

UNIVERSITÉ DE OUAGADOUGOU
INSTITUT SUPERIEUR POLYTECHNIQUE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLOME D'INGENIEUR DU DEVELOPPEMENT RURAL
Option : AGRONOMIE

STATION EXPERIMENTALE DE GAMPELA
(I. S. P.)

INFLUENCE DU PHOSPHORE, DU ZINC ET DU BORE SUR LE COMPORTEMENT DU MAÏS ET DE L'ARACHIDE

JUIN 1982

SOMDA Zana Constantin

Errata

Liste des figures

Figure II: Caractéristiques de la pluviométrie à Gampéla et à Ouagadougou par la méthode des intersections de Franquin - au lieu de - interactions.

Figure VIII: lire - Rendements moyens, kg/ha, dus aux effets des formes.....
au lieu de: dus aux effets aux formes.....

Liste des tableaux

tableau 14: "Planning" des observations effectuées par variable et par essai - au lieu de - pour essai.

Page 17 - Des analyses chimiques des sols de Gampéla indiquent une similitude avec la teneur des éléments..... au lieu de - entre la teneur des éléments....

Page 39 - ligne 7 - Jumelées

Page 44 - ligne 5 - lire: hebdomadaires - au lieu de - hebdomaires.

ligne 10 - lire: le nombre de jours d'observations au lieu d'oservations.

Page 52 - ligne 24 - lire: Ce rendement a presque doublé au lieu de a plus que doublé.

Page 58 - ligne 12 et 29 - lire: dépressif au lieu de dégressif.

Page 60 - ligne 18 - lire: fourniraient au lieu de fournissaient.

ligne 31 - lire: perturbé

Page 70 - ligne 3 - lire: aucun nouvel apport d'engrais.

Page 73 - ligne 4 - lire: aucune phase au lieu de phsae.

Page 88 - ligne 22 - lire: croissance en hauteur au lieu de croissance totale.

Page 93 - ligne 3 - lire: obtenu pour obtnu

Page 106 - ligne 23 - lire: obtenu pour obtnu

Page 117 - ligne 19 - lire: Nous constatons que ZnxB donne des rendements.....

Page 120 - ligne 13 - lire: Il aurait même tendance à diminuer les effets de P_2O_5 et Zn sur la croissance.....

Page 123 - dernière ligne - lire: infirmer au lieu de informer.

SOMMAIRE

	Pages	
Introduction Générale	1	
 <u>Première Partie:</u>		
<u>Généralités</u>		
I. Présentation de la Station Expérimentale de Gampéla	6	
II. Les Caractéristiques agronomiques du phosphore, du zinc et du bore	24	
 <u>Deuxième Partie:</u>		
<u>Matériels et Méthodes</u>		
I. Caractéristiques chimiques du site expérimental	31	
II. La conduite des essais	33	
 <u>Troisième Partie:</u>		
<u>Résultats et Discussion</u>		
A/ <u>Influence du phosphore et du zinc sur le maïs</u>	49	
I. Influence du phosphate naturel de Kodjari (PN) et du super triple (ST) sur le comportement du maïs	49	
II. Influence du super triple (ST) et du zinc sur le comportement du maïs	84	
B/ <u>Influence du phosphore, du zinc et du bore sur le comportement de l'arachide</u>	96	
I. Arrières effets du phosphate naturel de Kodjari (PN) et du super triple (ST) sur le comportement de l'arachide	96	
II. Influence de P ₂ O ₅ , de Zn et de B sur le comportement de l'arachide: campagne 1981	111	
 <u>Quatrième Partie:</u>		
<u>Conclusion générale</u>		122
Annexes	129	
Bibliographie	151	
Table des matières	159	

Avant Propos

Le présent mémoire cristallise l'une des réalisations du Projet de Développement des Ressources Humaines Agricoles. Ce projet est exécuté en collaboration avec l'Institut Supérieur Polytechnique (I.S.P.), le Consortium du Sud-Est pour le Développement International (SECID) et l'Agence des Etats-Unis pour le Développement International (USAID).

Notre étude a pour site la Station Expérimentale de Gampéla. C'est une jeune station dont les caractéristiques physico-chimiques et biologiques des sols, sont encore peu connues.

Ce mémoire se consacre à l'étude de l'utilisation des engrais phosphatés, naturel ou industriel, du zinc et du bore sur la performance du maïs et de l'arachide.

Ce travail, certes, a soulevé un certain nombre de questions auxquelles seules des études ultérieures pourront répondre. Il constitue, néanmoins, un début digne d'être imité dans le cadre du développement de la Station Expérimentale de Gampéla. La station a été conçue et mise en place; en vue de rendre plus pratique les enseignements agricoles dispensés à l'I.S.P.



MERCIEMENTS

Avant de présenter les résultats de notre travail, nous voudrions que tous ceux qui, tout au long de son exécution, nous ont apporté soutien et encouragements, y trouvent satisfaction. Qu'ils daignent accepter nos remerciements les meilleurs.

Notre expression de profonde gratitude s'adresse particulièrement

à :

- Sauveur MAHOTIERE de US Agence pour le Développement International (U.S.A.I.D) et du Consortium du Sud-Est pour le Développement International (S.E.C.I.D.), Conseiller Technique en Agronomie à l'Institut Supérieur Polytechnique (I.S.P.), qui ne nous a jamais marchandé sa collaboration tout au long de cette étude.
- La Direction et le Corps professoral de l'I.S.P. qui nous ont préparé académiquement à ce travail.
- Robert JANELLE, responsable de la Station Expérimentale de Gambô'a pour son assistance et encouragement, et le personnel de la Station ainsi que :
- le Chef d'Equipe et le personnel du S.E.C.I.D., qui nous ont fourni un cadre adéquat pour mener à bien ce travail.

MERCI à tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre, nous ont apporté leur soutien lors de la rédaction de ce mémoire.

Liste des figures

	Pages
figure I:	Répartition des pluies par décade durant les deux campagnes. 20
figure II:	Caractéristiques de la pluviométrie à Gampéla et à Ouagadougou par la méthode des intersections de Franquin. 22
figure III:	Les formes du phosphore dans le sol. 26
figure IV:	Représentation schématique d'un des 5 blocs de l'essai I en 1980 avec un exemple de randomisation. 35
figure V:	Représentation d'un des 5 blocs mettant en relief la juxtaposition de l'essai I (maïs) et de l'essai II (arachide) avec exemple de randomisation. 38
figure VI:	Teneur en Pppm du sol en fonction de différentes doses de PN et ST seuls. 53
figure VII:	Effets de différentes doses de PN et de ST sur la teneur en éléments fertilisants dans le sol après la récolte de 1980. 64
figure VIII:	Rendements moyens, kg/ha, dus aux effets des formes combinées de PN et de ST comparés à ceux dus à ST et PN seuls. 2 ^e campagne. 65
figure IX:	Teneur en Pppm du sol en fonction de PN et de ST combinés. 66
figure X:	Dynamique du p ^H . 67
figure XI:	Effets de super-triple sur le rendement du maïs. 71
figure XII:	Caractéristiques de la pluviométrie à Gampéla, 1981 par la méthode des intersections de Franquin. 74
figure XIII:	Effets de différentes doses de ST sur la hauteur du maïs. 75
figure XIV:	Effets de ST sur la précocité: nombre de jours après le semis pour l'apparition de 50% ou plus de panicules. 73
figure XV:	Effets de PN sur le rendement du maïs. 78
figure XVI:	Effets résiduels de PN sur la hauteur, le rendement et la précocité du maïs: 2 ^e campagne. 80
figure XVII:	Effets de PN et ST sur le rendement. 82
figure XVIII:	Parabole de production. 86

	Pages
figure XIX: Effet de $ZnSO_4$ sur le rendement du maïs.	87
figure XX: Evolution de la hauteur du maïs en fonction de ST et de $ZnSO_4$.	89
figure XXI: Effets de ST et $ZnSO_4$ sur la précocité.	89
figure XXII: Effets de ST et $ZnSO_4$ sur le rendement du maïs.	92
figure XXIII: Effets de ST et $ZnSO_4$ sur la hauteur du maïs.	89
figure XXIV: Effets de ST et $ZnSO_4$ sur la précocité du maïs.	89
figure XXV: Effets résiduels de PN et ST sur la croissance de l'arachide.	97
figure XXVI: Effets résiduels de PN et ST sur le rendement de l'arachide.	102
figure XXVII: Effets de P_2O_5 , Zn et B sur la croissance de l'arachide.	113
figure XXVIII: Effets de P_2O_5 , Zn et B sur le rendement.	113
figure XXIX: Effets combinés de P_2O_5 , Zn et B sur la croissance.	116
figure XXX: Effets combinés de P_2O_5 , Zn et B sur le rendement.	116

Liste des tableaux

	Pages
tableau 1: Influence des techniques culturales sur la perte de terre sous l'effet de l'érosion et sur les coefficients de ruissellement maximal (KR max).	7
tableau 2: Nomenclature de la texture des sols en fonction du taux d'argile	10
tableau 3: Analyse granulométrique d'un profil cultural à Gonsé mettant en évidence la superposition de trois matériaux.	11
tableau 4: Caractéristiques physiques granulométriques de deux sites des sols de la Station de Gampéla: profondeur de prélèvement 30cm.	12
tableau 5: Capacité totale d'échange (T) et taux de saturation (V) en cations des sols de la Station Expérimentale de Gampéla.	14
tableau 6: Nature et teneur des différents types d'argiles dans un échantillon de sol de Gampéla.	15
tableau 7: P ^H et teneur en éléments fertilisants, exprimé en kg/ha, de quatre échantillons de sol prélevés de terrains "vierges" à la Station de Gampéla.	16
tableau 8: Marge proposée pour l'appréciation quantitative de la teneur en élément minéraux (kg/ha) par le laboratoire: Soil Testing Laboratory Cooperative Extension Service.	17
tableau 9: P ^H et teneur en éléments minéraux, exprimés en kg/ha, de deux sites des sols du plateau Mossi.	18
tableau 10: Classifications des engrais phosphatés solubles d'après leur teneur en P ₂ O ₅ .	27
tableau 11: Principaux constituants chimiques des phosphates naturels de Kodjari et leur solubilité dans divers réactifs.	28
tableau 12: P ^H et teneur en éléments minéraux (kg/ha) du sol des trois sites de la présente étude.	32
tableau 13: Calendrier des différentes opérations d'entretien pour les différents essais.	42
tableau 14: "Flanning" des observations effectuées par variable et par essai.	44

	Pages
tableau 15: Effets immédiats de différentes doses de ST sur le rendement du maïs et la teneur des feuilles en P.	50
tableau 16: Effets résiduels de différentes doses de ST sur le pH et la teneur des éléments fertilisants, kg/ha, après la récolte du maïs de la campagne 1980.	59
tableau 17: Effets immédiats de différentes doses de PN sur le rendement du maïs et la teneur des feuilles en P.	57
tableau 18: Effets résiduels de différentes doses de PN sur le pH et la teneur des autres éléments minéraux du sol, kg/ha, après la récolte du maïs: 1980.	59
tableau 19: Effets de différentes doses de PN et ST combinées sur le rendement du maïs, la teneur des feuilles en P.	63
tableau 20: Effets de différentes doses de $ZnSO_4$ sur le rendement du maïs: 1980.	84
tableau 21: Effets de différentes combinaisons de ST et de $ZnSO_4$ sur le rendement du maïs: campagne 1981.	90
tableau 22: Effets résiduels de différentes doses de ST sur le rendement de l'arachide: campagne 1981.	101
tableau 23: Effets résiduels de différentes doses de PN sur le rendement de l'arachide: campagne 1981.	105
tableau 24: Pourcentage d'augmentation de la hauteur, du nombre de branches et de la surface foliaire par rapport au témoin dû aux effets de P_2O_5 , de Zn et de B seuls.	113
tableau 25: Effets de P_2O_5 , de Zn et de B sur le rendement de l'arachide: campagne 1981.	114
tableau 26: Effets de P_2O_5 , de Zn et de B, seuls ou combinés, sur le rendement de l'arachide: campagne 1981.	118

Annexes

Annexe I:	Effets de différentes doses de FN et de ST, seules ou combinées, sur le maïs.	Pages 129
Annexe II:	Effets de différentes doses de ST et de $ZnSO_4$ sur le maïs.	141
Annexe III:	Effets résiduels de FN et de ST sur l'arachide.	146
Annexe IV:	Effets de P_2O_5 , de Zn et de B sur l'arachide.	150


Listes des Références

- (1) R. Boulet, 1976. Notice des cartes de ressources en sols de Haute-Volta. ORSTOM.
- (2) A.L. Brown et al, 1962. Proc. Soil Sci. Soc. Am. 26, 167 cité par Hesse (P.R.) 1971 dans "A textbook of soil chemical analysis".
- (3) Dumont et Dupont de Dinechin, 1967. Contribution à l'étude des exportations du maïs et du sorgho en Haute-Volta. Colloque sur la fertilité des sols tropicaux - Tananarive (19-25 novembre 1967). IRAT/H.V.
- (3) Dumont et Dupont de Dinechin, 1967. Fumure phosphatée des cultures vivrières en Haute-Volta. (Rediffusion). IRAT/H.V.
- (4) F.M. Eaton, 1935. U.S. Dept. Agric. Techn. Bull. 448, 131 cité par Hesse (P.R.) 1971 dans "A textbook of Soil Chemical Analysis".
- (5) F. Frank et al, 1969. Cité par J. Poulain 1971 dans "Effets des principaux éléments autre que l'azote sur les rendements des cultures vivrières de base: sorgho, mil, maïs au Sénégal et en Haute-Volta. IRAT/H.V.
- (6) Ghaly (S.) and Gad (A.Y.) 1977. The relationship between phosphorus, zinc and manganese on corn production in calcareous soil (Egypte). Zinc in agriculture - Vol. 1 n° 1 October 1980.
- (7) Gutierrez, P.D. et Leon S., 1978. Fertilization of maize hybrid ICAH302 with phosphorus and Zinc on a soil of Oriente de Cundinamarca (Colombia). Zinc in agriculture - Vol. 1 n° 1 Octobre 1980.
- (8) Soltner, Dominique 1978. Les bases de la production végétale, Tome. I, le sol - Collection Sciences et techniques agricoles - 7^e éd.
- (9) Jones (M.J.) 1973. A review of the use of rock phosphate as fertilizer in Francophone West Africa - cité par J. Dandy dans "Utilisation agricole

des phosphates naturels de Kodjari en milieu paysan" mémoire de fin d'étude.

- (10) Knolt (J.) 1957. Handbook for vegetables, Growers, Willey & Sons.
- (11) Pichot et Roche, 1972. Réunion sur la fertilité des sols tropicaux à Ibadan, Nigéria.
- (12) Foulain et J. Arrivet, 1971. Effets des principaux éléments autre que l'azote sur les rendements des cultures vivrières de base: sorgho, mil, mais au Sénégal et en Haute-Volta. IRAT/H.V.
- (13) Prasad (R.) 1978. Management practices for improving maize yield. Technology for increasing food production - Indian zinc in agriculture - Vol. 1 n° 1 Octobre 1980.
- (14) Roose (E.) et al, 1975. Pédogenèse actuelle d'un sol ferrugineux complexe issu de granite sous une savane arborescente du centre de la Haute-Volta - Gonsé. Cahier ORSTOM - série pédologique Vol. XVI, n°2, 1978.
- (15) Thibaut et al. Utilisation agronomique des phosphates naturels de Tilemsi (Mali). Synthèse des résultats de recherches agronomiques sur les cultures vivrières et oléagineuses. Agronomie tropicale n°3, 1980.
- (16) Projet phosphate de Haute-Volta (DSA). Rapport de synthèse 1980.
- (17) IRHO - Rapport d'activités, 1975.
- (18) Blanchet (R.), 1959 - C.R. Acad. Agric. 45, 247-252.
- (19) Conessa (A.P.), 1967. Colloque international sur les phosphates minéraux solides - CNRS - Toulouse.
- (20) Fardeau (J.), Hetier (J.M.), 1977. Science du sol, 2, 111-120.
- (21) IRAT/H.V. DGRST - MESRS 1980: Fertilisation minérale. Propositions - Conditions d'applications.

ABREVIATIONS

CENATRIN	:	Centre National de Traitement de l'Informatique
CTFT	:	Centre Technique Forestier Tropical
CEC	:	Capacité total d'échanges cationique
ETP	:	Evapotranspiration potentielle
FAO	:	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
IRAT	:	Institut de Recherches en Agronomies Tropicales
IRHO	:	Institut de Recherches sur les huiles et les oléagineux
ISP	:	Institut Supérieur Polytechnique
még	:	milli-équivalent gramme
	:	micro-gramme
OFNACER	:	Office Nationale des Céréales
ppm	:	partie pour mille
Ppds	:	plus petite différence significative
PN	:	Phosphates naturels de KODJARI
ST	:	Phosphate super triple
SAFGRAD	:	Semi-Arid Grain Research and Development

INTRODUCTION GENERALE

1°) CRITERES DU CHOIX DE L'ETUDE

Les engrais azotés, phosphatés et potassiques constituent l'un des éléments essentiels de la production agricole. Cependant, dans beaucoup de cas, parallèlement avec l'azote, le manque de phosphore constitue l'une des carences les plus marquées dans les sols tropicaux, particulièrement dans les sols tropicaux semi-arides comme ceux de la Haute-Volta.

La carence en phosphore est le facteur limitant le plus sérieux freinant l'intensification de l'agriculture dans la quasi-totalité de l'Afrique de l'Ouest (1). En Haute-Volta, en dehors des zones de bas-fonds, des "champs de case" et de quelques régions situées sur matériaux géologiques riches en roches basiques, Mogtêdo et Dakiri par exemple, la plupart des sols sont pauvres en phosphore (3). Toutefois, exception faite des cas ci-dessus mentionnés, rappelons que la carence en phosphore s'accroît plutôt en fonction de la densité de la population, que du type de sol. Il nous semble que cette pauvreté soit en relation avec l'épuisement progressif des sols soumis à une surexploitation séculaire. Précisons qu'ils n'ont pas subi non plus des apports minéraux compensatoires ou de restitution.

Ainsi définies, les carences en phosphore sont généralement celles du plateau Mossi, zone la plus peuplée du pays. L'épuisement des sols en éléments fertilisants y est particulièrement remarquable. Le relèvement du niveau de fertilité de ces sols est donc une nécessité.

-2-

La correction de la carence en phosphore constitue un aspect important de ce relèvement qui n'a pas échappé à l'attention des chercheurs et à celle des instituts de recherches. Ils se sont penchés sur ce problème en vue d'atténuer sinon le résoudre. Une des missions de l'Institut de Recherches et Agronomies Tropicales (IRAT) en Haute-Volta est de dresser une carte de déficience en phosphore (3).

S'agissant de la pauvreté des sols en phosphore, en dépit des similitudes apparentes, chaque zone écologique présente ses caractéristiques climatiques et pédologiques propres. Ces caractéristiques peuvent être détectées par des travaux d'échantillonnage plus raffiné. La connaissance de ces caractéristiques d'une zone donnée constitue un guide précieux pour l'amélioration du niveau de fertilité et de la productivité des sols.

Pour mieux cerner le problème, on doit donc limiter les recherches à des zones écologiques restreintes, assez représentatives de l'ensemble du plateau Mossi. Les données climatiques et pédologiques disponibles révèlent que Gampéla présente les caractéristiques écologiques d'une bonne partie du plateau Mossi. Il peut être de ce fait le site d'une Station Expérimentale pilote. Les résultats seraient ainsi vulgarisables dans une bonne partie de la région. En fait, comme on le verra plus tard, des analyses des sols de Gampéla accusent, comme la plupart des sols du plateau Mossi, une carence en phosphore et en certains oligoéléments, notamment le Zinc et le Bore.

Compte tenu de toutes ces considérations nous pensons que ce milieu convient à une étude sur "L'influence du Phosphore, du Zinc et du Bore sur le maïs (Zea mays L.) et l'arachide (Arachis hypogea L.)", deux cultures très pratiquées sur le plateau Mossi.

2°) LES OBJECTIFS DE CETTE ETUDE

La correction de la carence en phosphore et le maintien d'un niveau convenable de fertilité des sols, en Haute-Volta, se font généralement par des apports de phosphates solubles, sous forme d'engrais complexe (engrais-coton généralement) et de super-phosphates. Mais ces engrais chimiques doivent être importés, ce qui augmente leur prix de vente et les met hors de la portée d'un bon nombre de paysans malgré les subventions qui leur sont parfois accordées.

Ainsi la découverte des gisements de phosphate naturel en Afrique de l'Ouest, la Haute-Volta y comprise, donne une nouvelle orientation aux recherches sur la fertilisation phosphatée. Cependant, pour mesurer l'efficacité de ces phosphates naturels, il est nécessaire de les comparer à un engrais simple, plus soluble, en l'occurrence le super triple (ST), à doses égales, dans le temps et l'espace, et aussi dans des conditions pédo-climatiques données.

Cette étude se veut une contribution à la recherche sur l'emploi du phosphate naturel de Kodjari (PN). Il s'agit de déterminer la meilleure dose du phosphate naturel de Kodjari (PN) et du super triple (ST), seule ou combinée, pouvant donner de meilleurs rendements dès la première année grâce aux effets rapides de ST et dans les années à venir, grâce aux effets résiduels de PN dont la solubilité serait fonction de la pluviométrie et des propriétés physico-chimiques du sol. Les résultats de PN sont lents et parfois aléatoires.

Si le phosphore constitue la carence classique des sols du plateau Mossi, nous devons nous rappeler aussi que l'apport du phosphore à lui seul, pour immédiats que soient les effets, ne saurait à la longue résoudre le problème du bas niveau de fertilité des sols. En effet, les engrais phosphatés, industriels ou naturels, n'apportent pas les éléments tels que l'azote (N) et le potassium (K), également indispensables à la croissance et au développement des plantes.

Quand bien même le niveau de ces éléments serait correct au début, il faut penser à leur carence future du fait de leur exportation par les récoltes et leur lessivage en surface et en profondeur par l'eau (5).

Les engrais phosphatés n'apportent pas non plus les oligoéléments, trop souvent méconnus, bien qu'indispensables aussi aux plantes. Donc si le phosphore doit être utilisé efficacement, nous devons tenir compte de son interaction avec les autres éléments. Eu égard à N et K, des études ont été entreprises par un certain nombre d'Instituts tels que l'IRAT et le projet phosphate de Haute-Volta. Quant aux oligoéléments, les études, s'il en existe, sont très rares en Haute-Volta.

Ainsi cette étude se veut une contribution à la recherche agronomique voltaïque. Ce travail étudie l'interaction entre un phosphate soluble, le super triple (ST), et un phosphate naturel, celui de Kodjari (PN). Cette étude pourrait aussi ouvrir une autre voie de recherches, celle des oligoéléments, relativement négligés jusqu'ici comme facteur de production en Haute-Volta. Ce travail se veut donc une contribution à la recherche sur deux oligoéléments, le Zinc et le bore, et leur interaction avec le phosphore.

3°) LES LIMITES ET PLAN D'ETUDES

Les limites de cette étude se situent principalement à deux niveaux :

- La période relativement courte ne permet pas une généralisation des résultats, faute de répétition dans le temps.
- Les difficultés matérielles, le manque de main-d'oeuvre qualifiée, ainsi que le temps imparti nous ont conduit à négliger certains facteurs comme les analyses foliaires à plusieurs stades de croissance, les analyses chimiques périodiques du sol à différentes profondeurs, l'impact du ruissellement sur le lessivage des engrais...

Reconnues, ces contraintes et ces limites, loin d'être un handicap, serviront plutôt à orienter les activités futures.

En dépit de ces limites, nous espérons que cette étude, menée à la Station Expérimentale de Gampéla, contribuera à élucider quelques points relatifs au problème du phosphore, du zinc et du bore dans la performance du maïs et de l'arachide dans le cadre écologique du plateau Mossi.

Elle comporte quatre parties :

- 1°) Généralités
 - 2°) Matériels et méthodes
 - 3°) Résultats et discussion
 - 4°) Conclusion générale
-

 **REMIERE**  **ARTIE**

 **ENERALITES**

CHAPITRE I PRESENTATION DE LA STATION EXPERIMENTALE DE GAMPÉLA

1.1 CREATION ET OBJECTIFS

Située à une vingtaine de kilomètres, sur l'axe Ouagadougou - Niamey, la Station Expérimentale de Gampéla a été créée en 1976. C'est une structure de l'Université de Ouagadougou au service de l'Institut Supérieur Polytechnique (I.S.P.). Sa conception et sa création avaient pour objectif d'intégrer plus systématiquement la pratique dans la formation agricole que dispense l'I.S.P.

Outre son rôle dans la formation pédagogique, Gampéla est aussi un centre expérimental. Ainsi les recherches qui s'y effectuent doivent viser à contribuer à la solution de certains problèmes agricoles qui se posent au niveau du plateau Mossi et de la plus grande partie du pays.

Le village de Gampéla, avant la création de la Station, ne comportait aucune structure de vulgarisation, d'encadrement et de formation des paysans. Ainsi, en plus de la formation pratique que la Station assure aux étudiants, elle envisage aussi de combler ce vide. La main-d'oeuvre est assurée par les villageois, qui eux-mêmes sont de petits fermiers. Ces derniers motivés s'initient plus facilement aux nouvelles techniques de culture et d'élevage, déjà amorcées à Gampéla.

Par ailleurs, la Station est, en raison de sa proximité de Ouagadougou, favorable à la promotion de la recherche dans notre pays. Ainsi des chercheurs provenant d'autres Instituts s'y rendent plus facilement. En accord avec l'Université de Ouagadougou pour l'attribution des parcelles expérimentales, ils mènent différents travaux de recherches.

1.2 L'ÉCOLOGIE DE GAMPÉLA

Le paysage granitique de Gampéla est typique du plateau Mossi. Il est caractérisé par des pentes assez importantes pouvant occasionner en certains endroits des coefficients de ruissellements annuels parfois élevés suivant l'intensité pluviométrique et les techniques culturales employées (4). Qu'elle soit limitée ou non, l'érosion qui en résulte, reste pourtant dangereuse car ce sont les colloïdes et les éléments nutritifs, déjà en quantités insuffisantes, qui sont ainsi arrachés au sol par les premières pluies. Cette érosion est aussi favorisée par les feux de brousse périodiques.

Tableau 1 : Influence des techniques culturales sur la perte de terre sous l'effet de l'érosion et sur les coefficients de ruissellement maximal (KR max) *

Techniques de cultures	Quantités de terre perdue t/ha/an	Coefficient de ruissellement maximal
Cultures traditionnelles à plat	1 à 6,5	16 à 32 %
Cultures mécanisées	2,5 à 10	12 à 45 %
Cultures orientées perpendiculairement à la pente	0,6 à 2	2 à 10 %
Sol nu	10 à 21	-

* Cahier ORSTOM. Série pédologique. Vol XVII n° 4 - 1979

En dépit de tout, la végétation est, comme partout ailleurs, luxuriante pendant la saison des pluies, d'où l'insertion du plateau Mossi, y compris Gampéla, dans la zone agro-écologique (H) définie par le Service des Sols de la FAO, à Rome (8). La végétation à Gampéla est beaucoup plus dense à proximité du Massili, un affluent de la Volta Blanche, seul point d'eau susceptible d'être capté pour l'irrigation sur une grande échelle. La macrofaune n'est pas suffisamment représentée. En revanche, la microfaune est dominée par les termites, les fourmis et les vers de terre auxquels il faut ajouter les insectes. Leur présence laisse croire à leurs effets sur la chimie du sol (remontées biologiques) et donc sur le rendement des cultures.

1.3 CARACTERISTIQUES AGRO-PEDOLOGIQUES DE GAMPÉLA DANS LE CONTEXTE DU PLATEAU MOSSI

1.3.1 Généralités sur le plateau Mossi

D'après R. Boulet (1), le plateau Mossi en général, et sa région centrale en particulier, sont caractérisés par des sols sableux ou gravillonnaires reposant à moins de 40 cm de profondeur soit sur une carapace, soit sur des matériaux ferruginisés limitant ainsi la croissance racinaire..

Ce sont des sols de valeur agronomique médiocre. Ils sont chimiquement pauvres et de faible capacité de rétention d'eau et d'éléments minéraux. Ils sont minces à cause de leur dégradation par les techniques culturales traditionnelles, l'érosion et la sur-exploitation. Ils sont relativement acides. Dans ces sols ferrugineux lessivés, la perméabilité et la stabilité structurale sont mauvaises, ce qui rend le drainage déficient car l'horizon enrichi ou illuvial est massif et les échanges avec les horizons profonds sont limités. La capacité totale d'échanges (C.E.C ou T) du complexe adsorbant oscille entre 1 et 20 méq/100 g de terre et le taux de saturation (V) varie de 40 à 80 %.

La texture, définie par la teneur des différents éléments granulométriques et constitutifs du sol, agit sur les propriétés physico-chimiques du sol. Elle détermine en partie la capacité totale des cations (C.E.C. ou T). Elle est également en relation avec la teneur en éléments fins (argile et limon) et le régime hydrique du sol.

La plupart des sols de Haute-Volta, ceux du plateau Mossi y compris, sont pauvres en matières organiques. Il n'est donc pas étonnant d'envisager que l'argile soit le principal agent de fixation des cations échangeables. La teneur en matières organiques de ces sols est faible. A ce sujet les chiffres suivants sont assez évocateurs.

- Zone sahélienne : 1 % de matières organiques
- Autres régions du pays : 1 à 2 %, la teneur modale étant de 1,5 %.
- Gampéla : 1,5 %

Comme la matière organique, l'argile assure la fixation d'une partie des ions minéraux échangeables, y compris le phosphore. Néanmoins la fixation par la matière organique est bien supérieure à celle de l'argile. Cependant l'argile détermine par son abondance et surtout par sa nature minéralogique la C.E.C. Aussi la capacité de fixation du phosphore des sols ferrugineux sur matériau granitique du plateau Mossi varie-t-elle de 37,6 à 154,0 ppm (3).

En fonction de la teneur des différents éléments constitutifs du sol, en argile notamment (1), une nomenclature de caractérisation des divers types de textures de la Haute-Volta a été utilisée. (tableau 2).

Les sols de Gampéla dont la granulométrie a été déterminée (tableau 1) seront aussi caractérisés suivant cette méthode.

Tableau 2 : Nomenclature de la texture des sols en fonction du taux d'argile

Taux d'argile (%)	Texture
12	sableuse
12 à 25	sablo-argileuse
25 à 40	argilo-sableuse
>40	argileuse

Le terme limoneux est placé en second rang lorsque la teneur en limon est comprise entre 10 et 30 % et, en premier rang quand sa teneur dépasse 30 %.

1.3.2. LES PROPRIETES PHYSIQUES DES SOLS DE GAMPÉLA

Faute de données détaillées sur les propriétés physiques du sol de Gampéla, les résultats de J. Roose (14) peuvent être considérés comme des valeurs indicatives pour expliquer certains faits physiques à Gonsé comme à Gampéla.

L'analyse granulométrique, faite sur un profil cultural au Centre Technique Forestier Tropical (CTFT) de Gonsé, à 5 km environ de Gampéla, semble mettre en évidence la superposition de trois matériaux distincts dans cette zone (tableau 3).

Tableau 3 : Analyse granulométrique d'un profil cultural à Gonsé mettant en évidence la superposition de trois matériaux.

Profondeur de prélèvement	Teneur en sable (%)	Teneur en argile + limon fin (%)	Teneur en éléments grossiers (%), gravillons	Rapport: $\frac{\text{sable fin}}{\text{sable gros}}$
0 - 30 cm	71 - 76	7 - 14	-	0,96
30 - 70 cm	-	45 - 75	-	0,70 - 0,98
> 70 cm	-	-	67	0,29 - 0,47

Ainsi il ressort de ce tableau que les horizons profonds sont essentiellement gravillonnaires, les horizons médians sont beaucoup plus riches en éléments fins tandis que les horizons superficiels/sont pauvres ^{en} et beaucoup plus riches en sables fins surtout. Ces horizons superficiels jouent un rôle capital dans la nutrition, la croissance et le développement des plantes, eu égard aux réserves chimiques du sol telles que K, Ca et Mg, à la capacité de fixation des engrais et aux possibilités de stockage de l'eau.

Compte tenu de l'importance de ces horizons superficiels, plusieurs analyses physiques d'échantillons de sol prélevés dans différents sites de la Station de Gampéla, ont été effectuées.

Les résultats de ces analyses, consignés dans le tableau 4, donnent une appréciation générale de la teneur en sable, limon et argile de cet horizon.

Tableau 4 : Constituants physiques granulométriques de deux sites des sols de la Station de Gampéla : profondeur de prélèvement 30 cm. (*)

S i t e s	Constituants en %			Texture du sol	
	sable	limon	argile		
Zone de bâtiments administratifs (a)	62,8	28,8	8,4	Sablo-limono-argileux	
Zone d'expérimentation agronomique (b)	échantillon 1	62,4	13,6	24,0	Sablo-argilo-limoneux
	échantillon 2	60,4	11,6	28,0	Sablo-argilo-limoneux
	moyenne	61,4	12,6	26,0	Sablo-argilo-limoneux
Moyenne des 2 sites	61,9	18,0	20,1	Sablo-argilo-limoneux	

Au niveau de la zone d'expérimentation agronomique deux échantillons de sol prélevés dans de différents endroits ont été analysés.

(*) Analyse faite par : (a) - A. & L. Agricultural Laboratories, inc. Memphis, Tennessee - U.S.A.

(b) - Soil Testing Laboratory Cooperative Extension Service, University of Georgia, Athens - U.S.A.

Les tableaux 3 et 4 révèlent que les résultats d'analyses de sols de Gampéla faites par deux laboratoires différents accusent une similitude, surtout en ce qui a trait à la teneur en sable, avec ceux de Gonsé. Selon les critères de nomenclature énoncés précédemment (page 9), on peut conclure, à partir de ces analyses, que la plupart des sols de Gampéla ont une texture sablo-argilo-limoneuse. Ce sont des sols, en accord avec la notion de fertilité et de texture des sols, à valeur agricole moyenne. Les stocks d'éléments échangeables contenus dans les horizons meubles de profondeur 30 cm du sol ferrugineux de Gonsé, et comme nous le verrons plus loin dans ceux de la Station de Gampéla, sont peu fournis en phosphore. En revanche, comme l'analyse chimique semble le confirmer (tableau 7), les teneurs en potassium (K) sont moyennes dans toutes les analyses et les stocks de Calcium (Ca) et de magnésium (Mg) échangeables sont beaucoup plus élevés.

1.3.3. LES PROPRIETES CHIMIQUES DES SOLS DE GAMPÉLA

La balance des colloïdes de sol recommandée par la plupart des chimistes est de :

- 65 à 75 % pour le calcium (Ca)
- 10 à 15 % pour le magnésium (Mg)
- 2 à 5 % pour le potassium (K)

Ces pourcentages de saturation en bases sont calculés à partir de la C.E.C. et du pourcentage de saturation en Ca, Mg, K et H.

Des analyses de sol prélevé à Gampéla ont été effectuées à ce sujet. Les résultats, consignés dans le tableau 5, en donnent une appréciation générale.

Tableau 5 : Capacité totale d'échange (T) et taux de saturation (V) en cations des sols de la Station Expérimentale de Gampéla (*)

Nature de la base	Teneur en cations échangeables (m ^é q/100 g)	Balance des colloïdes pour un sol équilibré (%)
Ca	68,4	65 - 75
Mg	15,7	10 - 15
K	13,9	2 - 5
H	12,0	—
T	99,0	-
S	88,0	-
V	88,9 %	-

Rappelons que T = Capacité totale d'échange cationique

S = Cations basiques échangeables (Ca, Mg, K)

V = Taux de saturation en bases = $\frac{S}{T} \times 100$

Cette même analyse révèle que la teneur en matières organiques est faible (1,5 %).

Une analyse des types d'argile de Gampéla, effectuée par le laboratoire de géologie de la faculté des Sciences de Paris, fournit des indications sur la nature minéralogique du type d'argile prédominant dans les sols de Gampéla (tableau 6)

(*) Analyse faite par A. & L. Agricultural Laboratories inc. Memphis, Tennessee - U.S.A.

Site : Zone de batiments administratifs

Date : 19/05/80

Tableau 6 : Nature et teneur des différents types d'argile dans un échantillon de sol de Gampéla (*)

Type d'argile	teneur en %
Kaolinite	85
Illite	15
Montmorillonite	traces
Interstratifiée	0

Il faut se rappeler que Kaolinite, Illite et Montmorillonite constituent les principaux types d'argiles rencontrés dans les sols tropicaux. Précisons aussi que de ces trois types d'argile, la montmorillonite est celle ayant le plus grand pouvoir fixateur, puis vient la kaolinite. L'intensité de fixation dépend non seulement du type d'argile mais aussi de la valence et de l'hydratation des ions. Toutes choses égales par ailleurs, la rétention est préférentiellement plus forte pour les ions bivalents Ca^{++} et Mg^{++} que pour les ions monovalents K^+ , Na^+ et NH_4^+ . D'après ce principe, il n'est pas étonnant que Ca^{++} et Mg^{++} , dont le sol de Gampéla est bien pourvu, soient plus énergiquement fixés (tableaux 5, 7, 9).

Afin d'apprécier la richesse en éléments minéraux du sol de Gampéla, plusieurs analyses chimiques d'échantillons prélevés dans différents sites en jachère de la Station ont été effectuées. Les résultats de ces différentes analyses, consignés dans le tableau 7, donnent une estimation générale de la chimie des sols de Gampéla, notamment de celle du site où la présente étude a été conduite.

(*) Source : ESSAI potassium à Gampéla (1970-71) Rapport IRAT 1968-69-70

Tableau 7 : P^H et teneur en éléments fertilisants, exprimés en kg/ha, de quatre échantillons de sol prélevé de terrains "vierges" à la Station de Gampéla (*).

Sites	Echantillons	P ^H (eau)	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Zone de bâtiments administratifs	n° 1	6,2	41,3	285,5	1773,3	469,1
	n° 2	6,0	36,1	272,1	1908,0	496,1
	Moyenne	6,1	38,7	278,8	1840,8	482,6
Parcelles de production	n° 1	6,1	36,1	167,0	1887,8	444,4
	n° 2	5,8	36,1	164,3	1488,2	390,6
	Moyenne	5,95	36,1	165,65	1688,0	417,5
Moyenne des deux sites		6,025	37,4	222,225	1764,325	450,05

Comparés à la marge proposée par le même Laboratoire (tableau 8) pour l'appréciation quantitative de la teneur en éléments minéraux, les sols de Gampéla ne présentent aucun problème particulier vis-à-vis du P^H et de certains éléments minéraux tels que K, Ca, Mg.

En revanche, toutes ces analyses accusent un taux de P₂O₅ très bas ; il est de l'ordre de 37,4 kg de P₂O₅/ha en moyenne. A l'instar de la majorité des sols du plateau Mossi, le sol de Gampéla est donc carencé en P₂O₅ comme le prouve le tableau 9.

(*) Analyse faite par : Soil Testing Laboratory Cooperative Extension Service, University of Georgia, Athens, U.S.A. (December 1979).

Pour chaque site, deux échantillons de sol ont été prélevés et analysés.

Tableau 8 : Marge proposée pour l'appréciation quantitative de la teneur en éléments minéraux (kg/ha) par le laboratoire : Soil Testing Laboratory Cooperative Extension Service

	Bas	Moyen	Élevé ou convenable	Très élevé
P ₂ O ₅	0 - 101,2	108,1 - 206,08	211,6 - 386,77	plus de 386,77
K ₂ O	0 - 322,8	325,4 - 672,72	675,36 - 1076,16	plus de 1076,16
Ca	0 - 896,8	-	plus de 899,0	-
Mg	0 - 269	271,2 - 538,8	plus de 538,8	-

Des analyses chimiques des sols de Gampéla indiquent une similitude entre la teneur des éléments provenant des sols de Tanguin Dassouri (tableau 9), à une vingtaine de kilomètres, sur l'axe Ouagadougou - Bobo-Dioulasso.

Tableau 9 : ~~PH et teneur en éléments minéraux, exprimés en log₁₀ de deux~~
sites des sols du plateau Mossi. (*)

Sites	Echantillon n°	P ^H (eau)	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg
Gampéla	n° 1	6,2	31,0	212,4	1795,7	216,9
	n° 2	6,4	67,1	530,6	2695,8	639,7
	Moyenne	6,3	49,05	386,5	2245,75	443,3
Propriété de Monsieur Rouamba à Tanguin- Dassouri	n° 1	5,9	51,6	215,5	-	987,7
	n° 2	6,3	-	188,6	-	628,5
	n° 3	6,5	51,6	242,4	-	1099,9
	Moyenne	6,2	51,6	215,5	-	905,37

Ces analyses chimiques de sol, faites par différents laboratoires révélant des écarts de P^H très faibles $\leq 0,5$ P^H, et des teneurs voisines en phosphore, quel que soit le site. En revanche, les teneurs en K₂O, CaO, et MgO, presque jamais déficientes, varient avec le site.

1.4. CLIMATOLOGIE DE LA STATION DE GAMPÉLA DANS LE CONTEXTE DU PLATEAU MOSSI

Le plateau Mossi appartient à la zone agroclimatique médiane du pays, caractérisée par :

- une saison sèche de Novembre à Avril
- une courte saison des pluies de Mai à Octobre

Cette courte saison pluvieuse comporte :

- une période préhumide favorable au semis, d'avril à juin
- une période humide, de mi-juin à mi-septembre
- une période post-humide, de mi-septembre à mi-octobre.

Dans le plateau Mossi la pluviométrie annuelle, comprise entre 650 et 900 mm, diminue du Sud au Nord. D'une année à l'autre, d'un mois à l'autre, les différences de hauteur d'eau tombée sont très grandes.

