

Colloque sur la fertilité des sols tropicaux.
 Tananarive (Madagascar). 19-25 Novembre 1967.
 I.R.A.T. 1968.

ETUDE DE L'EFFET DES ELEMENTS PRINCIPAUX D'UNE FUMURE ANNUELLE
 A DOSE FAIBLE DANS LE CADRE D'UNE ROTATION QUADRIENNALE :
 JACHERE SIMPLE-ARACHIDE-MIL-ARACHIDE
 A L'AIDE D'UN DISPOSITIF FACTORIEL

Par

J. F. POULAIN

Ingénieur Agronome
 Etude et Amélioration du Milieu

C.R.A. BAMBEY
 (République du Sénégal)

DISPOSITIF D'ETUDE

Un essai factoriel 2^3 (trois facteurs : NPK ; deux niveaux : absence et présence) en confounding partiel (8 blocs incomplets) a été implanté au C.R.A. de Bambey en 1962.

L'expérimentation a été mise en place après la succession culturale suivante :

1956 : Arachide	1959 : Arachide
1957 : Mil	1960 : Mil
1958 : Jachère simple	1961 : Jachère simple non enfouie

Cet essai se proposait de déterminer l'action séparée et simultanée des trois éléments principaux de la fumure sur la succession culturale Arachide, Mil Sanio, Arachide.

L'équilibre minéral étudié, est l'équilibre 6-20-10 pour l'arachide à 150 kg/ha et 14-7-7 pour le mil à 150 kg/ha (Equilibres et doses actuellement vulgarisées) Les engrais utilisés sont le sulfate d'ammoniaque, le phosphate bicalcique et le chlorure de potassium

Conditions pédoclimatiques

Sols :

Le sol sur lequel est installée l'expérimentation appartient à la classe des sols riches en sesquioxides et en hydrates métalliques. Groupe des sols ferrugineux tropicaux non ou peu lessivés (classification française).
 Nom vernaculaire : Dior.

Ces sols sont très représentatifs de la zone arachidière Centre-Nord du Sénégal.

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

Collection de Référence

n° 13550

Pluviométrie (Hauteur en mm)

A n n é e	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Total
1962	54,5	69,8	349,5	71,6	25,6	571,0
1963	22,0	152,8	160,0	147,2	98,2	580,2
1964	13,6	114,1	193,4	163,0	0,0	484,1
Moyenne sur 35 ans 1931-65	32,4	124,0	257,0	193,6	50,0	664mm

1962 : Léger déficit, répartition médiocre avec sécheresse début Juillet et fin Septembre

1963 : Léger déficit, répartition médiocre avec sécheresse début Juillet et deuxième moitié de Septembre (totale)

1964 : Déficit important Saison culturale de deux mois seulement (15/7 - 15/9)

Conditions de réalisation

1961	Plante cultivée	1962	1963	1964
		Arachide 1 48-115	Mil PC 19	Arachide 2 48-115
Jachère simple non brûlée non enfouie	Semis	25/6 (60x20cm)	5/7 (levée) semis en sec (1x1m)	14/7 (60x15cm)
	Engrais	10/7	8/7	14/7
	Récolte	29/10	25/11	9/11
	Densité à la ré- colte pieds/ha ou poquets/ha	68.350	9.850	89.848

Les travaux de préparation, de semis, de sarco-binages et de récolte ont été entièrement réalisés à la main (iler)

L'épandage des engrais a été fait à la volée à la même date, et en une seule fois sur toute les parcelles

Quantité de fertilisants reçue en kg/éléments/ha

Traitements	N				P205				K20			
	A1	M	A2	Total	A1	M	A2	Total	A1	M	A2	Total
O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N	9	21	9	39	0	0	0	0	0	0	0	0
P	0	0	0	0	30	10,5	30	70,5	0	0	0	0
K	0	0	0	0	0	0	0	0	15	10,5	15	40,5
NP	9	21	9	39	30	10,5	30	70,5	0	0	0	0
NK	9	21	9	39	0	0	0	0	15	10,5	15	40,5
PK	0	0	0	0	30	10,5	30	70,5	15	10,5	15	40,5
NPK	9	21	9	39	30	10,5	30	70,5	15	10,5	15	40,5

RÉSULTATS AGRONOMIQUES

Rendements en kg/ha de gousses ou de grains

Traitements	Arachide 1- 1962		Arachide 2 - 1964				Total 3 Années	
	no pieds/ha à la récolte	Gousses kg/ha	Nb pieds/ha à la récolte	Gousses kg/ha	Pailles kg/ha	G + P kg/ha		R.C.F.A
O	68.960	1487	92.360	1061	2351	45,1	O	62.350
N	67.400	1565	85.680	962	1728	55,7	N	63.550
P	68.020	1698	93.180	1077	2697	39,9	P	66.170
K	67.780	1470	88.730	1052	2422	43,4	K	59.900
NP	68.960	1819	92.430	1008	2345	43,0	NP	66.870
NK	67.810	1479	91.260	992	2139	46,4	NK	60.220
PK	70.900	1820	87.440	1227	1937	63,2	PK	68.780
NPK	66.940	1769	87.770	1152	3573	32,2	NPK	73.580

M I L										
	Nb touffes à la récolte	Nombre d'épis/hectare	Nombre d'épis/touffe	Epis kg/ha	Grains kg/ha	Rendt au bat tage %	Poids grains /épis g	Tiges+feuilles Qx/ha	Total partie végét. Qx/ha	Rapport P.sexuée /partie végétat.
O	9.870	32.920	13,3	1092	569	52,1	17,1	34,7	39,9	13,9
N	9.730	37.690	3,9	1264	650	51,4	17,3	41,8	47,9	14,2
P	9.840	37.640	3,8	1142	533	46,7	14,0	42,2	48,3	11,4
K	9.630	37.350	3,9	962	472	49,1	13,7	31,3	36,2	14,3
NP	10.010	34.890	3,5	1149	517	45,0	15,0	50,4	56,8	9,5
NK	9.950	31.000	3,1	1101	540	49,0	16,9	35,5	41,1	13,1
PK	9.880	35.010	3,5	924	392	42,4	11,4	34,5	39,8	10,0
NPK	9.900	44.240	4,5	1646	759	46,1	18,7	80,5	89,3	8,1

L'interprétation factorielle est faite année par année :

