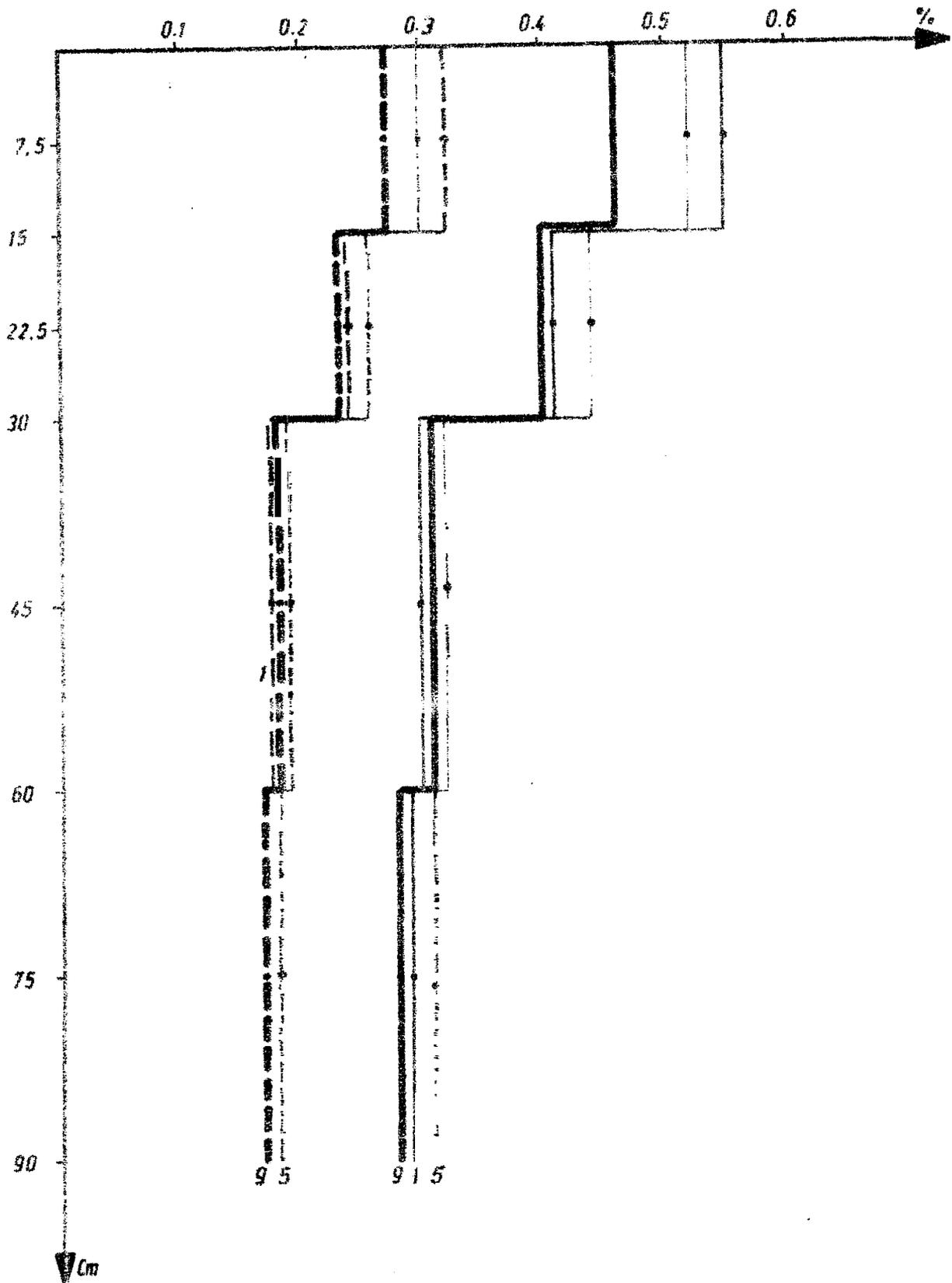


- Traitement 1
- Traitement 5
- Traitement 9



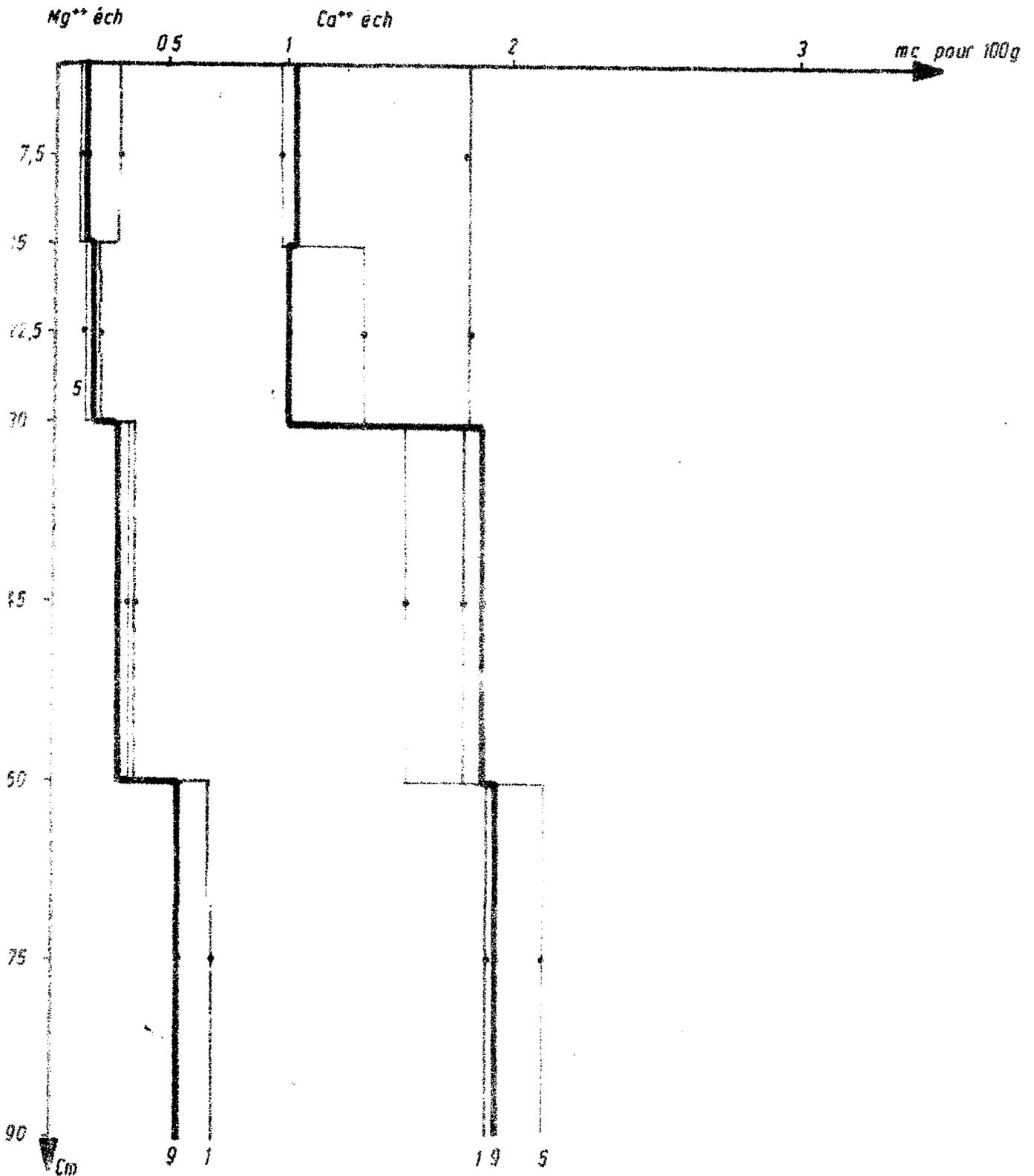
Profils de répartition du phosphore total et assimilable

- M. O.
- - - C. total
- · - · - Traitement 1
- · - · - Traitement 5
- · - · - Traitement 9



Profils de répartition de la matière organique et du

- Traitement 1
- Traitement 5
- Traitement 9



Variations des profils de répartition du Mg⁺⁺ et du Ca⁺⁺ sous les traitements 1-5 et 9