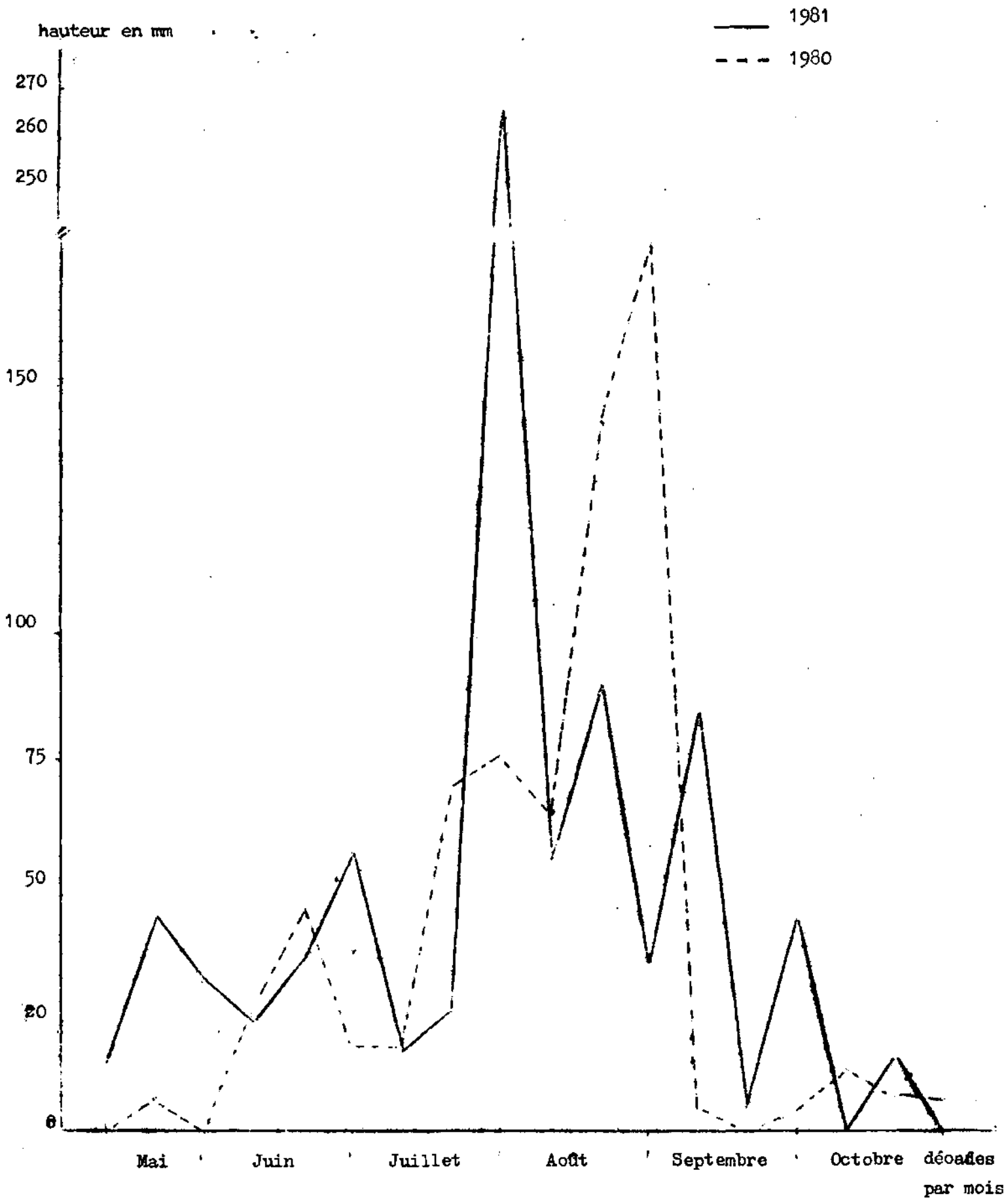
(*) Analyse faite par :

- a) A & L Agricultural Laboratories, inc. Memphis, Tennessee, (mai 1980)
 - b) Soil Testing Laboratory Cooperative Extension Service, Athens, Georgia (mai 1980)
 - c) Soil Testing Laboratory, Auburn University (juin 1980)
- Deux et trois échantillons des sols de Gampéla et de la propriété de Monsieur Rouamba ont été analysés, respectivement.

Ce fait doit guider le choix de la date de semis, des variétés, de la date d'application des engrais et autres pratiques culturales.

Ainsi à Gampéla, l'année 1980 a été marquée par une grande insuffisance de pluies, très déficitaires par rapport à la moyenne interannuelle, et une mauvaise répartition de celles-ci. (figure 1)

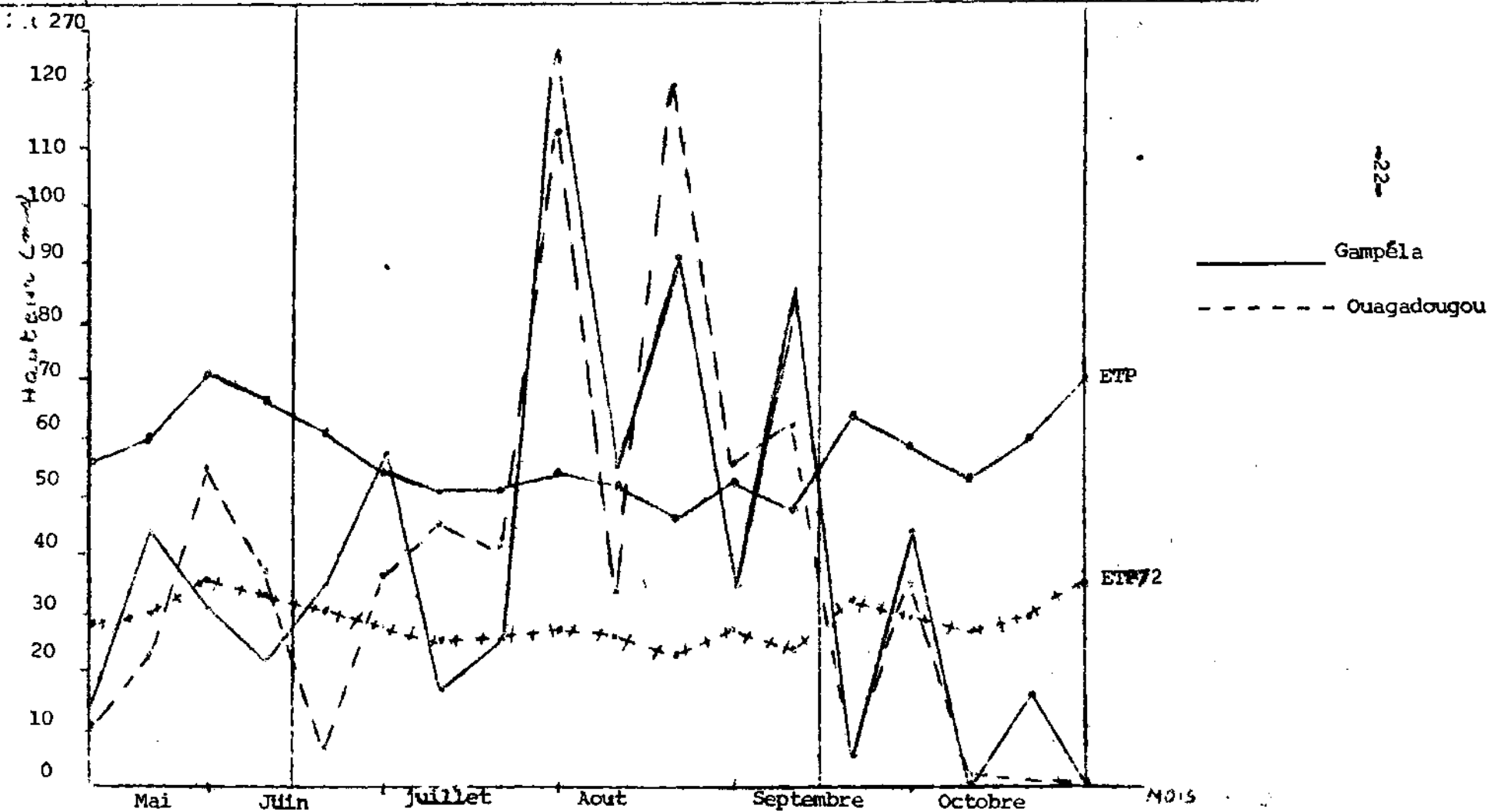
Figure I : Répartition des pluies (en mm) par décade durant les deux dernières années à la Station Expérimentale de Gampéla.



Ainsi l'année 1981, considérée comme la meilleure de ces dernières années, a bénéficié d'une pluviométrie relativement bonne et surtout bien répartie dans le temps à Gampéla comme à l'aéroport de Ouagadougou où des données climatiques plus détaillées ont été enregistrées. Ces données nous ont permis d'estimer la demi-somme de l'évapotranspiration potentielle de Penmann (ETP/2) à Gampéla du fait de la proximité de ces deux Stations (Figure II).

Figure II : Caractéristique de la pluviométrie à Gampéla et à Ouagadougou par la méthode des intersections de Franquin

période de végétation active	B (2 ^e décade de juin, c (2 ^e décade de septembre)
période préhumide	A (1 ^{ère} décade de mai ——— B (2 ^e décade de juin
période humide	B (2 ^e décade de juin) ——— c (2 ^e décade de septembre)
période post-humide	c 2 ^e déc. sent. — 3 ^e déc. Oct.
Evénements ABCDE	C D



Toutefois, malgré cette bonne distribution, la campagne 1981, contrairement à l'habitude, a été caractérisée par une abondance pluviométrique durant le mois de juillet, 308,2 mm en 12 jours contre 179,2 mm en 11 jours en Août (figure I)

CHAPITRE II : LES CARACTERISTIQUES AGRONOMIQUES DU PHOSPHORE, DU ZINC ET DU BORE

Tous les éléments minéraux n'interviennent pas dans la nutrition de la plante dans les mêmes proportions. Les éléments tels que l'azote, le phosphore et le potassium, dits "fertilisants", sont en fait, les éléments de base de la croissance et du développement de la plante. Avec le soufre, l'azote et le phosphore sont les principaux constituants de base des protéines et de l'acide nucléique, substance fondamentale des tissus végétaux.

En revanche, bien dosés, les oligoéléments en général exercent une action favorable sur la croissance des plantes.

Il ressort de multiples travaux que chacun de ces éléments, entre autre le phosphore (P), le Zinc (Zn) et le Bore (B), assure des rôles plus ou moins définis quant aux rendements quantitatifs et qualitatifs des plantes.

2.1 Les caractéristiques du phosphore

2.1.1 Les rôles biologiques

Le rôle du phosphore dans la composition de certains constituants cellulaires est fondamental. Il intervient pour le stockage et la libération de l'énergie (ATP, ADP).

A l'instar de l'azote, le phosphore est aussi indispensable à la croissance de la plante et au développement du système racinaire. Il est abondant dans les organes jeunes (feuilles par exemple) des plantes. Facteur de précocité, il est aussi important dans la fécondation et dans la fructification. En fin de végétation, il migre vers les organes de réserves, pour servir au développement des jeunes pousses futures.

Il améliore la qualité des fruits en ce sens qu'il favorise une bonne teneur en protéine des graines et d'autres organes végétaux. Son abondance ou sa carence influe sur le développement des animaux se nourrissant de ces matières végétales. Aussi la pauvreté du sol en phosphore entraîne-t-elle des carences chez les végétaux et chez les animaux qui consomment ces plantes. Ces déficiences se traduisent par une réduction de la croissance racinaire et de l'appareil aérien, par la baisse de la précocité, par un net retard de maturité et finalement par la réduction des rendements en fruits et en graines. Sa carence visuelle chez le maïs se manifeste par une coloration pourpre.

Le phosphore existe sous plusieurs formes dans le sol (figure III). Son assimilabilité conditionne l'alimentation de la plante (8). L'application du phosphore au sol n'élimine pas nécessairement ces problèmes. Pour qu'il puisse être absorbé par le végétal et remplir ses rôles, le phosphore doit être sous forme d'ions assimilables, $H_2PO_4^-$ ou HPO_4^{2-} , dans le sol. La présence de l'une ou l'autre forme dépend en grande partie du p^H . Dans un milieu acide, les ions $H_2PO_4^-$ sont dominants ; en revanche, dans une solution de p^H compris entre 7 et 9, les ions HPO_4^{2-} prédominent.

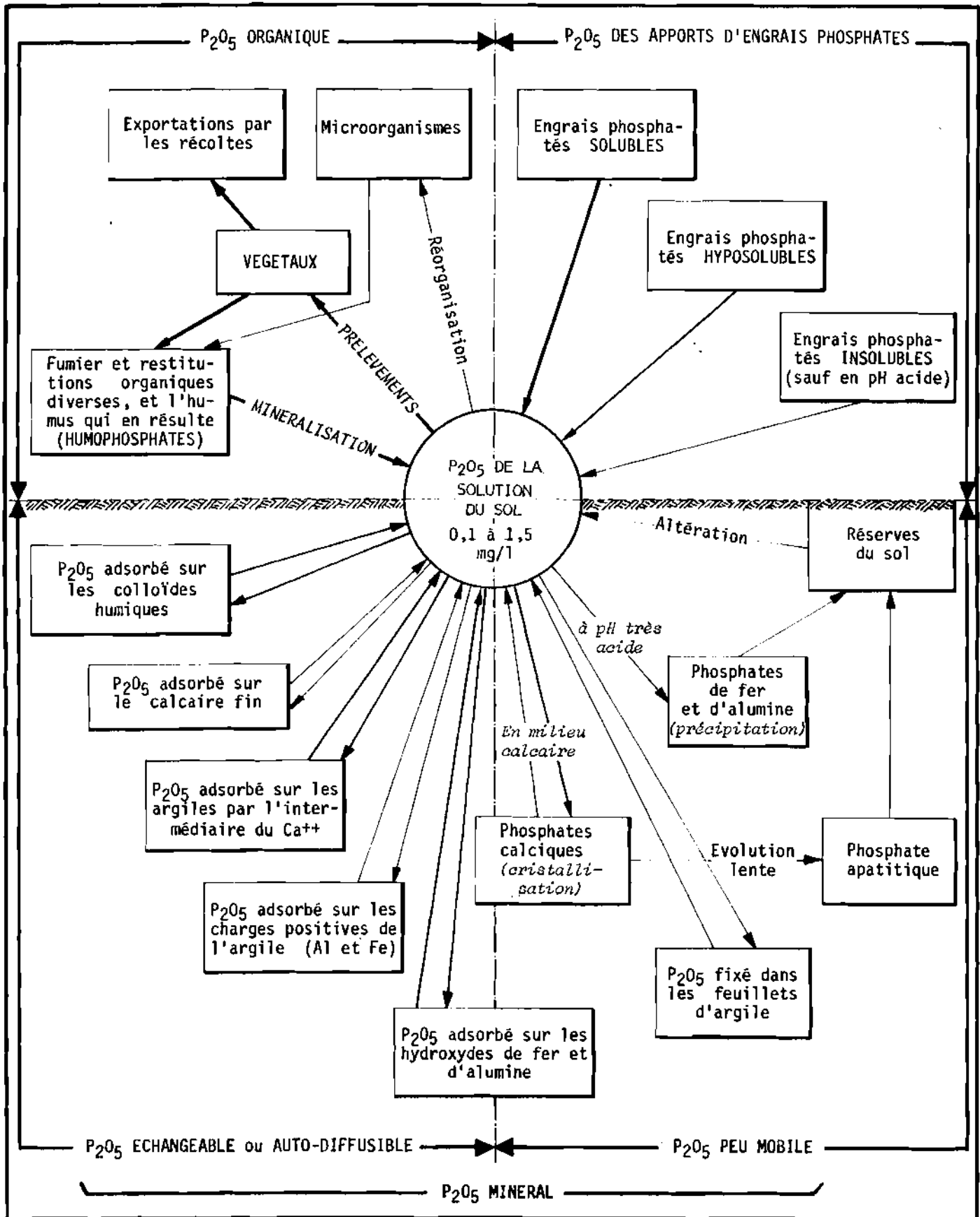
Les sources de phosphore sont variées :

- le phosphore des roches-mères (apatite) ou phosphore tricalcique.
- les os broyés ou pulvérisés
- le phosphore précipité ou combiné à l'état de phosphore insoluble
- le phosphore organique sous forme d'humophosphate. Cette forme constitue une réserve facilement mobilisable par la plante.
- le phosphore lié aux hydroxydes de fer et d'alumine des minéraux argileux.

Fig. III

LES FORMES DU PHOSPHORE DANS LE SOL

(D'après R. GERVY - Les Phosphates et l'Agriculture - Dunod)



- le phosphore libre dans les solutions du sol et le phosphore adsorbé sur le complexe argilo-humique.

Les engrais phosphatés sont les principaux fournisseurs d'ions phosphoriques (P_2O_5) au sol.

2.1.2 Les engrais phosphatés.

D'après leur solubilité, les engrais phosphatés sont classés en trois groupes:

- les engrais phosphatés solubles dans l'eau : phosphates monocalciques.
- les engrais phosphatés peu solubles dans l'eau mais solubles dans le citrate d'ammoniaque : phosphates bicalciques.
- les engrais phosphatés insolubles dans l'eau et dans le citrate d'ammoniaque : phosphates tricalciques ou phosphates naturels.

Outre la disponibilité en éléments fertilisants d'un engrais, la teneur de la forme assimilable influe sur son efficacité. Ainsi les engrais phosphatés solubles sont classés en trois groupes en fonction de la teneur en P_2O_5 (tableau 10)

Tableau 10 : Classification des engrais phosphatés solubles d'après leur teneur en P_2O_5

Type d'engrais	teneur en P_2O_5
Super phosphate normal	16 à 22
Super phosphate enrichi	25 à 36
Super phosphate concentré ou triple	44 à 48

Solubles dans l'eau les super-phosphates, utilisés en couverture ou en localisation, fournissent directement aux plantes les ions $H_2PO_4^-$ dont elles se nourrissent préférentiellement. Ces ions sont en outre retenus par le complexe adsorbant. Leurs efficacités agronomiques dépendent de leur solubilité et de la capacité d'adsorption des colloïdes et des hydroxydes de fer ou d'alumine.

Les phosphates naturels, quant à eux, sont insolubles dans l'eau et dans le citrate d'ammoniaque. En revanche, ils sont lentement solubilisés par les acides organiques faibles du sol. Ce sont des engrais de fond, à action lente et progressive. Les phosphates tricalciques, selon leur origine, contiennent 25 à 35 % de P_2O_5 . Ainsi les phosphates naturels de Kodjari (PN) contiennent 25,38 % de P_2O_5 (tableau 10)

Tableau 11 : Principaux constituants chimiques des phosphates naturels de Kodjari et leur solubilité dans divers réactifs. (*)

	Teneur (%)
Humidité	0,89
<u>Analyse de matières sèches</u>	
P_2O_5	25,38
CaO	34,45
SiO_2	26,24
Fe_2O_3 soluble dans Hcl	3,42
Al_2O_3 soluble dans Hcl	3,04
<u>Solubilité du phosphore (% P. totale) dans :</u>	
Le citrate(AOAC)	8
L'acide citrique	24,5
L'acide formique	48,5

Quand le P^H du sol est compris entre 5 et 7, la solubilité des phosphates naturels dans la solution du sol est capable de maintenir la teneur en P_2O_5 assimilable à un niveau acceptable.

L'efficacité agronomique de ces phosphates naturels est liée à un certain nombre de facteurs parmi lesquels nous pouvons citer :

.../...

(*) Analyse faite par : Les Laboratoires Thornton à Tampa en Floride U.S.A.-
Extrait du rapport de synthèse IRAT/HV - 1980

- La réactivité chimique du minéral de phosphate
- Les propriétés physico-chimiques du sol
- la pluviosité ou l'état d'humidité du sol
- le système de culture
- le temps écoulé entre son incorporation dans le sol et son utilisation par la culture.
- la finesse du broyage

2.2 Les rôles biologiques du Zinc et du Bore

Le Zinc entre dans la constitution des enzymes d'oxydation et aurait un rôle favorable pour certaines substances de croissance telles que les auxiages. Une faible teneur en Zn conduirait à une diminution de la synthèse protéique des plantes, à une baisse d'absorption de P et N, et à une augmentation d'absorption du manganèse (Mn).

Le Bore, à son tour, joue un rôle important dans la division cellulaire des jeunes racines et des jeunes pousses, dans la germination du pollen, dans la formation des fruits et dans la migration des autres éléments minéraux. Il ne migre pas dans la plante. Il joue seulement un rôle catalytique sur les enzymes dont l'action assure la migration de ces éléments.

Sa carence entraîne des malformations des jeunes organes. Cette carence, plus fréquente dans les sols légers, est souvent accentuée par un excès de calcaire et par la sécheresse ou par la combinaison des deux facteurs. Aussi une déficience en Bore peut-elle entraîner une diminution de la perméabilité des membranes plasmiques des tissus végétaux.

Le Bore est remarquable par l'étroitesse de l'intervalle entre les taux susceptibles de provoquer la déficience ou la toxicité chez la plante. En effet, à moins de 1 Mg/g de terre, le bore peut être déficient, à plus de 3 Mg/g de terre, il peut être toxique (4)

La teneur du Bore dans le sol est aussi influencée par le P^H . Il est bloqué à P^H élevé ou après un chaulage excessif. Cette teneur dépend également de la matière organique et de la quantité de colloïdes dans le sol.

Les mécanismes de la dynamique du Zinc et du Bore dans le sol peuvent être ainsi résumés :

- En milieu acide, les oligoéléments en général, y compris le Zinc et le Bore, existent sous formes échangeables. Cette forme facilite leur lessivage et donc peut occasionner certaines carences. Néanmoins, la migration du Zinc en profondeur serait limitée (2). L. Brown (1962), a pu montrer que selon les doses de sulfate de Zinc ($ZnSO_4$) appliqué, environ 35 % de Zn est resté dans le sol et l'effet résiduel s'est manifesté pendant plusieurs années sur le maïs.

- Inversement, l'élévation du P^H et la présence du calcaire actif tendent à les insolubiliser sous forme d'hydroxydes et des carences par blocage peuvent alors en résulter.

- Dans la nutrition de la plante en oligoéléments, les matières organiques jouent un rôle primordial. En effet, grâce à l'activité biologique des micro-organismes, les oligoéléments sont progressivement libérés permettant ainsi leur disponibilité constante.

D DEUXIEME **F** PARTIE

M MATERIELS

&

M METHODES

CHAPITRE I :

CARACTERISTIQUES CHIMIQUES DU SITE EXPERIMENTAL

Situé au sein de la Station Expérimentale de Gampéla, le sol du site de la présente étude est censé avoir les mêmes caractéristiques chimiques que celles de la Station. Toutefois, nous ne nous sommes pas contentés d'extrapolation sans précaution. En effet, plusieurs analyses chimiques de sol ont été effectuées en juin 1980, puis en juin 1981, avant et après la mise en place des essais sur le phosphate naturel de Kodjari (PN) et le super triple (ST), sur des échantillons prélevés au hasard dans les emplacements de l'étude. S'agissant des analyses avant la mise en place des essais, les échantillons ont été prélevés sur des terrains antérieurement mis en jachère. Dans tous les cas les prélèvements ont été réalisés au début de la saison des pluies avec une sonde tubulaire ou "tarrière" à une profondeur moyenne de 30 cm. L'observation des profils culturaux et du système racinaire montre que, pour la majorité des cultures annuelles, notamment le maïs et l'arachide, cultures de référence dans cette ^{étude}, la profondeur d'enracinement généralement constaté se situe à environ 30 cm. Par ailleurs, on admet, et ceci a été confirmé par notre étude, que l'influence des techniques culturales et les variations des teneurs en éléments fertilisants dans le temps sont plus importantes dans l'horizon où la densité racinaire est la plus abondante.

Pour réduire les erreurs d'échantillonnage, nous avons effectué une douzaine de prélèvements au hasard pour chaque analyse. Dans le cas des analyses avant la mise en place des essais, les prélèvements ont été effectués sur toute la surface avant sa subdivision en unités parcellaires devant recevoir les traitements. Ces échantillons de sol étaient ensuite séchés, puis mélangés pour constituer un échantillon unique en vue de l'analyse. Les analyses chimiques de ces échantillons ont été effectuées, dans certains cas, par deux laboratoires, aux U.S.A. Les résultats de ces différentes analyses sont consignés dans le tableau 12.

Tableau 12 : P^H et teneur des éléments minéraux (kg/ha) du sol des 3 sites de la présente étude (*)

Site ou n° d'échantillon	P ^H	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Mg	Zn	B	Mn
1	6,4	67,1	530,6	2695,8	639,7	4,5	0,56	68,5
2	6,4	56,8	509,1	3517,4	599,3	<2,2	0,67	24,5
3	6,3	31,0	417,5	2056,1	372,6	<2,2	0,22	13,5

Les essais ont été implantés sur les sites 1 et 3. Le site 1 correspond à l'emplacement de l'essai sur le phosphate naturel de Kodjari (PN) et le super triple (ST), tandis que le site 3 correspond aux essais sur le zinc, le bore et leurs interactions avec le super triple. Nous donnerons plus tard des précisions concernant ces essais.

Le site 1 a subi une seconde analyse chimique de sol en juin 1981. Cette fois, 5 prélèvements au hasard ont été faits sur chaque parcelle unitaire correspondant à chaque traitement de PN et ST tout en tenant compte des répétitions. Les échantillons de répétitions ont été ensuite combinés pour avoir un échantillon par traitement, soit un total de 16 échantillons, sur les mêmes parcelles avant la reprise et la modification de l'essai. Il faut rappeler qu'à ce niveau une analyse chimique de la teneur du sol en phosphore a été faite à l'aide de notre petit laboratoire portatif.

La zone d'expérimentation ne présente pas de problèmes particuliers vis-à-vis du P^H et de certains éléments tels que K₂O, CaO et MgO. En revanche, toutes les analyses accusent un taux très faible de P₂O₅ (tableau 12).

(*) Analyse faite par : Soil Testing Laboratory Cooperative Extension Service, University of Georgia.

Dates : Juin 1980 pour le site 1
Juin 1981 pour les sites 2 et 3

CHAPITRE II : **I** A CONDUITE DES ESSAIS

2.1 La mise en place des essais

Notre étude a été scindée en 4 essais principaux, à savoir :

Essai I : Influence du phosphate naturel de Kodjari (PN) et du super triple (ST) sur le comportement du maïs.

Essai II : Effets résiduels du PN et du ST sur le comportement de l'arachide.

Essai III: Influence du ST et du zinc sur le comportement du maïs.

Essai IV : Influence du ST, du zinc et du bore sur le comportement de l'arachide

2.1.1. La mise en place de l'essai I : Influence du PN et du ST sur le comportement du maïs.

Cet essai a été conduit durant deux campagnes à la Station Expérimentale de Gampéla sur un sol sablo-argilo-limoneux.

Etabli en juin 1980, l'essai a été repris en 1981, sans apport supplémentaire d'engrais phosphatés, pour apprécier les effets résiduels des applications expérimental était en jachère plusieurs années de l'année précédente. Le site/avant la mise en place de l'essai en 1980. En juin 1980, des analyses chimiques de sol ont été effectuées et les résultats sont ceux de l'échantillon 1 du tableau 12.

La préparation du sol en 1980 avait consisté à un sous-solage à une profondeur de 40 - 50 cm et, avant les semis, on a fait une reprise de labour avec un pulvérisateur à disques crénelés. Après la première récolte de 1980 les chaumes avaient été enfouies et la préparation du sol a consisté à un labour et un hersage de début de saison tout en conservant les délimitations des blocs et parcelles assignés aux traitements.

Le dispositif expérimental utilisé est un Split plot en (4X4) factoriel soit 16 traitements avec 5 blocs ou répétitions séparés par des allées de 2 mètres. Chaque bloc est constitué de 4 parcelles principales ayant 14 mètres de long et 9,6 mètres de large, séparées également par des allées de 2 mètres. Chaque parcelle principale (14 x 9,6 m) est subdivisée en 4 parcelles secondaires de 14 mètres de long sur 2,4 mètres de largeur chacune. Les caractéristiques visuelles de ce protocole expérimental sont représentées par la figure IV.

Figure IV : Représentation schématique d'un des 5 blocs de l'essai I en 1980 avec un exemple de randomisation.

Légende :

I, II, III, IV : parcelles principales

1, 2, 3, 4, : parcelles secondaires

PN₀, PN₁, PN₂, PN₃ : phosphate naturel
niveau 0-1-2-3

ST₀, ST₁, ST₂, ST₃ : Super triple
niveau 0-1-2-3

||| } Lignes de semis
||| } représentant un
||| } traitement

| rangée protectrice

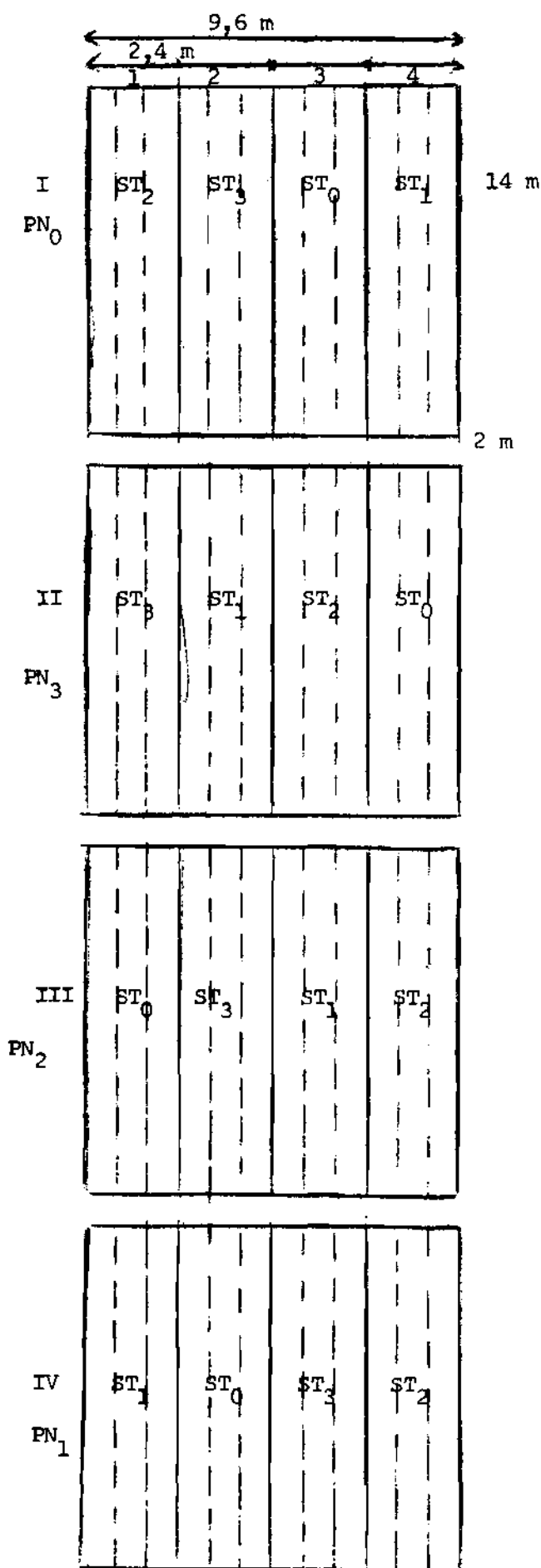
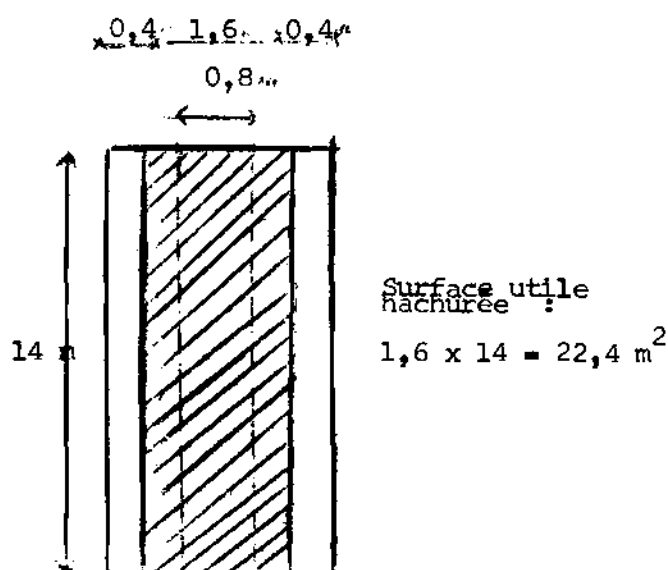


Schéma d'une parcelle secondaire



Les traitements correspondent à l'utilisation du PN (facteur A) et du ST (facteur B). Pour chaque facteur les doses de P_2O_5 utilisées sont les suivantes : 0, 45, 90 et 135 kg à l'hectare. Les différentes doses de PN étaient assignées aléatoirement aux parcelles principales et celles de ST étaient appliquées aussi au hasard sur les parcelles secondaires. On avait ainsi un essai factoriel (4 x 4) ou 16 traitements qui, répétés 5 fois, donnaient 80 unités parcellaires. Chaque traitement était représenté par deux rangées de 14 m de long espacées de 80 cm, bordées de chaque côté d'une ligne protectrice (effet de bordure).

Peu de jours avant les semis, l'épandage des engrais avait été effectué manuellement en surface suivi d'enfouissement à la daba à une profondeur d'environ 25 cm.

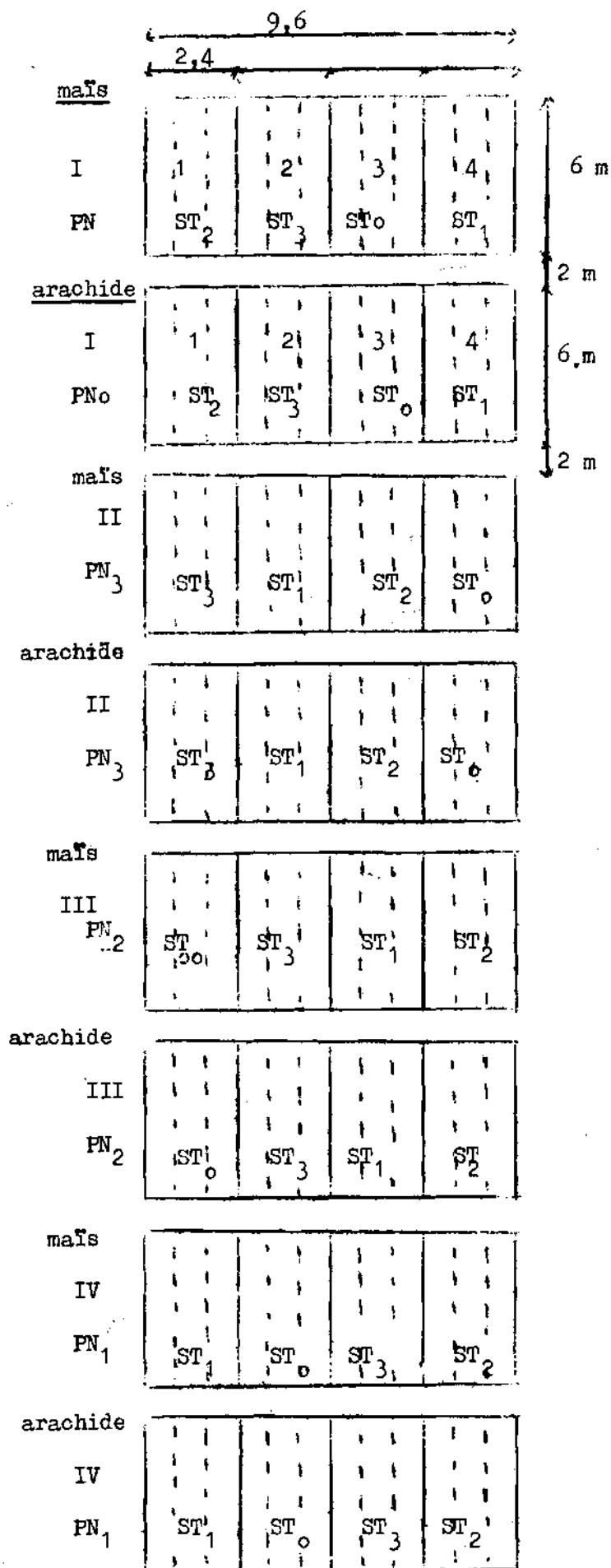
La variété du maïs utilisée pour tester l'effet des 2 facteurs et leurs combinaisons était le Jaune Flint, une variété locale de la région de Koudougou, améliorée par l'IRAT à Saria. Elle a été semée manuellement à 20 cm entre les poquets, à une profondeur d'environ 5 cm et à une semence par poquet.

Repris en 1981, cet essai a subi une modification quant aux dimensions des parcelles et aux cultures de référence. En effet, nous avons divisé chaque parcelle principale initialement de 14 mètres de longueur en deux parcelles de 6 mètres de long, séparées aussi par une allée transversale de 2 mètres. Cette modification a permis d'apprécier les effets résiduels du PN et du ST sur deux cultures de référence : le maïs, variété Jaune Flint, et l'arachide, variété S.29.

L'essai sur les phosphates devant être un essai à long terme, cette modification permettra aussi d'y inclure un système de rotation arachide-mais et ~~maïs~~ arachide dans les années à venir.

Nous avons ainsi conduit en 1981 deux essais sur le même site (figure V)

Figure V : Représentation schématique d'un des 5 blocs mettant en relief la juxtaposition de l'essai I (maïs) et de l'essai II (arachide) en 1981 avec un exemple de randomisation.



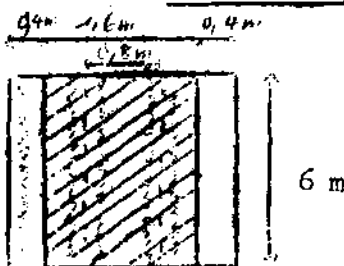
Légende :

- I, II, III, IV : parcelle principales
- 1, 2, 3, 4 : parcelles secondaires
- PN₀, PN₁, PN₂, PN₃ : Phosphate naturel niveau 0, 1, 2, 3
- ST₀, ST₁, ST₂, ST₃ : super triple niveau 0, 1, 2, 3

Les 2 rangées représentant un traitement : lignes de semis

Ligne protectrice.

Schéma d'une parcelle secondaire



La partie hachurée correspond à la surface utile : $1,6 \times 6 = 9,6 \text{ m}^2$

Les lignes brisées correspondent aux lignes de semis.

Ainsi pour les essais I et II relatifs aux effets résiduels du PN et du ST sur le comportement du maïs et de l'arachide, le même dispositif expérimental (split plot) a été conservé. La même densité de semis a été aussi conservée pour le maïs.

En ce qui concerne l'arachide, la variété utilisée est la S.29, c'est une variété locale de la région de Garango. Elle est caractérisée par un port érigé donnant de petites gousses. Elle a été semée en lignes jumées à 20 cm environ entre les poquets, à une profondeur d'environ 5 cm et à une graine par poquet.

2.1.2. LA MISE EN PLACE DE L'ESSAI III : Influence du ST et du Zinc sur le comportement du maïs.

L'essai III a été implanté en 1981 sur un sol sablo-argilo-limoneux. Antérieurement le site expérimental était en jachère. Avant la mise en place de l'essai, des analyses chimiques du sol ont été effectuées. Les résultats de ces analyses sont ceux de l'échantillon 3 du tableau 12.

Le sol a été préparé à la sous-soleuse à une profondeur de 40 - 50 cm, puis nous avons effectué un labour avec un pulvérisateur à disques crénelés et un hersage à la daba. Des blocs complets randomisés ont été utilisés à cet effet.

Cet essai factoriel (3x4) comportait 12 traitements qui, répétés 5 fois, donnaient 60 unités parcellaires. Les répétitions sont espacées de 1,50 m. Chaque parcelle unitaire était également séparée par des allées de 1,50 m.

Le Zinc a été appliqué sous forme de sulfate soit $ZnSO_4$. Les traitements ont été représentés par 2 facteurs :

- Facteur A représentant ST avec 3 niveaux, à savoir : 0, 90 et 135 kg de P_2O_5 /ha.
- Facteur B représentant $ZnSO_4$ avec 4 niveaux, à savoir 0, 8, 16 et 24 kg de $ZnSO_4$ /ha.

Ces différents niveaux, seuls ou combinés, ont été appliqués au hasard aux parcelles unitaires. Chaque traitement a été représenté par 2 rangées de 5 m de longueur espacées de 80 cm, bordées de chaque côté par une ligne "tampon".

Peu de jours avant le semis, l'épandage des engrais, suivi de leur incorporation à la daba à une profondeur de 25 cm environ, a été effectué manuellement. Pour faciliter l'épandage et l'uniformité, le $ZnSO_4$ a été préalablement mélangé à trois poignées de terre pour chaque unité parcellaire. Les semences ont été plantées manuellement à 20 cm entre les poquets, à raison d'une semence par poquet et à une profondeur d'environ 5 cm. Nous avons utilisé comme culture de référence, le maïs / variété Jaune Flint.

2.1.3. LA MISE EN PLACE DE L'ESSAI IV : Influence du ST du Zinc et du Bore sur le comportement de l'arachide.

L'essai IV a été également établi en 1981 sur un sol ayant les mêmes caractéristiques physiques et chimiques que celui de l'essai III (Echantillon 3, tableau 12). La préparation du sol a été aussi la même. Comme dans l'essai III, le Zinc a été appliqué sous forme de $ZnSO_4$ tandis que le Bore l'a été sous forme de borate de sodium ($Na_2B_4O_7$).

Le dispositif expérimental a été des blocs complets randomisés. Les traitements ont été représentés par 3 facteurs avec 2 niveaux chacun:

- le facteur A représentant ST à 2 niveaux, à savoir : 0 et 135 unités de P_2O_5 .
- le facteur B correspondant à $ZnSO_4$ à 2 niveaux également : 0 et 6,5 unités de Zn à l'hectare.
- le facteur C correspondant à $Na_2B_4O_7$ dont les 2 niveaux sont : 0 et 0,6 kg B/ha.

Il ressort donc un essai factoriel (2x2x2) soit 8 traitements, répétés 5 fois chacun, donnant ainsi 40 parcelles élémentaires pour tout l'essai. Un jour avant le semis, l'épandage des engrais a été manuellement effectué, puis enfoui à la daba à une profondeur de 25 cm comme dans les autres essais. Le $ZnSO_4$ et le $Na_2B_4O_7$ ont été préalablement mélangés à trois poignées de terre pour faciliter leur homogénéisation.

Comme dans le cas de l'essai III, chaque traitement a été représenté par 2 rangées de 5 m de longueur, espacées de 80 cm et bordées de chaque côté par une ligne protectrice (effet tampon). Le semis a été réalisé en lignes jumelées, à une graine par poquet. La distance entre les poquets est de 20 cm. La profondeur de semis reste aux environs de 5 cm. A la différence de l'essai II, la variété d'arachide utilisée a été la T.S. 29, une variété semi-tardive à port rampant développée par l'Institut de Recherche sur les Huiles et les Oléagineux (IRHO).

2.2. LES TRAVAUX D'ENTRETIEN DES PARCELLES EXPERIMENTALES .

Ces travaux d'entretien se résument en deux ou trois sarclo-binages et buttages suivant le type de culture et à la confection des diguettes dans tous les essais.

En général le premier sarclo-binage a été effectué 10 jours après le semis et le second, un mois après. Les essais II et IV ont bénéficié d'un troisième sarclage pour favoriser la pénétration des gynophores dans le sol. Le calendrier de ces différentes opérations figurent au tableau 13

Tableau 13 : Calendrier des différentes opérations d'entretien pour les différents essais (*)

N° de l'essai	DATE de mise en place	DATE de semis	Application d'urée		Sarclo-binage et buttage		
			1er apport 100kg/ha	2ème apport 50 kg/ha	1	2	3
I	Juin 1980	1/7/81	13/7	5/8	10/7	29/7	-
II	Juin 1980	25/6/81	-	-	8/7	22/7	4/8
III	3/7/81	8/7/81	10/7	12/8	16/7	30/7	-
IV	9/7/81	10/7/81	-	-	4/8	17/8	4/9

(*) Il s'agit de la date ou l'année d'application des engrais : PN, ST, ZnSO₄ ou Na₂B₄O₇.