A/ 1962 : Arachide 1

Réponses moyennes et différentielles en kg/ha de gousses

FACTEUR	Réponse moyenne	R é p o n s e a v e c					
		Azote + Soufre		Phosphore		Potasse	
		Absence	Présence	Absence	Présence	Absence	Présence
Azote(Sulf.)	+ 39	////////	////////	+ 43	+ 35	+ 99	- 21
Phosphore	+276 ^{xx}	+ 280 ^x	+ 272 ^x	////////	////////	+232 ^x	+ 330
Potasse	- 8	+ 52	- 68	- 52	+ 36	////////	////////

Erreurs standards et différences significatives

	E s	DS à 0,05 v	DS à 0,01 xx	DS à 0,001 xxx
Réponse moyennes	± 72	151	208	285
Réponses différentielles	± 101	214	294	402

Coefficient de variation : Cv = 12,4 %

C'est la première année d'engrais après une longue succession culturale sans fumure. Malgré la mauvaise année pluviométrique et une faible densité, les rendements sont bons

L'azote ou le soufre (sulfate) et la potasse n'ont aucun effet. On notera une légère tendance à une interaction négative NK (non significative). Le phosphore est le seul qui a marqué. Son effet est hautement significatif (F calculé : 14,8 pour un F table 0,01 : 8,40)

Le tableau des réponses différentielles nous indique que cet effet est identique en absence ou en présence d'azote. L'action du phosphore est, par contre, nettement renforcée en présence de potasse (interaction PK positive, mais non significative).

Pour le phosphore, on enregistre les effets suivants, en présence ou en absence des deux autres éléments :

Phosphore seul : 211 kg/ha

P en présence de N seulement : 253 kg/ha

P en présence de K seulement : $349 \times \text{« es »} = \pm 144 \text{ DS} + 0,05 = 304$

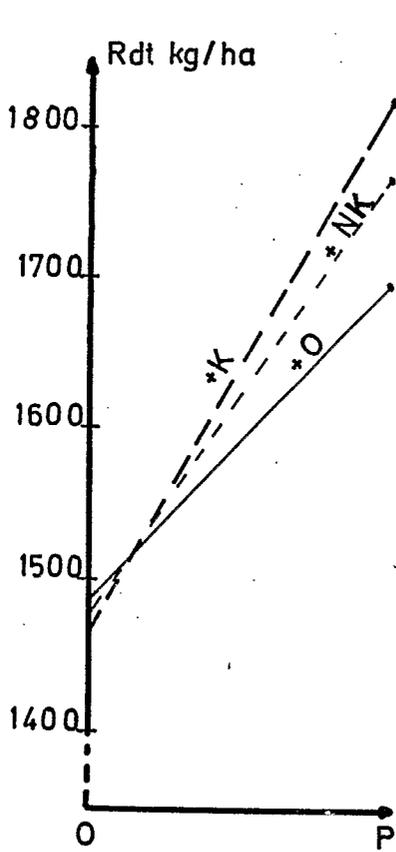
P en présence de N et de K : 289

(avant l'analyse l'absence de liaison densité-rendement a été vérifiée)

B/ 1963 : Mil Sanio

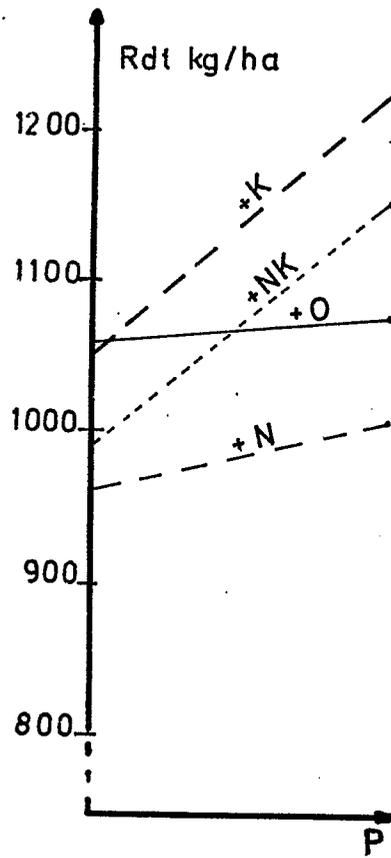
1/ Réponses moyennes et différentielles en kg/ha de grains

Facteurs	Réponse moyenne	R é p o n s e a v e c					
		Azote + Soufre		Phosphore		Potasse	
		Absence	Présence	Absence	Présence	Absence	Présence
Azote (sulfate)	+125 ^{xx}	////////	////////	+ 74	+175 ^{xx}	+ 35	+217 ^{xxx}
Phosphore	- 8	- 58	+ 42	////////	////////	- 84	+ 69
Potasse	- 27	-119	+ 66	- 104	+ 50	////////	////////



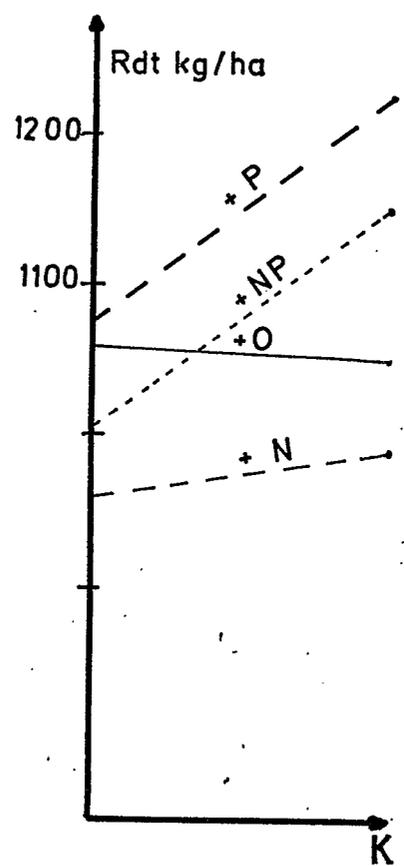
Arachide 1 Gousses

EFFET de P en FONCTION
des AUTRES ELEMENTS



Arachide 2 Gousses

EFFET de P en FONCTION
de N et K



Arachide 2 Gousses

EFFET de K en FONCTION
de Net P

Erreurs standards et différences significatives

	Es	DS à 0,05 ^x	DS à 0,01 ^{xx}	DS à 0,001 ^{xxx}
Rép. moyennes	± 37	78	107	146
Réponses différentielles	± 52	110	151	207

Coefficient de variation : Cv = 18,8 %

Les conditions pluviométriques sont mauvaises (absence totale d'eau à la montaison) et les rendements sont médiocres.

Toutefois le dispositif permet de mettre en évidence un effet hautement significatif de l'azote (sulfate) (F calculé : 11,45 pour un F table 0,01 : 8,40) et les effets significatifs et positifs des interactions NK et NPK (F calculé respectivement : 4,70 et 5,42 pour un F table 0,05 : 4,45). L'interaction PK positive est proche de la signification

Le tableau des réponses différentielles nous montre clairement l'importance des interactions entre les trois éléments de la fumure. En décomposant les effets de chacun des trois éléments en présence ou en absence des autres éléments on obtient les résultats suivants :

Effet de l'azote		Effet du phosphore		Effet de la potasse		
Seul	+ 81	Seul	- 36	Seule	- 97	es = ± 74
+P -K	- 16	+N -K	- 133	+N -K	- 110	DS 0,05 = 156
+K -P	+ 68	+K -N	- 80	+P -N	- 141	DS 0,01 = 214
+P +K	+ 367 ^{xxx}	+N +K	+ 219 ^{xxx}	+N +K	+ 242	DS 0,001 = 292

Nota : Le signe + signifie en présence de l'élément

Le signe - signifie en absence de l'élément

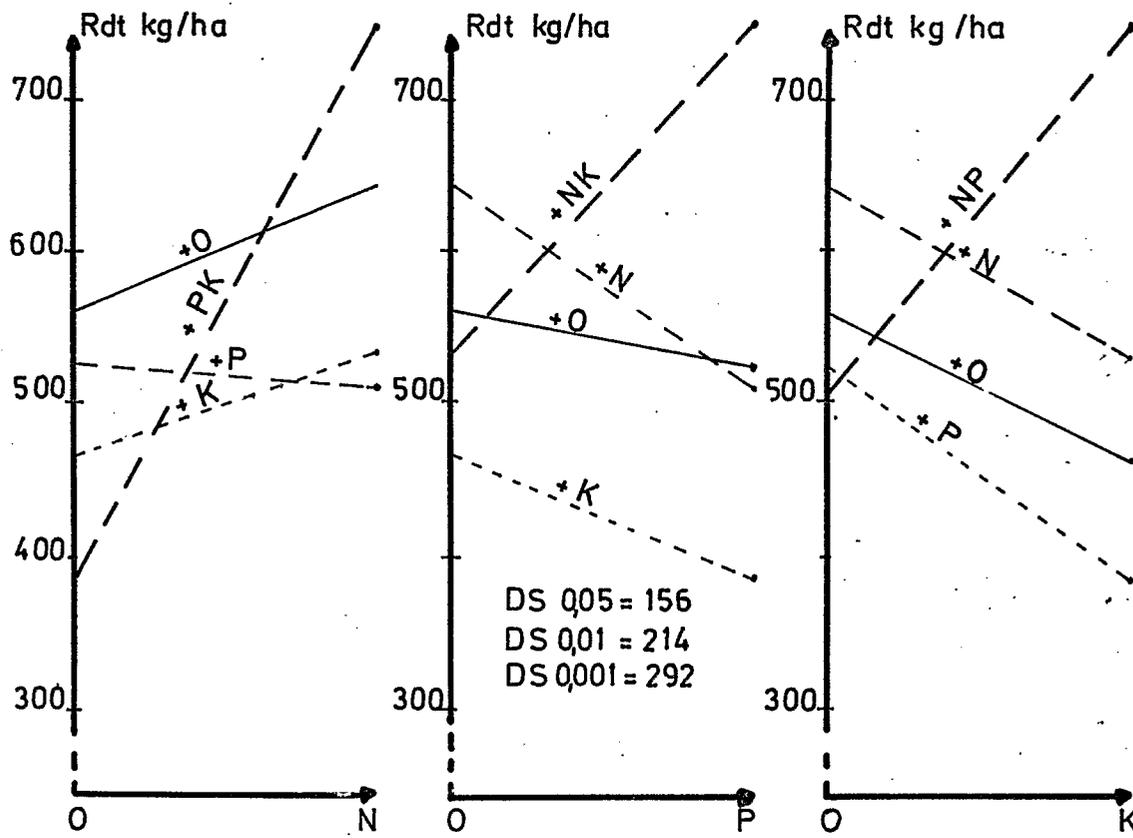
Exp. : +P -K : Effet de l'azote en présence du phosphore mais sans potasse.

Influence des éléments fertilisants sur l'équilibre partie végétale/partie sexuée et sur les facteurs de rendement

a/ La partie végétative

Les mils cultivés ont comme caractéristique d'avoir un rapport partie sexuée/partie végétative très faible. Parmi les caractères acquis des mils cultivés ceux concernant la partie végétative sont essentiellement la taille élevée, les tiges épaisses, les feuilles larges. La quantité de matière sèche de la partie végétative est une fonction complexe de différents facteurs parmi lesquels nous citerons la grosseur des tiges, le nombre de tiges ou talles, le nombre de noeuds, le nombre de feuilles, la taille de la plante. Nous nous proposons à l'aide du dispositif factoriel d'étudier l'influence des divers éléments de la fumure sur l'ensemble de la partie végétative.

En fait l'analyse est conduite sur les tiges + feuilles seulement (poquets sectionnés à ras du sol) ; celles-ci sont séchées et pesées à une humidité de 5 %.



MIL Grains

EFFET de N en
FONCTION de P et K

MIL Grains

EFFET de P en
FONCTION de N et K

MIL Grains

EFFET de K en
FONCTION de Net P

Poids tiges + feuilles en quintaux/ha

Traitements	Poids Qx/ha		
0	34,7	NP	50,4
N	41,8	NK	35,5
P	42,2	PK	34,5
K	31,3	NPK	80,5

Réponses moyennes et différentielles Qx/ha de Tiges + feuilles

Facteurs	Réponse moyenne	R é p o n s e a v e c					
		Azote + Soufre		Phosphore		Potasse	
		Absence	Présence	Absence	Présence	Absence	Présence
Azote (Sulfate)	+16,4 ^{xx}	////////	////////	+ 5,6	+27,1 ^{xxx}	+ 7,7	+25,0 ^{xxx}
Phosphore	+16,1 ^{xx}	+ 5,3	+26,8 ^{xxx}	////////	////////	+ 8,1	+24,1 ^{xxx}
Potasse	+ 3,2	- 5,5	+11,9	- 4,8	+11,2	////////	////////