L'entretien des parcelles a été manuel dans l'ensemble des essais et chaque opération a été exécutée bloc par bloc et au niveau de chaque bloc, parcelle par parcelle, suivant la direction des lignes de semis. Elle a été uniforme pour chaque essai.

Pour freiner le ruissellement dû aux précipitations abondantes qui mettaient en péril tous les essais, on a confectionné des diguettes perpendiculaires à la plus grande pente et dans les allées séparant les répétitions ou les parcelles principales. Toutefois, certaines parcelles des essais I et IV ont subi des ruissellements assez importants au début de la campagne 1981.

2.3. Collecte des données au champs : suivi de la croissance et du développement végétatif.

Les variables considérées pour apprécier la croissance et le développement végétatif de chaque espèce, sont celles qui sont susceptibles d'influer sur le rendement ou d'être influencées par un traitement donné. Ainsi les paramètres retenus dépendent de l'espèce végétale et du type d'essai.

S'agissant du maïs (essai I et III), nous avons considéré les paramètres suivants :

- la hauteur des plants à différents stades de croissance.
- la date d'apparition des inflorescences mâles et le comptage périodique du nombre de panicules mâles par parcelles élémentaires pour apprécier la précocité.

Dans le cas de l'arachide (essai II et IV), nous avons retenu les variables suivantes :

- la hauteur des plants à différents stades de croissance, le nombre de branches fructifères et de folioles, le "canopy" ou surface couverte par les feuilles et la surface moyenne d'une foliole.
- la date de l'apparition des premières fleurs et le nombre de plants portant des fleurs par parcelles durant la floraison.

Qu'il s'agisse du maïs ou de l'arachide, dans les conditions de cette étude, des observations périodiques sur la croissance et le développement végétatifs susceptibles d'être affectés par les différentes formes de fertilisation avaient été entreprises dès la levée des plants. Ces observations par essai étaient hebdomadaires

En ce qui concerne la vitesse d'apparition des panicules mâles dans le cas de l'arachide, le comptage des pieds en fleurs se faisait tous les deux jours à partir de la date d'apparition des premières fleurs ou panicules jusqu'à la floraison maximale. Le tableau 14 résume les paramètres considérés, les dates d'observations de ceux-ci et le nombre de jours d'observations.

Tableau 14 : "Planning" des observations effectuées par variable et par essai.

N° DE L'ESSAI	VARIABLES OBSERVEES	DATES DES OBSERVATIONS					TOTAL D'OBSERVATIONS	
		1	2	3	4	5		
I	Hauteur	15/7	22/7	30/7	7/8	-	-	4
	Floraison	4/8	6/8	11/8	13/8	17/8	-	5
II	Hauteur, surface couverte et nombre de branches	19/7	27/7	18/8	-	-	-	3
	Floraison	18/7	19/7	20/7	21/7	22/7	22/7	6
III	Hauteur	30/7	7/8	17/8	-	-	-	3
	Floraison	11/8	13/8	17/8	19/8	21/8	-	5
IV	Hauteur, surface couverte et nombre de branches	31/7	12/8	26/8	31/8	-	-	4
	Floraison	5/8	7/8	12/8	-	-	-	4

Les observations, hormis celles faites sur la floraison, ont porté sur des échantillons choisis au hasard au niveau des deux rangées constituant le traitement. Suivant l'essai, au niveau de chaque parcelle unitaire et de chaque rangée utile, 2 pieds de maïs ou 4 plants d'arachide ont été observés. Ces plants ont été choisis au hasard suivant un système de tirage sans remise des numéros. Chaque numéro représentait une plante unique sur la rangée. Ainsi le choix des plants à observer a été réalisé indépendamment de l'espèce végétale. toutefois les techniques de mensurations diffèrent avec la culture.

Dans le cas de l'arachide, les mesures de la hauteur ont été effectuées sur la branche principale, du collet jusqu'au bourgeon apical. La surface couverte par les feuilles a été estimée en prenant le plus grand diamètre du feuillage de la plante si ce feuillage a pris la forme d'un cercle. Mais quand le feuillage a pris la forme d'une figure quelconque, nous avons pris le produit du nombre de folioles et de la surface moyenne d'une foliole.

En ce qui concerne le maïs, la hauteur a été mesurée à partir du collet de la plante échantillonnée jusqu'à la dernière feuille formée déployée verticalement.

Outre ces observations, nous avons constaté des cas de carence en phosphore chez le maïs singulièrement localisés dans certaines parcelles témoins. Cette carence a été diagnostiquée par l'aspect morphologique des feuilles et par leur couleur pourpre.

Pour l'essai I, des analyses foliaires ont été faites après la récolte de la campagne 1980 sur le maïs. La feuille précédant immédiatement l'épi faisait l'objet de cette analyse.

Le prélèvement aléatoire des échantillons se faisait durant la récolte. Ces feuilles ont été séchées à l'étuve pendant 24 heures à 100°C avant la mouture. L'analyse a été faite par le laboratoire : Soil Testing Laboratory Cooperative Extension Service, University of Georgia, U.S.A. Ces résultats seront proposés ultérieurement dans la troisième partie.

2.4. LA RECOLTE - LE SECHAGE ET LA PESEE DES ECHANTILLONS.

La récolte a été manuelle pour tous les 4 essais sans d'autres techniques particulières que celles pratiquées dans les régions. Néanmoins, de plus grands soins lui ont été accordés afin de limiter les pertes. Seules les deux rangées utiles constituant le traitement et sur lesquelles avaient porté les observations étaient considérées. Le produit de chaque parcelle utile a été conservé dans des sacs individuels. Pour chacun de ces essais la récolte a été effectuée non seulement bloc par bloc, mais aussi parcelle par parcelle tout en considérant un certain nombre de paramètres susceptibles d'avoir des corrélations avec le rendement ou pouvant servir dans l'interprétation des résultats.

Ainsi au niveau du maïs, les variables prises en compte sont : le nombre de pieds récoltés par parcelle utile et le nombre total d'épis cueillis

S'agissant de l'arachide, nous avons "déterré" à la daba, puis ramassé toutes les gousses qui se sont détachées des pieds à la suite de l'arrachage avant de considérer les paramètres tels que le nombre total de pieds arrachés par unité parcellaire, le nombre de gousses par pied, le poids des fanes provenant de chaque parcelle.

Concernant le nombre de gousses par pied; un échantillon de 4 plants par rangée utile a été tiré au hasard par la méthode de tirage sans remise des numéros. Pour chaque pied échantillonné nous avons compté le nombre total des gousses formées.

Les fanes ont été immédiatement pesées après la cueillette des gousses avant leur dessèchement.

En revanche, les épis de maïs, despathés après la récolte, et les gousses d'arachide dans leur sac individuel ont été séchés à l'air libre, au soleil avant les pesées.

La pesée des gousses d'arachide a été réalisée après les avoir débarrassées des mottes de terre qui pouvaient les enrober et fausser ainsi les données.

Dans le cas du maïs, les pesées ont porté sur le poids des épis et, après égrenage manuel, le poids des graines.

2.5.METHODES DE CALCUL DES RENDEMENTS ET DE LEUR COMPARAISON

Après les pesées, les données sur le rendement et les différents paramètres considérés ont été groupés par bloc et par traitement. Pour avoir ainsi le rendement à l'hectare nous avons considéré la surface utile de la parcelle unitaire. En prenant comme exemple l'essai II dont la surface utile parcellaire est égale à $9,60 \text{ m}^2$ (figure V, page 38), le rendement en kg/ha serait égal à :

$$\frac{\text{Rendement parcellaire} \times 10.000}{9,60}$$

L'analyse statistique des données a porté sur l'analyse de variance, la régression, la corrélation et la fonction de production, selon le cas. S'agissant des régressions multiples, nous avons eu recours au Centre National de Traitement de l'Informatique (CENATRIN) et ce, pour vérifier nos propres calculs. Pour plus de précision, la comparaison des données a été faite par deux méthodes : la plus petite différence significative (Ppds) et le test de l'écart multiple de Duncan, selon le cas. Le seuil de probabilité choisi pour tous nos calculs a été celui de $\alpha = 0,05$.

TROISIEME

I-^{er} ARTIE

I RESULTATS

&

I DISCUSSION

A/ INFLUENCE DU PHOSPHORE ET DU ZINC SUR LE MAÏS

CHAPITRE I : INFLUENCE DU PHOSPHATE NATUREL DE KODJARI (PN) ET DU SUPER TRIPLE (ST)
SUR LE COMPORTEMENT DU MAÏS.

Le devenir d'un engrais dans le sol est triple :

- engrais
- 1. plantes
 - 2. réserves échangeables
 - 3. réserves immobiles, rétrogradés, ou insolubilisés;
par certains hydroxydes métalliques.

Le premier destin présente un effet immédiat qu'il est possible d'apprécier par l'augmentation des rendements et des analyses foliaires soutenues par des analyses chimiques ... de sol.

Le deuxième et le troisième devenir constituent des stocks "de sécurité" pour les plantes. Ces réserves mobiles et immobiles agissent en arrière-effets sur les cultures pouvant contribuer à une augmentation appréciable des rendements même sans apports nouveaux d'engrais. Ainsi dans ce chapitre seront étudiés :

- Les effets immédiats de différentes doses de PN et du ST, seules ou combinées, sur le rendement du maïs : 1ère année d'essai, 1980.
- Les effets résiduels de ces mêmes doses d'engrais, PN et ST, sur le comportement du maïs : 2ème/d'essai, 1981.

Pour plus de clarté, nous ^{considérons} les facteurs pris isolément et ceci pour chaque campagne.

1.1. LES EFFETS IMMEDIATS DU PN ET DU ST SUR LE MAIS : Données de la campagne 1980.

Sans encore donner des détails, rappelons que la campagne 1980 (début de cette étude) a été marquée par une grande insuffisance pluviométrique : 687,8 mm contre la moyenne interannuelle de 800 mm. Outre l'insuffisance pluviométrique, la répartition décadaire était très mauvaise (figure I, page 20).

1.1.1. LES EFFETS IMMEDIATS DU ST : Campagne 1980.

1.1.1.1 LES EFFETS IMMEDIATS DU ST SUR LE RENDEMENT DU MAÏS

Les résultats obtenus avec les doses croissantes du ST sont consignés dans le tableau 15.

Tableau 15 : Effets immédiats de différentes doses de ST sur le rendement du maïs et la teneur des feuilles en P.

Traitements kg P ₂ O ₅ /ha	Rendement moyen kg/ha	% d'augmentation par rapport au témoin	Teneur des feuilles en P (ppm) (*)
0	1329	-	0,977
45	1778	33,8	1,267
90	2126	60,0	0,733
135	2253	69,6	1,054
Ppds à 5 %	229	-	0,077
Coefficient de variation (C.V.)	19,29 %	-	5,05 %

(*) Analyse réalisées par Soil Testing Laboratory Cooperative Extension Service, University of Georgia, sur des échantillons de feuilles relevés au moment de la récolte de 1980.

Comme l'indique le tableau 15, les doses croissantes du ST exercent un effet croissant sur le rendement du maïs. Tous les rendements moyens à partir de la dose 45 unités sont significativement différents du témoin. La méthode de comparaison des rendements utilisée, la Ppds, détecte une différence entre toutes les doses, à l'exception de la dose 90 et 135 unités.

jointe

La solubilité du ST/à l'adaptabilité du Jaune Flint, qui est une variété précoce, ont dans une certaine mesure, pu pallier à l'effet de l'insuffisance pluviométrique. Pour la même campagne, l'IRAT 80 qui est une variété tardive a accusé un rendement moyen de 800 kg environ à l'hectare dans le champ commercial de la Station contre 1329 du témoin expérimental.

Toutefois, une différence statistique surtout dans le cas des engrais ne débouche pas nécessairement sur une différence économique rentable et vice versa. Ainsi nous a-t-il paru nécessaire d'effectuer des calculs basés sur le rapport valeur de l'augmentation des rendements (V) et le coût de l'engrais (C). Ces calculs ont révélé que toutes les doses du ST utilisées dans cet essai sont rentables. La recherche de la dose optimale s'imposait alors. Dans le cas actuel des prix du ST et abstraction faite des frais d'épandage, la dose optimale serait 68,7 unités de P_2O_5 à l'hectare (annexe I). Cette dose, en rapport avec l'expérimentation, serait rentable au paysan et pourrait être vulgarisée.

Dans le cas de P_2O_5 résiduel du sol, nous le verrons plus tard, nous pourrions nous attendre à une corrélation directe entre le taux de P_2O_5 dans les feuilles et la quantité d'engrais employé. Une telle corrélation pourrait être aussi souhaitable entre le taux de P_2O_5 dans les feuilles et le rendement. Cependant aucune de ces situations ne s'est présentée. En fait les résultats paraissent aléatoires quand nous considérons la teneur en P_2O_5 des feuilles du traitement témoin et celle de 90 unités (tableau 15). Précisons que ce dernier traitement fournit des valeurs bien inférieures à celles des doses de 45 et 135 unités.

Ces résultats, pour aléatoires qu'ils paraissent, peuvent être liés à un fait nutritionnel très intéressant. En effet, nous devons nous rappeler que la teneur en P_2O_5 exprimée dans ce tableau représente le taux de P_2O_5 dans la feuille sèche précédant l'épi. Cela signifie qu'au moment de l'échantillonnage, une part importante de P_2O_5 absorbé par la plante avait déjà migré vers les épis et les structures de réserve en vue d'assurer leur croissance future.

Que le taux du phosphore dans les feuilles soit plus élevé dans celles du témoin et du traitement ST à 45 unités ne doit pas nous étonner. En effet, le rendement des épis de ces deux traitements est plus faible. La majeure partie de P_2O_5 absorbé serait resté dans les feuilles. Il n'a donc pu migrer vers les petits épis dont les besoins sont satisfaits par une faible quantité de phosphore. Il faut aussi noter que le taux de P_2O_5 dans les feuilles est plus faible pour la dose de 90 unités qui est la dose la plus proche de la dose optimale, (68,7 kg P_2O_5 /ha). Rappelons-nous aussi que 90 et 135 unités de P_2O_5 donnent des rendements dont la différence n'est pas statistiquement significative. Dans le cas de 135 unités on aurait une consommation de luxe du phosphore par la plante, ce qui pourrait être en rapport avec la teneur de P_2O_5 élevée dans les feuilles.

Il est nécessaire de dire que nous avons hérité ces données des essais conduits en 1980. Peut-être si nous avions participé à la mise en place de cet essai dès le début, nous aurions préconisé la détermination de P_2O_5 dans les feuilles durant la montaison, avant l'apparition des organes reproducteurs. Dans ce cas nous pouvons penser qu'il n'y aurait pas eu de migration du phosphore dans ces organes ; alors les résultats auraient pu paraître moins contradictoires ou plus logiques. Ces données révèlent, une fois encore de plus, que la dynamique du phosphore dans le sol et dans la plante est un phénomène complexe qui exige des études approfondies, patientes, et multidisciplinaires (18, 19, 20). Un certain nombre d'analyses foliaires et d'analyses chimiques de sol ont été faites, afin de mesurer l'effet de P_2O_5 sur les autres éléments dans la plante comme dans le sol.

Toutefois, nous pouvons conclure que, durant cette première année d'essai, le ST a eu des effets significatifs sur le rendement du maïs. Ce rendement a plus que doublé, à partir de la dose 90 unités, par rapport au témoin. Néanmoins les traitements 90 et 135 unités auraient les mêmes effets sur le rendement.

1.1.1.2 ANALYSES CHIMIQUES DE SOL

Pour apprécier le niveau des éléments fertilisants, le P_2O_5 y compris, avant la mise en place de l'essai en 1981, des analyses chimiques de sol ont été effectuées. Les résultats sont présentés au tableau 16 et la figure VI donne l'évolution de la teneur de P_2O_5 assimilable dans le sol en fonction des traitements de ST.

Figure VI: Teneur en Pppm

Teneur en Pppm dans le sol

du sol en fonction des différentes doses de PN et de ST

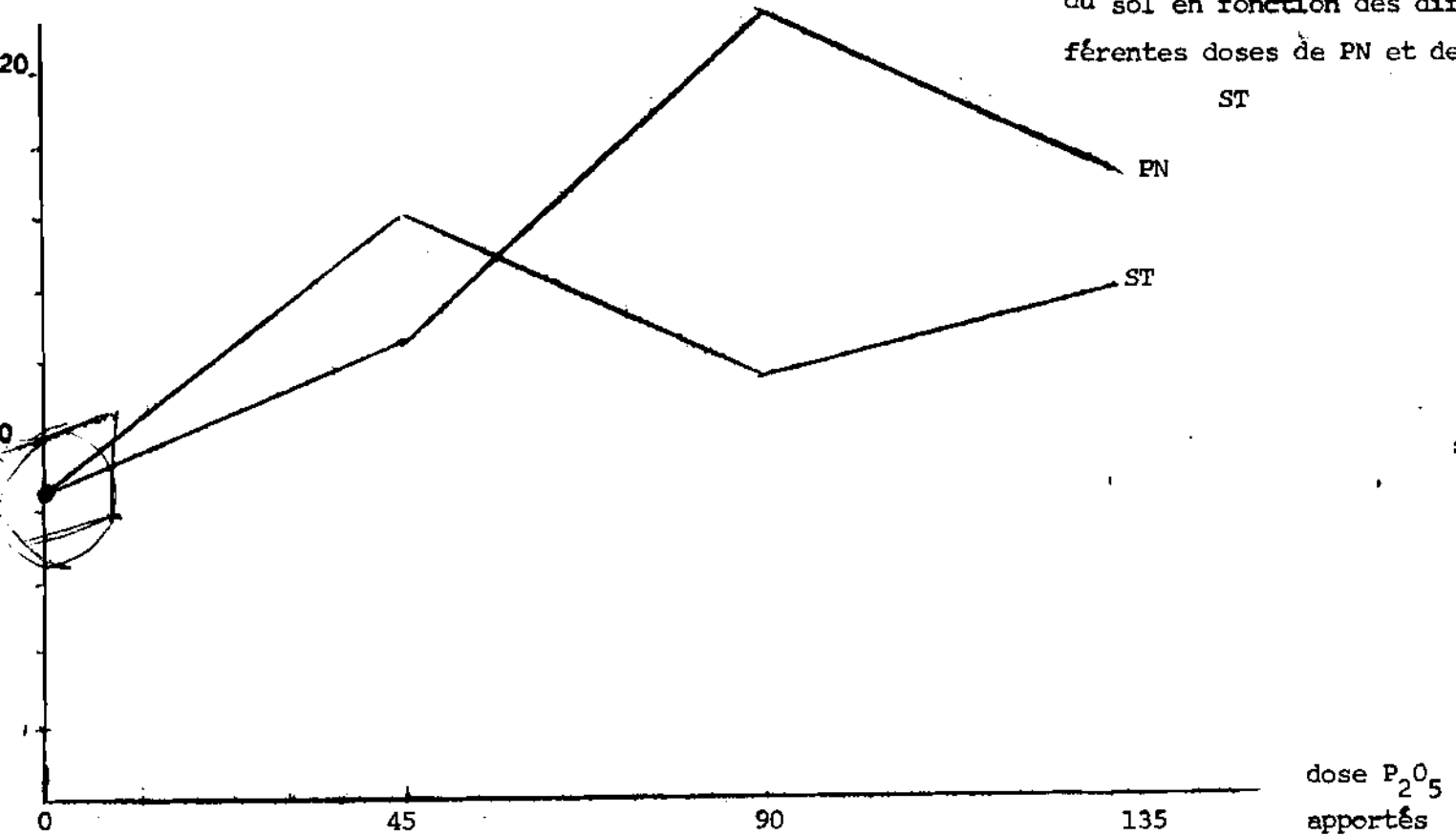


Tableau 16 : Effets résiduels de différentes doses de ST sur le p^H et la teneur des éléments fertilisants, kg/ha, après la récolte du maïs de la campagne 1980 (*), ...

Traitements Kg P ₂ O ₅ /ha	p ^H			P ₂ O ₅			K ₂ O		
	a	b	moyenne	a	b	moyenne	a	b	moyenne
(**) avant essai	-	-	6,4	-	-	67,1	-	-	530,6
0	6,3	6,2	6,25	46,5	41,3	43,9	366,3	406,7	386,5
45	6,7	6,1	6,4	67,1	98,1	82,6	358,2	379,8	369,0
90	6,2	5,9	6,05	62,0	56,8	59,4	431,0	366,3	398,65
135	5,8	6,1	5,95	82,6	62,0	72,3	342,1	328,6	335,4
Moyenne	6,25	6,075	6,16	64,55	64,5	64,55	374,4	370,4	372,39

(*) Il s'agit pour chaque échantillon, d'une analyse a et b nous permettant ainsi de considérer la moyenne
 a : 1^{ère} analyse
 b : 2^{ème} analyse

(**) Analyse faite par Soil Testing Laboratory Cooperative Extension Service, en juin 1980, avant la mise en place de l'essai : parcelle en jachère.

(Suite tableau 16)

Traitements Kg P ₂ O ₅ /ha	CaO			MgO		
	a	b	moyenne	a	b	moyenne
(**) avant essai	-	-	2695,8	-	-	639,7
0	3205,4	3086,4	3145,9	545,5	563,4	554,5
45	3822,7	3804,7	3813,7	581,4	552,2	566,8
90	2857,5	3144,8	3001,1	545,5	493,8	519,7
135	2680,1	2808,1	2744,1	511,8	509,5	510,7
Moyenne	3141,4	3211,0	3176,2	546,05	529,7	537,9

Il est clair que tout le P₂O₅ utilisé n'a pas été exporté par les récoltes. L'application de P₂O₅ en 1980, non seulement a contribué à l'augmentation des rendements (tableau 15) mais aussi à l'élévation du "pool" phosphorique du sol. C'est ainsi que nous justifions la mise en place de l'essai 1981 pour apprécier l'effet résiduel de l'application de ST en 1980.

On pourrait s'attendre toutefois, à une augmentation résiduelle de P₂O₅ dans le sol proportionnellement aux doses appliquées. Ceci n'a pas été le cas. La plus petite dose, 45 unités, contribuerait à une augmentation plus importante que les doses supérieures, c'est-à-dire 90 et 135 unités. Ce qui se justifierait par le faible rendement obtenu en 1980 avec cette dose de 45 kg de P₂O₅. L'exportation par les récoltes aurait été moindre dans ce cas.

Ces résultats, nous le reconnaissons, paraissent surprenants. Le taux de P₂O₅ dans les différentes parcelles traitées est perturbé. Plusieurs hypothèses peuvent être proposées pour essayer d'expliquer cette irrégularité :

- Le sol du site de l'essai est un sol sablo-argilo-limoneux dans les couches supérieures (tableau 4). Un tel sol se prête à la migration des éléments fertilisants dans les couches inférieures encore exploitables par les racines. Un taux appréciable de P₂O₅ aurait donc migré dans les horizons plus profonds, non concernés par l'analyse, mais exploitable par les racines du maïs.

- Une autre hypothèse que nous pourrions avancer, c'est l'insolubilisation du P_2O_5 . Elle aurait alors lieu sous forme précipitée avec le fer et l'alumine ou retrogradée dans les feuillets argileux (illite notamment).

- Remarquons aussi que le p^H diminue graduellement avec l'augmentation de l'apport de P_2O_5 . Cette diminution du p^H aurait pour effet de diminuer la solubilité de P_2O_5 résiduel par fixation sur les hydroxydes métalliques dans les couches faisant l'objet de notre analyse.

L'absence de corrélation entre le taux de P_2O_5 appliqué et le rendement de la campagne 1981 nous conduit aux remarques ci-après :

- soit une fraction de P_2O_5 a migré en profondeur dans les couches sous-jacentes.
- soit une fraction importante de P_2O_5 a été insolubilisée au moment de nos prélèvements pour l'analyse.

A en juger par les résultats de l'analyse, nous pouvons dire que l'apport de ST à différents niveaux a perturbé l'équilibre chimique du sol, notamment la teneur de P_2O_5 dans les 30 cm. Nous le verrons plus loin, les rendements de 1981, présentent la même tendance qu'en 1980 vis à vis de la réponse aux différentes doses de P_2O_5 appliquées.

Il faut aussi noter que les chiffres présentés ici représentent les échantillons combinés de 5 répétitions. En fait, ils devraient représenter les moyennes de 5 analyses séparées. Les résultats ^{auraient} été peut-être moins erratiques. Mais le coût de toutes les analyses au nombre de 80, représentant les 80 parcelles constituant cet essai, aurait été prohibitif. Ces analyses auraient dû être effectuées sur des échantillons prélevés aussi à différentes profondeurs : 0-30 cm, 30 - 40 cm, 40 - 50 cm. Ainsi nous aurions pu observer le gradient éventuel de P_2O_5 dans le profil cultural. Nous aurions eu alors environ 240 échantillons à analyser. Le coût de cet essai aurait été ^{plus} encore prohibitif. Ce sont là des contraintes contre lesquelles nous n'avons pu faire face.

La dynamique des éléments minéraux, particulièrement le phosphore dans le sol, est un phénomène complexe dont l'étude requiert la connaissance de la chimie du sol, la main d'oeuvre, le financement et surtout du temps. Cette étude ne constitue donc qu'un début de solution à un problème très complexe.

Quant à la dynamique de K_2O et MgO après la première année d'essai, 1980, elle nous apparaît plus compréhensible. Il est visible que les récoltes entraînent une exportation appréciable de ces éléments qui, initialement, étaient de 530,6 et 639,7 kg/ha. Ces teneurs sont, respectivement pour K_2O et MgO , descendues à une moyenne de 372,4 et 537,9 kg/ha après la campagne 1980. La corrélation inverse obtenue entre le rendement et le taux résiduel de ces éléments dans le sol dénote une fois de plus le comportement de ces éléments dans la solution du sol.

Il est intéressant de constater que, s'agissant de K_2O et de MgO , les résultats sont toujours facilement explicables. En revanche, dès qu'il s'agit de P_2O_5 et de CaO , jouant un rôle important dans la chimie du sol, la situation devient immédiatement spéculative. Par exemple, étant donné la haute teneur de CaO dans les sols de Gampéla (tableau 7, 9, 12, 16.) on devrait s'attendre à un p^H plus élevé. Tel n'est pas le cas, cependant. Il est apparent, à partir de cette première étude, que la chimie du sol de Gampéla est relativement complexe et que des études approfondies, concernant strictement la dynamique du sol, doivent être envisagées. Elles permettront d'élucider certains problèmes relatifs à la disponibilité des éléments nutritifs dans ces sols et à leur absorption par les plantes.

Toutefois nous pouvons conclure que l'apport des doses croissantes du ST, durant la campagne 1980, a contribué non seulement à l'augmentation des rendements mais aussi à améliorer la teneur en P_2O_5 du sol.

1.1.2 LES EFFETS IMMEDIATS DU PHOSPHATE NATUREL DE KODJARI (PN) : Campagne 1980

1.1.2.1 LES EFFETS IMMEDIATS DE PN SUR LE RENDEMENT DU MAÏS.

Au cours de la campagne 1980, les effets immédiats des doses croissantes de PN sur le rendement du maïs, Jaune Flint, ont été observés à la Station Expérimentale de Gampéla. Comme le révèle le tableau 17, PN, quelle que soit la dose, n'a eu aucun effet sur le rendement.

Tableau 17 : Effets immédiats de différentes doses de PN sur le rendement du maïs et la teneur des feuilles en P.

Traitement Kg P ₂ O ₅ /ha	Rendement moyen Kg/ha	% de baisse par rapport au témoin	Teneur des feuilles en Kppm (*)
0	1329	-	0,977
45	1241	- 6,6	0,554
90	1248	- 6,1	0,718
135	1150	-13,1	0,703
Ppds à 5 %	283	-	0,102
C.V.	22,14	-	6,19

Les différences apparentées observées entre les rendements ne sont pas statistiquement significatives d'après l'analyse de variance (Annexe I, tableau I₁). Le phosphate naturel de Kodjari dont la solubilité varie entre 25 et 33 % par an en fonction de la pluviométrie et du type de sol n'a pas donné d'effets significatifs durant cette première année d'essai . Il aurait même tendance à diminuer les rendements.

Outre l'insuffisance pluviométrique, la répartition décadaire des pluies était très mauvaise en 1980. Cet aléa climatique n'a pas été sans effet sur la solubilité du PN. Nous pensons que sa solubilisation a été faible justifiant ainsi les bas rendements. En effet, des études antérieures menées par l'IRAT ont prouvé que l'efficacité agronomique des phosphates naturels s'atténue avec la pluviométrie. Elle est même très variable quand les pluies annuelles sont inférieures à 700 mm. On a ainsi trouvé à Sarria, en 1965 marquée par une chute totale d'eau de 831 mm, que l'effet immédiat du phosphate naturel sur le rendement du maïs est de + 12 % par rapport au témoin. En revanche, ce rendement avait baissé de - 6 % à Bambey caractérisé par une pluviométrie de 700 mm (9).

(*) Analyse faite par Soil Testing Laboratory Cooperative Extension Service, University of Georgia, sur des échantillons de feuilles prélevés au moment de la récolte de 1980.

Une des causes possibles de cette faible solubilisation évoquée serait liée à la finesse du phosphate naturel employé. Cette finesse du phosphate a été démontrée comme un facteur important de la dissolution et de l'assimilabilité du phosphate naturel lorsque la pluviométrie reste déficitaire (16). En effet, on a trouvé que le PN broyé à 60 μ m de diamètre donne des réponses supérieures à un PN 90 μ m que nous avons employé dans cette étude.

Comme dans le cas de ST, aucune corrélation directe, entre le taux de P_2O_5 dans les feuilles et la quantité d'engrais employé, n'a pu être décelée. Il n'existe non plus de corrélation entre la teneur des feuilles en phosphore et le rendement de 1960. En effet, les résultats, consignés dans le tableau 17, révèlent que la teneur en P_2O_5 des feuilles du témoin (0,977 ppm) est plus élevée que celle des autres traitements (0,554 à 0,718 ppm). Rappelons-nous que PN, à partir de la dose 45 unités, exercerait un effet dépressif sur le rendement. Ce rendement reflète en quelque sorte la quantité de P_2O_5 absorbée par la plante. Il n'est donc pas surprenant que le taux de P_2O_5 des feuilles du témoin soit plus élevé que celui des autres traitements. C'est un fait nutritionnel précédemment décrit (page 52). La teneur la plus faible (0,554 ppm) a été notée avec la dose la plus faible de PN (45 unités). Hormis ce cas particulier, nous pouvons penser que la teneur en P_2O_5 des feuilles diminuerait avec les doses croissantes de PN. Ce qui serait en relation avec les rendements aussi. En effet, nous remarquons que, abstraction faite du traitement PN à 45 unités, les rendements augmentent avec la teneur en P_2O_5 des feuilles et diminuent avec les doses croissantes de PN.

Aussi, en rapport avec les traitements ST (tableau 15, page 50), nous constatons que pour la même dose P_2O_5 , la teneur des feuilles en P_2O_5 est plus élevée pour le facteur ST que celle du facteur PN. Cependant, à la dose de 90 unités, quel que soit le facteur ST ou PN, les teneurs des feuilles en P_2O_5 sont sensiblement égales : 0,733 ppm pour le facteur ST et 0,718 ppm dans le cas de PN. Ce qui se justifierait par le fait que la dose 90 unités est plus proche de la dose optimale 68,7 kg P_2O_5 déterminée en annexe I.

Nous pensons que PN et ST auraient des effets contraires sur le rendement du maïs et la chimie du sol de Gampéla, pilier de ces rendements. Nous avons noté un effet dépressif de PN sur le rendement. Nous pensons donc que son apport aurait sans doute modifié la teneur du phosphore assimilable ou des autres éléments minéraux dans les horizons explorables par la racines du maïs au cours de cette première année de son application.

1.1.2.2 ANALYSES CHIMIQUES DE SOL

Pour apprécier le niveau des éléments fertilisants en particulier celui de P_2O_5 , avant la mise en place/l'essai en 1981, des analyses chimiques d'échantillons de sol prélevés dans les parcelles traitées en 1980, ont été effectuées. Les résultats de ces analyses sont consignés dans le tableau 18 et la figure VI, page 53.

Tableau 18 : Effets résiduels de différentes doses de PN sur le p^H et la teneur des autres éléments minéraux du sol, kg/ha, après la récolte du maïs : campagne 1980 (*)

Traitement Kg P_2O_5 /ha	p^H			P_2O_5			K_2O		
	a	b	moyenne	a	b	moyenne	a	b	moyenne
Avant essai (**)	-	-	6,4	-	-	67,1	-	-	530,6
0	6,3	6,2	6,25	46,5	41,3	43,9	366,3	406,7	386,5
45	6,1	5,9	6,0	56,8	72,3	64,5	328,6	331,3	330,0
90	6,7	6,4	6,55	103,2	118,7	111,0	452,5	414,8	433,7
135	6,2	5,7	5,25	92,9	82,6	87,8	282,8	325,9	304,4
Moyenne	6,325	6,05	6,1875	74,875	78,725	76,8	357,55	369,675	363,6

Traitement Kg P_2O_5	CaO			MgO		
	a	b	moyenne	a	b	moyenne
Avant essai	-	-	2695,8	-	-	639,7
0	3086,4	3205,4	3145,9	545,5	563,4	554,5
45	2648,7	2722,8	2685,7	500,6	496,1	498,3
90	3881,0	3604,9	3743,0	543,2	500,6	521,9
135	2767,7	2570,1	2668,9	435,5	413,0	424,3
Moyenne	3095,95	3025,8	3060,875	506,2	493,275	424,3

(*) Pour chaque échantillon, deux analyses a et b ont été effectuées par le même laboratoire Soil Testing Laboratory Cooperative Extension Service.

(**) Analyse faite en juin 1980 avant la mise en place de l'essai.

Il faut se rappeler que le PN appliqué contient 34,45 % de CaO et 25,38 % de P_2O_5 , le reste étant constitué d'hydroxydes métalliques (tableau 11).

Comme dans le cas de ST, l'apport de PN contribue à alimenter le "pool" phosphorique dans le sol. Son action est même plus régulière. En effet, une bonne corrélation ($r = + 0,77$) a été trouvée entre les doses employées et l'augmentation du "pool". Il est à noter aussi que le PN augmente la teneur en P_2O_5 du sol d'une façon plus spectaculaire que ST (tableau 16, page 57). Cependant, l'apport de PN à la dose 135 unités, a moins contribué à l'augmentation du "pool" de P_2O_5 de la solution et du complexe adsorbant du sol. PN a donc augmenté le "pool" phosphaté. Cependant nous pouvons nous attendre à une augmentation plus spectaculaire de la teneur du sol P_2O_5 en fonction des doses de PN. Tel n'est pas le cas. Essayant de comprendre ce phénomène, nous pouvons avancer les hypothèses suivantes :

- Même après toute une saison pluvieuse, la solubilité de PN a été relativement faible. Jointe à cette faible solubilité, la dynamique du sol doit aussi entrer en ligne de compte. En effet, comme énoncé antérieurement quand il s'agissait d'expliquer le comportement de ST, la texture essentiellement sableuse des sols de Gampéla, se prête au lessivage en profondeur des éléments minéraux. Ainsi les horizons de : profondeur fournissent des indications à ce sujet.

- Nous ne devons pas exclure non plus la fixation d'une bonne partie de P_2O_5 libéré sur les hydroxydes de fer et d'alumine sous forme insoluble. Ce qui aurait pour effet la réduction du P_2O_5 assimilable ou disponible.

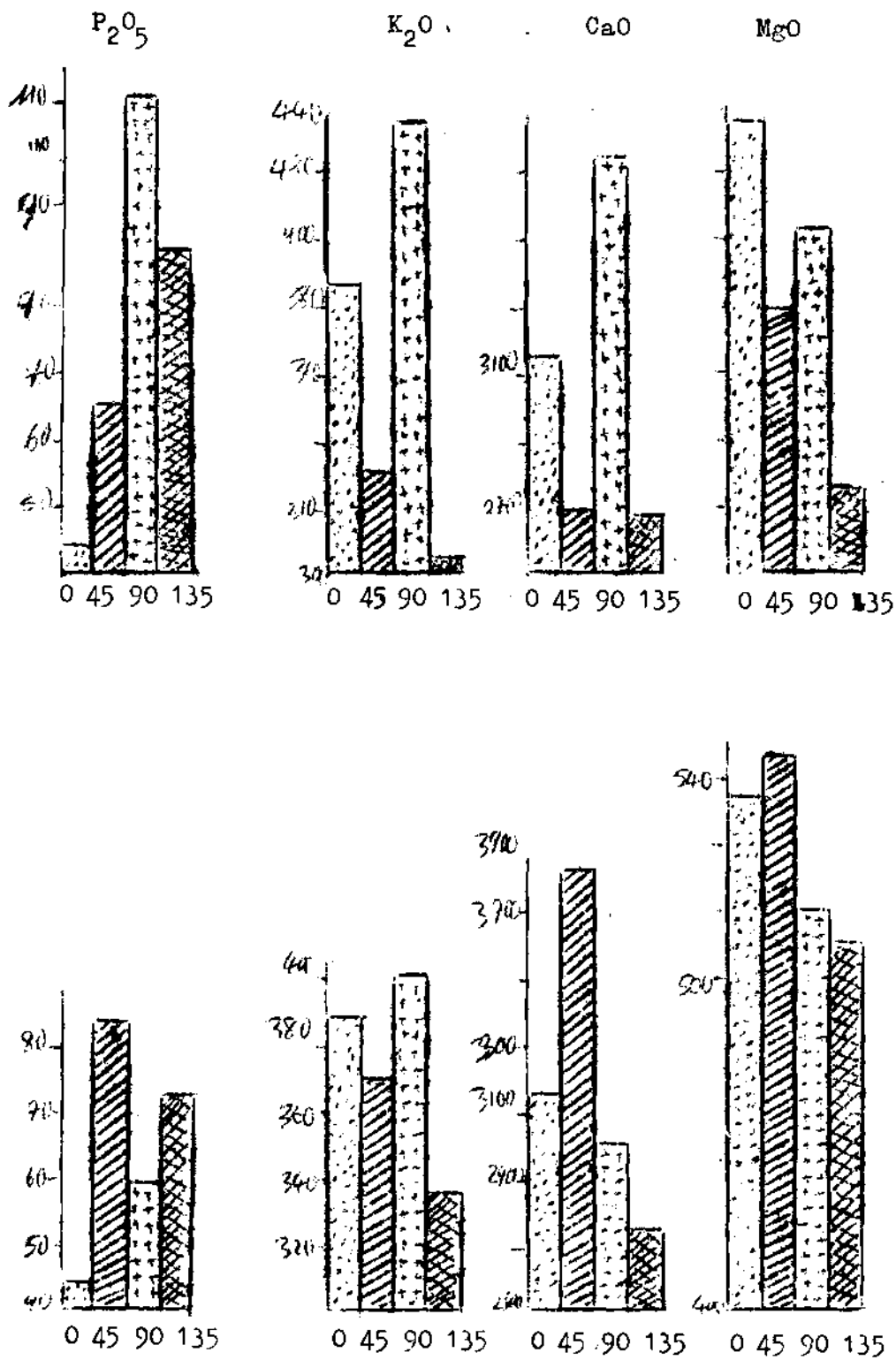
- Toutefois, nous devons nous rappeler qu'une teneur élevée en CaO, en corollaire avec le p^H , réduisait la solubilité des phosphates naturels (15). Le sol de Gampéla en est bien pourvu. Toutes les analyses chimiques de sol révèlent un taux élevé de CaO. Dans les conditions des sols de Gampéla la solubilisation du PN, après une campagne, est faible. Ce qui se justifierait par les teneurs élevées en CaO révélées par les analyses chimiques de sol en juin 1981 : 3060,875 kg de CaO en 1981 contre 2695,8 kg de CaO en 1980. Nous pensons que cette augmentation serait aussi influencée par le travail du sol. En année de jachère, un certain équilibre chimique du sol était maintenu. Cet équilibre aurait, sans doute, été perturbé après la première année d'essai. Les échanges entre les horizons profonds et superficiels ont été facilités. Ce qui confirmerait les taux élevés de CaO dans la couche concernée par notre analyse.

En ce qui concerne le K_2O et le MgO , la diminution de leur teneur par rapport à l'analyse de juin 1980 sur la parcelle en jachère, révèle une perte de ces éléments par lessivage, en profondeur ou en surface, et par les exportations de la récolte ~~antérieurement~~ *misés en évidence* en parlant des effets de ST

En d'autres termes, dans le contexte de cette étude, il n'existe pas de synergisme ou d'antagonisme entre le phosphore et l'absorption de ces éléments. L'absorption de l'un par le maïs ne dépend pas de l'autre et vice versa.

En ce qui concerne la teneur en P_2O_5 , les résultats ne sont pas également convaincants comme dans le cas de ST. Précisons aussi que les teneurs en CaO , MgO et K_2O n'ont pas significativement varié après l'application de PN à différentes doses. La balance de ces éléments dans le sol paraît indépendante de l'apport phosphaté, ^{soient} quelle que les doses ou la forme. La figure VII ^{et} résume cette situation. Toutefois, il faut remarquer que le PN à la dose 90/135 unités auraient des effets contraires à ceux de ST aux mêmes doses sur le taux de P_2O_5 dans le sol. Ce fait pourrait permettre de comprendre le comportement de PN en présence de ST.

Figure VII : Effets de différentes doses de PN et de ST du sol après la récolte de 1980. sur la teneur en P_2O_5 , K_2O , MgO CaO .



1.13 LES EFFETS IMMEDIATS DU PN ET DU ST COMBINES : Campagne 1980

1.1.3.1 LES EFFETS IMMEDIATS DE PN x ST SUR LE RENDEMENT DU MAÏS

Les effets combinés de PN et de ST, durant cette première année d'essai, sur le rendement du maïs n'ont pas été statistiquement significatifs. Les résultats consignés dans le tableau 19.

Tableau 19 : Effets de différentes doses de PN et de ST combinées sur le rendement du maïs, la teneur des feuilles en P

Traitements KgP ₂ O ₅		Rendement moyen kg/ha	% d'augmentation par rapport au témoin	Teneur des feuilles en P ppm
PN	ST			
0	0	1329	0,-	0,977
45	45	1769	+ 33,18	0,942
45	90	2062	+ 55,15	0,902
45	135	2121	+ 59,59	1,353
90	45	1790	+ 34,69	1,060
90	90	2212	+ 66,52	1,058
90	135	2238	+ 68,40	1,285
135	45	2022	+ 52,14	0,658
135	90	1696	+ 66,14	0,847
135	135	2245	+ 68,92	1,078

L'examen de ce tableau révèle qu'à l'issue de cette campagne 1980, l'interaction PN x ST, à quel que niveau que ce soit, n'a pas été significative. Ce qui est prouvé aussi par l'analyse de variance (annexe I)

Cependant, à l'exception de l'apport de ST à 45 unités combiné avec les doses croissantes de PN, toutes les interactions ont été significatives par rapport au témoin et au facteur PN.