Erreurs standards et différences significatives

	e s	DS 0,05 [^]	DS 0,01 ^{xx}	DS 0,001 ^{xxx}
Rép. moyennes	± 4,2	8,9	12,2	16,7
Réponses différentielles	± 6,0	12,6	17,3	23,6

Coefficient de variation : Cv = 27,2 %

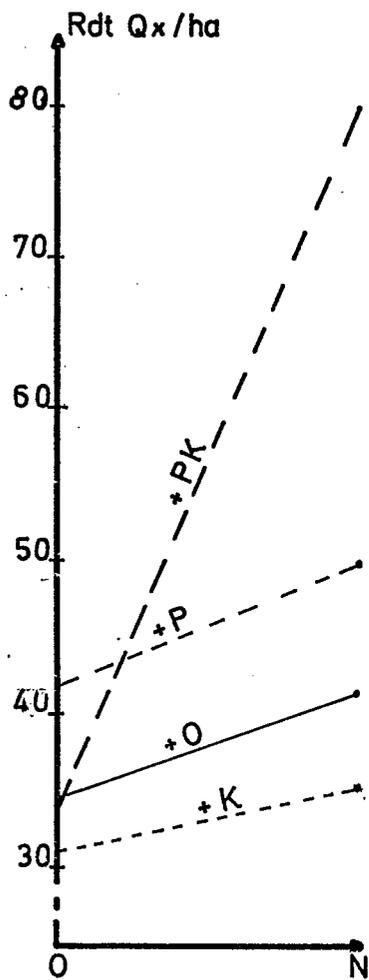
Les réponses de la partie végétative à la fertilisation sont beaucoup plus importantes que celles des grains (On obtient un effet hautement significatif de l'azote (F calculé = 15,09 pour un F table = 8,40) et un effet hautement significatif du phosphore (F = 14,59) Toutes les interactions sont positives et voisines de la signification Seule l'interaction NP est significative F = 4,88 pour F table = 4,45

La décomposition de l'effet de chacun des éléments en présence ou en absence des deux autres nous montre l'importance des interactions

Effet de l'azote		Effet du phosphore		Effet de la potasse		
Seul	+ 7,1	Seul	+ 7,5	Seule	+ 3,4	e _a = ± 8,4
+P -K	+ 8,3	+N -K	+ 8,7	+N -p	- 6,3	DS 0,05 = 17,8
+K -P	+ 4,2 ^{xxx}	+K -N	+ 3,2 ^{xxx}	+P -N	- 7,6 ^{xx}	DS 0,01 = 24,4
+P +K	+ 45,9 ^{xxx}	+N +K	+ 45,0 ^{xxx}	+N +P	+ 30,0 ^{xx}	DS 0,001 = 23,4

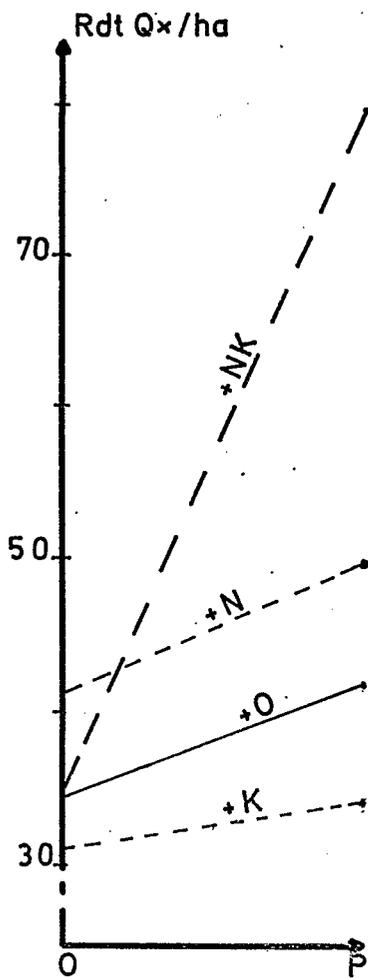
n/ La partie sexuée

Le rendement d'une culture en mil est le produit du poids de grains par chandelle par le nombre de chandelles à l'unité de surface



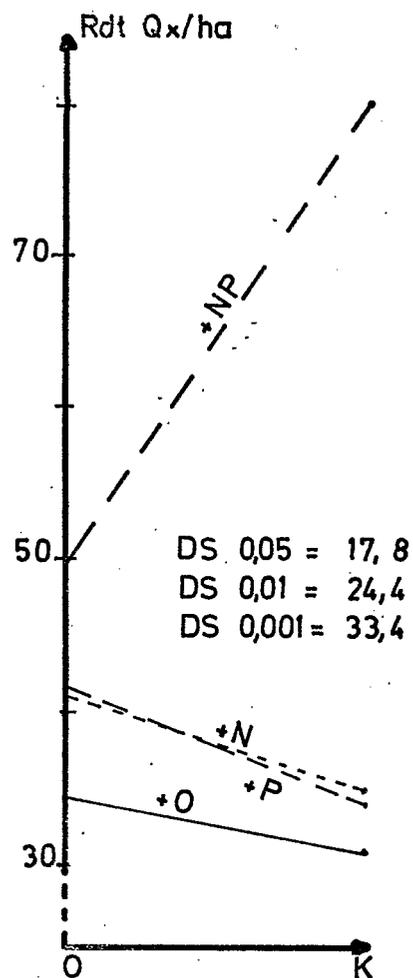
MIL Tiges + feuilles

EFFET de N en FONCTION
de P et K



MIL Tiges + feuilles

EFFET de P en FONCTION
de N et K



MIL Tiges + feuilles

EFFET de K en FONCTION
de N et P

Le nombre de chandelles à l'unité de surface dépend de l'intensité du tallage et du nombre de tiges fertiles. Le poids de grains par chandelle dépend de la grosseur des grains, de leur densité et de leur nombre.

On peut essayer d'établir la régression du rendement en fonction de deux variables que nous venons de définir. Ces deux variables ne sont pas indépendantes. De toute façon la covariance entre les deux variables intervient dans l'estimation des coefficients de l'équation de régression, et les ajustements pour une dépendance mutuelle des deux variables se font automatiquement. En effet, l'augmentation du tallage amène une réduction de la surface par talle utilisable et entraîne une concurrence pour la lumière.