En revanche, les effets de l'interaction ne sont pas statistiquement différents de ceux de ST employé seul (figure VIII page 65)

A la lumière de cette figure nous pensons que seul le super triple a contribué à augmenter les rendements, indépendamment de sa combinaison avec le PN. Cependant, les effets dépressifs de PN sembleraient disparaître en présence de ST. En effet, PN à la dose 135 unités qui, employé seul, avait provoqué une baisse de rendement de l'ordre de 12%, en présence de ST à 45 unités a permis une augmentation de 52 % par rapport au témoin. Rappelons que l'augmentation des rendements due à l'apport de ST seul à 45 kg P_2O_5 /ha a été de l'ordre de 33,8 % par rapport au témoin (Annexe I, tableau I₅).

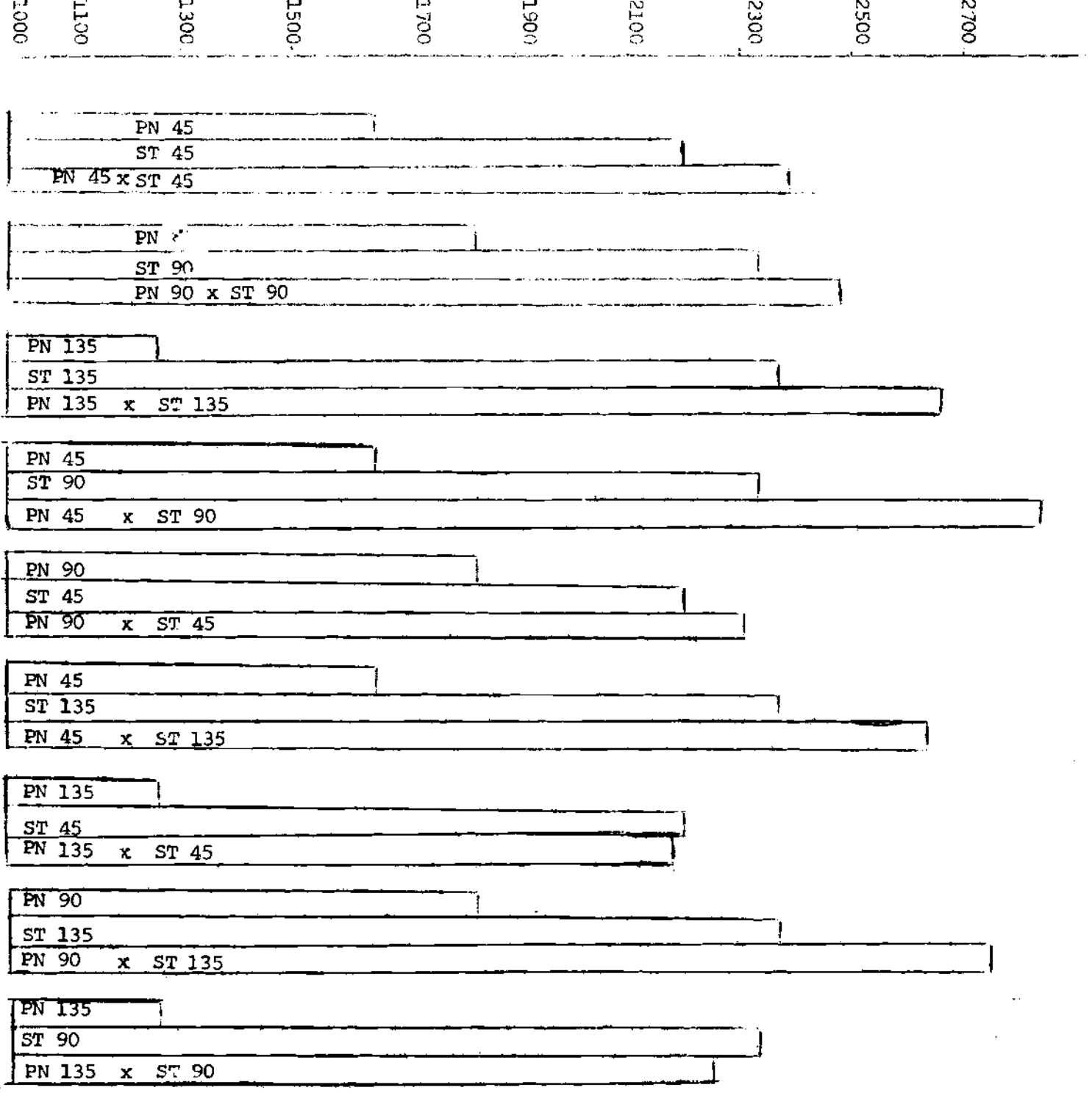
Il ressort de ces tableaux 19, I₅ et de la figure VIII que les meilleures combinaisons, celles donnant les rendements les plus élevés, par rapport au témoin, sont obtenues avec la dose moyenne de ST et de PN, en l'occurrence $PN_{90} \times ST_{90}$, ou avec une dose élevée de ST en combinaison avec PN à 90 unités. Ces résultats ne nous paraissent pas surprenants quand nous nous rappelons les faits suivants :

- PN à la dose 90 unités, employé seul, a donné des rendements plus élevés que les autres doses (tableau 17)
- 90 et 135 unités de P_2O_5 , dans le cas de ST employé seul, ne sont pas statistiquement différents (tableau 15)
- 90 unités de P_2O_5 serait plus proche de la dose optimale, 68,7 kg de P_2O_5 /ha, que toutes les autres doses.

S'agissant de la teneur des feuilles en P_2O_5 , nous constatons que la teneur maximale est atteinte avec le traitement $PN_{45} \times ST_{135}$ tandis que le minimum est obtenu avec $PN_{135} \times ST_{45}$. Cependant, aucune corrélation n'a été détectée entre le rendement et le contenu des feuilles en P_2O_5 comme dans les cas précédents. Les causes possibles de ces fluctuations ont été évoquées plus haut quand des tendances similaires ont été observées avec ST et PN employés seuls. Nous pensons, rappelons-le, à la période de prélèvement des échantillons de feuilles qui a eu lieu au moment de la récolte.

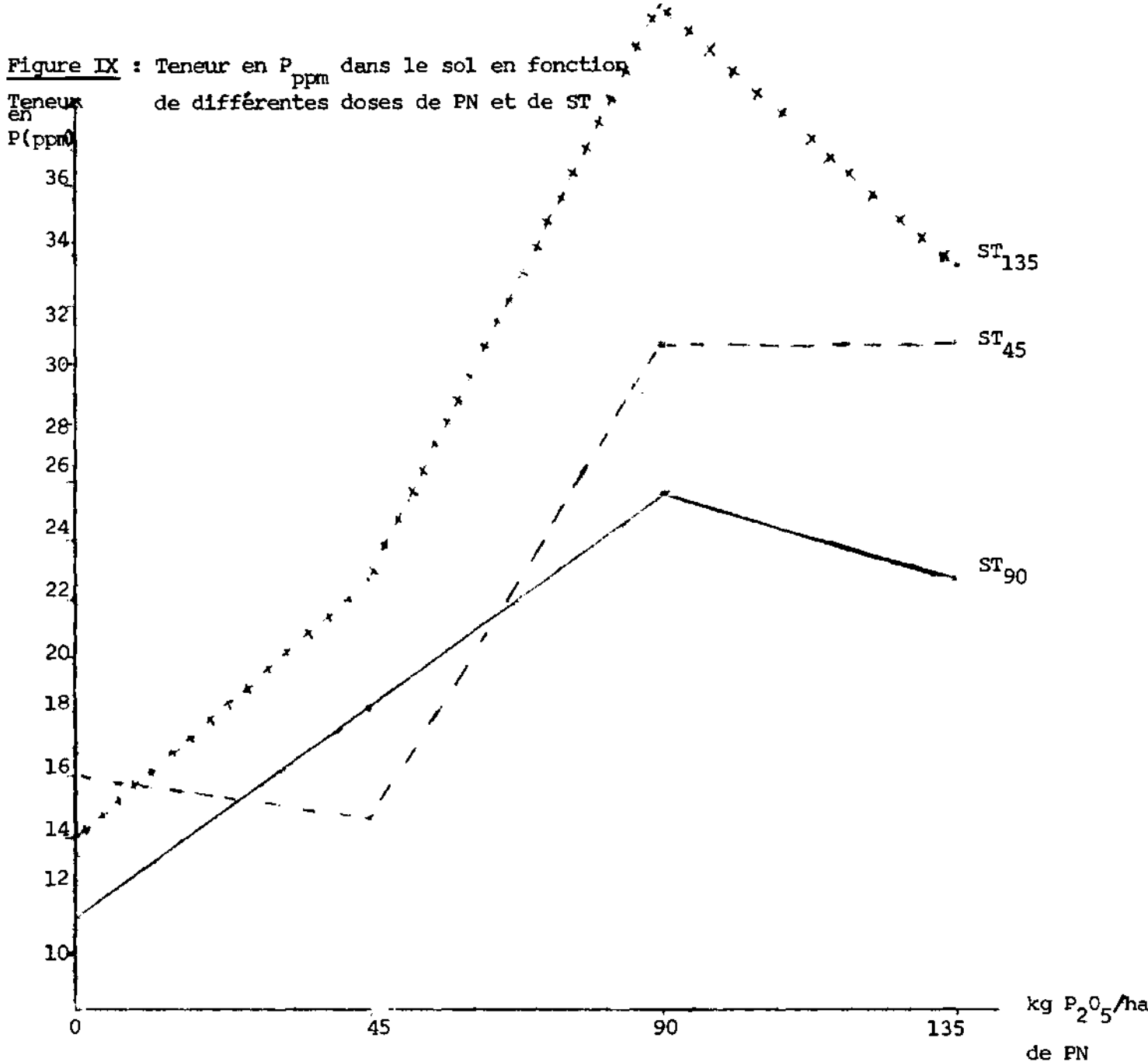
Figure VIII : Rendements moyens, kg/ha des formes combinées comparés aux formes simples (2^e campagne)

Rendement (kg/ha)



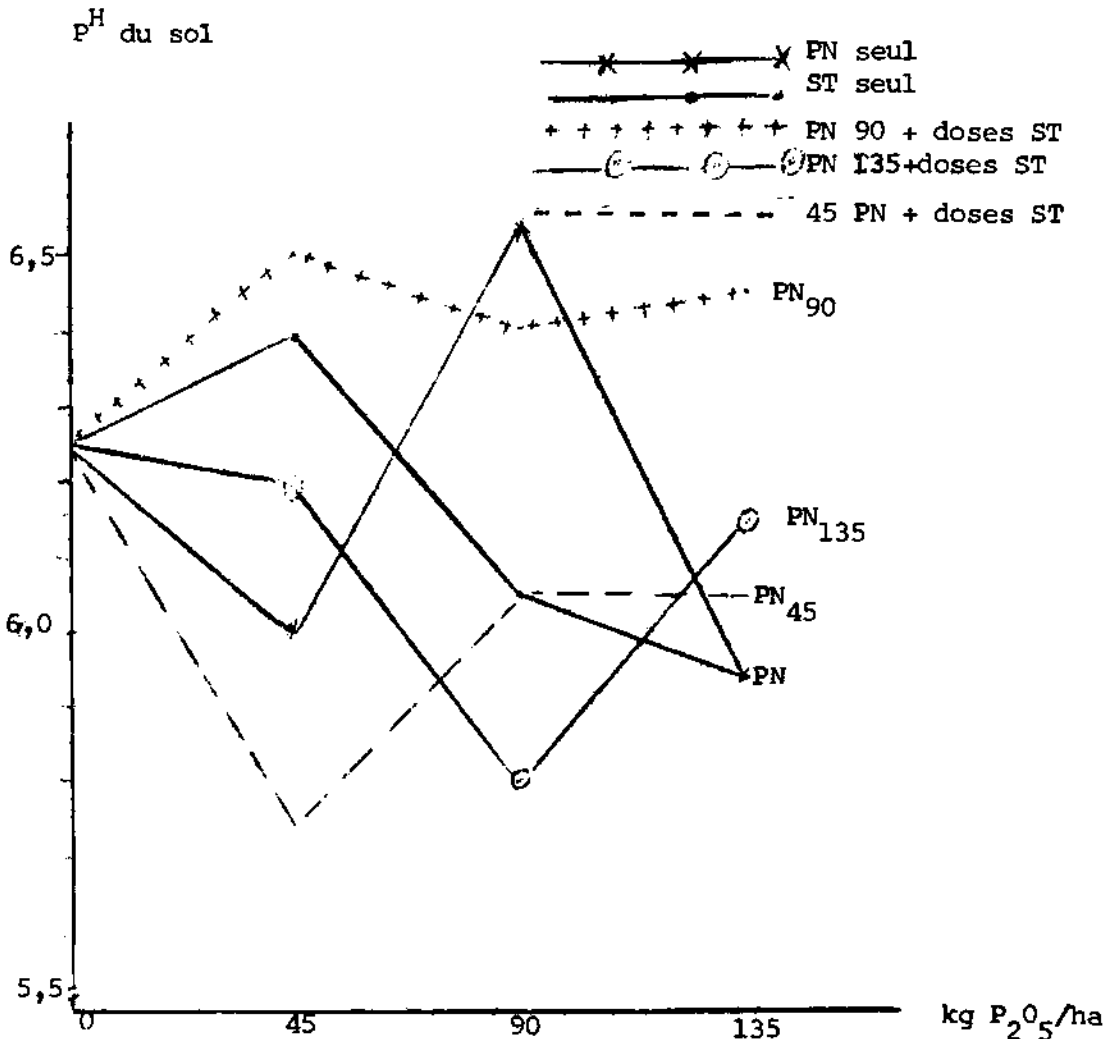
1.1.3.2 ANALYSES CHIMIQUES DE SOL

Comme dans les cas précédents qui traitaient de ST et de PN seuls (tableau 16 et 18), l'apport de P_2O_5 sous forme de PN et de ST combinés contribue à l'augmentation du "pool" phosphorique de la solution du sol (figure IX). On peut même dire que dans ce cas, l'augmentation est plus significative. 90 unités de PN et sa combinaison avec les différentes doses de ST semblent être plus efficaces. Ainsi, la combinaison 90PN et 135 ST a donné une teneur de 216,8 kg de P_2O_5 /ha contre 110 et 72,3 kg/ha de P_2O_5 pour 90 PN et 135 ST, respectivement.



La solubilité du PN semble augmenter en présence de ST. En effet, ST par son effet acidifiant diminue le p^H du sol, un des facteurs influant favorablement sur la solubilité de PN en dépit des autres facteurs tels que la finesse de broyage, la pluviométrie et les caractéristiques physico-chimiques du sol. Un p^H légèrement acide augmente la solubilité de PN et cette solubilité est plus élevée quand le p^H est voisin de la neutralité ($6,5 \leq p^H \leq 7$) (16). Toutefois, quand le p^H du sol devient plus acide, le P_2O_5 de la solution se fixe sur le fer ou l'alumine formant ainsi des complexes insolubles. Dans les conditions de cette étude, il est remarquable de constater, comme l'indique la figure X, que le p^H du sol tend à diminuer avec l'augmentation de la dose de ST sans toutefois accuser une corrélation significative.

Figure X Dynamique du p^H du sol en fonction des doses croissantes de PN et de ST, seules ou combinées.



Concomitamment, on observe une forte corrélation ($r = + 0,79$) entre les traitements et la teneur du sol en P_2O_5 due principalement à l'application de PN jusqu'à la dose de 90 unités. (Figure VI, IX)

En effet, s'agissant de la combinaison de PN x ST, il est intéressant de noter que l'allure des courbes de la figure IX, bien que quantitativement différente, est similaire à celle de PN seul (figure VI). Dans les deux cas, PN, à la dose de 135 unités, exerce un effet dépressif sur le "pool" de P_2O_5 de la solution du sol. Cet effet dépressif de PN à cette teneur s'est manifesté avec une régularité surprenante dans plusieurs paramètres (figure VI, IX, X, XV). Ces observations constantes nous amènent à penser qu'au delà d'un certain seuil la quantité d'engrais employée, en l'occurrence le PN à la dose de 90 unités, modifie les équilibres ioniques dans la solution du sol, avec pour conséquence la réduction de la croissance et du développement de la plante.

Dans le même ordre d'idée, on peut émettre l'hypothèse selon laquelle, PN inhiberait sa propre solubilité au delà de 90 unités. Ceci expliquerait qu'à la dose 135 unités, PN ne contribue plus à l'augmentation du pool phosphorique. Nous pouvons supposer, et d'autres faits étayeront cette supposition, que dans le cas des sols de Gampéla, tout au moins, cette dose est trop élevée.

En suivant la même ligne de raisonnement, on peut aussi avancer cette hypothèse : en deçà d'un certain seuil, l'application d'un engrais, à une certaine dose, peut contribuer non seulement à sa propre absorption mais aussi à l'augmentation de l'absorption des réserves de même nature du sol. Ainsi à la dose de 45 kg P_2O_5 , PN exercerait très peu ou pas de tension dans la solution du sol. Mais à cause de cette faible dose et à cause de la solubilité lente liée à PN, la quantité de P_2O_5 apportée par PN à cette dose à la solution du sol, serait relativement négligeable.

En même temps, cette faible quantité favoriserait aussi l'absorption du phosphore des réserves limitées du sol et de celui apporté par ST à la dose de 45 unités. Ce qui expliquerait cette tendance à la baisse observée du P_2O_5 du sol pour le traitement $PN_{45} \times 57_{45}$.

A partir des résultats de cette première campagne d'essai nous pouvons essayer de dégager un certain nombre de faits.

PN à faibles doses n'a pas amélioré la teneur du sol en phosphore assimilable. Il n'a pas eu des effets sur le rendement du maïs. Employé seul, il aurait un effet dépressif sur la croissance et le développement de la plante. En dépit de la faible pluviométrie de la campagne 1980 et de la faible solubilité de PN, l'apport des différentes doses croissantes de PN aurait plutôt servi à l'augmentation du "pool" de P_2O_5 du sol contrairement à ST qui aurait contribué plus à l'élévation des rendements, ce qui confirme les effets rapides de ST et ceux de PN qui sont lents justifiant ainsi la mise en place de l'essai de 1981. Il s'agira de mesurer les effets résiduels de ces engrais, après une année d'application sur le comportement du maïs et/l'arachide.

Il ressort aussi de cette étude que la dynamique des réserves minérales des sols de Gampéla, le P_2O_5 et CaO en particulier, est un problème complexe.

La résolution de ce problème requiert donc des études multidisciplinaires, notamment des études physico-chimiques et biologiques des sols.

1.2. LES EFFETS RESIDUELS DU PN ET DU ST SUR LE MAÏS : Données de la campagne 1981

Pour mémoire, rappelons que cet essai, mis en place en 1980, dans un dispositif en split plot, comportait deux facteurs : PN et ST (cf matériels et méthodes page 33). Durant cette deuxième campagne, aucun nouvel apport d'engrais phosphaté n'a été utilisé. Cependant, chaque parcelle a reçu une fumure uniforme de 150 kg/ha d'urée fractionnée en deux applications.

Comme dans la section précédente, nous analyserons successivement les effets résiduels du ST, puis ceux du PN et nous conclurons par ceux des interactions sur le comportement du maïs.

1.2.1. LES EFFETS RESIDUELS DU ST : 2^e campagne, 1981

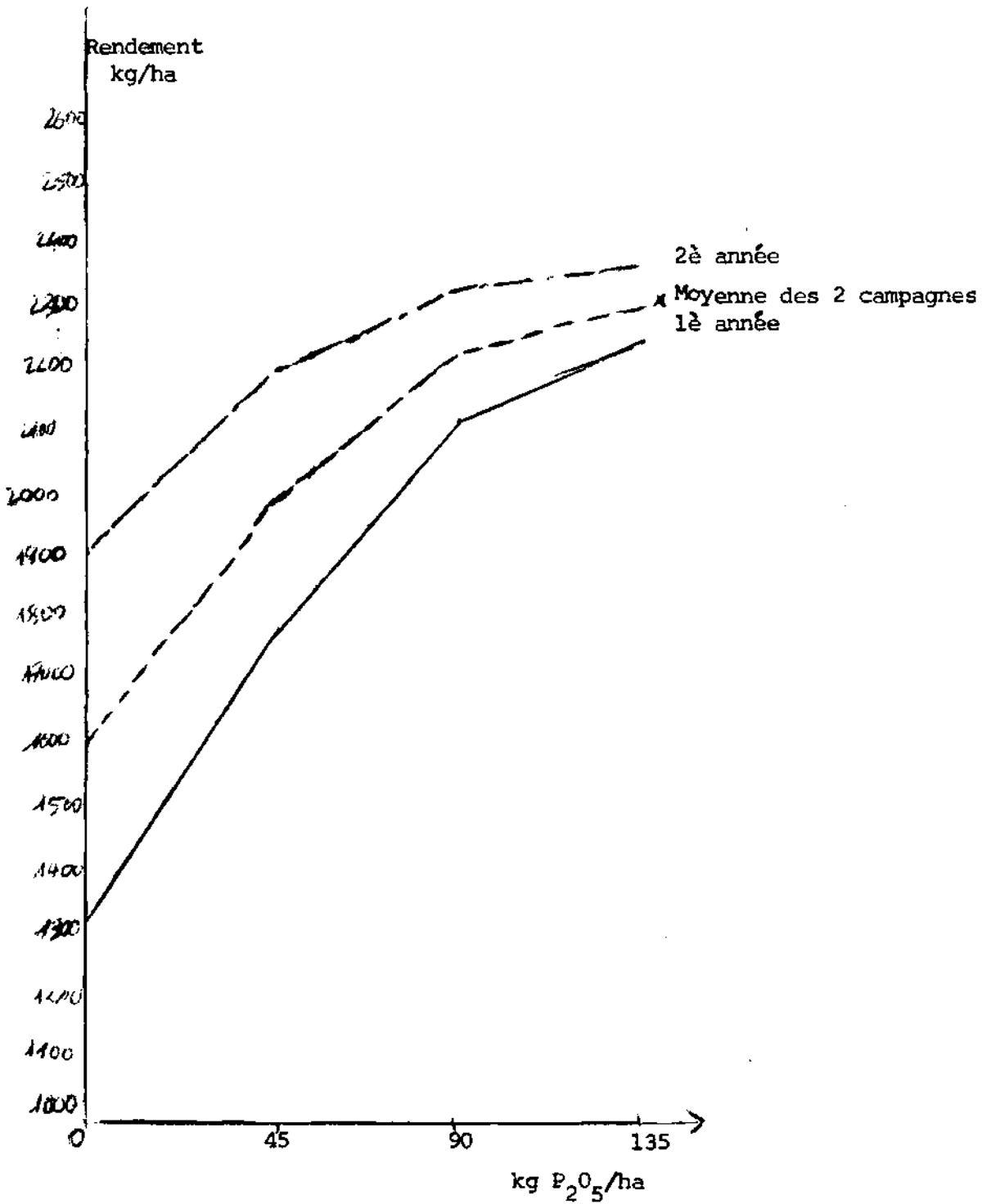
1.2.1.1 LES EFFETS RESIDUELS DU ST SUR LE RENDEMENT DU MAÏS

Les résultats des effets résiduels du ST sur le rendement du maïs sont présentés dans la figure XI. Dans cette même figure sont consignés les rendements de la campagne 1980 et les rendements moyens des deux campagnes. Il ressort que, même une année après son application, le super triple a contribué à l'augmentation des rendements. L'allure de toutes les courbes est identique.

Les rendements de la campagne 1981 sont supérieurs à ceux de l'année d'application de l'engrais, 1980. L'augmentation des rendements de 1981, par rapport au témoin est plus faible que celle de l'année 1980. En d'autres termes, les rendements ont moins varié en 1981. Cette situation inattendue nécessite quelques explications.

Rappelons-nous qu'avant la mise en place de cet essai en 1981, des analyses chimiques de sol, jusqu'à une profondeur de 30 cm, ont été effectuées. Selon ces analyses, le ST, après la campagne 1980, avait très peu contribué à augmenter le "pool" de phosphore dans le sol (tableau 16, figure VI).

Figure XI : Effets de Super triple sur le rendement du maïs (kg/ha)



Il paraîtrait donc surprenant que nous obtenions à la campagne 1981 des rendements statistiquement significatifs dus aux effets résiduels du ST, particulièrement aux doses de 90 et 135 unités. Si nous nous référons aux résultats attribués aux différentes doses de ST à la campagne 1980, avant leur exportation par une récolte, nous pourrions être tentés de qualifier d'absurdes les résultats obtenus en 1981.

Une forte corrélation ($r = +0,97$) a été trouvée entre le taux du ST et le rendement en 1980, mais aucune corrélation n'a été détectée entre la teneur du phosphore du sol au début de la campagne 1981 et les rendements de la même campagne. Compte tenu des antécédents, cela pourrait paraître paradoxal. Pourtant nous pensons que ce phénomène est explicable et nous croyons en avoir ébauché une explication quand nous essayons de justifier les fluctuations résiduelles de P_2O_5 dans le sol (cf page 55). Pour ne pas nous répéter, nous nous contenterons d'ajouter, en guise de complément à ces explications, que les racines de maïs peuvent explorer une profondeur de 45 - 65 cm quand des obstacles physiques n'entravent pas leur pénétration (10).

Ainsi quand nous ... nous rappelons que l'analyse chimique effectuée n'intéressait que les 30 premiers cm du sol et que le phosphore, dans un sol sablo-argilo-limoneux comme celui du site de l'essai, se prête à l'infiltration dans les horizons profonds, le paradoxe est levé. Il eût été souhaitable, cependant, pour confirmer ou infirmer notre raisonnement que le mouvement du P_2O_5 dans le sol fût suivi dans les couches plus profondes. Mais les contraintes à cette réalisation ont déjà été mentionnées (page 55).

Quand nous nous référons aux rendements de la campagne 1980, l'année de l'application de ST et au contenu résiduel de P_2O_5 dans le sol, un an plus tard (tableau 15, 16), indépendamment des considérations antérieures, nous devons nous attendre à une diminution de rendements pour la campagne 1981.

Tel n'a pas été le cas (figure XI, annexe I, tableau I₆). Même le témoin de 1981 est de beaucoup supérieur à celui de 1980 (44 % plus élevé). Cette situation est due principalement à la pluviométrie de l'année 1981 qui non seulement était abondante mais aussi bien répartie. Aucune phase du cycle de la plante pour cette campagne n'a été sujette au "stress" hydrique (figure XII).

Comme on peut le voir, aucune décade durant la campagne n'a été caractérisée par une pluviométrie inférieure à la demie somme de l'évapotranspiration potentielle de Penmann (ETP/2).

1.2.1.2 LES EFFETS RESIDUELS DU ST SUR LA CROISSANCE ET LE DEVELOPPEMENT VEGETATIFS

Au cours de cette campagne 1981, des observations ont été effectuées sur la croissance et le développement végétatifs du maïs. La figure XIII représente la vitesse de croissance tandis que la figure XIV donne une idée des effets résiduels de ST sur la précocité du maïs.

Figure XIV : Nombre de jours après le semis pour l'apparition de 50 % ou plus de panicles mâles.

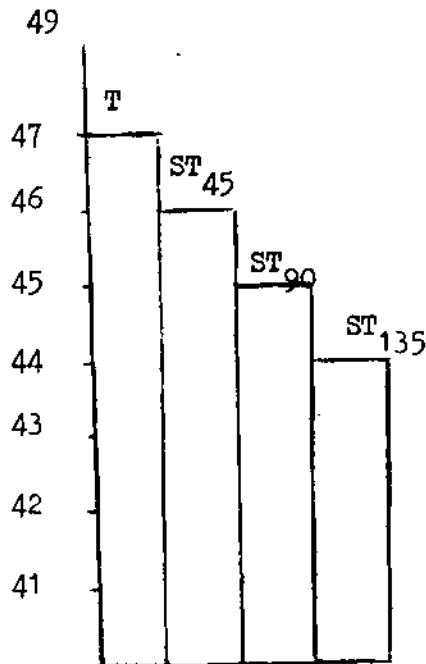


Figure III Caractéristiques de la pluviométrie à Gampéla, 1981, par la méthode des interactions de Franquin

Période de végétation active	A (1 ^{ère} décade de mai)		c (2 ^{ème} décade Septembre)
Période pré-humide	A (2 ^{ème} décade de mai)	B (2 ^{ème} décade de juillet)	
Période humide		B (2 ^{ème} décade de juillet)	c (2 ^{ème} décade Septembre)
Période post-humide			c (2 ^{ème} décade Septembre (3 ^{ème} déc. Oct.
Événements A, B, C, D			

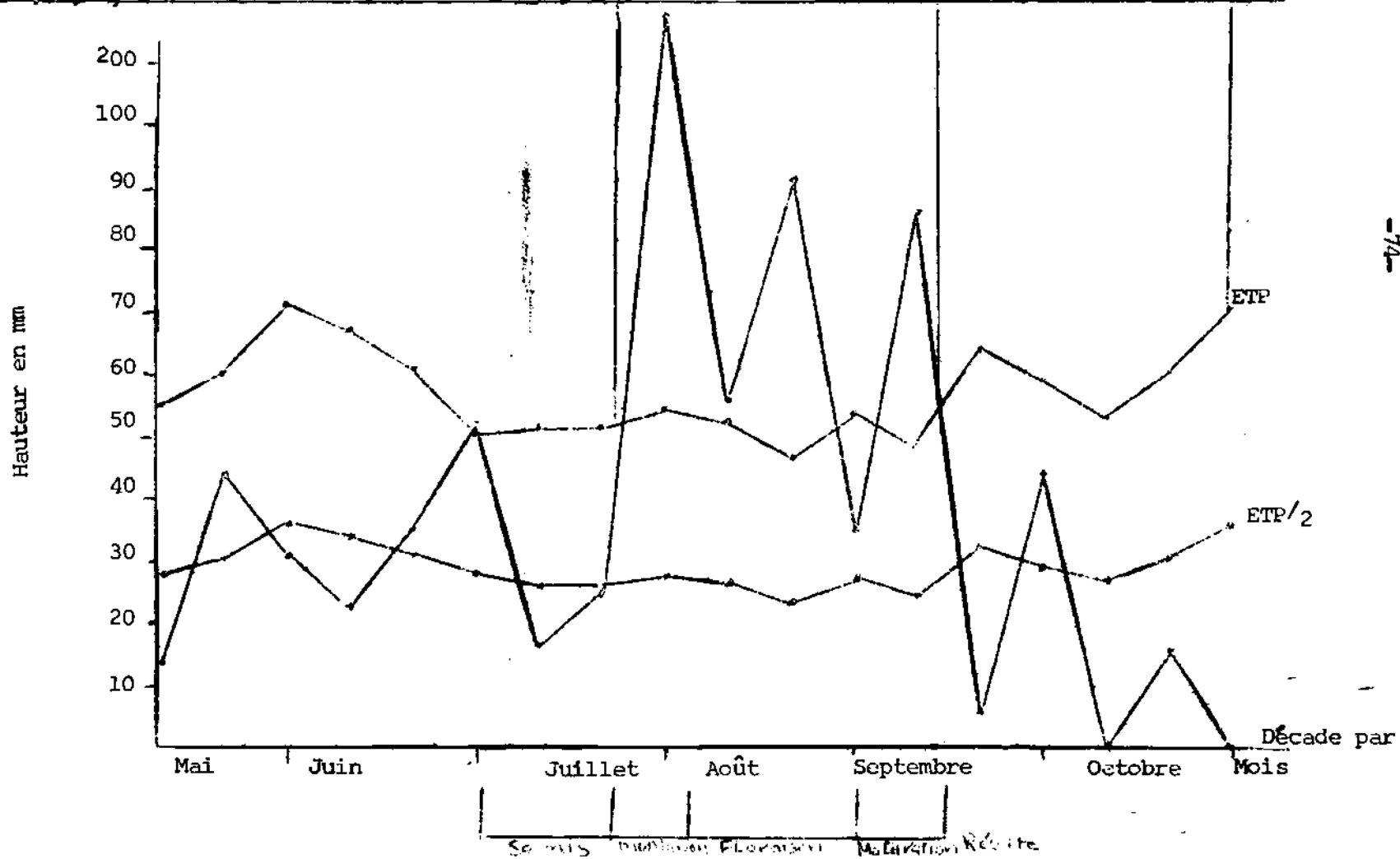
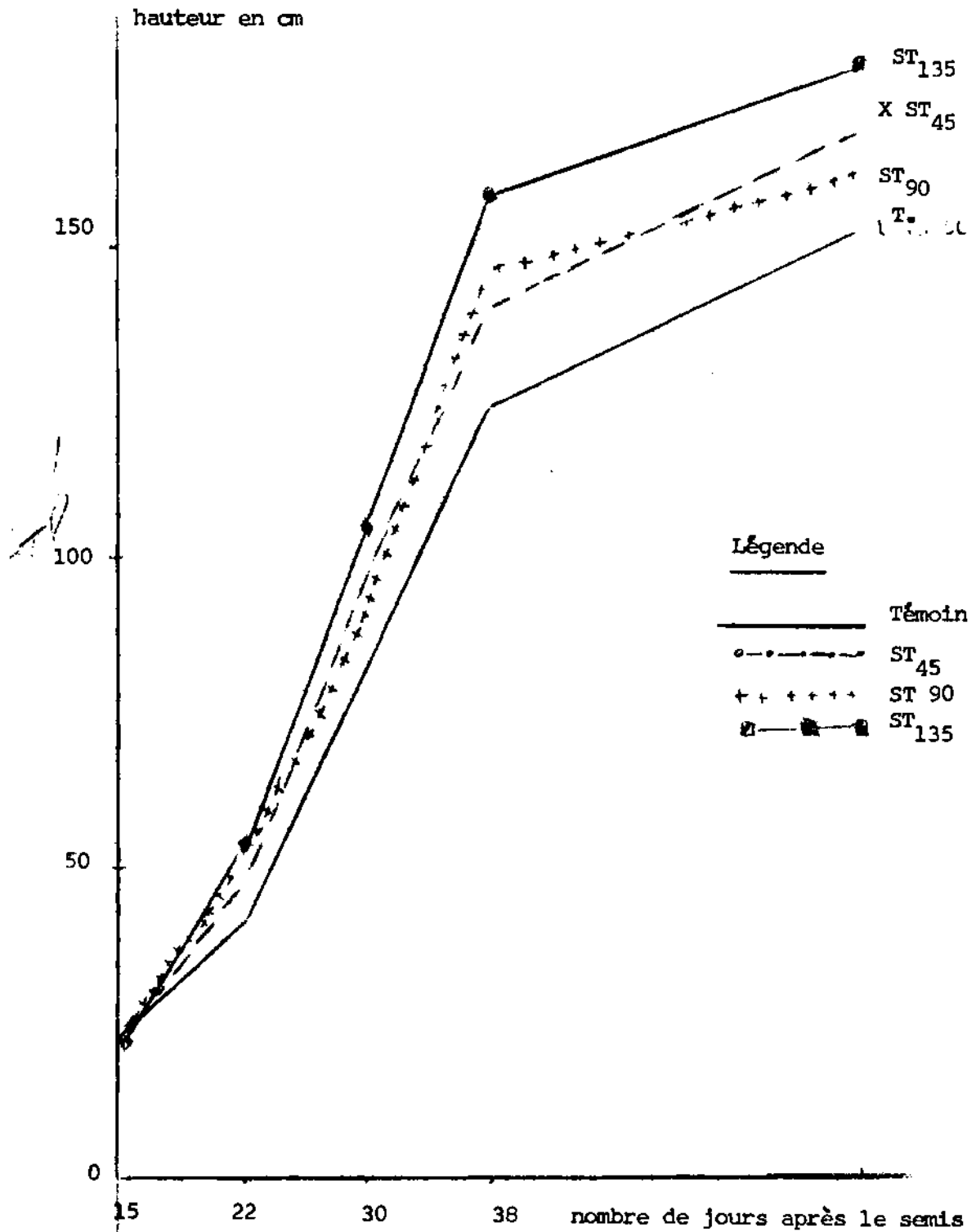


Figure XIII : Effets de différentes doses

de ST sur la hauteur du maïs



A la lumière des données présentées dans ces figures, nous pouvons dire que le phosphore, à l'instar de l'azote, est un facteur de croissance. Il influence favorablement sur la hauteur, quel que soit le stade de croissance. Les effets de ST à 135 unités sont toujours supérieurs à ceux de 90 et 45 unités qui semblent égaux. toutefois il n'existe pas de corrélation entre la hauteur et le taux résiduel de P_2O_5 du sol d'une part, et d'autre part entre la précocité, estimée à partir du nombre de jours après le semis pour l'apparition de 50 % ou plus de panicules mâles, et ce même taux.

Contrairement à l'azote qui retarde généralement la floraison, le phosphore l'accélère. Les effets contraires de ces deux éléments indispensables à la croissance et au développement de la plante mettent en relief la nécessité d'équilibre ; leur application et leur absorption par la plante. Cette équilibre permettra un cycle végétatif et reproductif optimal.

Le fait que le phosphore raccourcit le cycle de la plante tout en accélérant sa croissance en hauteur pourrait avoir des implications agronomiques intéressantes, surtout dans le contexte du climat soudano-sahélien. En effet la saison pluvieuse s'inscrit dans un intervalle de temps relativement court. La précocité certes, comme la hauteur sont des caractères génétiques. Ce sont des caractères intrinsèques de l'espèce végétale en question. Des manipulations d'ordre écologique, dans ce cas, pourraient modifier ces caractères et constitueraient alors un fait agronomique louable. Ce serait ainsi un défi pour les chercheurs et les vulgarisateurs, toujours soucieux de tirer le maximum de rendement en un minimum de temps et de superficies cultivées tout en préservant l'environnement.

Raccourcir le cycle du maïs de trois jours, dans les conditions de cette étude, pourrait paraître insignifiant. Mais cela pourrait constituer un fait économique appréciable surtout en culture maraîchère, si nous considérons la loi de l'offre et de la demande.

En exploitant d'autre part, cette propriété du phosphore de raccourcir le cycle de la plante d'une semaine comme on le verra plus tard, on pourrait, par exemple, obtenir deux récoltes sur la même parcelle. Toutefois on doit tenir compte de la longueur de la saison pluvieuse et employer des techniques culturales appropriées. Deux cultures pourraient se succéder, ce qui aurait pour résultat d'atténuer l'effet de la monoculture.

Dans le contexte du climat soudano-sahélien, l'un des facteurs de l'érosion est la nudité du sol due en partie aux types de cultures. Si, par la manipulation de l'environnement et du matériel génétique, on peut avancer le cycle de manière à favoriser la pousse d'une couverture végétale avant l'installation de la saison sèche, on aurait un effet non négligeable sur la réduction de l'érosion éolienne en saison sèche et pluviale en début de la saison des pluies.

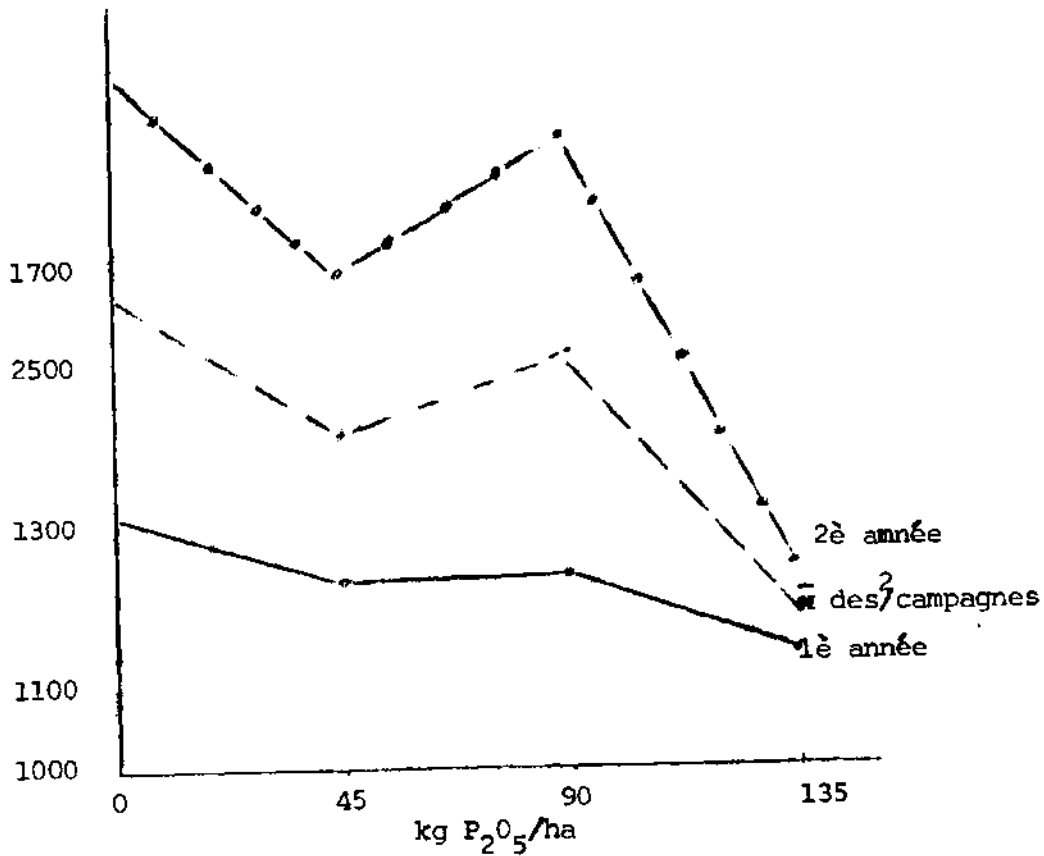
1.2.2 LES EFFETS RESIDUELS DU PN : 2^e campagne, 1981

1.2.2.1 LES EFFETS RESIDUELS DU PN SUR LE RENDEMENT DU MAÏS

Rappelons que la pluviométrie constitue parmi d'autres un facteur favorable sur la solubilité du phosphate naturel. Nous pouvons alors nous attendre à un effet efficace du PN sur le rendement du maïs pour cette campagne bien fournie du point de vue pluviométrique. En fait ceci n'a pas été le cas. La figure XV représente cette situation surprenante. La même tendance a été observée en première et en deuxième années d'essai. Cependant les rendements de cette campagne de 1981, justifiés par une abondante pluviométrie, sont plus élevés que ceux de 1980. Toutefois il n'y a pas de différence significative entre ces rendements. Ainsi, PN, une année après son application est sans effet sur le maïs, malgré le taux assez élevé de P_2O_5 du sol révélé par les analyses chimiques en juin 1981.

Figure XV : Effets du phosphate naturel de Kodjati sur le rendement du maïs (kg/ha)

Rendement (kg/ha)



L'absence de corrélation entre le P_2O_5 du sol et le rendement, dans ce cas, nous conduit aux remarques ci-après.

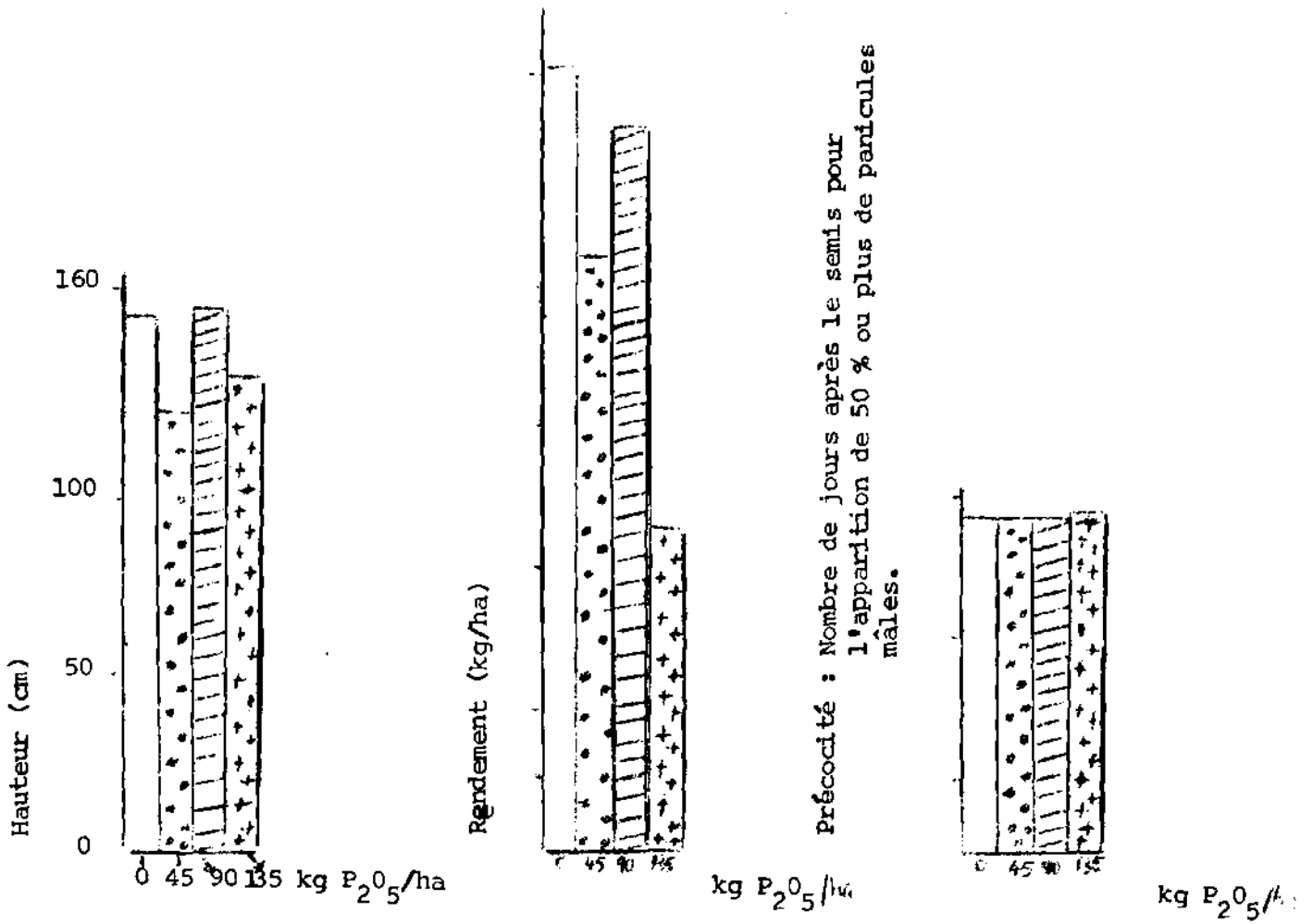
- soit une fraction de $P_2O_5^a$ migré en profondeur dans les couches sous-jacentes, non explorables par les racines du maïs à la suite des fortes pluies du mois de juillet, donc un mois après les analyses de sol.
- soit une fraction de $P_2O_5^a$ a été précipitée sous forme d'oxyde de fer ou d'alumine ou retrogradée dans les feuillets argileux.

Ces remarques mettent une fois de plus en cause la complexité de la dynamique des sols de Gampéla notamment celle de P_2O_5 . Il aurait été souhaitable d'avoir des analyses chimiques de sol après cette campagne 1981. Nous pourrions ainsi apprécier la solubilisation du PN après deux campagnes. Mais le coût élevé de ces analyses, le manque de temps, compte ^{tenu} du délai imparti à notre travail, ^{ne} nous ont pas permis d'avoir ces informations. Nous espérons tout de même que ces analyses seront effectuées dans l'avenir.

1.2.2.2 LES EFFETS RESIDUELS DU PN SUR LA CROISSANCE ET LE DEVELOPPEMENT VÉGÉTATIFS

Corollairement avec le rendement, le PN n'a eu aucun effet sur la hauteur et la précocité du maïs. La figure XVI nous donne une idée des effets résiduels des doses croissantes du PN sur le comportement du maïs.

Figure XVI : Effets résiduels de différentes doses de PN sur la hauteur, le rendement et la précocité du maïs : 2^e campagne, 1981



1.2.3 LES EFFETS RESIDUELS DU PN ET DU ST COMBINÉS : Campagne 1981

1.2.3.1 LES EFFETS RESIDUELS DE PN x ST SUR LE RENDEMENT DU MAÏS

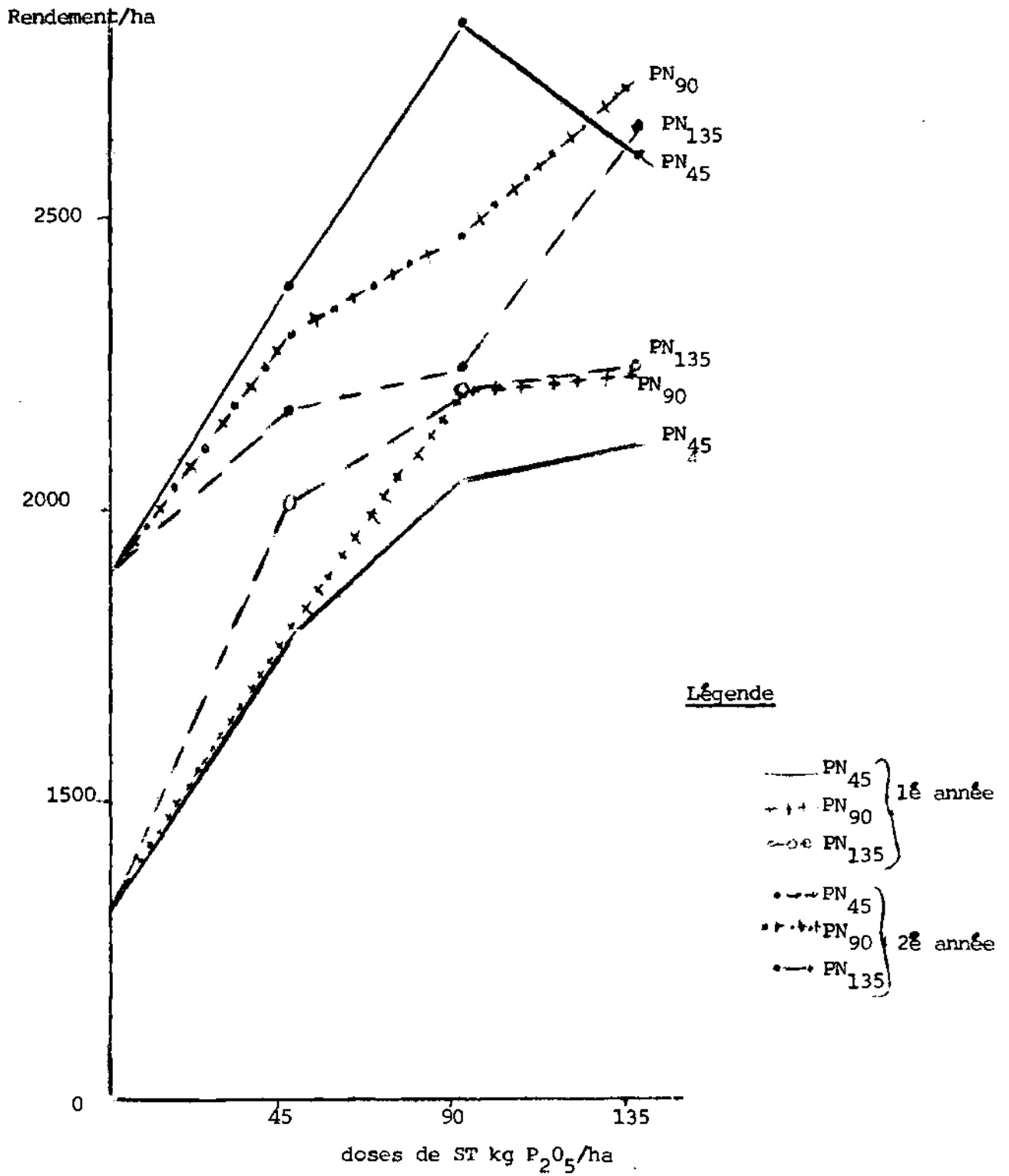
Les résultats des effets résiduels des différentes doses combinées de PN et de ST sont consignés dans la figure XVII. Il en ressort les constatations suivantes :

- les rendements augmentent avec les doses croissantes de ST appliqué en 1980, quelle que soit la dose de PN, à l'exception du traitement PN₄₅ combiné à ST₁₃₅.
- les rendements diminuent avec les doses croissantes de PN, abstraction faite de ce cas particulier. Ainsi, la plus faible dose de PN, 45 unités, combinée aux doses croissantes de ST, en l'occurrence 45 et 90 unités, a donné les meilleurs rendements comparativement à PN à 90 et à 135 unités combinées aux mêmes doses de ST.

En nous référant à l'analyse statistique (annexe I, tableau I₂, I₅) nous nous apercevons, néanmoins, qu'il n'existe pas de différences significatives entre toutes les interactions. Les effets résiduels de ST et de PN x ST sur le rendement du maïs ne sont pas statistiquement différents. En revanche des différences ont pu être détectées quand nous considérons les interactions et le facteur PN seul. Il s'agit particulièrement de PN₄₅ x ST₉₀ comparée à PN seul. Dans tous les cas, l'interaction n'a pas donné des rendements significativement différents de ceux du témoin. Ainsi ces résultats paraissent surprenants.

En effet, l'analyse chimique du sol avant la mise en place de cet essai en 1981 a accusé un taux de P₂O₅ relativement élevé provenant de l'application du PN. On a même démontré que l'augmentation du "pool" phosphorique du sol résultait principalement de PN (tableau 18 figure IX).

Figure XVII : Effets de différentes doses de PN sur le rendement du maïs



On s'attendait à ce que cette augmentation du "pool" phosphorique donne des rendements plus élevés. L'attente ne s'est ^{pas} matérialisée. Seul l'effet résiduel de ST continue à se manifester. Cette situation difficile à expliquer nécessite d'être étudiée ^{même} ultérieurement. Elle paraît résulter de la dynamique des sols de Gampéla dont la réaction, avec le PN, paraît complexe. Cette complexité se traduirait par une baisse de l'assimilation minérale, le phosphore notamment.

La plante absorbe le phosphore sous forme de $H_2PO_4^-$ ou HPO_4^{2-} . Dans le contexte de la dynamique des sols de Gampéla et de la composition chimique du PN (tableau XI), l'acide phosphorique résultant de la solubilisation de ce dernier existe sous quelle forme, $H_2PO_4^-$ ou HPO_4^{2-} ou une balance des deux ? Dans ^{l'un} ou l'autre cas quelle est la forme prédominante ? Quelle est la forme préférentielle d'absorption par le maïs ?

Le calcium est un des éléments les plus dynamiques de la chimie du sol. Le sol de Gampéla, ainsi ^{que} le PN, en est très riche. Quel est donc l'effet de l'addition de ce calcium sur la disponibilité et l'absorption des autres éléments nécessaires à la croissance et au développement de la plante ?

Autant de questions qu'on peut soulever et auxquelles on doit peut-être pouvoir répondre par les recherches pour expliquer l'inefficacité du PN observée jusqu'ici dans les sols de Gampéla.

CHAPITRE II : INFLUENCE DU SUPER TRIPLE (ST) ET DU ZINC SUR LE COMPORTEMENT DU MAÏS

Outre l'essai phosphaté de 1980 et 1981 dont les résultats ont été présentés et discutés au chapitre I, un autre essai a été mis en place en 1981 (cf page 37 pour matériels et méthodes). Il s'agit de tester les effets de ST en présence du zinc, un oligoélément.

Dans ce chapitre nous mettrons l'accent sur les effets du zinc et de ses interactions avec le phosphore sur le comportement du maïs. Les effets des doses croissantes de P_2O_5 sur la hauteur, la précocité et le rendement du maïs sont similaires à ceux obtenus dans le chapitre précédent. Sous ce rapport cette étude n'est qu'une confirmation des résultats précédents bien que l'approche et les objectifs soient différents.

2.1 INFLUENCE DU ZINC SUR LE COMPORTEMENT DU MAÏS : Campagne 1981

2.1.1 EFFETS DE $ZnSO_4$ SUR LE RENDEMENT DU MAÏS.

Les rendements obtenus avec des doses croissantes de $ZnSO_4$ sont consignés dans le tableau 20

Tableau 20 : Effets de différentes doses de $ZnSO_4$ sur le rendement du maïs : campagne 1981

Traitement Kg $ZnSO_4$ /ha	Rendement moyen Kg/ha	% d'augmentation par rapport au témoin
0	1409	-
8	1591	+ 12,9
16	1799	+ 27,7
24	1233	- 12,5
Ppds à 5 %	272	-
C.V.	15,89	-

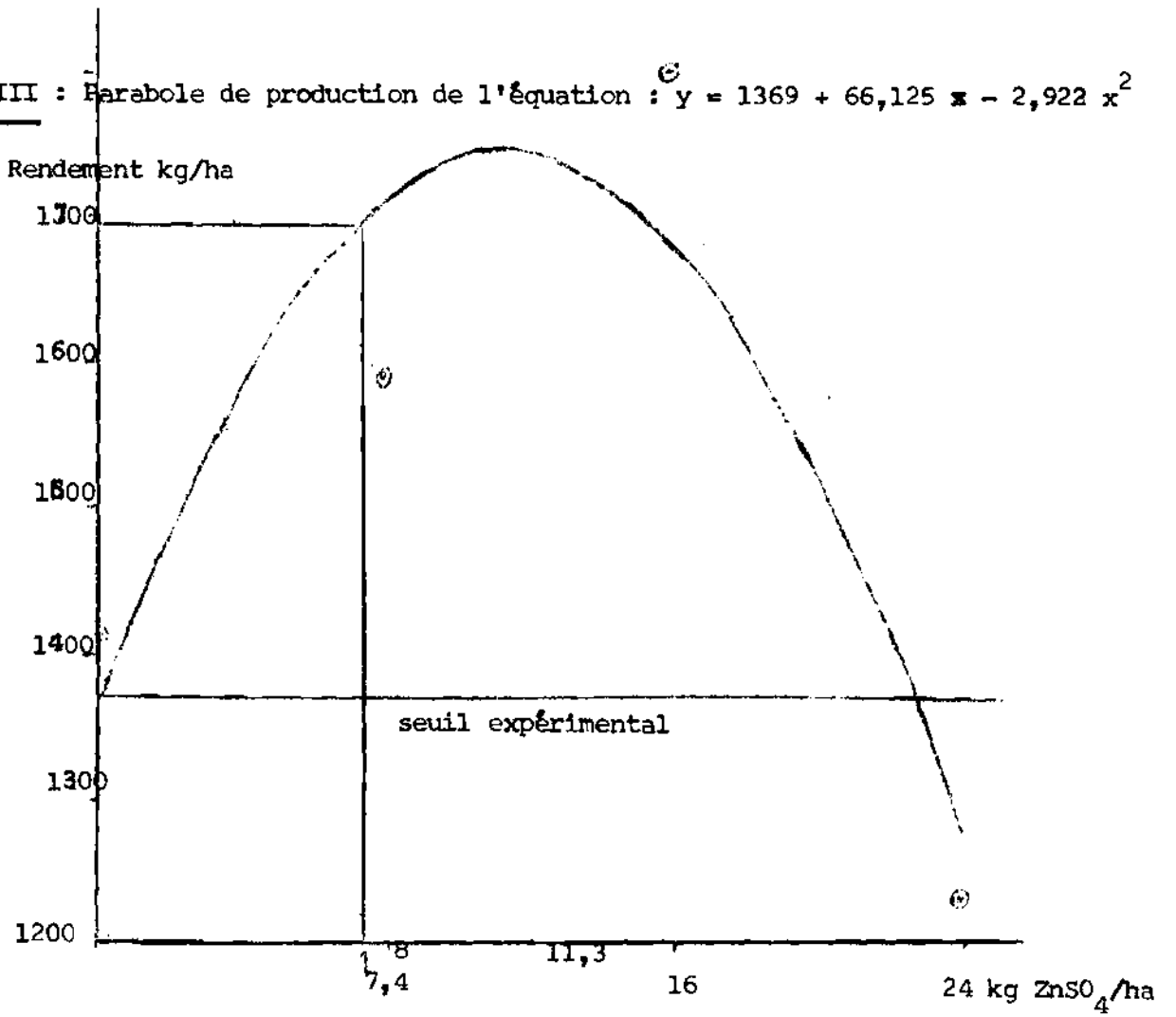
Comme l'indique ce tableau, à l'exception du traitement 16 kg par ha de $ZnSO_4$, les effets du zinc sur le rendement du maïs durant cette campagne 1981 ne sont pas significativement différents de ceux du témoin. Bien que, dans certain cas son effet soit moins spectaculaire, le zinc comme le phosphore, influe favorablement sur le rendement du maïs jusqu'à la dose de 16 kg de $ZnSO_4$ /ha. Au delà de cette dose son effet tend à être dépressif.

La dose de 24 kg /ha exerçant un effet dépressif sur le rendement n'est pas étonnant. En effet, les oligoéléments, d'une manière générale étymologiquement sont caractérisés par leur faible teneur dans le sol et leur efficacité sur les plantes à faibles doses. Dans le sol, ils se caractérisent par l'étroitesse de l'intervalle entre les doses de toxicité et de carence. Même à faibles doses, ils peuvent devenir toxiques pour un certain nombre de plantes.

Dans les conditions de cette étude, le seuil de toxicité de zinc se situerait au delà de 16 kg/ha de $ZnSO_4$. Cette situation nous a conduit à rechercher une dose optimale. Cette dose, déterminée à partir de la parabole de production, est atteinte avec un apport de 7,4 kg de $ZnSO_4$ /ha (figure XVIII page 90). Ce qui confirme l'efficacité du zinc à faible dose comme la plupart des microéléments. Cette étude confirme les résultats obtenus par d'autres chercheurs si nous faisons abstraction des propriétés physico-chimiques et biologiques de chaque site expérimentale. R. PRASAD) a trouvé en Inde, que les rendements du maïs, avec des apports de 10 à 20 kg $ZnSO_4$ par hectare (13). Dans la même voie de recherche, S. GHALY a obtenu le meilleur rendement de maïs avec une dose de 20 kg $ZnSO_4$ /ha, en Egypte sur un sol calcaire (6). Rappelons aussi que, dans le cas de notre essai le rendement le plus élevé (1799 kg), a été atteint avec le traitement 16 kg $ZnSO_4$ /ha. Ce qui correspond à l'intervalle 10 - 20 kg mis en évidence par R. PRASAD.

Il a été prouvé que dans certain cas le zinc pourrait être aussi efficace que le phosphore dans les conditions de cette étude nous constatons que certaines doses de $ZnSO_4$, en l'occurrence 8 et 16 kg /ha, ont eu des effets significativement égaux à ceux de ST sur le rendement (figure XIX). Ainsi, $ZnSO_4$ à 16 kg/ha pourrait se substituer à ST à la dose 135 unités. Ce qui constituerait un fait agronomique très appréciable. En effet, la plupart des sols voltaïques, en particulier ceux du plateau Mossi, sont carencés en phosphore. Aussi la dynamique du phosphore dans le sol est en général complexe freinant ainsi la correction de la carence en phosphore dans ces sols.

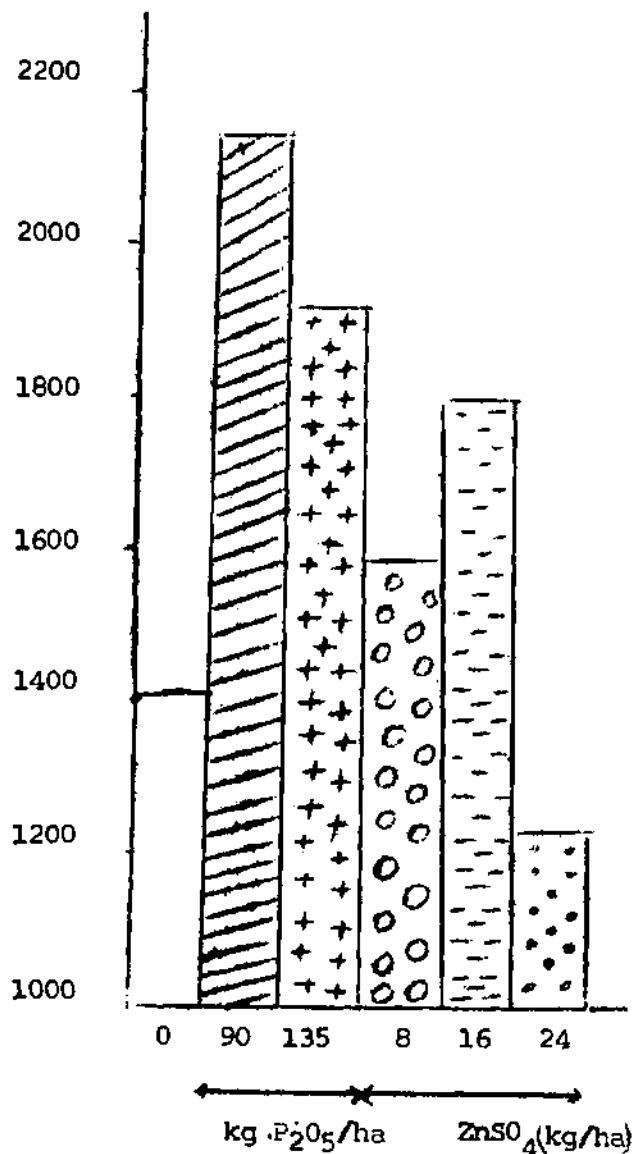
Figure XVIII : Parabole de production de l'équation : $y = 1369 + 66,125 x - 2,922 x^2$



Si par la manipulation d'un oligo-élément notamment le zinc, on arrive à compenser les effets du P_2O_5 sur le maïs se serait un défi pour les chercheurs et les agriculteurs toujours soucieux de tirer le maximum de rendement à peu de frais.

Nos résultats sont corroborés par une étude faite en Inde et en Colombie. D'après cette étude, le zinc seul pourrait efficacement remplacer le phosphore surtout dans les régions où la teneur en P_2O_5 du sol serait faible (13,7). Le zinc, comme le phosphore pourrait être un facteur de production dans ces régions. Toutefois les doses à apporter seraient fonction de la nature du sol et de la culture.

Figure XIX : Effets de $ZnSO_4$ et de ST sur le rendement du maïs



2.1.2 EFFETS DE $ZnSO_4$ SUR LA CROISSANCE DU MAÏS

La figure XX (page 89) montre que les effets des différentes doses de $ZnSO_4$ n'ont pas été efficaces sur la hauteur du maïs dans les conditions de notre étude. L'examen de cette figure révèle, en revanche, que les effets de ST, 30 jours après le semis, ont été hautement significatifs sur la hauteur. Toutefois il n'y aurait pas de différence entre les traitements ST à 90 et 135 unités. Dans le contexte des sols de Gampéla et probablement dans ceux du plateau Mossi, le zinc ne serait pas un facteur de croissance, notamment la hauteur, comme l'a été le phosphore. Des études de laboratoire ont, cependant, pu montrer que la hauteur maximale du maïs était atteinte dans une solution de 0,05 ppm de Zn et au delà de cette concentration la hauteur diminuait (13). Nos résultats en plein champ n'ont pas corroboré ces conclusions.

En revanche, nous avons constaté que, à l'instar du phosphore, le zinc exerce un effet positif sur la précocité du maïs. Rappelons que cette précocité a été, dans le cas du phosphore positivement corrélée avec le rendement. La meilleure dose dans ce cas est 16 kg $ZnSO_4$ /ha (figure XXI).

Il ressort de cette figure que le $ZnSO_4$ à la dose 16 kg/ha et le ST à 135 unités ont les mêmes effets sur la précocité du maïs. Ce qui tend à confirmer notre hypothèse, à savoir que les doses élevées de ST, en l'occurrence 135 kg de P_2O_5 , pourraient être substituées par des doses moyennes de $ZnSO_4$, 16 kg/ha par exemple.

Le fait que le zinc raccourcit le cycle de la plante tout en n'influant pas sur la croissance totale pourrait être un fait agronomique intéressant. En effet, les implications possibles de cette propriété de raccourcir le cycle de la plante de deux ou trois jours ont été démontrées dans le cas des effets du phosphore sur la précocité. En guise de complément nous dirons qu'en exploitant cette propriété du phosphore ou du zinc, deux cultures pourraient se faire en association dans une parcelle.

Figure XXIII : Effets de ST et $ZnSO_4$ sur la hauteur du maïs 40 jours le semis

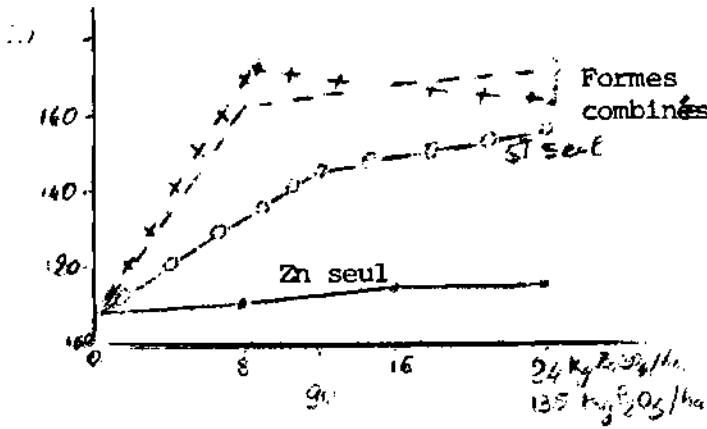


Figure XXIV : Effets de ST et $ZnSO_4$ sur la précocité du maïs.

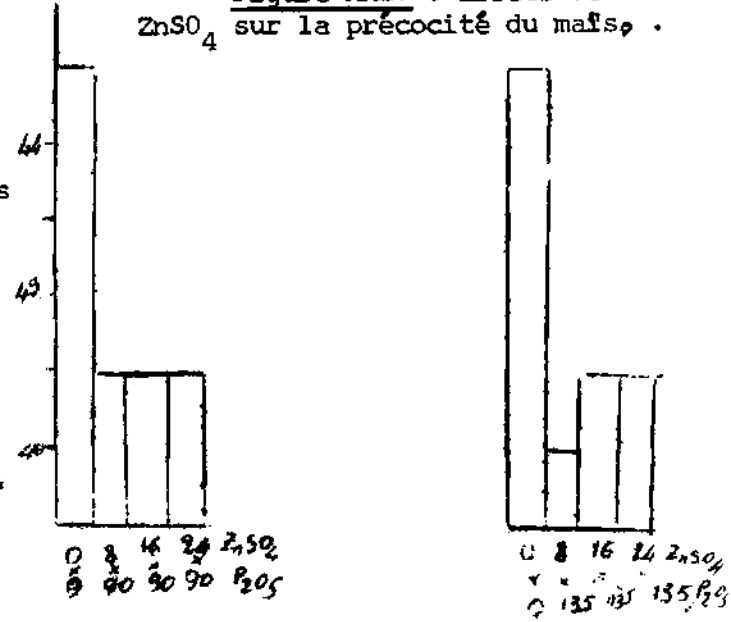


Figure XX : Evolution de la hauteur du maïs en fonction des doses croissantes de ST et de $ZnSO_4$

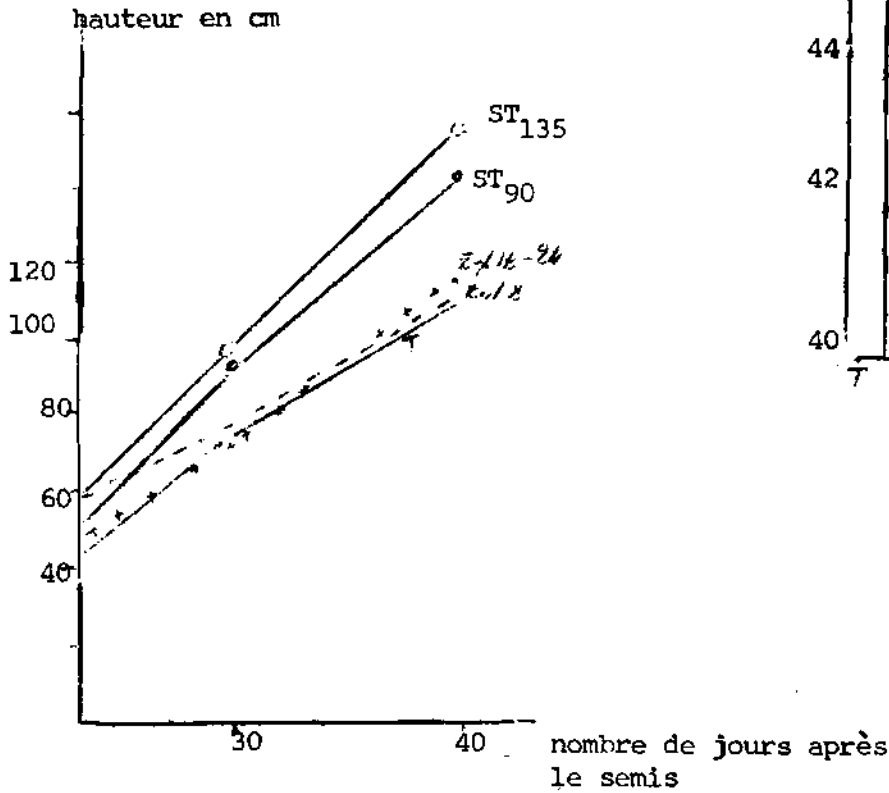
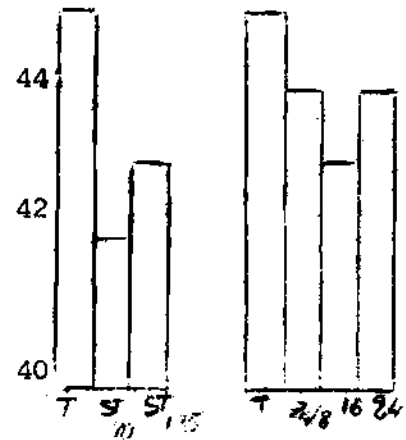


Figure XXI : Effets de ST et de $ZnSO_4$ sur la précocité du maïs.



Outre sa propriété de raccourcir le cycle de la plante, le phosphore a aussi un effet positif sur la hauteur. Ce qui permettrait d'associer efficacement deux cultures n'ayant pas les mêmes besoins en lumière, telles que les céréales et le haricot.

Le phosphore et le zinc appliqués seuls ont eu des effets positifs sur le rendement à l'exception de la dose la plus élevée de $ZnSO_4$, notamment 24 kg/ha. Ils accusent la même tendance vis-à-vis de leurs effets sur le rendement et la précocité du maïs. Aussi le paragraphe suivant se propose-t-il d'étudier leurs effets combinés sur le comportement du maïs.

2.2. INFLUENCE DU ST ET DU ZINC COMBINÉS SUR LE COMPORTEMENT DU MAÏS : Campagne 1981

2.2.1 EFFETS DU ST ET DE $ZnSO_4$ COMBINÉS SUR LE RENDEMENT DU MAÏS

Les résultats obtenus avec les différentes doses de ST et de $ZnSO_4$ combinées sont consignés dans le tableau 21.

Tableau 21 : Effets de différentes combinaisons de ST et de $ZnSO_4$ sur le rendement du maïs Campagne 1981

Traitement Kg/ha de P_2O_5 $ZnSO_4$	Rendement moyen kg/ha (*)	% d'augmentation par rapport au témoin
0 x 0	1409 a	-
90 x 8	2802 ef	+ 98,86
90 x 16	3020 ef	+ 114,34
90 x 24	3055 ef	+ 116,82
135 x 8	3228 f	+ 129,10
135 x 16	2664 e	+ 89,07
135 x 24	2988 ef	+ 112,07
Ppds à 5 %	471	-
C.V.	15,89 %	-

(*) Les moyennes affectées de la même lettre ne sont pas statistiquement différentes à 5 % d'après le test de Duncan.

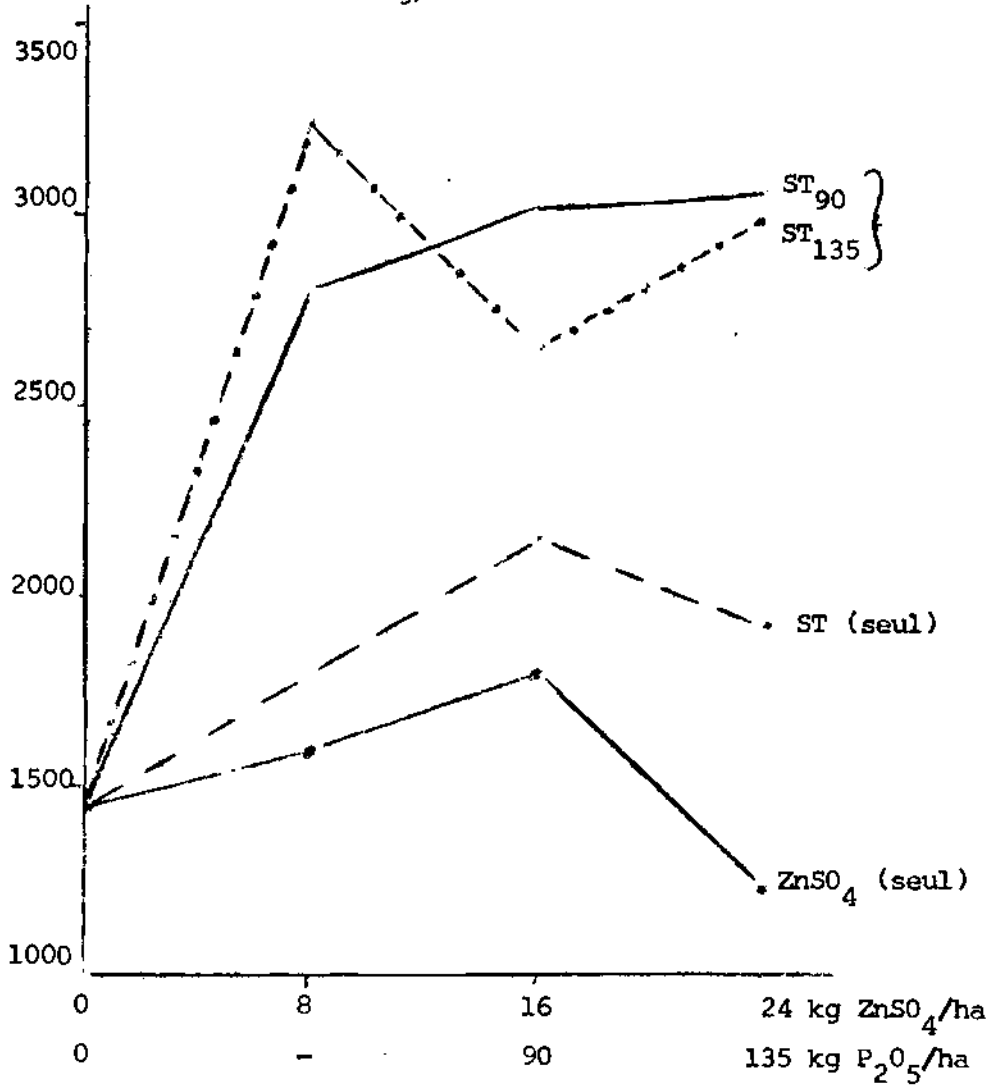
En examinant ce tableau, nous constatons que les interactions ont eu des effets significativement différents de ceux du témoin. Elles ont aussi été significatives par rapport à ST et à $ZnSO_4$ employés seuls d'après l'analyse de variance réalisée en annexe II.

Nous avons vu que le sulfate de zinc seul, tout comme le super triple, a un effet sur le rendement du maïs. A l'exception d'un cas particulier, aucune différence significative n'a pu être détectée entre les différentes combinaisons. Ce cas particulier concerne la plus forte dose de P_2O_5 , 135 unités, combinée à 8 kg / ha, dose la plus faible de $ZnSO_4$. Il est aussi intéressant de noter que l'interaction P_2O_5 , 135 unités et $ZnSO_4$ à 16 kg/ha tend à être antagoniste de (figure XXIX page 92). En effet, les rendements sont 3228 kg par hectare pour le traitement $ST_{135} \times Zn/.8$ et de 2664 kg/ha dans le cas de l'interaction.

$ST_{135} \times Zn/.16$. Rappelons-nous que les doses les plus élevées de ST et $ZnSO_4$ employés seuls, 135 unités et 24 kg respectivement, avait des effets dépressifs sur le rendement. Ces effets semblent disparaître dans le cas de leur combinaison. Ce qui traduirait par une augmentation de rendement de l'ordre de 55,5 % par rapport à ST_{135} et de 142,3 % par rapport à $ZnSO_4$ à la dose 24 kg à l'hectare. Cette situation nous conduit à émettre l'hypothèse que le zinc par son rôle régulateur dans la nutrition minérale de la plante aurait diminué l'absorption de P_2O_5 et vice versa. L'effet toxique de $ZnSO_4$ à 24 kg/ha serait inhibé par la teneur élevée de P_2O_5 .

Nous pensons que des analyses foliaires ou des analyses chimiques de sol nous permettraient de confirmer ou d'infirmer notre hypothèse. Nous suggérons alors la réalisation, au moins, des analyses chimiques de sol nous permettant d'avoir une idée des teneurs résiduelles du sol en ces éléments. Une seule campagne d'expérimentation ne nous suffit pas pour tirer des conclusions définitives.

Figure XXII : Effets de différentes doses de ST et de sulfate de Zinc sur le rendement du maïs (kg/ha)



Toutefois, il ressort de cette étude que les apports combinés de ST et de $ZnSO_4$ permettraient même de tripler les rendements du maïs. Le plus haut rendement a été obtenu avec la plus faible ^{dose} de $ZnSO_4$, 8 kg/ha, combinée à 135 unités de ST, dose la plus élevée.

Néanmoins, les meilleurs rendements seraient obtenus avec ST à la dose 90 unités combinée à 8 kg de $ZnSO_4$ /ha. Rappelons-nous que ces doses sont très rapprochées des doses optimales déterminées antérieurement : 68,7 unités de P_2O_5 pour ST et 7,4 kg/ha pour $ZnSO_4$.

2.2.2 EFFETS DU ST ET DE $ZnSO_4$ COMBINÉS SUR LA CROISSANCE DU MAÏS

Dans les conditions de cette étude, nous avons vu que le zinc employé seul n'a aucun effet sur la croissance totale du maïs contrairement à ST seul. Mais qu'en est-il de leur interaction ? La figure XIII (page 89) nous en donne une idée.

En examinant cette figure nous remarquons que l'interaction du phosphore et du zinc n'aurait aucune influence statistiquement efficace sur la hauteur du maïs. Seul le super triple agit comme dans les cas précédents et le zinc aurait stimulé son effet, ce qui permet de constater des différences apparentes de hauteur. Nous observons que les doses croissantes de $ZnSO_4$, à partir de 8 kg/ha, ont tendance à diminuer les effets de ST à la dose de 90 kg P_2O_5 /ha. En revanche, ces mêmes doses de $ZnSO_4$ ont tendance à augmenter les effets de ST à 135 unités sur la hauteur du maïs. Nous remarquons que la hauteur maximale a été atteinte avec la combinaison de ST à 90 unités et de $ZnSO_4$ 8 kg/ha, les deux doses voisines des doses optimales. Toutes ces constatations tendent une fois de plus à confirmer notre hypothèse sur le rôle régulateur du zinc dans la nutrition phosphatée du maïs.

Contrairement à leurs effets sur la hauteur, certaines interactions ont eu des effets très marqués sur la précocité du maïs (figure XXIV). En se référant à la figure XXI on constate que l'interaction n'a pas été statistiquement différente de ST et de $ZnSO_4$ employés seuls.

Nous avons abondamment commenté et spéculé sur les implications agronomiques de ce facteur précocité. Nous dirons, en guise de complément, qu'une forte corrélation négative ($r = - 0,87$) a été détectée entre la précocité et le rendement. Dans le contexte de cette étude plus le cycle de la plante est court, plus le rendement est élevé, ce qui est paradoxal. car, dans le cas des céréales en général, les rendements augmentent avec le cycle de la plante. Toutefois, ce paradoxe serait levé si nous considérons que tout le cycle de la plante s'est déroulé dans des conditions climatiques favorables. En corrélation avec la hauteur des plantes le stade de floraison a été atteint plus tôt et la phase de maturation qui s'en suit coïncide avec une période climatique convenable (figure XII). Autrement dit la maturation biologique n'aurait souffert d'aucun "stress" et serait ainsi atteinte plus vite.

CONCLUSION

Nous pouvons retenir de cette étude les points suivants :

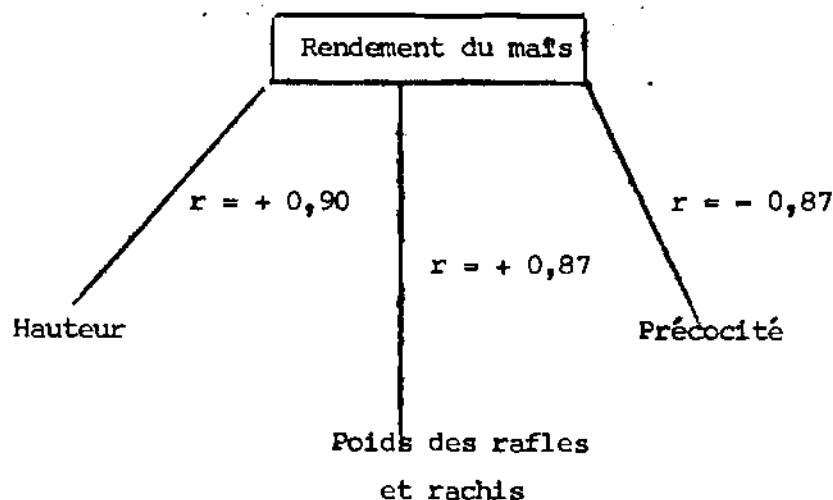
- Le zinc à certaines doses pourrait être aussi efficace que le phosphore. Il pourrait se substituer à des doses élevées du phosphore pour contribuer à augmenter le rendement du maïs ; ainsi 16 kg de $ZnSO_4$ /ha et 135 unités de P_2O_5 auraient les mêmes effets. Toutefois la dose optimale serait de l'ordre de 7,4 kg/ha de $ZnSO_4$.