L'augmentation du nombre d'épis doit donc se traduire par une diminution du poids unitaire de l'épi. La corrélation simple, juste significative et négative ($r = -0,35$) entre les deux variables considérées justifie cette hypothèse.

<u>X1: nbre épis totaux/ ha</u>	<u>X2 poids grains/ épi</u>	<u>Y rendt kg/ ha grains</u>
Moyenne : 36 577	15,5	554
Cv % 19,8 %	26,4 %	26,2 %

Equation de régression multiple

$$Y = -478,3 + 0,0136 X_1 + 34,432 X_2$$

Le test des coefficients de régression nous donne :

pour $b_{Y12} = 0,0136$ $t_{12} = 14,02$ Probabilité < 0,001

$b_{Y21} = 34,432$ $t_{21} = 20,00$ Probabilité < 0,001

L'analyse de la variance de la régression donne un F très hautement significatif de 228.

On peut également tester l'effet de chaque variable après avoir éliminé l'effet de l'autre.

L'analyse s'établit ainsi

Sources de variation	Degrés de liberté	Carré moyen	F
X1 et X2	2	614 648	
Nombre d'épis seulement	1	73 834	
Poids de grain/épi après éliminat.de X	1	540 814	401,6 ^{xxx}
Poids de grains seulement	1	350 051	
Nbre d'épis après élimination de X2	1	264 597	196,5 ^{xxx}
Total	29	651 010	
Régression	2	614 648	228,2 ^{xxx}
Erreur	27	36 361	

En fait, l'établissement de cette corrélation multiple a seulement l'avantage de chiffrer, dans les conditions de l'expérimentation, l'importance respective des deux facteurs de rendement. En effet, il serait nécessaire d'avoir un contrôle phytosanitaire total de la plante pour tirer parti d'un tel calcul. Or ce contrôle n'est jamais réalisé, si bien que les deux facteurs du rendement sont le plus souvent indépendants.

En général, jusqu'à l'épiaison on ne risque que les dégâts occasionnés par des chenilles mineuses (borers) dont on décèle la présence une fois les dégâts réalisés ; après la floraison et jusqu'à la récolte le parasitisme sur les épis est très intense et peut compromettre totalement les récoltes.

Il est le fait des parasites animaux et des champignons parmi lesquels les plus fréquents sont les cécidomyes, les chloropidés, cantharides, mylabres, forficules, oiseaux mange-mils pour les uns et le sclerospora, charbon, fusarium, penicillium pour les autres.

Tous ces parasites, font, qu'il est difficile d'obtenir un rendement au battage (rapport grains/épi) correct. On arrive avec un contrôle sévère, mais non rigoureux à obtenir 60 à 65 %. En fait, dans les expérimentations engrais et à fortiori en plein champ ce rapport est le plus souvent voisin de 45 % (48 % pour l'expérimentation factorielle).

Quoiqu'il en soit, l'équation de régression montre bien l'importance du facteur poids de grain/épi puisqu'on obtient le même accroissement de rendement si le nombre des tiges fertiles augmente de 10.000 (une tige fertile de plus par poquet pour une densité de 10.000 poquets/ha) ou si le poids de grains par épi s'accroît seulement de 4 grammes.

En fait, l'intense parasitisme compromet l'augmentation du poids de grains par épi et c'est pourquoi la fumure n'agit en fait très souvent que sur le nombre d'épis, le poids de grains/épi restant pratiquement constant.

Influence de la fumure sur le nombre de tiges fertiles

Nombre de tiges fertiles (ou d'épis)	0	32 917	K	37 348
	N	37 689	NK	31 000
	P	37 636	PK	35 008
	NP	34 894	NPK	44 235

Réponses différentielles en nombre d'épis/ha.

Facteurs	Réponses moyennes	R é p o n s e a v e c					
		Azote		Phosphore		Potasse	
		Absence	Présence	Absence	Présence	Absence	Présence
Azote (sulfate)	+ 1227	////////////////////		- 788	+ 3242	+ 1015	+ 1439
Phosphore	+ 3204	+ 1189	+ 5220	////////////////////		+ 962	+ 5447
Potasse	+ 1114	+ 901	+ 1326	- 1129	+ 3356	////////////////////	

Erreurs standards et différences significatives

Effet Moyen es = + 2654 DS 0,05 = 5600

Effet différentiel es = + 3753 DS 0,05 = 7920

Coefficient de variation Cv = 20,7 %

Le tableau suivant explicite mieux les réponses aux éléments de la fumure :

Effet de l'azote	Effet du phosphore	Effet de la potasse
Seul + 4772	Seul + 4719	Seule + 4431
+P -K - 2742	+N -K - 2795	+N -P - 6689
+K -P - 6348	+K -N - 2340	+P -N - 2628
+P +K + 9227	+N +K + 13.235*	+N +P + 9341

es = + 5 308 DS 0,05 = 11 199

Le phosphore procure un accroissement significatif du nombre d'épis, mais seulement en présence des deux autres éléments de la fumure.

L'azote et la potasse procurent des accroissements importants mais non significatifs en présence des deux autres éléments. Toutes les fumures binaires sont dépressives par rapport aux fumures comportant un seul élément.

Influence de la fumure sur le poids de grains/épi

Poids de grains/épi g	O	17,1	K	13,7
	N	17,3	NK	16,9
	P	14,0	PK	11,4
	NP	15,0	NPK	18,7

Réponses différentielles en g

FACTEURS	Réponse moyenne	R é p o n s e a v e c					
		Azote		Phosphore		Potasse	
		Absence	Présence	Absence	Présence	Absence	Présence
Azote (Sulfate)	+2,9 ^x	////	////	+1,7	+4,1 ^x	+0,6	+5,3 ^x
Phosphore	-1,5	-2,7	-0,3	////	////	-2,7	-0,3
Potasse	-0,7	-3,1	+1,7	-1,9	+0,5	////	////

Erreurs standards et différences significatives

Effet moyen es = + 1,4 DS 0,05 = 2,9

Effet différentiel es = + 2,0 DS 0,05 = 4,1

Coefficient de variation Cv = 25,4 %

(analyse faite après transformation et vérification à partir des résidus de la loi de distribution gaussienne de la variable).