.../...

- Les effets combinés de ces deux engrais ont été plus efficaces sur le rendement qui a été de l'ordre de 3000 kg avec les doses combinées. Autre-
dit l'interaction du phosphore et du zinc a été significative. Ce qui a permis d'avoir des rendements statistiquement différents de ceux obtenus avec ST et $ZnSO_4$ seuls. Toutefois nous espérons que des études tenant compte de tous les aspects économiques pourront déterminer la rentabilité de ces engrais.

Cette étude confirme d'une autre façon le rôle régulateur du zinc sur l'absorption du phosphore et le métabolisme de la plante en général. En effet, en présence de P_2O_5 l'effet dépressif de $ZnSO_4$ dû à sa toxicité à 24 kg/ha a disparu. Il en est de même de celui de P_2O_5 à 135 unités en présence de $ZnSO_4$.

Il ressort de notre étude sur l'influence du phosphore et du zinc sur le maïs que la précocité et la hauteur, deux valeurs intrinsèques de l'espèce végétale, peuvent être modifiées par ces deux formes d'engrais. Le zinc et le phosphore seraient donc des facteurs de précocités à l'encontre de l'azote. Ainsi un certain nombre de corrélations ont été trouvées entre la croissance végétative et le rendement du maïs (annexe I et II). D'une manière schématisée les différentes corrélations significatives à 5 % pour un degré de liberté égal à 58, se résume de la façon suivante :



B//INFLUENCE DU PHOSPHORE, DU ZINC ET DU BORE SUR LE COMPORTEMENT DE L'ARACHIDE.

CHAPITRE I : ARRIERES EFFETS DU PHOSPHATE NATUREL DE KODJARI (PN) ET DU SUPER
TRIPLE (ST) SUR LE COMPORTEMENT DE L'ARACHIDE.

Les détails sur la mise en place de cet essai sont consignés dans le chapitre traitant des matériels et méthodes (page :30)

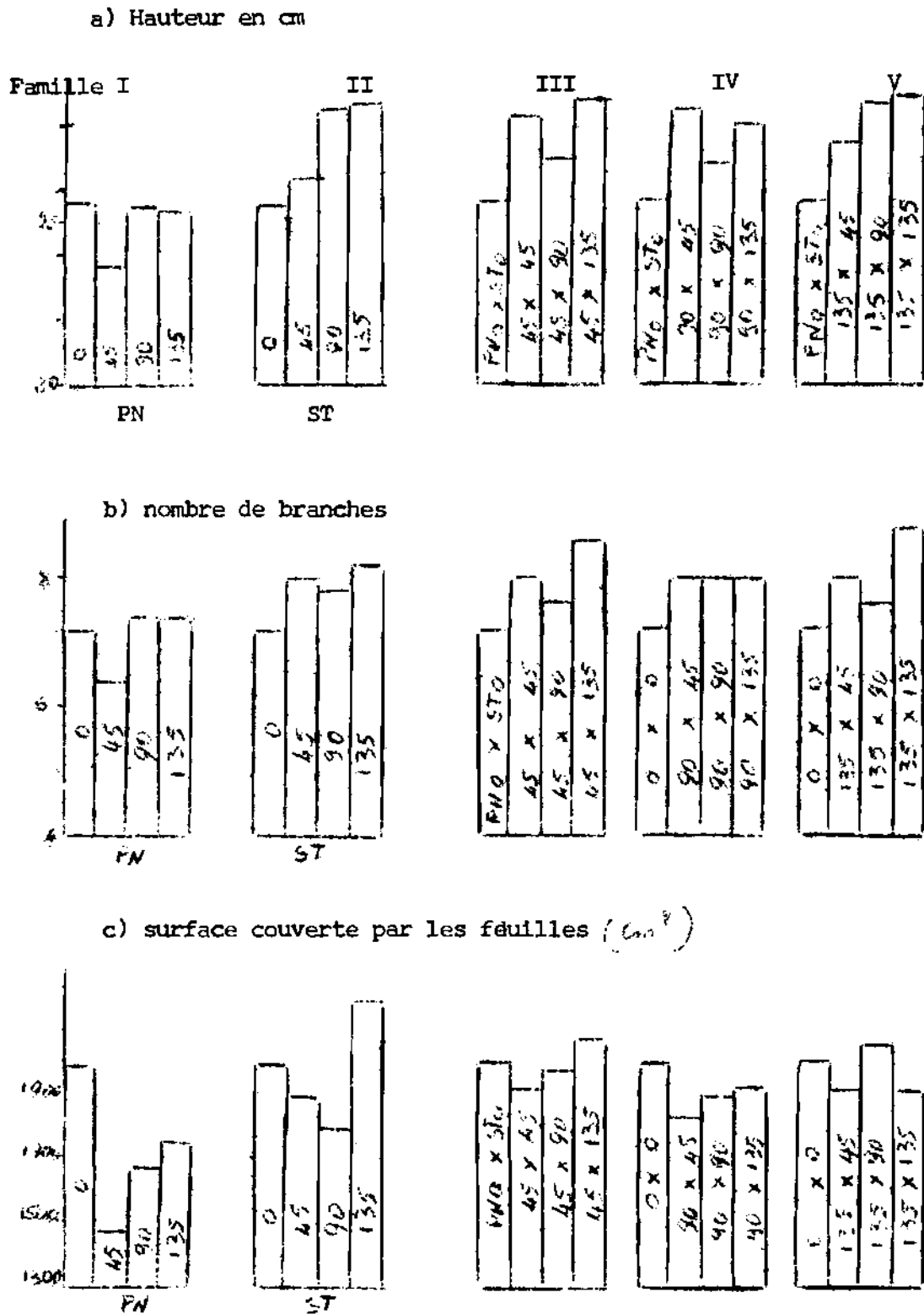
1.1 LES EFFETS RESIDUELS DES DOSES CROISSANTES DE ST ET DE PN SUR LA CROISSANCE ET
DEVELOPPEMENT VEGETALIFS DE L'ARACHIDE : Campagne 1981.

1.1.1 LES EFFETS RESIDUELS DE ST SEUL.

En suivant l'évolution de la croissance et du développement de l'arachide, nous avons constaté que, comme dans le cas du maïs, le ST a eu un effet stimulant sur la croissance de la plante. La figure XXV, famille II, (page 97) représente un stade de croissance de la plante sous l'effet résiduel des différentes doses de ST. Elle résume la hauteur, le nombre de branches fructifères et la surface foliaire au bout de 32 jours après le semis.

En ce qui concerne la hauteur, nous constatons qu'elle tend à augmenter d'une manière parabolique avec les doses croissantes de P_2O_5 . Cependant il n'existe pas de différences statistiques entre les traitements ST à 45 unités et le témoin d'une part, et d'autre part entre les doses 90 et 135 unités.

Figure XXV : Effets résiduels de PN, ST et PN x ST sur la croissance de l'arachide 32 jours après le semis



En examinant cette figure, nous remarquons que ST exerce un effet significatif sur le nombre de branches. Les écarts entre les effets résiduels du témoin et des autres traitements sont assez importants. Néanmoins l'analyse statistique ne décele pas de différence entre les effets des traitements ST à 90 unités et le témoin. La tendance de la baisse observée au niveau de ce traitement n'est pas surprenante compte tenu des résultats obtenus antérieurement sur le maïs. Ce fait serait sans doute lié à la teneur du sol en P_2O_5 après la récolte de la campagne 1980 (tableau 16). En nous référant à ce tableau, nous constatons que la teneur résiduelle en P_2O_5 dans le cas du traitement ST à 90 unités, soit 59,4 kg/ha, est inférieure à celle des autres traitements. Nous avons antérieurement justifié ce phénomène par les rendements élevés du maïs obtenus en 1980, ce qui serait sans doute en corrélation avec des exportations de P_2O_5 élevées à ce niveau.

En considérant la surface couverte par les feuilles, nous apercevons que la meilleure couverture foliaire est donnée par le traitement 135 unités. Cette surface foliaire est de l'ordre de 2185,50 cm^2 contre 1794,30 et 1889,7 cm^2 pour les traitements ST à 90 et 45 unités respectivement. Remarquons aussi la diminution de la surface photosynthétique avec ST aux doses de 90 et 45 unités par rapport à celle du témoin. A l'exception donc de 135 unités, le ST exercerait un effet dépressif sur la surface foliaire de l'arachide.

Il ressort également de cette figure que la surface couverte par les feuilles ne dépend ni de la hauteur ni du nombre de branches des arachides. En effet, nous constatons avec le témoin que la taille et le nombre des branches sont inférieurs à ceux des autres traitements tandis que la surface foliaire dépasse celle des traitements ST à 45 et 90 unités. Nous pensons donc, dans ce cas, que la surface foliaire serait sans doute en corollaire avec la longueur des branches ou avec la surface des folioles. Cette notion de surface foliaire, facteur d'efficacité photosynthétique, nous permettra d'expliquer ultérieurement certains résultats.

1.1.2 LES EFFETS RESIDUELS DE PN SEUL.

Les résultats obtenus avec les effets résiduels du phosphate naturel de Kodjari (PN), une année après son application, sont consignés dans la figure XXV, famille I (page 97)

A quel que niveau que ce soit, le PN n'a pas eu d'effets sur la croissance et le développement végétatifs de l'arachide au cours de cette campagne 1981. Cependant nous observons des fluctuations apparentes. De façon générale, les effets résiduels de PN serait égaux ou inférieurs à ceux du témoin suivant les doses employées. En revanche les effets résiduels des traitements 90 et 135 unités sur la croissance de l'arachide seraient identiques. Ils se rapprochent le plus du témoin qu'ils dépassent dans le cas du nombre de branches. Nous remarquons que le traitement PN à 45 unités a toujours donné le plus faible résultat.

En nous référant à la figure XXV, famille I et II, nous pouvons émettre l'hypothèse que la réponse de l'arachide à la nutrition phosphatée dépend plus de la source d'engrais que de la teneur résiduelle en P_2O_5 du sol. (tableau 16, 18). Autrement dit le ST aurait encore plus d'effet que le PN sur la croissance et le développement de la plante après une campagne de culture de maïs. Nous essayerons d'expliquer ces résultats qui nous paraissent surprenants quand nous considérons les effets résiduels de ces traitements sur le rendement de l'arachide.

1.1.3 LES EFFETS RESIDUELS DE PN ET DE ST COMBINES.

Nous venons de montrer que le PN résiduel seul n'a pas eu d'effets sur la croissance et le développement végétatifs de l'arachide. Il exercerait un effet dépressif contrairement à ST seul qui stimulerait la croissance de l'arachide. Mais qu'en est-il de leur interaction ? Les familles III, et IV et V de la figure XXV, page 97, résument la situation au bout de 32 jours après le semis.

En ce qui concerne la hauteur, il est à noter une parfaite évolution parabolique quand le PN à la dose 135 unités est combiné aux doses croissantes de ST (famille V). Cette évolution est presque identique à celle donnée par ST seul (famille II). Toutefois le PN aurait un effet diminutif sur le traitement ST à 90 unités. En dépit de cette tendance, l'interaction n'a pas eu d'effets statistiquement différents de ceux de ST. Il en est de même lorsque nous considérons le nombre de branches ou la surface foliaire. Cette similitude apparente de l'évolution de la croissance due aux effets résiduels de ST et de PN x ST nous conduit à conclure que seul le super triple a agi encore une fois au cours de cette deuxième campagne. Outre les teneurs élevées en P_2O_5 du sol, révélées par les analyses chimiques de sol en juin 1981, nous n'avons pas eu de corrélations entre ces teneurs et la croissance de la plante. Il en était de même avec le maïs. Nous avons même supposé que cette augmentation du "pool" phosphorique est due principalement à l'apport de PN. Avant donc d'essayer d'expliquer ces résultats peu convaincants, nous allons considérer les effets résiduels de ces engrais, ST et PN, sur le rendement de l'arachide.

1.2 LES EFFETS RESIDUELS DES DOSES CROISSANTES DE ST ET DE PN SUR LE RENDEMENT DE

L'ARACHIDE : Campagne 1981.

Les rendements dus aux effets résiduels de ST, de PN et leur interaction PN x ST sont présentés dans la figure XXVI (page 102)

1.2.1 LES EFFETS RESIDUELS DE ST SEUL.

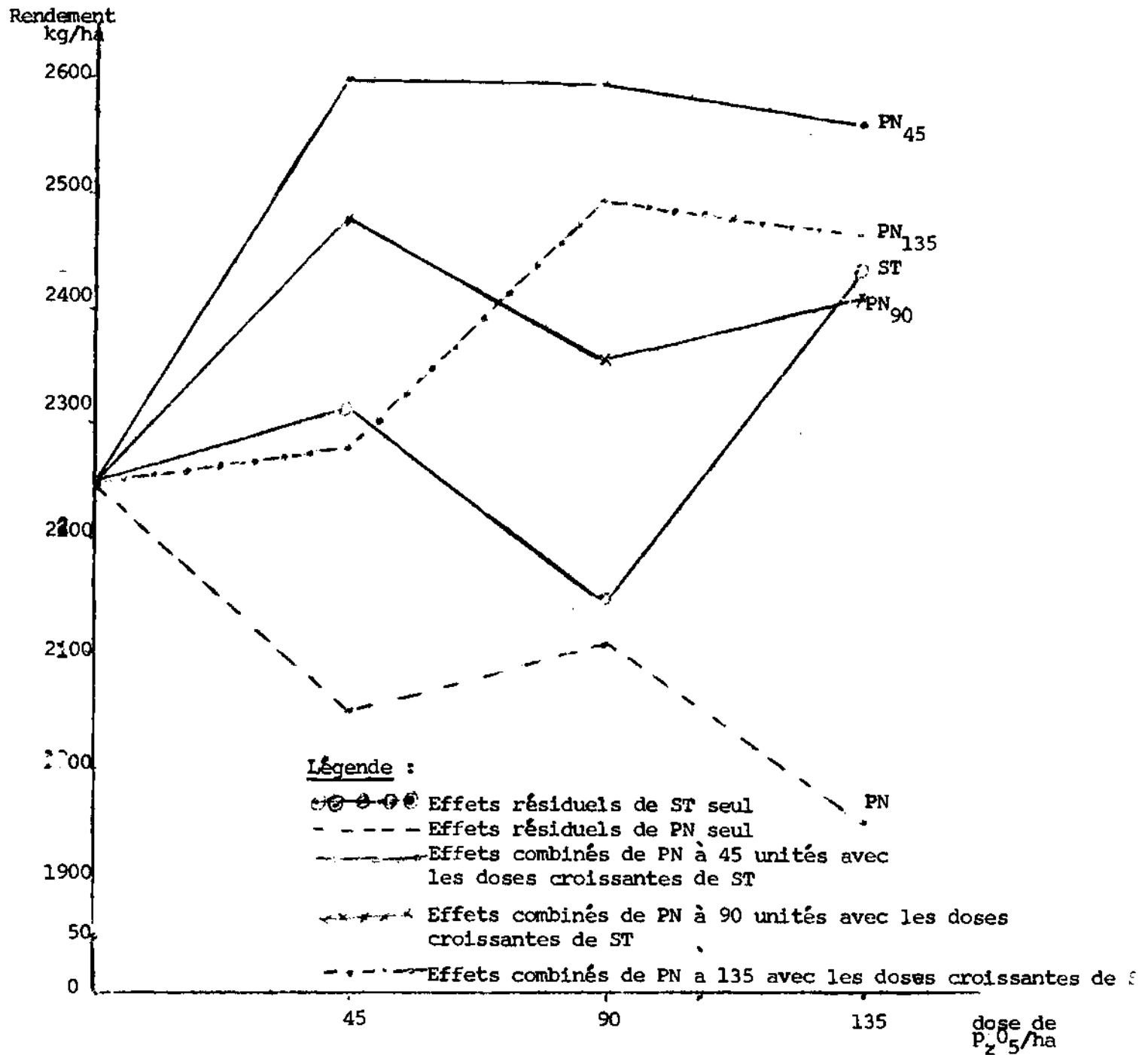
Les effets résiduels des doses croissantes de ST sur le rendement de l'arachide ont été statistiquement significatifs d'après l'analyse de variance donnée en annexe LII. Toutefois, seul le traitement 135 kg P₂O₅/ha a donné des rendements significativement différents de ceux du témoin. Il accuse une augmentation de l'ordre de 8 % par rapport au témoin et de 13 % par rapport à 90 unités. Ce dernier

traitement ST à la dose de 90 kg/ha de P₂O₅ exercerait un effet dépressif qui s'est traduit par une baisse de rendement de l'ordre de - 4,7 % par rapport au témoin (figure XXVI). Ainsi les rendements obtenus avec les effets résiduels de ce traitement 90 unités ont été statistiquement différents de ceux des autres traitements, en l'occurrence 45 et 135 unités, qui auraient d'ailleurs les mêmes effets.

Tableau 22 : Effets résiduels de différentes doses de ST sur le rendement de l'arachide : campagne 1981

Traitements : kg P ₂ O ₅ /ha	Rendements en gousses : kg/ha	% d'augmentation par rapport au témoin	Rendement en fanés : t/ha
0 ;	2251	-	9,085
45	2316	+ 2,89	11,771
90	2145	- 4,71	11,544
135	2429	+ 7,91	11,306
Ppds à 5 %	169	-	-
C.V.	11,30 %	-	16,13

Figure XXVI : Effets résiduels de PN et de ST sur le rendement de l'arachide : kg/ha



Ces résultats comme dans le cas du maïs, à première vue, sont surprenants. Mais à bien y réfléchir, ils sont scientifiquement valables et dans une très large mesure, ils corroborent les explications proposées dans le cas du maïs quant aux effets résiduels de ST sur cette culture (page 72). On doit se rappeler pour mieux comprendre ces résultats les faits suivants :

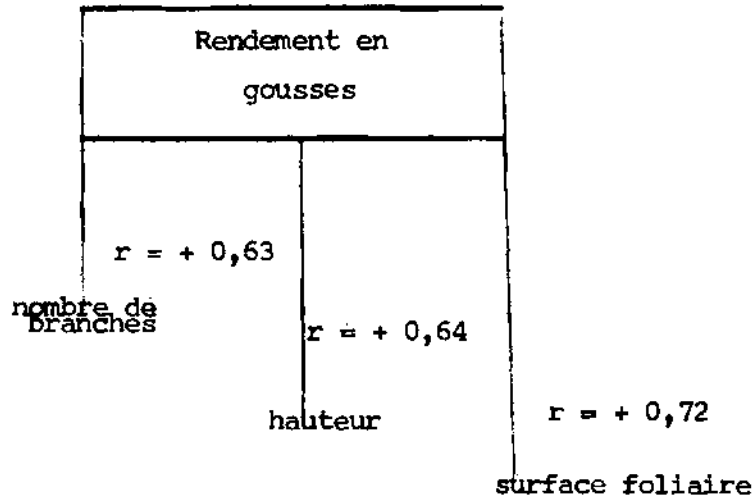
- P_2O_5 à la dose de 90 unités a donné des rendements statistiquement égaux à ceux de 135 unités, dès la campagne 1980, sur le maïs (tableau 15).
- P_2O_5 résiduel pour ce traitement 90 unités à la suite de la campagne 1980 était moindre dans les 30 premiers cm du sol (tableau 16).
- Le maïs a un système racinaire beaucoup plus profond et beaucoup plus volumineux que celui de l'arachide.

Partant de cette considération, nous pouvons penser que l'arachide ne peut explorer, avec la même efficacité que le maïs, les couches profondes du sol au delà de 30 cm à la recherche du P_2O_5 qui aurait migré dans les horizons plus profonds.

- Même à l'intérieur de la couche de 30 cm, objet de notre analyse chimique, l'arachide explore un volume de sol beaucoup plus restreint que le maïs.

Ainsi tous ces faits concourent à expliquer le faible rendement observé avec la dose de 90 unités. Cette situation était plus ou moins prévisible si nous considérons les effets de ce traitement sur la croissance de l'arachide. Elle a été particulièrement marquée par une diminution de la surface foliaire et du nombre de branches fructifères (figure XXV). A en juger par les faits nous pouvons dire qu'il existe une corrélation entre la croissance végétative et le rendement de l'arachide, comme dans le cas du maïs. Pour étayer ces considérations un certain nombre de paramètres de croissance ont été utilisés pour mettre en évidence cette corrélation avec le rendement en gousses.

D'une manière schématisée, nous pouvons résumer ces différentes corrélations, significatives à 5 % pour un degré de liberté égal à 14, de la façon suivante :



Il ressort de ce schéma que la surface foliaire a contribué plus à l'augmentation des rendements, suivi de la hauteur qui, à son tour, est en corrélation avec la surface couverte par les feuilles. Ce qui n'est pas étonnant, étant donné le rôle de la feuille dans la synthèse des hydrates de carbone, des protéines et des glucides, éléments qui constituent les réserves de la gousse d'arachide.

1.2.2 LES EFFETS RESIDUELS DE PN SEUL.

Les effets résiduels de PN sur le rendement de l'arachide n'ont pas été statistiquement significatifs comme le prouvent la figure XXVI page 102 et le tableau 23 ainsi que l'analyse de variance donnée en annexe III.

Tableau 23 : Effets résiduels de différentes doses de PN sur le rendement de l'arachide :
Campagne 1981

Traitement : kg P ₂ O ₅ /ha	Rendements en gousses : kg/ha	% de baisse par rapport au témoin	Rendements en fanés : t/ha
0	2251	-	9,085
45	2050	- 8,93	9,080
90	2108	- 6,35	9,119
135	1947	- 13,51	11,749
Ppds à 5 %	299	-	-
C.V.	18,45 %	-	-

Comme dans le cas du maïs, non seulement nous n'avons pu détecter aucune différence entre les traitements, mais encore la plus forte dose, 135 unités, a un effet significativement dépressif sur le rendement de l'arachide. A cette dose le rendement en gousses a baissé de - 13,5 % par rapport au témoin. La situation reste similaire à celle observée avec les effets résiduels de PN sur le maïs.

En vérité, ces résultats de la deuxième campagne posent un problème tant pour le maïs que pour l'arachide. Nous pouvons plus facilement justifier l'absence d'effets de PN en première année d'application par la solubilité lente de ce matériel, par la pluviométrie irrégulière de cette année 1980 (figure I) ou même par une disponibilité tardive de P₂O₅. Ainsi la phase critique de besoin en phosphore par la plante aurait déjà passé quand une quantité raisonnable de P₂O₅ était libérée. En fait l'analyse chimique de sol au début de la campagne 1981 qui a révélé que PN avait contribué à enrichir la solution du sol en P₂O₅, supportait notre raisonnement.

Il suscitait l'espoir que cette augmentation du phosphore due à l'apport de PN donnerait lieu à des rendements élevés et même plus élevés que ceux engendrés par l'effet résiduel de ST. Tel n'a pas été le cas ; comme le révèlent les rendements du maïs et de l'arachide (tableau 17 et 23). Cette situation constitue un défi que seule une étude systématique de la chimie du sol de Gampéla en relation avec le PN et les autres éléments minéraux, notamment le calcium, peut relever. Il est apparent qu'un problème d'assimilation du phosphore par la plante se pose. Comment l'expliquer ? Peut-être des études plus approfondies de la chimie du sol apporteront la réponse à l'inefficacité du PN, durant ces deux campagnes, sur le rendement du maïs et de l'arachide.

1.2.3 LES EFFETS RESIDUELS DE PN ET DE ST COMBINES

La figure XXVI page 102 représente les rendements dus aux effets de PN et ST. A partir donc de cette figure nous faisons les observations ci-après :

La combinaison PN 45 unités avec les doses croissantes de ST donne les meilleurs rendements qui plafonnent d'ailleurs à partir de PN₄₅ combiné à ST₄₅. Cette courbe PN₄₅ est nettement au-dessus de toutes les courbes.

- Le croisement des courbes PN₉₀ et PN₁₃₅ est très remarquable . Elles se croisent aux environs de 70 unités de ST.
- D'une manière générale, les rendements augmentent avec les doses croissantes de ST combinées aux doses décroissantes de PN. Toutefois, nous remarquons que les combinaisons PN à 90 unités avec les doses croissantes de ST ne répondent pas à cette tendance. En effet, hormis aussi le cas du traitement PN₁₃₅ combiné à ST₄₅, les plus bas rendements dus aux effets résiduels combinés ont été obtenus avec PN₉₀ combiné à ST₉₀, puis à ST₁₃₅ respectivement.

Dans le premier cas nous avons obtenu 2356 kg de gousses à l'hectare tandis que le traitement $PN_{90} \times ST_{135}$ donne un rendement 2481 kg/ha contre 2599 kg/ha, rendement le plus élevé, pour la combinaison des deux plus faibles doses (PN_{45} et ST_{45}). En revanche, le plus faible rendement est obtenu avec la plus forte dose de PN, 135 unités, combinée à la plus faible dose de ST, 45 unités. Ce rendement est de l'ordre de 2277 kg/ha.

A la vue de cette figure, nous devons nous attendre à une interaction significative. En effet, en nous référant à l'analyse statistique de ces rendements nous n'avons pas pu détecter une interaction significative par rapport aux effets des facteurs principaux, PN et ST (annexe III). Aucune différence significative n'existe entre les rendements résultant des doses combinées de PN et de ST. Ce n'est pas le cas avec PN seul. La combinaison PN_{45} et ST_{45} donne le rendement le plus élevé, accuse particulièrement une différence statistiquement significative avec les traitements PN seul et aussi avec ST à la dose de 90 unités. Il en est de même quand PN_{45} est combiné aux doses croissantes de ST. Remarquons aussi que les combinaisons PN_{45} et ST_{45} , PN_{45} et ST_{90} ont donné des rendements statistiquement différents de ceux de ST_{90} seul.

A la lumière de toutes ces observations nous supposons que le comportement de l'arachide serait similaire à celui du maïs vis-à-vis des effets résiduels de PN et de ST. Toutefois les différences observées dans l'allure des courbes des figures XXVI, XI, XV et XVII seraient un fait purement nutritionnel. Durant la campagne 1980 nous n'avons pas obtenu une interaction significative, ce qui suppose que le maïs avait prélevé dans une certaine mesure la même quantité de P_2O_5 si nous faisons fi du cas éventuel d'une consommation de luxe.

Les teneurs résiduelles en P_2O_5 du sol après la récolte du maïs, bien qu'elles ne soient pas en corrélation avec les rendements de la campagne 1981, confirmeraient cette hypothèse. Cette situation surprenante a été largement débattue quand il s'agissait des effets résiduels de PN et de ST sur le rendement du maïs ou de ceux de ST seul sur le rendement de l'arachide.

La plus faible dose de PN, 45 unités, combinée aux différentes doses de ST donne les meilleurs rendements. Cette dose donne aussi les plus faibles teneurs résiduelles en P_2O_5 après la campagne 1980. Nous pouvons ainsi croire que l'arachide aurait de faibles besoins en phosphore. Les doses élevées exerceraient un effet dépressif sur le rendement. Ce qui justifierait le faible rendement obtenu avec la combinaison PN_{90} et ST_{90} . Ainsi cette étude corrobore les résultats des autres chercheurs, ceux de l'IRHO et de l'IRAT particulièrement. A partir de leurs recherches ils concluent que l'arachide pourrait bénéficier des effets résiduels des engrais, notamment des engrais coton (17 et 21).

CONCLUSION

Au terme de notre travail sur les effets résiduels de PN et ST sur le comportement de l'arachide un certain nombre de considérations s'avèrent nécessaires.

Il s'agit, dans un premier cas, de l'inefficacité du phosphate naturel de Kodjari (PN), une année après son application, sur le rendement de l'arachide. Il a néanmoins contribué à l'augmentation du "pool" de P_2O_5 dans le sol qui n'est pas en corrélation avec les rendements de la campagne 1981. Au cours de cette campagne nous avons noté que PN exercerait des effets dépressifs sur le rendement de l'arachide et sur sa croissance végétative.

Dans un second cas, ST même une année après son application exerce toujours des effets ~~benefi~~ques sur le comportement de l'arachide. Toutefois nous avons constaté que ST à 90 unités a eu des effets dépressifs sur la croissance végétative et le rendement. A ce sujet nous avons trouvé que certains paramètres de croissance tels que la hauteur et la surface foliaire sont corrélés avec le rendement. Ainsi nous avons attribué ce cas particulier de ST à 90 unités à l'exportation de P_2O_5 par récolte de maïs de la campagne 1980 et à la différence du développement racinaire du maïs et de l'arachide en corollaire avec la migration éventuelle de P_2O_5 dans les couches supérieures à 30 cm.

En ce qui concerne les effets résiduels combinés de PN et ST, nous avons trouvé que le meilleur rendement est obtenu en combinant PN à 45 unités avec ST, quel que soit son niveau.

A l'exception du traitement ST à la dose de 90 kg P_2O_5 /ha, toutes les interactions n'ont pas été statistiquement différentes de ST, ce qui n'est pas le cas avec PN. Par ailleurs, les interactions n'ont pas été significativement différentes entre elles à quel que niveau que ce soit.

Ainsi tenant compte du coût des engrais utilisés, nous pouvons dire que le traitement, apparemment le plus rentable, est celui donnant le plus haut rendement, c'est-à-dire la combinaison des deux engrais au taux le plus faible : 45 unités de P_2O_5 pour chaque type d'engrais.

~~CONFIDENTIEL~~

Chapitre II: Influence de P_2O_5 , de Zn et de B sur le comportement
de l'arachide : campagne 1981

Le protocole et le dispositif expérimental de cet essai sont décrits au chapitre II de la partie traitant des matériels et méthodes, (page 60).

2.1 Effets comparatifs de P_2O_5 , de Zn et de B sur l'arachide

2.1.1 Effets sur la croissance végétative

Les paramètres de croissance et de développement végétatifs retenus dans cette étude sont: la hauteur, le nombre de branches et la surface foliaire, paramètres qui, dans l'étude précédente, sont significativement corrélés avec le rendement (page 104). Les résultats de la présente étude sont présentés par la figure XXVII (page 113). Il ressort des analyses statistiques (annexe IV) et de l'examen de cette figure que le P_2O_5 , le Zn et le B, à la dose respective de 135, 6,5 et 0,6 unités à l'hectare exercent un effet positif sur les paramètres suscités, à l'exception du nombre de branches. L'effet le plus spectaculaire a été celui du phosphore; le bore a eu un effet moindre que celui du Zinc. Par ordre d'effet, nous pouvons classer ces engrais comme suit:

$$\text{Témoin} < \text{B} < \text{Zn} < \text{P}_2\text{O}_5$$

Le tableau 24 donnant le pourcentage d'augmentation de croissance par rapport au témoin justifie ce classement.

Figure XXVII : Effets de P_2O_5 , de Zn et de B sur la hauteur, le nombre de branches et la surface foliaire de l'arachide.

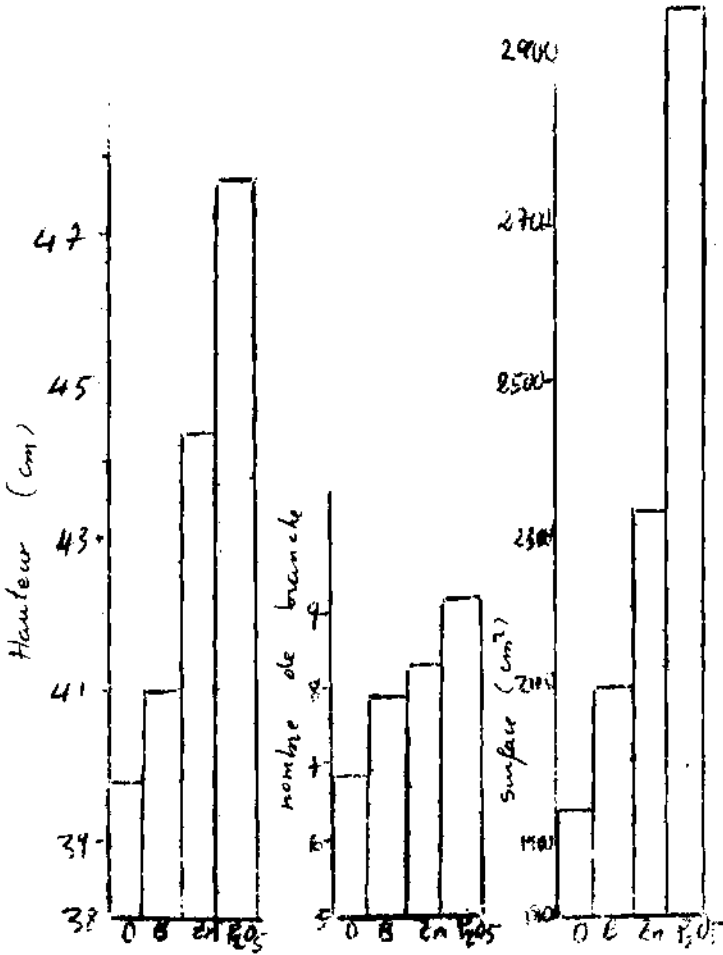


Figure XXVIII : Effets de P_2O_5 , de Zn et de B sur le rendement en gousses kg/ha

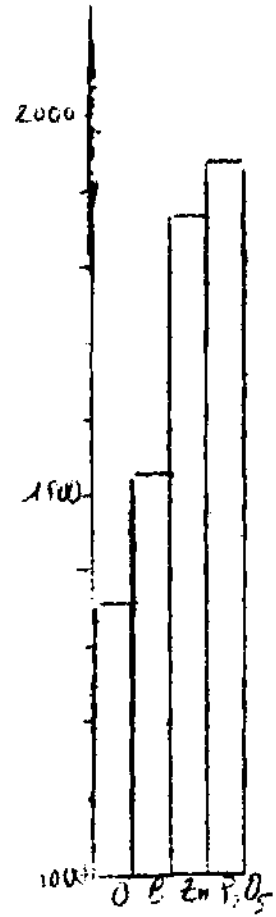


tableau 24: Pourcentage d'augmentation de la hauteur, du nombre de branches et de la surface foliaire par rapport au témoin dû aux effets de P_2O_5 , de Zn et de B seuls.

Facteurs (traitements)	Hauteur	Nombre de branches	Surface foliaire
P_2O_5	19,75	32,61	53,70
Zn	11,66	20,29	20,25
B	2,99	14,49	8,38

Il est donc nécessaire de noter que dans les conditions de cette étude, les microéléments, en l'occurrence le zinc et le bore, peuvent dans une certaine mesure stimuler la croissance de l'arachide. Bien que les effets de ces éléments ne soient pas égaux, il est remarquable de découvrir que dans le cas des sols de Gampéla, et probablement, dans le cas des sols de tout le plateau Mossi et peut-être même de ceux de la Haute-Volta, la carence en phosphore et la pauvreté des sols en azote, objets de tant d'études et de pratiques culturales (et à bon droit d'ailleurs), ne constituent pas les seuls facteurs limitant le rendement des cultures. Mais quels sont les effets de ces trois éléments, P_2O_5 , Zn et B, sur le rendement de l'arachide, but ultime de cette étude et de tout programme de fertilisation?

2.1.2 Effets de P_2O_5 , de Zn et de B sur le rendement de l'arachide

La figure XXVIII (page 112) nous donne un aperçu des effets de ces éléments sur le rendement de l'arachide. L'analyse de cette figure révèle que les effets de ces éléments, P_2O_5 , Zn et B, sur le rendement présentent la même allure que ceux sur la croissance. Chacun d'eux de

son propre chef et dans le même ordre, augmente le rendement par rapport au témoin (tableau 25). Dans le cas du phosphore et du zinc, l'augmentation a été très spectaculaire, de l'ordre de 42 et 37% respectivement.

Tableau 25: Effets de P_2O_5 , de Zn et de B sur le rendement de l'arachide :
campagne 1981

Traitements kg/ha	Rendement en * gousses: kg/ha	% d'augmentation par rapport au témoin
Témoin	1363 (a)	-
135 kg P_2O_5	1938 (b)	+42,19
6,5 kg Zn	1868 (b)	+37,05
0,6 kg B	1533 (a)	+12,47
Ppds à 5%	221	-
C.V.	18,33%	-

* Les moyennes affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes à 5% d'après le test de l'écart multiple de Duncan.

Nous avons vu que le zinc pouvait, dans une certaine mesure, se substituer au phosphore par son effet sur l'augmentation du rendement du maïs (tableau 20). Dans cette étude, il influe très favorablement sur le rendement de l'arachide. Ces deux faits peuvent constituer le prélude à une nouvelle orientation des recherches sur la fertilisation et ajoutent une nouvelle dimension de maintien de fertilité des sols aux différentes pratiques culturales préconisées en vue d'augmenter les rendements des cultures.

Mais pourrait-on augmenter encore d'avantage la croissance et le rendement de l'arachide en faisant réagir entre eux ces trois éléments

qui, isolement, exercent déjà un effet favorable sur certains paramètres de croissance et de rendement de l'arachide? Les résultats qui vont suivre nous permettront de répondre à cette question.

2.2 Effets combinés de P_2O_5 , de Zn et de B sur l'arachide : campagne 1981

2.2.1 Effets sur la croissance et le développement végétatifs

Pour mieux cerner le problème, les mêmes paramètres de croissance, à savoir la hauteur, le nombre de branches et la surface foliaire, vont être considérés. Les résultats sont présentés par la figure XXIX (page 116).

Au bout de 68 jours après le semis, les effets apparents combinés de P_2O_5 , de Zn et de B sur la hauteur peuvent se classer comme suit:



Toutefois, l'analyse statistique a montré que seule l'interaction $P_2O_5 \times Zn$ est significative par rapport à B, $Zn \times B$ et au témoin.

En ce qui concerne le nombre de branches observées 46 jours après le semis, aucune des combinaisons n'a donné des effets significatifs par rapport à ceux des traitements simples. La présence du zinc aurait même tendance à réduire l'effet de P_2O_5 . Il en est de même avec le bore. Cette tendance met encore une fois de plus en évidence le rôle régulateur du zinc sur le métabolisme général de la plante, notamment celui du phosphore. Nous avons précédemment supposé que, dans le cas du maïs, le zinc diminuerait l'absorption de P_2O_5 à dose élevée, 135 unités par exemple, par la plante et vice versa. Ainsi cette tendance confirmerait dans une certaine mesure cette hypothèse.

S'agissant de la surface foliaire, toutes les combinaisons ont eu des effets supérieurs à ceux des traitements simples, Zn et B. Il n'en n'est pas de même avec le P_2O_5 . L'analyse statistique et l'observation de

Figure XXX : Effets combinés de P_2O_5 , de Zn et B sur la hauteur, le nombre :
de branches et la surface foliaire de l'arachide.

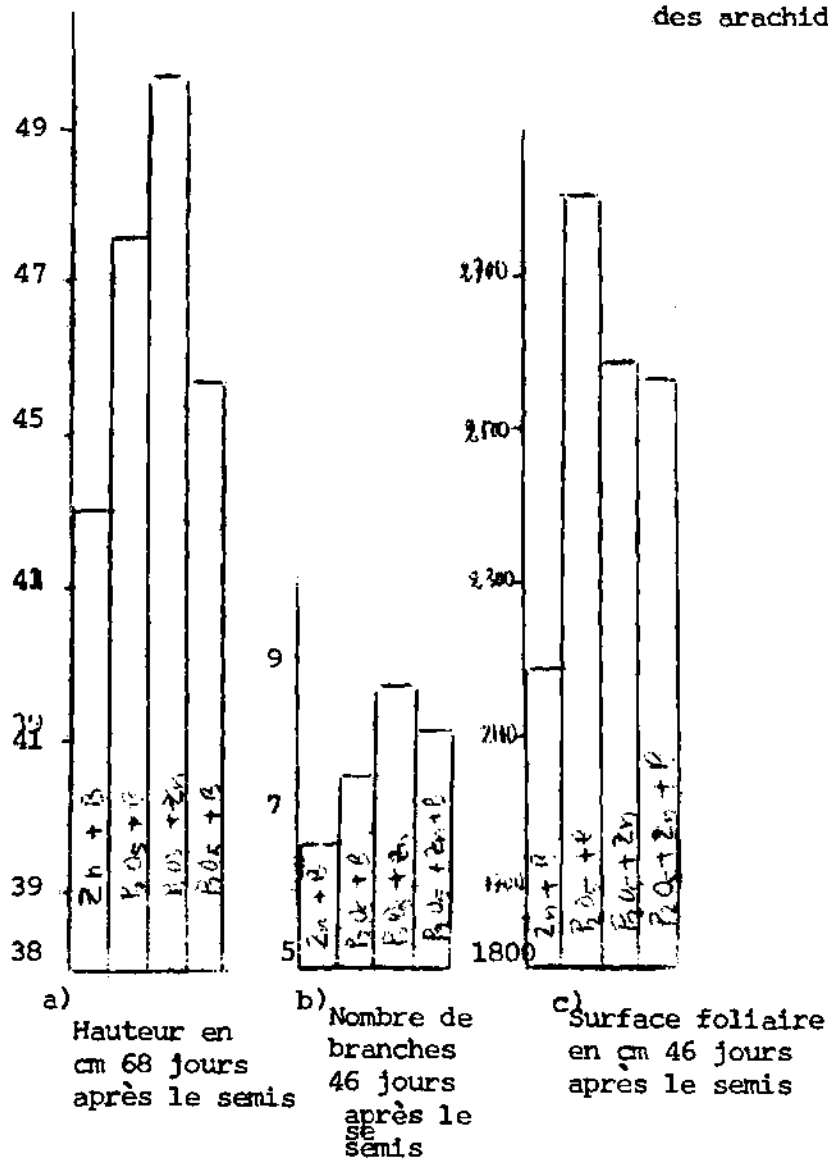
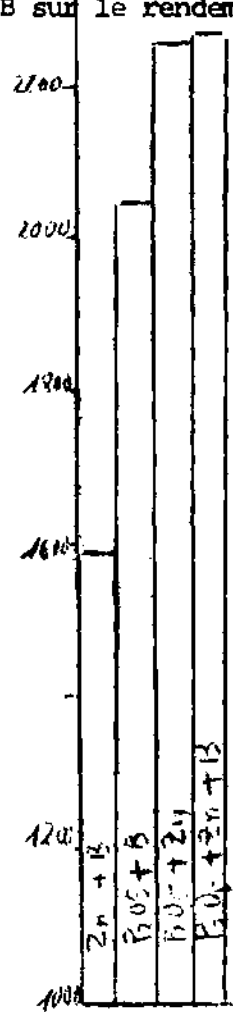


Figure XXX : Effets combinés de P_2O_5 , de Zn et de B sur le rendement en gousses des arachides kg/ha



cés données révèlent que les interactions n'ont pas été significatives entre elles. Toutefois, l'effet du traitement $P_2O_5 \times Zn$ est supérieur à celui de $Zn \times B$. En revanche, $P_2O_5 \times Zn$ a eu des effets inférieurs à ceux de $P_2O_5 \times B$ qui, à son tour, est moins efficace que P_2O_5 employé seul. Nous supposons que le bore aurait un effet régulateur, mais moindre par rapport à celui du zinc, sur les doses élevées du phosphore, en l'occurrence la dose de 135 unités à l'hectare. Le bore aurait aussi un effet diminutif sur le zinc. La surface couverte par les feuilles avec les effets de Zinc seul s'élève à 2335,40 cm^2 , mais en présence du Bore elle n'est que 2190,30 cm^2 soit une diminution de l'ordre 6,6%. Dans tous les cas, Zn et/ou B diminuerait les effets de P_2O_5 , ce qui laisse déjà présager leurs effets similaires sur le rendement.