L'azote est donc l'élément prépondérant pour l'accroissement du poids de grain par épi. Toutefois, son action n'est vraiment nette qu'en présence des autres éléments de la fumure comme le montrent les effets différentiels suivants

Effet de l'azote	Effet du phosphore	Effet de la potasse	
Seul + 0,1 g	Seul - 3,1 g	Seule - 3,5 g	es = ± 2,8
+P -K - 1,0 g	+N -K - 2,2 g	+N -P - 0,3 g	DS 0,05 = 5,9
+K -P + 3,3 g	+K -N - 2,3 g	+P -N - 2,6 g	DS 0,02 = 7,1
+P +K + 7,3 g (2)	+N +K - 1,7 g	+N +P - 3,6 g	

On retrouve encore l'importance de la présence simultanée des trois éléments. La potasse semble jouer un rôle plus important que le phosphore pour le poids de grains par épi. L'effet dépressif du phosphore peut s'expliquer par la corrélation négative entre le poids de grains et le nombre de tiges fertiles, et l'effet positif important du phosphore sur cette dernière caractéristique.

c/ Rapport partie sexuée/ partie végétative

Comme le poids de grains/ par épi, le rapport partie sexuée sur partie végétative dérive des variables primitives par une simple opération arithmétique. Nous avons utilisé la transformation en Arc Sinus et l'étude de la distribution et l'additivité a été, comme dans le cas précédent, conduite à partir des résidus. Les résultats sont les suivants exprimés en % grains/ partie végétative.

La partie végétative est la somme des tiges + feuilles + épis - grains

O	13,9 %	K	14,3
N	14,2	NK	13,1
P	11,4	PK	10,0
NP	9,5	NPK	8,1

Réponses différentielles en %

FACTEURS	Réponse moyenne	R é p o n s e a v e c					
		Azote		Phosphore		Potasse	
		Absence	Présence	Absence	Présence	Absence	Présence
Azote (Sulfate)	- 1,2	//////////	//////////	- 0,4	- 1,9 ^x	- 0,8	- 1,6
Phosphore	- 4,1 ^{xxx}	- 3,4 ^{xx}	- 4,9 ^{xxx}	//////////	//////////	- 3,6 ^{xx}	- 4,6 ^{xxx}
Potasse	- 0,8	- 0,5	- 1,2	- 0,3	- 1,4	//////////	//////////

Erreurs standards et différences significatives

Effet moyen es = \pm 0,6 DS 0,05 = 1,4 DS 0,001 = 2,6

Effet différentiel es = \pm 0,9 DS 0,05 = 1,9 DS 0,01 = 2,6 DS 0,001 = 3,6

Coefficient de variation Cv = 8,8 %

Le phosphore a un effet très hautement significatif et dépressif sur le rapport grain/ partie végétative. On obtient ainsi pour l'effet du phosphore les résultats suivants :

P seul : - 2,5

P (+N -K) : - 4,7^{xx}

P (+K -N) : - 4,3^{xx}

P (+N+K) : - 5,0^{xx}

es = \pm 1,3 DS 0,05 = 2,7

0,01 = 3,7

La baisse du rapport grain/ partie végétative est d'autant plus importante que le phosphore se trouve en présence des deux éléments de la fumure.

Le fait est en accord avec l'ensemble des résultats déjà obtenus (en particulier effet très net du phosphore sur la quantité de paille) Il se peut également que l'accroissement de la partie végétative entraîne un cycle végétatif plus long qui retarde d'autant la floraison. Celle-ci se produit alors dans des conditions différentes, peut-être défavorables.

C/ 1964 : Arachide 2

Réponses moyennes et différentielles en kg/ ha de gousses

FACTEURS	Réponse moyenne	R é p o n s e a v e c					
		Azote + Soufre		Phosphore		Potasse	
		Absence	Présence	Absence	Présence	Absence	Présence
Azote (Sulfate)	- 76	//////////	//////////	- 80	- 72	- 84	- 68
Phosphore	+ 99	+ 95	+ 105	//////////	//////////	+ 31	+167 ^x
Potasse	+ 79	+ 71	+ 87	+ 11	+147	//////////	//////////

Erreurs standards et différences significatives

	e s	DS à 0,05 ^x
Réponses moyennes	± 54	115
Réponses différentielles	± 77	162

Coefficient de variation Cv = 14,4 %

Les rendements sont médiocres et la fumure a un faible effet malgré la bonne densité. La raison essentielle de ce résultat est l'insuffisance notoire d'eau alliée à une mauvaise répartition des pluies. On peut seulement mettre en évidence un effet significatif du phosphore mais seulement en présence de potasse. L'azote a un effet dépressif dans tous les cas (mais non significatif).

La potasse joue un rôle beaucoup plus important que la première arachide et son effet en présence de phosphore est voisin de la signification.

Le tableau des réponses différentielles montre bien l'importance de la fumure potassique jointe à la fumure phosphorée ; l'effet de l'un des éléments sans l'autre étant pratiquement nul.

Effet phosphore	Effet de la potasse	
Seul + 16	Seule - 9	es = ± 109 DS 0,05 = 229
+N -K + 46	+N -P + 30	
+K -N + 175	-N +P + 150	
+N +K + 160	+N +E + 144	

Sur les pailles (tiges + feuilles) pesées à une humidité voisine de 6 % l'effet de la fumure est beaucoup plus important. La sécheresse en fin de cycle a surtout nuit au bon remplissage des gousses.

On enregistre un effet significatif de l'interaction NK ($F = 4,87$ pour F table = 4,45).

L'effet de P et de NP sont à la limite de la signification.

Tableau des réponses différentielles en kg/ha de pailles

FACTEURS	Réponse moyenne	R é p o n s e a v e c					
		Azote + Soufre		Phosphore		Potasse	
		Absence	Présence	Absence	Présence	Absence	Présence
Azote (Sulfate)	+ .95	////////////////////		- 453	+ 642	- 488	+ 677
Phosphore	+ 478	- 69	+1025 ^x	////////////////////		+ 481	+ 475
Potasse	+ 238	- 344	+ 820 ^x	+ 241	+ 235	////////////////////	

Erreurs standards et différences significatives

	e s	DS à 0,05	DS 0,01
Réponses moyenne	± 228	482	////////////////////
Réponses différentielles	± 323	682	936

Coefficient de variation $C_v = 26,9 \%$

L effet de chacun des éléments en fonction des deux autres nous donne les résultats suivants :

Effet de l'azote		Effet du phosphore		Effet de la potasse	
Seul	- 623	Seul	+ 346	Seule	+ 71
+P -K	- 352	+N -K	+ 617	+N -P	+ 411
+K -P	- 283	+K -N	- 485	+P -N	- 760
+P +K	+1636 ^{xx}	+N +K	+ 1434 ^{xx}	+N +P	+ 1228 ^x (0,02

Chacun des éléments pris séparément produit un effet maximum en présence des deux autres.

CONSIDERATIONS GENERALES SUR L'INTERET DU DISPOSITIF ET LES IMPERFECTIONS DE L'ETUDE

Les dispositifs multifactoriels sont, en général, utilisés au stade préliminaire de l'étude au champ, alors qu'il faut inclure tous les facteurs et voir ceux qui présentent les interactions ou ceux qui sont indépendants

Dans l'étude qui précède, nous avons essayé de tirer parti au maximum du dispositif factoriel pour mieux comprendre l'action séparée ou simultanée des trois éléments principaux de la fumure sur les diverses parties de la plante et sur les composantes des rendements.

Les avantages du dispositif factoriel pour une telle étude sont manifestes :

- augmentation de l'efficacité (c'est-à-dire de l'information par parcelle)
- grande précision et simplicité géométrique de l'analyse
- possibilité d'obtenir l'ensemble des effets et des interactions

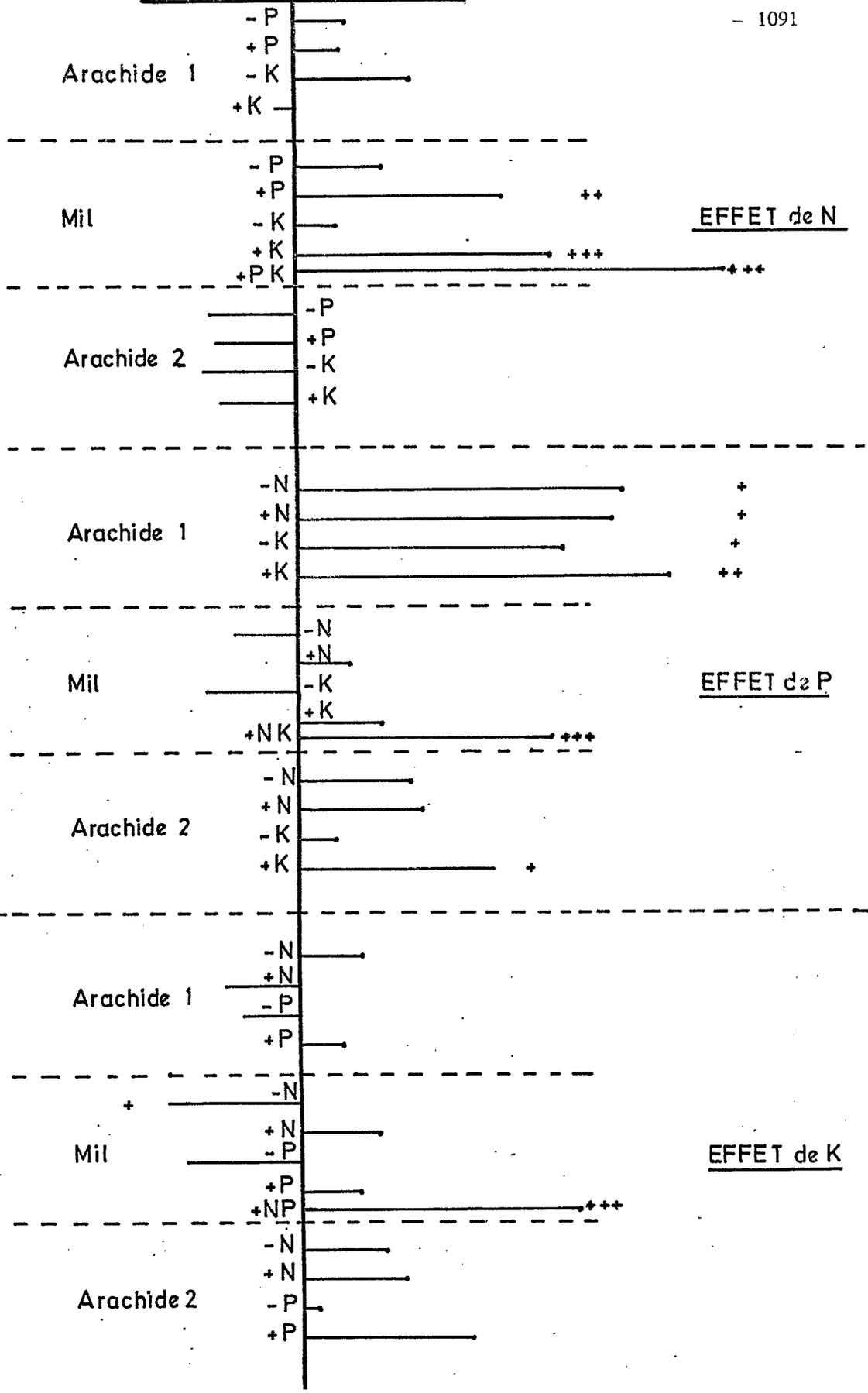
Gousses - Grains

Effet négatif Effet positif

Effets de chacun des éléments de la fumure en absence (-) ou en présence (+) des autres éléments

+ 0,05
 ++ 0,01
 +++ 0,001

100kg / ha



EFFET de N

EFFET de P

EFFET de K

- test de chacune des comparaisons indépendantes par le test F avec un seul degré de liberté Calcul direct de la différence significative, au seuil désiré à partir de l'erreur standard pour chacun des effets
- présentation claire des résultats en utilisant le tableau des réponses différentielles

Il est impossible d'ignorer le problème des interactions dans les expérimentations faisant intervenir les engrais L'étude réalisée met en relief l'importance de celles-ci Il est assez rare, dans les interprétations, qu'un grand nombre d'interactions soient significatives En général on observe une ou deux interactions importantes Ce fait simplifie l'interaction et permet d'augmenter la précision, le nombre de répétitions réelles étant alors plus élevé que le nombre des répétitions apparentes Toutefois, l'interprétation des effets principaux et des interactions doit être faite avec beaucoup de discernement En règle générale, on observe que lorsque les interactions sont fortes, les effets principaux sont assez loin de la signification C'est ce qu'on obtient fréquemment dans les essais d'engrais réalisés avec de faibles fumures Par contre dans les expérimentations mettant en jeu des fumures fortes, les interactions sont souvent négligeables par rapport aux effets principaux.