2.2.2 Effets combinés de P_2O_5 , de Zn et de B sur le rendement de l'arachide.

Les rendements obtenus grâce aux effets combinés de P_2O_5 , de Zn et de B sont consignés dans la figure XXX (page 116). Par ailleurs, la figure XXVIII représente les rendements dûs aux effets de ces engrais employés sous forme non combinée. Il ressort de cette dernière figure que le bore seul augmente très peu le rendement de l'arachide comparativement au zinc dont les effets sont dépassés par ceux du phosphore. En examinant les effets des formes combinées, nous constatons que $Zn \times$: donne des rendements qui ne sont pas statistiquement différents de ceux des facteurs principaux, P_2O_5 , Zn et B seuls, et aussi de ceux du témoin. En revanche, Zn seul a donné des rendements significativement supérieurs à ceux du témoin. Ce qui laisse croire que le bore a effectivement contribué à la réduction des effets du zinc, comme dans le cas de la croissance

végétative. Dans tous les cas, même si elles ne sont pas statistiquement significatives entre elles et par rapport aux formes simples à l'exception du traitement Zn x B, toutes les combinaisons ont contribué à l'augmentation des rendements par rapport au témoin et aussi par rapport aux facteurs principaux (tableau 26).

Tableau 26: Effets de P_2O_5 , de Zn et de B, seuls ou combinés, sur le rendement de l'arachide : campagne 1981

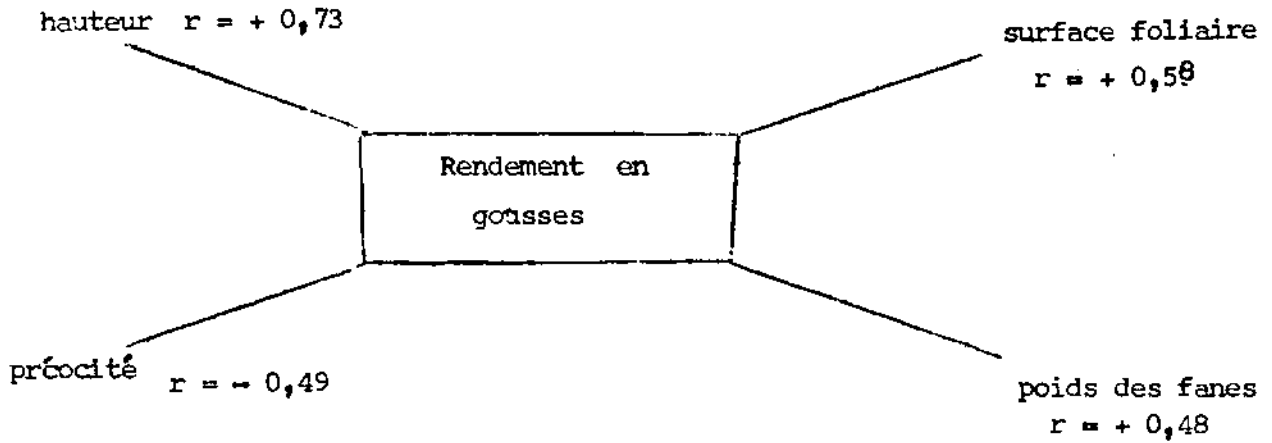
Traitements (kg/ha)			Rendements en gousses		% d'augmentation par rapport au témoin
P_2O_5	Zn	B	kg/ha	*	
0	0	0	1363	(a)	-
135	-	-	1938	bcd	+42,19
-	6,5	-	1868	bcd	+37,05
-	-	0,6	1533	a	+12,47
-	6,5	0,6	1588	adc	+16,51
135	-	0,6	2048	bc	+50,26
135	6,5	-	2263	b	+66,03
135	6,5	0,6	2266	b	+66,25
Ppds à 5% (**)			440		-
C.V.			18,33%		-

* Les moyennes affectées des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes à 5% d'après le test de Duncan.

(**) Il s'agit de la Ppds pour l'interaction P_2O_5 x Zn x B; celle de P_2O_5 x Zn, P_2O_5 x B, Zn x B est égale à 373 kg/ha.

Il ressort de ce tableau, ce qui est aussi prouvé par l'analyse de variance des rendements donnée en annexe IV, que le P_2O_5 et le Zn, employés seuls ou combinés, ont eu les mêmes effets sur le rendement de l'arachide. En revanche, le bore n'a pas d'effets statistiquement différents de ceux du témoin. En d'autres termes, le bore n'apporte "rien" de plus aux effets de P_2O_5 et de Zn. Ces résultats tendent ainsi à confirmer ceux obtenus antérieurement sur le maïs, quant aux effets de P_2O_5 et de $ZnSO_4$. Le zinc pourrait efficacement se substituer aux doses élevées de P_2O_5 : 135 unités de P_2O_5 pourrait être remplacées par 6,5 unités de Zn dans les conditions de notre étude. La combinaison de ces deux doses a davantage augmenté les rendements de 66% par rapport témoin et de l'ordre de 16,8 et 21% par rapport à P_2O_5 et à Zn, respectivement.

En nous référant aux effets combinés^{de} ces engrais sur la croissance végétative (fig. XXIX) nous constatons que ces effets ont tendance à diminuer la hauteur, le nombre et même la surface foliaire par rapport aux effets simples de ces mêmes engrais sur ces paramètres précités. Ce qui n'est pas le cas avec le rendement (fig. XXX). Ainsi, poursuivant d'autres objectifs et utilisant d'autres méthodes et matériels, nous avons pu aussi tester une seconde fois la corrélation entre ces paramètres de croissance et le rendement. Rappelons que nous avons antérieurement corrélés positivement ces paramètres avec le rendement quand il s'agissait de mesurer les effets résiduels de PN et ST sur le comportement de l'arachide. Rappelons aussi que nous n'avons pas utilisé la même variété d'arachide, dans les deux cas. Dans le cas de ce présent travail, les différentes corrélations, pour un degré de liberté 38, peuvent se résumer comme suit:



Bien que la variété d'arachide utilisée est rampante, nous n'avons pas pu trouver une corrélation entre le nombre de branches et le rendement. Néanmoins nous avons ainsi une fois de plus confirmé les résultats précédents. Nous pouvons penser dans ce cas que c'est la hauteur en corrélation aussi avec la surface foliaire qui influe le plus sur le rendement de l'arachide. Nous pouvons donc émettre l'hypothèse à savoir que tout traitement stimulant un ou plusieurs de ces paramètres de croissance, dans le cas de l'arachide, est susceptible d'augmenter le rendement.

Conclusion:


Au terme de notre étude sur les effets de P_2O_5 , de Zn et B, seuls ou combinés, sur l'arachide nous pouvons retenir deux points essentiels.

1) Le bore, employé seul ou combiné avec P_2O_5 ou Zn, n'a aucun effet statistiquement significatif sur la croissance et le rendement de l'arachide. Il aurait même tendance à diminuer les effets de P_2O_5 et B, sur la croissance de l'arachide s'ils sont combinés. Dans le cas des rendements, il a été qualifié d'avoir un comportement "neutre" en présence de P_2O_5 .

2) Le phosphore et le zinc, aux doses respectivement de 135 et 6,5 unités, auraient les mêmes effets sur le rendement de l'arachide. Par ailleurs, ils ont contribué à augmenter efficacement les rendements et mieux encore s'ils sont employés sous forme combinée. Ce qui confirme dans une certaine mesure l'hypothèse précédemment émise dans le cas du maïs, à savoir que le zinc, à faible dose, pourrait remplacer efficacement le super triple à dose élevée, 135 unités notamment. Dans le cas également du maïs, nous avons supposé que le zinc aurait un rôle régulateur sur les effets dépressifs des doses élevées de P_2O_5 et vice versa. Ce qui se matérialiserait par l'augmentation des rendements dûs aux effets combinés de 6,5 kg Zn/ha et 135 unités de P_2O_5 , dose la plus élevée de ST employée pour cette étude. Toutefois la répétition de cette étude dans les années à venir nous permettra de confirmer l'efficacité du zinc sur l'arachide dans les conditions des sols de Gampéla.

 UATRIEME  ARTIE



 ONCLUSION GENERALE



Conclusion générale:

Tout au cours de ce travail, nous avons étudié l'effet du phosphore, du zinc et du bore sur le maïs et l'arachide à la Station Expérimentale de Gampéla que nous considérons dans l'ensemble, pédologiquement et climatologiquement, représentative du plateau Mossi.

Notre étude, certes, présente des faiblesses et des lacunes, qui, dans une large mesure, sont imputables à certaines contraintes du milieu et aux circonstances dans lesquelles le travail a été réalisé. Toutefois, elle présente quelques mérites.

Elle a révélé clairement qu'à Gampéla, et probablement dans l'ensemble du plateau Mossi, le problème de la carence en phosphore des sols est une entrave sérieuse à l'intensification de l'agriculture. Sa correction requiert des études plus spécifiques en amont. Il s'agira, dans le cas particulier des sols de Gampéla, de suivre la dynamique des éléments minéraux, notamment celle du phosphore et du calcium. En effet, des études systématiques sur l'évolution de ces deux éléments nous auraient permis d'élucider certains points de notre travail.

Il ressort de cette étude que le phosphate naturel de Kodjari (PN) employé seul, durant ces deux années d'essai, n'a eu aucun effet sur le maïs et l'arachide. Il tend même à diminuer le rendement, surtout à la dose 135 unités de P_2O_5 à l'hectare. Néanmoins les analyses chimiques de sol, après la récolte de la première campagne, ont révélé une augmentation du pool phosphorique due à l'apport de PN. Un certain nombre d'hypothèses ont été émises pour essayer de justifier l'absence de corrélation entre la teneur du sol en P_2O_5 et le rendement de la deuxième campagne 1981.

Il s'agit essentiellement de la texture sablo-argilo-limoneuse du sol de Gampéla, favorable à la migration des éléments minéraux dans les couches plus profondes. Nous proposons d'effectuer des analyses chimiques de sol à différentes profondeurs. Ainsi nous pourrions suivre la dynamique du phosphore dans ces sols. Avant d'entreprendre aussi un phosphatage de fond à Gampéla, nous suggérons de mener d'abord ces études sinon nous courons le risque de perturber la chimie du sol sans corriger la carence phosphorique de ce dernier.

Comme nous l'avons dit antérieurement, Gampéla, outre son rôle pédagogique, se veut aussi une structure d'encadrement des paysans. Aussi les recherches qui s'y effectuent doivent-elles viser à améliorer les techniques de production adoptées par les paysans de la zone en vue d'une optimisation des rendements. Toutefois, les résultats de cette étude ne sauraient, à présent, faire l'objet d'une extrapolation systématique en milieu paysan. En effet, le manque de répétitions dans le temps ne nous permet pas de tirer des conclusions définitives et de faire des propositions vulgarisables. Cependant cette étude permet d'orienter les futures recherches en vue d'une vulgarisation rationnelle de certaines techniques de relèvement de la fertilité des sols.

Eu égard à l'emploi du super triple en vue de la maximisation de la production agricole, il est nécessaire d'apporter des doses voisines de 90 unités. En effet, il ressort de cette étude que le super triple a augmenté efficacement le rendement du maïs et de l'arachide, même une année après son application. Ainsi la dose optimale calculée dans le contexte de ce travail est de 68,7kg de P_2O_5 à l'hectare. Cependant des études économiques intégrant tous les autres facteurs nous permettraient de confirmer ou d'infirmer la

rentabilité de cet engrais utilisé à cette dose.

Pour les sols de Gampéla, une dose de 135 unités de P_2O_5 à l'hectare ne serait pas statistiquement différente de 90 unités. Quelle que soit la dose, ST est immédiatement assimilable. Ce qui aurait contribué à l'augmentation des rendements durant ces deux campagnes 1980 et 1981. Contrairement à PN, il ne contribue pas à l'augmentation du pool phosphorique du sol. PN est solubilisé progressivement. Ainsi au moment de l'analyse chimique de sol le "pool" faible indique qu'une partie importante du PN n'a pas encore été solubilisée.

Néanmoins l'effet résiduel de ST à 90 unités, après une année est bénéfique pour le maïs et sans effet sur le rendement de l'arachide. Nous avons supposé que cette situation serait sans doute liée à la différence du développement racinaire des deux plantes en relation avec la texture sablo-argilo-limoneuse du site expérimental. Cette situation serait aussi due à la différence dans l'assimilation des éléments minéraux corollairement à l'environnement rhizosphérique. Le manque de données sur les profils racinaires de ces deux cultures au cours de notre étude ne nous permet pas de confirmer ou d'infirmer notre hypothèse. Des études ultérieures seraient alors indispensables pour mieux situer ce problème.

S'agissant de l'interaction PN x ST, nous avons dégagé deux points, à savoir:

- 1) L'interaction PN x ST aurait contribué à augmenter la teneur en P_2O_5 du sol plus que PN et ST employés seuls. Ce fait serait sans doute lié à la solubilisation de PN en présence de ST d'une part, et aux teneurs résiduelles de ST d'autre part.

2) L'interaction PN x ST n'a pas eu d'effets significatifs sur le rendement du maïs et de l'arachide durant ces deux années d'essai.

Nous avons supposé que seul ST continuerait d'avoir des effets, ce qui se confirme par les meilleurs rendements obtenus, dans le cas du maïs, avec les doses voisines de la dose optimale (68,7 kg P_2O_5 /ha) de ST seul.

Les formes de phosphore assimilables ne sont pas encore disponibles, bien que le pool soit élevé dans le sol à la suite des apports combinés de PN

et de ST. Nous n'avons pas trouvé de différences significatives statistiquement entre les rendements dus aux effets de ST et ceux de l'interaction PN x ST durant ces deux campagnes.

Néanmoins, dans le cas de l'arachide, les meilleurs rendements ont été obtenus avec la plus faible dose de PN (45 unités) combinée aux différentes doses croissantes de ST. Nous pensons que l'arachide n'aurait pas les mêmes besoins en phosphore que le maïs.

Il ressort de ces deux années d'expérimentation que le meilleur traitement serait $PN_{90} \times ST_{90}$ dans le cas du maïs et l'effet résiduel de $PN_{45} \times ST_{45}$ serait plus efficace sur le rendement de l'arachide que les autres traitements.

Il a été démontré au cours de cette étude que le zinc à faible dose (7,4 kg $ZnSO_4$ /ha) pourrait se substituer efficacement au super triple. En effet, le sulfate de zinc, dans les conditions des sols de Gampela, serait aussi un facteur de précocité pour la maturation à l'instar du phosphore. Ce qui pourrait avoir des implications physiologiques et agronomiques intéressantes. En revanche, à 24 kg de $ZnSO_4$ /ha, le zinc exercerait un effet dépressif sur le comportement du maïs. Ceci nous conduit à penser soit à un effet toxique à cette dose soit à un effet inhibiteur sur l'ab-

sorption des autres éléments; le phosphore pourrait en être un exemple.

Cependant, en présence de P_2O_5 nous n'avons pas pu observer ce cas de toxicité. Nous avons ainsi supposé que le zinc serait un élément régulateur de l'absorption du phosphore et du métabolisme de la plante en général. Nous avons préconisé à ce sujet des études d'analyses foliaires car il nous a semblé qu'à dose élevée, P_2O_5 agirait sur le zinc et vice versa. Dans ce contexte nous avons mis en évidence une interaction significative. Les rendements du maïs ont plus que doublé par rapport au témoin et dans certains cas par rapport à Zn et à ST seuls. Nous avons noté des augmentations appréciables à tous les niveaux, à l'exception du cas de 24 kg $ZnSO_4$ /ha. Ce qui n'a pas été observé avec le bore.

En effet, le bore n'a pas eu autant d'effets sur le rendement de l'arachide que le phosphore et le zinc. Il n'a augmenté le rendement que de 12% par rapport au témoin, tandis que des augmentations de l'ordre de 42 et de 37% ont été enregistrées avec des apports de 135 unités de P_2O_5 et 6,5 unités de Zn, respectivement.

Au cours de cette étude nous avons constaté que le bore aurait tendance à exercer des effets dépressifs sur le zinc. En effet, le zinc employé seul aurait contribué à une augmentation de rendement de 37%. En présence du bore l'augmentation n'est que 16,5% par rapport au témoin soit une diminution de l'ordre 20,5%. Nous attendons des études sur la dynamique de ces éléments dans les sols de Gampéla et des analyses foliaires pour pouvoir déterminer le mécanisme de cet effet du bore.

Au terme donc de cette étude, trop d'incertitudes et de contraintes pèsent encore sur la correction et le maintien de la fertilité des sols de Gampéla et du plateau Mossi. Elles concernent notamment:

- La connaissance limitée du milieu d'étude.
- Les moyens financiers modestes limitant ainsi le nombre d'analyses foliaires et chimiques de sol.
- Le manque de répétitions dans le temps. Ces faits méritent d'être précisés car bien qu'on dispose présentement d'un nombre assez important de données. Elles ne sont pas encore suffisamment élaborées pour être facilement utilisables par les populations.

Cette étude a permis de préciser les difficultés de certaines techniques culturales comme la fertilisation. Elle soulève aussi beaucoup de questions et de problèmes; ce qui conduit à proposer pour les études futures quelques thèmes de recherche, notamment:

- étude chimique des sols de Gampéla d'une façon générale et d'une manière précise la dynamique du phosphore et du calcium.
- adjonction du zinc à l'engrais "coton" qui est le plus employé dans le pays.
- poursuite de la recherche sur les microéléments qui deviennent un souci majeur pour la majorité des pays en voie de développement.

La présente étude, nous l'espérons, sera un début des nombreuses autres qui vont suivre à la Station Expérimentale de Gampéla. Elle sera aussi un complément modeste certes, des activités menées par les autres organismes et instituts divers (IRAT, Projet Phosphate de Haute-Volta,

SAFGRAD-FSU, etc.....). Elle met en relief le rôle combien important des techniques de conservation de la fertilité du sol. Elle souligne la complexité du phosphore, liée aux propriétés physico-chimiques des sols, dans la valorisation des engrais phosphatés. Précisons une fois de plus que le but poursuivi est l'intensification de la production agricole.

ANNEXES

Annexe I

Tableau I₁: Analyse de variance des rendements de maïs avec effets immédiats de PN et de ST : campagne 1980

Source de variation	dl	Somme des carrés (SC)	Moyennes des carrés ou variance (MC)	F calculé	F théorique	
					5%	1%
Parcelles I	19	3,785				
blocs	4	1,618				
PN	3	0,124	0,041	0,243	3,49	5,95
Erreur (a)	12	2,043	0,170			
Parcelles II	79	22,159				
ST	3	11,871	3,957	30,674**	2,84	4,31
PN X ST	9	0,315	0,015	0,116	2,12	2,89
Erreur (b)	48	6,188	0,129			

$$\bar{x} = 1,862 \text{ tonnes/ha}$$

$$\text{c.v.} = 19,29\%$$

Tableau I₂: Effets résiduels de PN et de ST sur le rendement du maïs campagne 1981 : analyse de variance

Source de variation	dl	SC	MC	F calculé	F théorique	
					5%	1%
Parcelles I	19	19,415				
blocs	4	7,702				
PN	3	1,041	0,347	0,390	3,49	5,95
Erreur (a)	12	10,672	0,889			
Parcelles II	79	50,553				
ST	4	10,399	3,466	8,775**	2,84	4,31
PN X ST	9	1,787	0,199	0,503	2,12	2,89
Erreur (b)	48	18,952	0,395			

$$\bar{x} = 2,252 \text{ t}$$

$$\text{c.v.} = 27,91\%$$

Tableau I₃: Effets de différentes doses de PN et de ST sur le rendement

moyen de 2 campagnes : 1980 et 1981

Analyse de variance

Source de variation	dl	SC	MC	F calculé	F théorique	
					5%	1%
Parcelles I	19	8,184				
blocs	4	3,885				
PN	3	0,147	0,049	0,142	3,49	5,95
Erreur (a)	12	4,152	0,346			
Parcelles II	79	26,871				
ST	3	11,171	3,724	25,945**	2,81	4,31
PN X ST	9	0,628	0,070	0,486	2,12	2,89
Erreur (b)	48	6,889	0,144			

$$\bar{x} = 2,057 \text{ t}$$

$$c.v. = 18,42$$

Tableau I₄: Effets résiduels de PN et ST sur le maïs.

(Jaune Flint) : campagne 1981

Traitements PN + ST	Rendement en grains t/ha	Hauteur (cm) stade épisaison	Précocité nombre de jours pour 50% de panicules	Rendement en épis t/ha	Poids \bar{x} d'un épi (g)
0 + 0	1,916 ^{abcd}	151,80	42	2,395	56,3
45 + 0	1,647 ^{cd}	144,90	42	2,126	50,1
90 + 0	1,829 ^{bcd}	154,20	42	2,297	51,8
135 + 0	1,257 ^d	136,90	43	1,574	40,9
0 + 45	2,196 ^{abc}	167,95	41	2,756	63,1
0 + 90	2,335 ^{abc}	160,65	40	2,797	63,8
0 + 135	2,370 ^{abc}	179,20	39	3,066	69,8
45 + 45	2,394 ^{abc}	166,60	40	2,974	66,1
45 + 90	2,836 ^a	167,60	39	3,502	76,4
45 + 135	2,625 ^{ab}	166,40	38	3,292	73,4
90 + 45	2,305 ^{abc}	160,95	41	2,888	66,4
90 + 90	2,479 ^{abc}	177,00	39	2,988	66,0
90 + 135	2,746 ^{ab}	170,40	40	3,417	70,1
135 + 45	2,180 ^{abc}	161,40	40	2,756	62,8
135 + 90	2,252 ^{abc}	162,05	40	2,814	62,5
135 + 135	2,664 ^{ab}	165,50	39	3,321	68,7
Ppds à 5%	0,783	25,358	2,420	1,160	18,786
C.V.	27,9%	10,24	03,38	27,22	18,37
coefficient de corrélation (2)					
entre rendement et		+0,84**	-0,88**	+0,99**	+0,97**

$$r = -0,83^{**}$$

coefficient de corrélation

entre Hauteur et le poids \bar{x} de l'épi = +0,86**

487 kg pour la campagne 1980 à 948 kg en 1981

C.V. général est égal à 19,29 % en 1980 et à 27,91 % en 1981

Ppds pour la moyenne des 2 campagnes est de 582 kg avec un coefficient de variation égale à 18,42 %.

Annexe I

Tableau I₅: Effets de différentes doses de phosphate naturel de Kodjari et de super triple, combinées ou seules, sur le rendement en kg/ha du maïs : campagnes 1980 et 1981

Traitements kgP ₂ O ₅ /ha		Rendements moyens kg/ha		Cumul des 2 campagnes	Moyennes des 2 campagnes
PN	ST	1 ^e campagne: 1980	2 ^e campagne: 1981		
0 +	0	1329 ^{cb}	1916 ^{abcd}	3245	1623
0 +	45	1778 ^{ac}	2196 ^{abc}	3974	1987
0 +	90	2126 ^a	2335 ^{abc}	4461	2231
0 +	135	2254 ^a	2370 ^{abc}	4624	2312
Ppds _{5%}		229	400	-	241
c.v.		19,29%	27,91%	-	18,42%
0 +	0	1329 ^{cb}	1916 ^{abcd}	3245	1623
45 +	0	1241 ^b	1647 ^{cd}	2888	1444
90 +	0	1248 ^b	1829 ^{bcd}	3077	1539
135 +	0	1150 ^b	1257 ^d	2407	1204
Ppds _{5%}		283	649	-	405
c.v.		22,14%	41,87%	-	28,60%
0 +	0	1329 ^{cb}	1916 ^{abcd}	3245	1823
45 +	45	1770 ^{ac}	2394 ^{abc}	4164	2082
90 +	45	1790 ^{ac}	2305 ^{abc}	4095	2048
135 +	45	2022 ^a	2180 ^{abc}	4202	2101
45 +	90	2062 ^a	2836 ^a	4898	2449
90 +	90	2213 ^a	2479 ^{abc}	4692	2346
135 +	90	2208 ^a	2252 ^{abc}	4460	2230
45 +	135	2121 ^a	2625 ^{ab}	4746	2373
90 +	135	2238 ^a	2746 ^{ab}	4984	2492
135 +	135	2245 ^a	2664 ^{ab}	4909	2455

* Ppds_{5%} pour comparer la différence entre deux moyennes de ST pour le même niveau de PN est égale à 457 kg en 1980 et à 801 kg en 1981.

Ppds_{5%} pour comparer deux moyennes de PN à n'importe quel niveau de ST est égal à

Effets immédiats et résiduels de PN et de ST :

Tableau I₆ : Pourcentage d'augmentation de rendements moyens à l'ha par rapport au témoin de la campagne 1980 et 1981

Traitements kg/ha	% d'augmentation par rapport au témoin (campagne 1980)	% d'augmentation par rapport au témoin (campagne 1981)	% d'augmentation campagne 1981 par rapport à la cam- pagne 1980
PN + ST			
0 + 0	-	-	+44,17
45 + 0	-6,62	-14,04	+32,72
90 + 0	-6,10	- 4,54	+46,55
135 + 0	-13,47	-34,40	+09,30
0 + 45	+33,79	+14,61	+23,51
0 + 90	+59,97	+21,92	+09,83
0 + 135	+69,60	+23,70	+05,15
45 + 45	+33,18	+24,95	+35,25
45 + 90	+55,15	+48,02	+37,54
45 + 135	+59,59	+37,00	+23,76
90 + 45	+34,69	+20,30	+28,77
90 + 90	+66,52	+29,38	+12,02
90 + 135	+68,40	+43,32	+22,70
135 + 45	+52,14	+13,78	+07,81
135 + 90	+66,14	+17,54	+01,99
135 + 135	+68,92	+39,04	+18,66

Calcul du rapport valeur de l'augmentation
des rendements (V) sur coût de l'engrais (C) : $R=V/C$

Pour ce calcul, on a fait intervenir les prix officiels à savoir, les prix fixés par l'Office National des Céréales (OFNACER) pour le maïs, et les prix subventionnés de ST qui a permis d'atteindre les augmentations de rendements présentés aux tableaux 16 et 1.6

Prix du maïs en 1980: 45 FCFA le kg

Prix du maïs en 1981: 50 FCFA le kg

Prix du ST en 1980: 100 FCFA le kg de P_2O_5

traitements kg P_2O_5	rendements en kg/ha	augmentation des rendements kg/ha	valeur de l'augmentation (V)	coût de l'engrais (C)	béné- fice brut	rapport $R = V/C$
Effets immédiats campagne : 1980						
0	1399	-	-	-	-	-
45	1778	449	20205	4500	15705	4,5
90	2126	797	35865	9000	26865	4,0
135	2254	925	41625	13500	28125	3,0
Effets résiduels campagne : 1981						
0	1916	-	-	-	-	-
45	2196	280	14000			
90	2335	419	20950			
135	2370	454	22700			

Nous avons supposé que les frais d'application des engrais peuvent être compensés par la valeur des résidus de récolte et les effets résiduels de l'engrais. La fumure est rentable au paysan quand le rapport V/C est au moins égal à 2.

Détermination d'une dose optimale de ST

Les calculs préliminaires permettant d'aboutir à une fonction de production se résument à :

$$\bar{x} = \text{moyenne des doses de } P_2O_5 = 67,5 \text{ kg}$$

$$\bar{y} = \text{rendement moyen} = 1\ 871,75 \text{ kg en 1980}$$

$$= 2\ 204,25 \text{ kg en 1981}$$

et des coefficients permettant la détermination des paramètres a, b, c de la parabole $y = ax^2 + bx + c$

La dose optimale est donnée par la formule :

$$x = \frac{y^1 - b}{2a} \text{ où } y^1 \text{ est la productivité limite.}$$

Les fonctions de production sont données par les équations

- en 1980: $\hat{y} = 1323,05 + 12,29x - 0,0396x^2$ (courbe I)

- en 1981: $\hat{y} = 1917,85 + 7,419x - 0,0302x^2$ (courbe II)

Effets de différentes doses de ST sur le rendement de maïs

traitement kg P ₂ O ₅ /ha	1980		1981	
	Rendements observés (y)	Rendements ajustés (\hat{y})	Rendements observés (y)	Rendements ajustés (\hat{y})
0	1329	1323,05	1916	1917,85
45	1778	1755,91	2196	2190,55
90	2126	2108,39	2335	2340,94
135	2254	2260,49	2570	2369,02

En 1980, le calcul du rapport $R = V/C$, a montré que toutes ces doses de ST sont rentables. En considérant le plus faible rapport (3,0) correspondant au traitement ST à 135 unités nous déterminons la productivité limite y^1 qui vaut :

$$\frac{2254 - 1329}{135} = 6,85 \text{ kg de maïs pour 1 kg d'engrais}$$

Ainsi la dose optimale est égale à : $\frac{6,85 - 12,29}{-2 \times 0,0396} = 68,7 \text{ kg de } P_2O_5/\text{ha.}$

Figure I Droite de regression des rendements selon les traitements de ST campagne 1980.

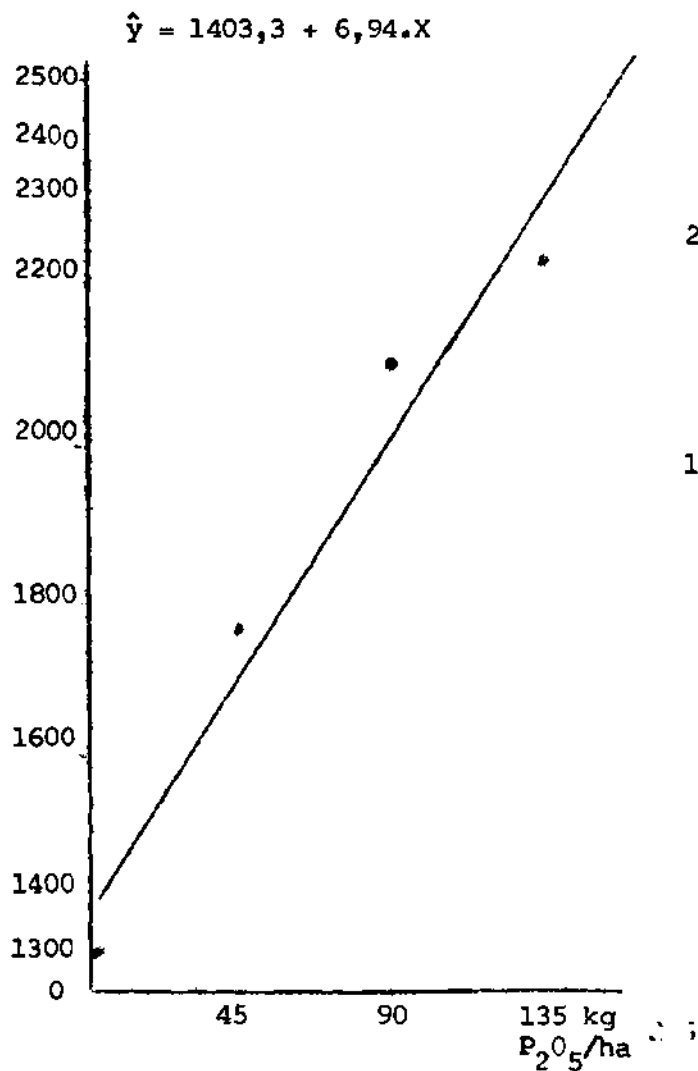


Figure II : Fonction de production de ST

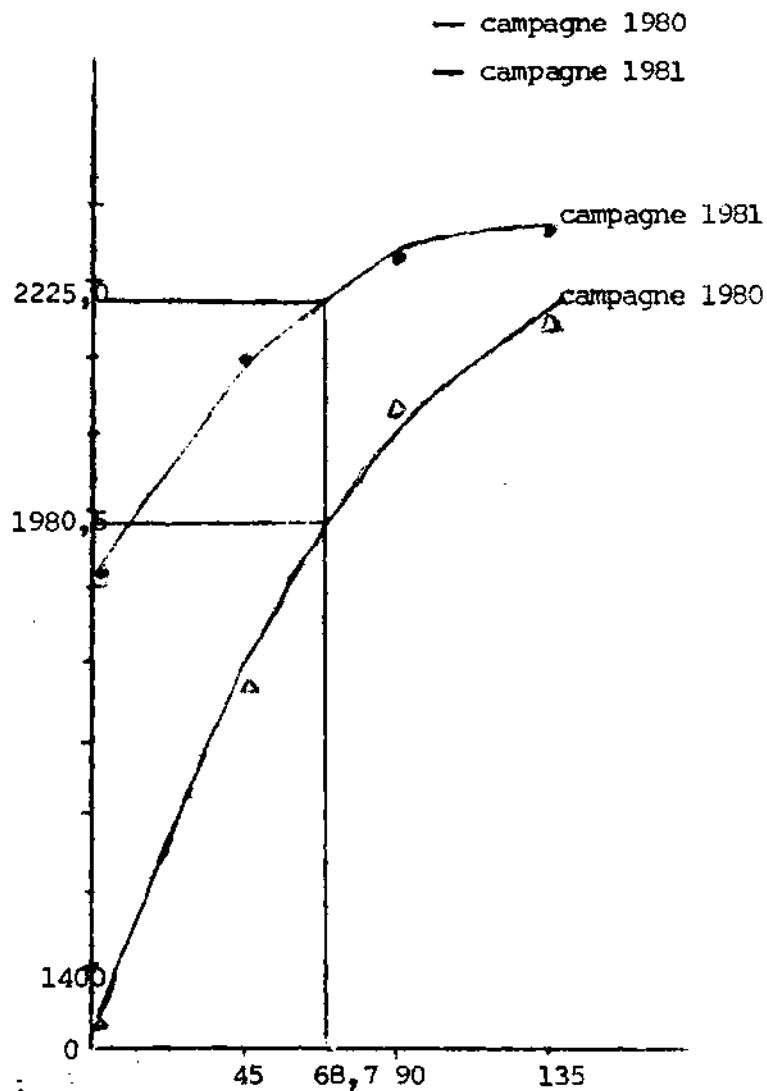


Figure III : Regression des rendements selon la hauteur

$$\hat{Y} = - 2983 + 32X$$

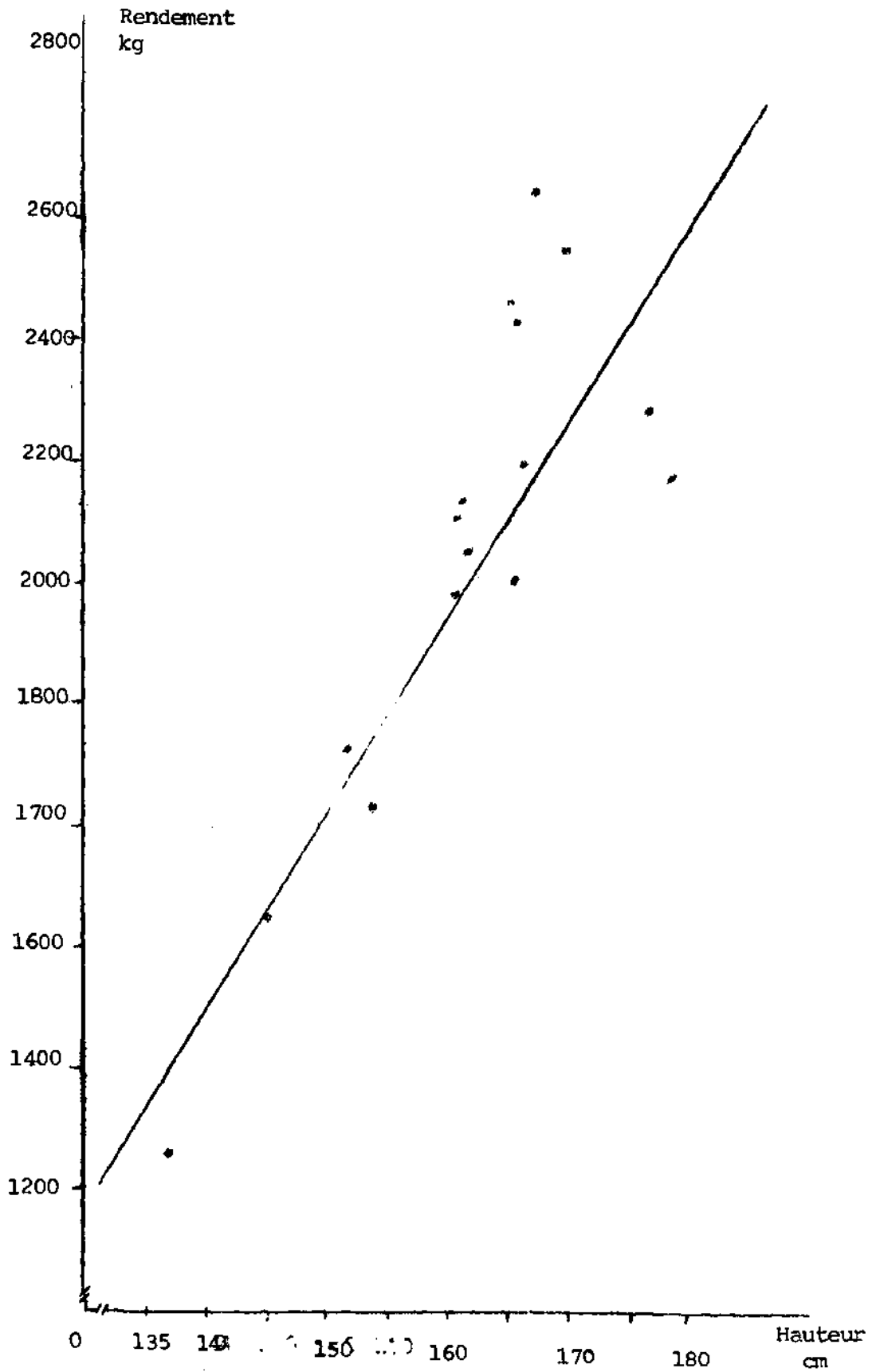
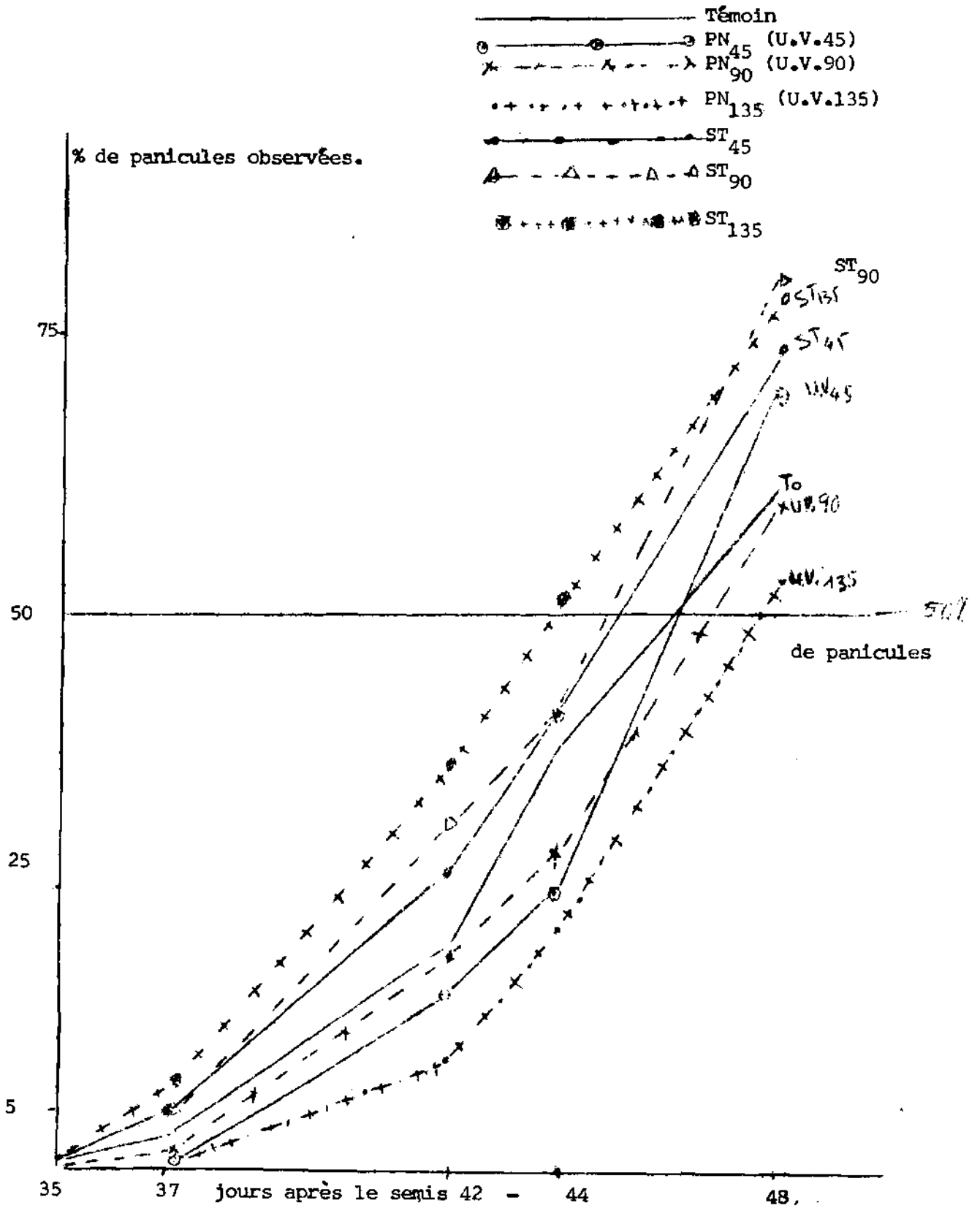


Figure IV : Effets de différentes doses de PN et de ST sur la précocité du maïs en fonction du temps.



Annexe I:

Multiple regression
degré de liberté = 78
variable dépendante : rendement

variable indépendante	:	Hauteur	-	Précocité	-	Poids des rafles
multiple R	:	0,8100		0,85857		0,86478
simple R	:	0,81000		-0,76879		0,68332

Pearson corrélation coefficients
degré de liberté = 78
Seuil de probabilité = 5%

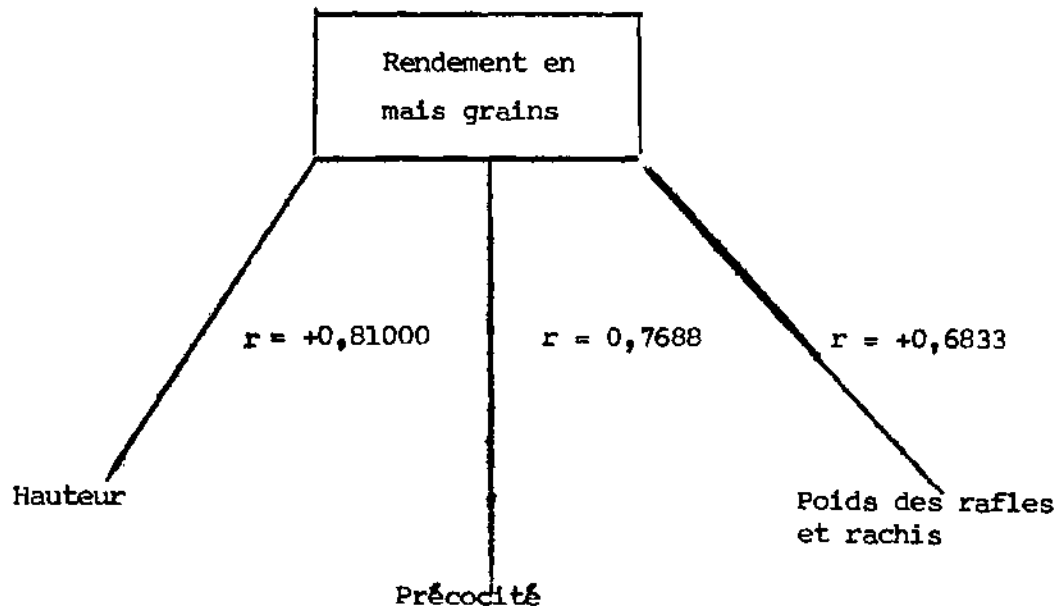
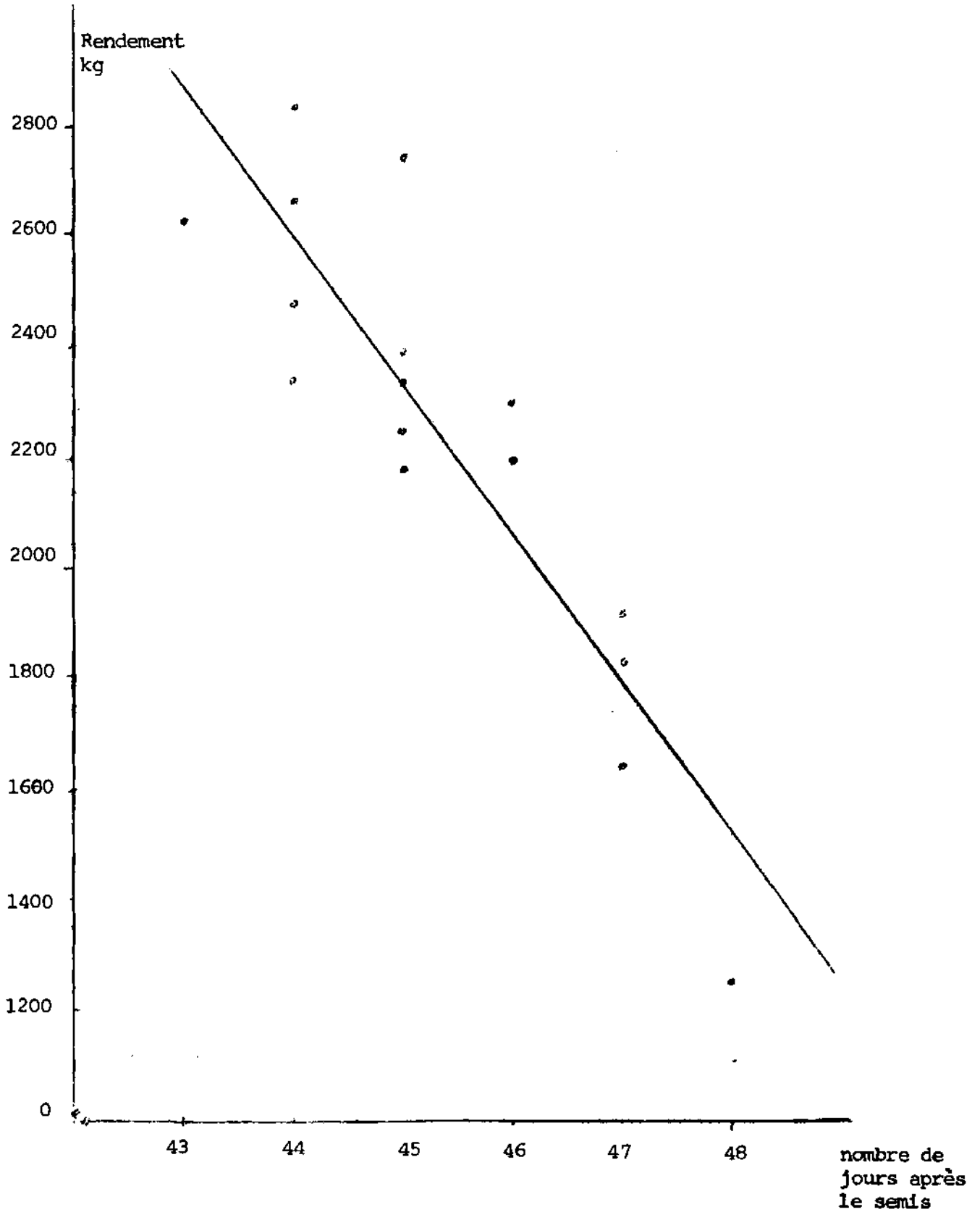


Figure V : Droite de regression des rendements selon la précocité

$$\hat{y} = 12937 - 265 \cdot X$$



Annexe II:

Tableau 2.1

Effets de différentes doses de P_2O_5 et de Zn, seules ou combinées, sur la croissance et la précocité du maïs: campagne 1981

Traitements kg/ha		Hauteur cm (jours après la levée)			Nombre de jours après semis pour l'appari- tion de +50% de pani- cules
		17j.	25j.	35j.	
P_2O_5	Zn				
0 + 0		43,00	75,30	108,40	45
90 + 0		51,80	92,80	143,50	42
135 + 0		59,60	98,10	155,50	43
0 + 8		49,00	76,20	110,50	44
0 + 16		48,40	72,60	116,80	43
0 + 24		47,90	72,60	117,60	44
90 + 8		70,50	112,70	171,60	41
90 + 16		70,10	108,70	165,70	41
90 + 24		65,30	107,30	165,70	41
135 + 8		71,90	128,90	162,80	40
135 + 16		63,40	113,20	168,90	41
135 + 24		68,90	108,80	172,70	41
Ppds à 5%	P_2O_5	6,62	11,92	21,06	0,243
	Zn/.	-	13,76	24,32	0,324
	STxZn/.	13,24	23,84	42,12	1,991
C.V. en %		17,51%	19,17%	22,21%	4,21%
F cal- culé	P_2O_5	20,496**	23,672**	17,52**	20,798**
	Zn/.	-	2,153	1,07	4,421**
	STxZn/.	0,677	0,665	0,24	0,540

Annexe II

tableau 2.2: Effets de différentes doses de P_2O_5 et de $ZnSO_4$, seules ou combinées, sur le rendement du maïs, Jaune Flint : campagne 1981⁽¹⁾

traitements kg/ha			rendement moyen en maïs grains kg/ha	% d'augmentation par rapport au témoin
P_2O_5		$ZnSO_4$		
0	+	0	1409 ^{ab}	-
90	+	0	2145 ^d	+52,24
135	+	0	1922 ^{cd}	+36,41
0	+	8	1591 ^{abc}	+12,92
0	+	16	1799 ^{bcd}	+27,68
0	+	24	1233 ^a	-12,49
90	+	8	2802 ^{ef}	+98,86
90	+	16	3020 ^{ef}	+114,34
90	+	24	3055 ^{ef}	+116,82
135	+	8	3228 ^f	+129,10
135	+	16	2664 ^e	+89,07
135	+	24	2988 ^{ef}	+112,07
Ppds à 5%			P_2O_5	236
			$ZnSO_4$	272
			STxZn	471
C.V. en %				15,89
moyenne				2321

(1) Les moyennes affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes à 5%.

tableau d'analyse de variance

Source de variation	degré de liberté	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F calculé	F théorique	
					5%	1%
total	59	66,97				
blocs	4	7,821				
traitements	11	28,275				
P ₂ O ₅	2	19,875	9,937	73,066**	3,23	5,18
ZnSO ₄	3	5,019	1,673	12,301**	2,08	2,80
Interaction	6	3,382	0,564	2,676*	2,34	3,29
Erreur résiduelle	44	5,983	0,136			

** Hautement significatif

* significatif à 5%

$$\bar{x} = 2,321 \text{ tonnes}$$

$$c.v. = 15,89\%$$

$$Ppds \text{ à } 5\% \text{ pour le facteur } P_2O_5 = t \cdot \frac{2 \times 0,136}{20} = 0,236 \text{ tonne/ha}$$

$$ZnSO_4 = t \cdot \frac{2 \times 0,136}{15} = 0,272 \text{ tonne/ha}$$

$$interaction = t \cdot \frac{2 \times 0,136}{5} = 0,471 \text{ tonne/ha}$$

$$t = 2,021 \text{ à } 5\% \text{ avec } dl = 44$$

Figure VI : Droite de regression des rendements selon la hauteur

$$\hat{y} = -1344,7 + 25 \cdot X$$

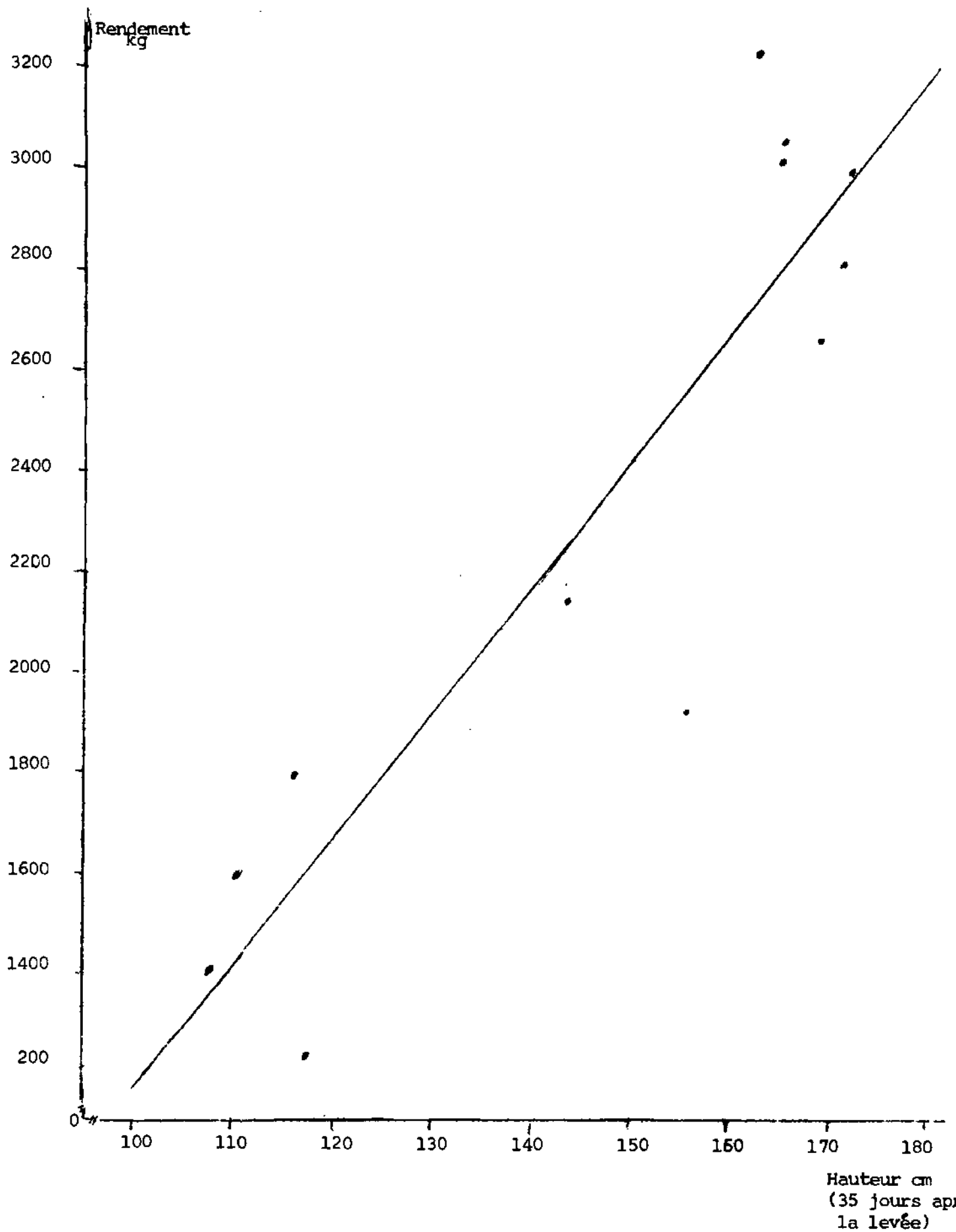
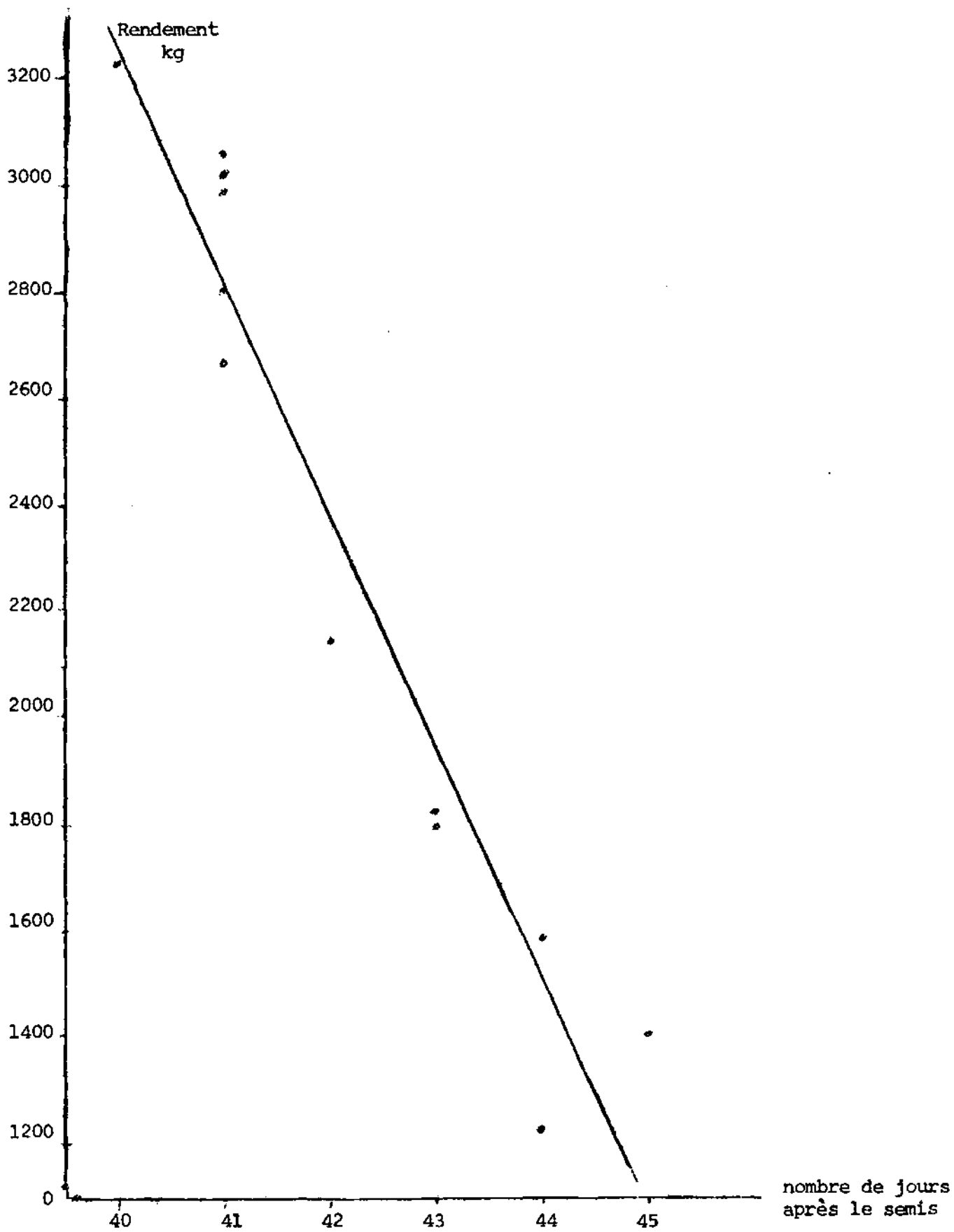


Figure VII : Droite de regression des rendements selon la précocité

$$\hat{y} = 18485,77 - 434,88 \cdot X$$



Annexe III: Effets Résiduels de PN et de ST sur le comportement de
l'arachide : campagne 1981

Tableau 3.1 Evolution de la croissance et du développement végétatif
de l'arachide sous l'influence des effets résiduels de PN
et de ST.

Traitement kg/ha		Hauteur en cm			Nombre de branches			Surface couverte par les feuilles (cm ²)	
PN	ST	19j. après la levée	27j.	45j.	19j. après la levée	27j.	45j.	19j. après la levée	27j.
0	0	7,68	25,65	44,50	5,4	7,2	9,8	1187,31	1993,80
45	0	7,15	23,57	44,80	5,2	6,4	10,0	1134,00	1475,00
90	0	6,43	25,50	44,70	4,6	7,4	10,1	0941,90	1675,40
135	0	6,15	25,40	47,50	5,0	7,4	9,3	1060,93	1756,20
0	0	7,68	25,65	44,50	5,4	7,2	9,8	1187,31	1993,80
0	45	7,38	26,35	51,40	5,2	8,0	10,8	1382,54	1889,70
0	90	7,18	28,58	52,60	6,0	7,8	9,1	1167,35	1794,3
0	135	7,65	28,65	51,60	6,0	8,2	11,6	1244,22	2185,50
0	0	7,68	25,65	44,50	5,4	7,2	9,8	1187,31	1993,80
45	45	7,43	28,55	50,40	5,6	8,0	9,7	0988,16	1914,80
45	90	7,98	26,95	54,10	5,6	7,6	12,0	1197,91	1976,00
45	135	7,74	28,95	51,40	5,4	8,6	13,3	1190,69	2076,50
90	45	6,92	28,62	49,80	5,6	8,0	10,0	1202,38	1847,20
90	90	6,74	26,91	48,80	5,4	8,0	11,5	1259,22	1893,90
90	135	7,95	28,10	51,20	5,8	8,0	12,0	1390,16	1915,10
135	45	7,13	27,50	52,10	5,6	8,0	11,2	1185,90	1911,30
135	90	7,97	28,75	52,50	5,8	7,6	11,9	1336,83	2054,60
135	135	7,63	29,00	52,90	5,6	8,8	11,2	1327,12	2009,20
Fpds à 5%	ST PN STxPN	0,60	1,24	2,11	0,4	0,7	1,6	144,24	193,05
C.V.		12,90%	07,10%	06,60%	11,96%	14,12%	22,92%	18,89%	15,98%

Tableau 3.2 Arrières effets de différentes doses de PN et de ST, combinées ou seules, sur le rendement de l'arachide, variété S.29, campagne 1981

Traitements kg/ha		Rendement moyen en gousses: kg/ha	% d'augmentation par rapport au témoin	Poids des fanes kg/ha
PN	ST			
0	0	2251 ± 494	-	9085
45	0	2050 ± 230	-8,93	9080
90	0	2108 ± 74	-6,35	9119
135	0	1947 ± 191	-13,51	11749
0	0	2251 ± 494	-	9085
0	45	2316 ± 266	+2,89	11771
0	90	2145 ± 275	-4,71	11544
0	135	2429 ± 225	+7,91	11306
0	0	2951 ± 494	-	9085
45	45	2599 ± 334	+15,46	10286
45	90	2594 ± 319	+15,24	12943
45	135	2557 ± 291	+13,59	10761
90	45	2481 ± 317	+10,22	11388
90	90	2356 ± 273	+4,15	10520
90	135	2412 ± 323	+7,15	11859
135	45	2277 ± 247	+1,16	15791
135	90	2494 ± 138	+10,80	14756
135	135	2459 ± 225	+9,24	18537
Ppds à 5%	ST	169	-	3615
	PN	299	-	-
	PNxST	416	-	-
C.V.	ST	11,30%	-	16,13
	PN	18,46%	-	

Tableau 33: Analyse de variance des rendements en gousses

Origine de variation	Degré de liberté	Somme des carrés (SC)	Moyenne des carrés (MC)	F calculé	F théorique à	
					5%	1%
Parcelles I	19	3,268				
blocs	4	0,671				
PN	3	0,357	0,119	0,636	3,49	5,95
Erreur (a)	12	2,240	0,187			
Parcelles II	79	9,252				
ST	3	1,770	0,590	8,429**	2,84	4,31
PN x ST	9	0,849	0,094	1,343	2,12	2,89
Erreur (b)	48	3,365	0,070			

** = Hautement significatif

\bar{x} = 2,342 t/ha

$$\text{c.v. pour le facteur PN} = \frac{0,187}{2,342} \times 100 = 18,46\%$$

Ppds à 5% = 299 kg/ha

$$\text{c.v. pour le facteur ST: } \frac{0,070}{2,342} = 11,30\%$$

Ppds à 5% = 169 kg/ha

Annexe III: . Multiple Regression

nombre de cas = 80

degré de liberté = 78 seuil de probabilité = 5%

variable dépendante = rendement

Variabiles explicatives	Multiple R	Simple A
Hauteur	0,49995	+0,49995
Précocité	0,56469	-0,42418
Poids des gousses d'un pied	0,59241	+0,33389
Nombre de gousses d'un pied	0,63104	+0,24558
Nombre de branches	0,64985	+0,35105
Poids des fanes	0,65449	+0,24979
Surface couverte par les feuilles	0,65866	+0,37945

Annexe IV:

Effets de P_2O_5 - Zn - B sur le comportement de l'arachideTableau 4₁: Effets de P_2O_5 - Zn et B, combinées ou seuls, sur la croissance et le développement végétatif de l'arachide

Traitements kg/ha	Hauteur en cm			Nombre de branches			Surface couverte par les feuilles en cm ²				
	P_2O_5	Zn	B	27 ¹⁾ jours	41 jours	63 jours	27 jours	41 jours			
0 + 0 + 0				18,8	31,7	39,8	4,4	6,9	9,9	1248,20	1942,10
135 + 0 + 0				21,8	36,8	47,76	6,1	9,2	9,2	1998,30	2985,10
0 + 6,5 + 0				21,2	34,6	44,4	6,1	8,3	8,8	1162,60	2335,40
0 + 0 + 0,6				18,2	30,6	41,0	4,8	7,9	7,9	1458,20	2104,80
0 + 6,5 + 0,6				17,8	33,9	44,0	4,9	6,6	8,2	1019,40	2190,30
135 + 0 + 0,6				21,0	37,8	47,6	5,8	8,7	8,7	1353,90	2809,50
135 + 6,5 + 0				22,1	38,0	49,7	5,3	7,5	8,9	1206,90	2593,30
135 + 6,5 + 0,6				22,4	36,3	45,7	5,8	8,1	9,4	1242,00	2559,50
Ppds à 5% ²⁾				2,29	8,47	5,54	-	11,60	-	-	5,21
C.V.				10,13%	11,60%	9,52%	26,67%	17,76%	26,97%	34,64%	20,59%

1) nombre de jours - après la levée.

2) Ppds à 5% - calculé uniquement pour le facteur P_2O_5 . F calculé pour les autres facteurs n'étant pas significatif à 5%, nous n'avons pas continué l'analyse de variance jusqu'au calcul de la Ppds de ces facteurs.

Tableau 4₂: Tableau d'analyse de variance des rendements en gousses

Source des variations	Degré de liberté (dl)	Somme des carrés (SC)	Variance ou moyenne des carrés (MC)	F calculé	F théorique à	
					5%	1%
total	39	7,906				
blocs	4	0,681				
traitements	7	3,983				
P ₂ O ₅	1	2,925	2,925	25,216**	4,20	7,64
Zn	1	0,760	0,760	6,552*	4,20	7,64
B	1	49.10 ⁻⁷	49.10 ⁻⁷	-		
P ₂ O ₅ x Zn	1	22.10 ⁻⁷	22.10 ⁻⁷	-		
P ₂ O ₅ x B	1	0,031	0,031	0,267		
Zn x B	1	0,194	0,194	1,672		
P ₂ O ₅ x Zn x B	1	0,073	0,073	0,629		
Erreur	28	3,242	0,116			

Ppds à 5% pour les facteurs P₂O₅ - Zn - B : 0,221 t/ha

Ppds à 5% pour les interactions P₂O₅ x Zn, P₂O₅ x B, Zn x B : 0,373 t/ha.

Ppds à 5% pour l'interaction P₂O₅ x Zn x B = 0,440 t/ha.

C.V. = 18,33%

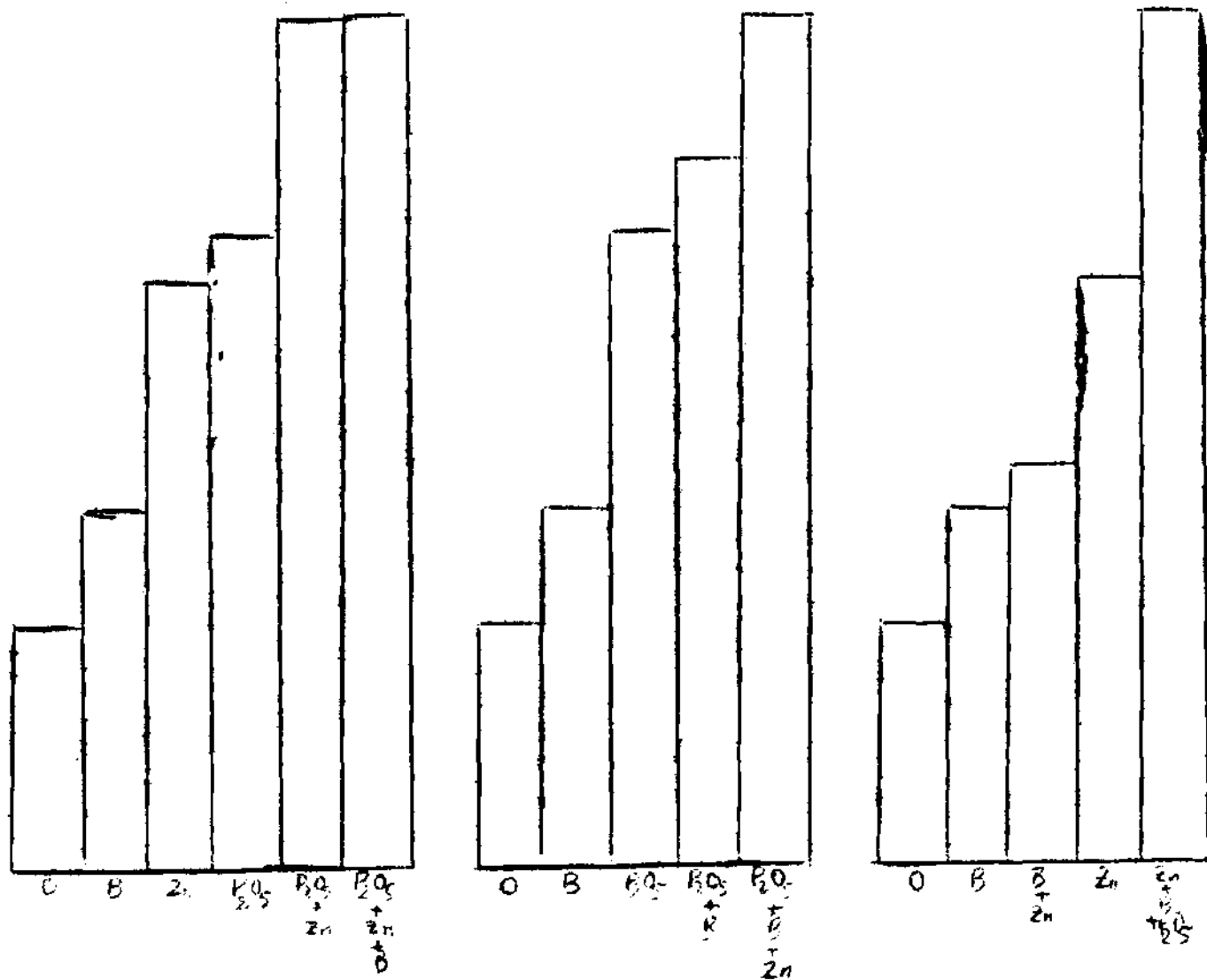
Tableau 4.3 Effets de P_2O_5 , de Zn et de B sur le rendement en gousses de l'arachide : campagne 1981

traitements (kg/ha)			rendements moyens en gousses: kg/ha •	% d'augmentation par rapport au témoin
P_2O_5	Zn	B		
0	0	0	1363 ^a	-
135	-	-	1938 ^{bcd}	+42,19
-	6,5	-	1868 ^{bcd}	+37,05
-	-	0,6	1533 ^{ad}	+12,47
-	6,5	0,6	1588 ^{adc}	+16,51
135	-	0,6	2048 ^{bc}	+50,26
135	6,5	-	2263 ^b	+66,03
135	6,5	0,6	2266 ^b	+66,25
Ppds à 5%			440	-
C.V.			18,33%	-

• Les moyennes affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes à 5% d'après le test de l'écart multiple de Duncan.

Effets de P₂O₅, de Zn et B sur le rendement d'arachide (kg/ha)

Figure VIII : Effets de P₂O₅, de Zn et B sur le rendement d'arachide (kg/ha)



B I B L I O G R A P H I E



- André Gros 1967 - Engrais, Pratique de la fertilisation
La Maison Rustique - Paris - 6^e éd.
- Arrivet (J) - Fertilisation des variétés voltaïques de sorgho sur les sols ferrugineux tropicaux du plateau Mossi - IRAT/H.V.
- Bernard Costle and Richard W. 1975 - Statistical in Research
Basis concepts and techniques for research
workers, The IOWA State University . Press/Ames. 3^e ed.
- Boulet (R). 1976 - Notices des cartes de ressources en sols de la Haute-Volta.
ORSTOM
- Bikènga I. Martin et al 1980 - Utilisation agricole des phosphates naturels de Haute-Volta. Rapport de synthèse, Projet phosphate de Haute-Volta DSA.
- Centre de Développement de l'Organisation
de Coopération et de développement économique } Phosphates naturels et engrais
Paris 1972 } phosphatés dans le monde. (Rôle de
l'aide internationale) Etudes techniques.
- Dominique Soltner 1978 - Les bases de la production végétale , Tome I, Le Sol -
La fertilité des sols et les moyens de l'améliorer 170-449
Collection Sciences et Techniques agricoles 7^e éd.
- Dinechin (D) et Dumont (C) 1967 - La fumure phosphatée des cultures vivrières en Haute-Volta IRAT/H.V. (Rediffusion)
- Dupont de Dinechin (B) 1967 - Contribution à l'étude des exportations du maïs et du sorgho en Haute-Volta.- Colloque sur la fertilité des sols tropicaux - Tananarive. (19-25 novembre 1967)
IRAT/H.V.

Poulain (J.F et Arrivet (J) 1971 - Effets des principaux éléments autre que l'azote sur les rendements des cultures vivrières de base: Senegal et en Haute-Volta.
IRAT/H.V.

Roche (P) et al 1978 - La carence en phosphore des sols intertropicaux et ses méthodes d'appréciation. Premières conclusions et premiers résultats -
IMPhOS

Roose (E) 1981 - Dynamique actuelle de sols ferrallitiques et ferrugineux Tropicaux d'Afrique Occidentale. Etude expérimentale des transferts hydrologiques et biologiques de matières sous végétations naturelles ou cultivées.
Travaux et documents de l'ORSTOM. n° 130 p. 59-72, 427-441.

Truong Binh et al 1977 - Caractéristiques et comparaison des phosphates naturels tricalciques d'Afrique de l'Ouest en vue de leur utilisation directe en agriculture.
IRAT - Laboratoire de Radiogrammétrie -
Agronomie tropicale n° 3, 1980.

Rép. Française - Ministère de la coopération - Manuel de l'Agronome "Techniques Rurales en Afrique" 1980 3^e éd.

IRAT/H.V. - DGRST - MESRS 1980 - Fertilisation minérale.

Rép. Française - Ministère des Af. Etrangères - Etude de l'évolution de l'emploi et des effets de facteurs de production mis en place pendant les 10 dernières années

Dupont de Dinechin - Observation sur l'intérêt des phosphates naturels pour la fumure des céréales en Haute-Volta. Colloque sur la fertilité des sols tropicaux Tananarive (19-25 nov. 1967) (Rediffusion) IRAT/H.V.

Elemer Bonnemisya and A. Alvarado 1974 - Soil Management in Tropical America.
Proceedings of a seminar held at CIAT,
Cali, Colombia.

Gillier (P) et Sylvestre (P) - L'Arachide . Techniques Agricoles et Productions
Tropicales - G.F. Maisonneuve & Larosé.

Ginette (P) 1978 - Géographie générale de la Haute-Volta Publication l'UER des
Lettres et Sci. Hum. de l'Université de Limoges avec le concours
de CNRS.

Groupe Jeune Afrique - Annuaire de l'Afrique et du Moyen-Orient 1981-82.
Economie et Développement p. 139-159.

Heise (P.R.) 1971 - A text book of Soil Chemical Analysis.
Chemical Publishing Co. inc. New-York pp. 255-300, 384-387,
428-433

IFDC - 1969 - Use of Local ressources for phosphate fertilizer production in Upper
Volta.

IFDC - Wild fertilizer situation and outlook 1978-81 IFDC/TVA

IFDC - Etude sur les engrais en Afrique de l'Ouest.
Vol. I Aperçu général
Vol. IV - Haute-Volta

Montenez (J) 1957 - Recherches expérimentales sur l'écologie de la germination chez
l'arachide

Poulain (J.F).1977 - Conception, organisation et conduite des expérimentations
agronomiques. Remarques sur l'interprétation statistique et
agronomique - IRAT .

RAPPORTS D'ACTIVITES ET DE SYNTHESE

Projet phosphate de Haute-Volta : Résultats des essais et démonstrations :
Campagne 1978, 1979, 1980, 1981.

IRAT : Rapport de synthèse 1975, 1978, 1979.

IRHO : Rapport de synthèse 1975, 1976, 1979.

Programme engrais de la FAO en Haute-Volta :

- Rapport annuel : saisons culturales 1977-78-79

- Rapport annuel : saisons culturales 1977-1978-79-80.

Cahier ORSTOM : Serie pédologique Vol. XVI n° 2 1978

MEMOIRES ET RAPPORTS DE STAGE

Dandy (J) 1980 - Utilisation agricole des phosphates naturels de Kodjari en milieu paysan - mémoire de fin d'étude

Dabiré (A.B.) 1980 - Techniques de conservation des eaux et incidences sur le bilan hydrique des cultures pluviales. - mémoire de fin d'étude.

Saba (S) 1981 - Enquête en milieu rural - Gampéla (Godbilin) rapport de stage.

Sibiri (O) 1981 - Enquête en milieu rural - Gampéla (Godbilin) rapport de stage.

Kindo (S) 1981 - Essai de production et de vulgarisation du maïs sucré dans la zone de Ouagadougou et des environs.

Station Expérimentale de Gampéla. Rapport de stage.

BULLETINS ET REVUES SCIENTIFIQUES

- Agronomie tropicale n^o. 1, 2, 3 1980

- Bulletin Agrométéorologique décadaire de Haute-Volta
n^o 1 à 18, 1981

- OTA. Météorologie Nationale - Agrométéorologie - Haute-Volta

- Micronutrients bulletins : Mo, Mn, B, Zn in agriculture 1980 and 1981

- Report IFDC. Vol. 5 n^o 4 Décembre 1980

- Benchmark Soils news Vol. 4 n^o 4 Fourth quarter 1980

- Research on agrotechnology transfer in the tropics based on
soil family.

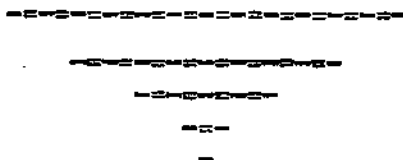


Table des matières

- Sommaire
- Avant propos
- Remerciements
- Liste des figures
- Liste des tableaux
- liste des références
- Abréviations

<u>Introduction Générale</u>	1
1°) Critères du choix de l'étude	1
2°) Les objectifs de cette étude	3
3°) Les limites et plan d'études	4

Première Partie : Généralités

Chapitre I : Présentation de la Station Expérimentale de Gampéla

1.1 Création et Objectifs	6
1.2 Ecologie de Gampéla	7
1.3 Caractéristiques agro-pédologiques de Gampéla dans le contexte du plateau Mossi	8
1.3.1 Généralités sur le plateau Mossi	8
1.3.2 Les propriétés physiques des sols de Gampéla	10
1.3.3 Les propriétés chimiques des sols de Gampéla	13
1.4 Climatologie de la Station de Gampéla dans le contexte du plateau Mossi	18

.../...

Chapitre II. : Les caractéristiques agronomiques du phosphore, du zinc et du bore

2.1.	Les caractéristiques du phosphore	24
2.1.1	Les rôles biologiques	24
2.1.2	Les engrais phosphatés	27
2.2.	Les rôles biologiques du zinc et du bore	29

Deuxième Partie : Matériels et Méthodes

Chapitre I : Caractéristiques chimiques du site expérimental ... 30

Chapitre II : La conduite des essais 33

2.1	La mise en place des essais	33
2.1.1	La mise en place de l'essai I : Influence du PN et du ST sur ^{le} comportement du maïs	33
2.1.2	La mise en place de l'essai III : Influence du ST, et du zinc sur le comportement du maïs	39
2.1.3	La mise en place de l'essai IV : Influence du ST, du Zinc et du Bore sur le comportement de l'arachide	40
2.2	Les travaux d'entretien des parcelles expérimentales	43
2.3	Collecte des données au champ : suivi de la croissance et du développement végétatif.	43
2.4	La récolte - le séchage et la pesée des échantillons	46
2.5	Méthodes de calcul des rendements et de leur compa- raison	47

Troisième Partie : Résultats et Discussion

A/ <u>Influence du Phosphore et du Zinc sur le maïs</u>	49
<u>Chapitre I : Influence du phosphate naturel de Kodjari (PN) et du super triple (ST) sur le comportement du maïs</u>	49
1.1 Les effets immédiats du PN et du ST sur le maïs : données de la campagne 1980	50
1.1.1 Les effets immédiats du ST : campagne 1980	50
1.1.1.1 Les effets immédiats du ST sur le rendement du maïs	50
1.1.1.2 Analyses chimiques de sol	52
1.1.2 Les effets immédiats du phosphate naturel de Kodjari (PN) : campagne 1980	56
1.1.2.1 Les effets immédiats de PN sur le rendement du maïs	56
1.1.2.2 Analyses chimiques de sol	59
1.1.3 Les effets immédiats du PN et du ST combinés : campagne 1980	63
1.1.3.1 Les effets immédiats de PN x ST sur le rendement du maïs	63
1.1.3.2 Analyses chimiques de sol	66
1.2 <u>Les effets résiduels du PN et du ST sur le maïs : données de la campagne 1981</u>	70
1.2.1 Les effets résiduels du ST : 2 ^e campagne, 1981	70
1.2.1.1 Les effets résiduels du ST sur le rendement du maïs	70
1.2.1.2 Les effets résiduels du ST sur la croissance et le développement végétatifs	73
1.2.2 Les effets résiduels du PN : 2 ^e campagne 1981	77
1.2.2.1 Les effets résiduels du PN sur le rendement du maïs.....	77
1.2.2.2 Les effets résiduels du PN sur la croissance et le développement végétatifs.....	79
1.2.3 Les effets résiduels du PN et du ST combinés : campagne 1981	81
1.2.3.1 Les effets résiduels du PN x ST sur le rendement du maïs	81

Chapitre III : Influence du super triple (ST) et du zinc sur le comportement du maïs.

2.1	Influence du zinc sur le comportement du maïs : campagne 1981	84
2.1.1	Effets de $ZnSO_4$ sur le rendement du maïs	84
2.1.2	Effets de $ZnSO_4$ sur la croissance du maïs	88
2.2.	Influence du ST et du Zinc combinés sur le comportement du maïs : campagne 1981	90
2.2.1	Effets du ST et du $ZnSO_4$ combinés sur le rendement du maïs	90
2.2.2	Effets du ST et de $ZnSO_4$ combinés sur la croissance du maïs.	93
	Conclusion	

B/	<u>Influence du phosphore, du Zinc et du Bore sur le comportement de l'arachide</u>	96
----	---	----

Chapitre I : Arrières effets du phosphate naturel de Kodjari (PN) et du super triple (ST) sur le comportement de l'arachide.

1.1	Les effets résiduels des doses croissantes de ST et de PN sur la croissance et le développement végétatifs de l'arachide : campagne 1981	96
1.1.1	Les effets résiduels de ST seul	96
1.1.2	Les effets résiduels de PN seul	99
1.1.3	Les effets résiduels de PN et de ST combinés	99
1.2	Les effets résiduels des doses croissantes de ST et de PN.. sur le rendement de l'arachide : campagne 1981	101
1.2.1	Les effets résiduels de ST seul	101
1.2.2	Les effets résiduels de PN seul	104
1.2.3	Les effets résiduels de PN et de ST combinés	106

Conclusion.

Chapitre II : <u>Influence de P₂O₅, de Zn et de B sur le comportement de l'arachide :</u>	
<u>campagne 1981</u>	111
2.1 Effets comparatifs de P ₂ O ₅ , de Zn et de B sur l'arachide ...	111
2.1.1 Effets sur la croissance végétative	111
2.1.2 Effets de P ₂ O ₅ , de Zn et de B sur le rendement de l'arachide.	113
2.2 Effets combinés de P ₂ O ₅ , de Zn et de B sur l'arachide :	
campagne 1981	115
2.2.1 Effets sur la croissance et le développement végétatifs.....	115
2.2.2 Effets combinés de P ₂ O ₅ , de Zn et de B sur le rendement de	
l'arachide.....	117
Conclusion	120
Quatrième Partie : Conclusion Générale	122
Annexe I	129
" II	141
" III	146
" IV	150
Bibliographie	151
Table des matières -	