Cette étude est une des premières que nous ayons réalisées à Bambey et elle comporte certaines imperfections que nous devons souligner :

a/ Le dispositif en «confounding» qui permet de réduire la dimension des blocs est une méthode souvent efficace, mais il apparaît dans bien des expériences qu'on obtient la même précision avec le dispositif factoriel à parcelles entièrement randomisées De toute façon, si on veut faire usage du confounding, il faut s'en tenir au confounding total (par exemple dans le cas présent de l'interaction de plus haut degré NPK), le confounding partiel que nous avons utilisé alourdit les calculs et multiplie les opérations d'ajustement pour un gain de précision probablement illusoire.

b/ L'expérimentation aurait dû non seulement être conduite en rotation, mais également en séries. Il est alors possible de tester les différents effets par rapport à l'interaction traitement x années et de conclure sur leur signification quelle que soit l'année Cette disposition en série est importante à cause de la variation considérable des conditions pluviométriques chaque année. Toutefois si nous mettons en regard les moyennes des rendements obtenus pour chaque culture au cours de l'essai, et ceux obtenus pendant quatre années consécutives (1963 à 1966) en grande culture, on constate que les effets de la fumure annuelle à 150 kg/ha sont voisins. L'identité est mieux réalisée avec le mil qui a fait l'objet d'une étude détaillée

On obtient ainsi en kg/ha de gousses et de grains

	Arachide 1		M i l		Arachide 2	
	Expérimentation	Grande culture	Expérimentation	Grande culture	Expérimentation	Grande culture
O	1487	930	569	643	1061	1000
NPK	1769	1165	759	828	1152	1184
Effet NPK - O	+ 282	+ 235	+ 190	+185	+ 91	+ 184

c/ Les traitements restant tout au long de l'expérience sur les mêmes parcelles, le rendement d'une parcelle pour une année donnée, mesure la somme des effets directs du traitement appliqué sur cette parcelle et des effets résiduels du même traitement appliqué à cette parcelle au cours des années antérieures Ainsi, à la variation classique indépendante des traitements d'ordre positionnel, s'ajoute une variation non contrôlée due au passé du traitement La seule analyse possible pourrait être réalisée sur la somme des rendements en fin d'expérience Etant donné la présence de cultures différentes, cette analyse serait seulement possible sur la production totale exprimée en francs.

En fait, la majorité des statisticiens continuent à interpréter de tels essais année par année, étant donné l'intérêt que présente la connaissance des différents effets des éléments de la fumure sur chacune des cultures successives de la rotation La connaissance exacte des bilans minéraux après chaque culture permettrait une meilleure compréhension des effets obtenus Il est hélas difficile d'établir avec précision ces bilans.

CONCLUSIONS

Les rendements obtenus au cours de la rotation sont faibles. Ils sont représentatifs du système de culture dans les conditions pédoclimatiques de Bambey où les effets de la fumure annuelle à faible dose (150 kg/ha de 6-20-10 sur l'arachide et 150 kg/ha 14-7-7 sur le mil) ne sont guère supérieurs au coût de cette fumure (prix non subventionné).

Le dispositif factoriel ²³ utilisé est une méthode particulièrement efficace pour déterminer les effets séparés ou simultanés des éléments principaux de la fumure.

Dans les conditions pédoclimatiques médiocres à moyennes de Bambey (rendements en arachide 1000 à 1500 kg/ha de gousses), sans intervention du travail du sol et en première année de fumure sur arachide, une formule à dominance phosphorée est la meilleure. La présence de potasse renforce l'effet du phosphore. Dans le cadre d'une rotation à dominance arachidière (du type Jachère simple-Arachide-Mil-Arachide) l'effet de la potasse s'ajoute à celui du phosphore dès la deuxième année d'arachide. Le complément azoté ne semble pas indispensable.

Pour la céréale, dans les mêmes conditions et sans travail de préparation du sol. (rendement 700 à 1000 kg/ha de grains), une fumure complète NPK à dominance azotée se présente comme la plus intéressante du fait des interactions importantes entre les trois principaux éléments de la fumure.

Dans le cadre de la fumure actuellement vulgarisée sur mil, une étude détaillée des effets des éléments de la fumure sur partie végétative et sur les composantes du rendement aboutit aux conclusions suivantes :

la partie végétative répond beaucoup mieux à la fertilisation que la partie sexuée ; les interactions sont très fortes entre les trois éléments, les effets de l'azote et du phosphore sont prépondérants.

L'expression du rendement en fonction du nombre d'épis et du poids de grains par épi, montre l'importance de ce dernier facteur. Le poids de grains par épi est sous la dépendance étroite de la fumure azotée, celle-ci atteignant son plein effet en présence de phosphore et surtout de potasse. En fait, l'intense parasitisme qui se produit sur l'épi avant la récolte, fait que le poids de grains par épi subit de faibles variations avec la fumure. Le nombre d'épis ou de tiges fertiles dépend surtout de la fumure phosphorée, dont l'effet est renforcé en présence des autres éléments. En fait, l'effet global de la fertilisation se traduit le plus souvent seulement par un accroissement du nombre d'épis.

Le rapport partie sexuée/partie végétative diminue avec l'apport séparé ou simultané des trois éléments de la fumure. Par son effet prépondérant sur la partie végétative, le phosphore, en particulier, entraîne une baisse nette de ce rapport.

La fertilisation réussit donc à accroître dans des proportions importantes la matière sèche totale et, dans une beaucoup plus faible mesure, la matière utile. Ainsi dans le cas de l'expérimentation, l'apport de 150 kg de formule 14-7-7 entraîne une augmentation de 124 % de la paille et de 33 % des grains. Ce problème n'est plus du ressort de la fertilisation. Il est du domaine de la génétique : modification de la structure même de la plante et de son cycle, de la défense des cultures ; réduction du parasitisme sur épi et des techniques culturales : problème de densité.

Toutefois, il est maintenant bien établi qu'aucun rendement élevé ne pourra être obtenu sur la céréale sans la création d'un véritable profil cultural et un apport d'engrais important. Il y a lieu d'obtenir un niveau de phosphore suffisant pour avoir une densité d'épis importante, mais un déséquilibre en faveur du phosphore peut s'avérer dangereux. L'azote et la potasse sont indispensables pour obtenir une production de grains optimum. Les 21 unités d'azote de la formule 14-7-7 à 150 kg/ha sont notoirement insuffisantes pour assurer une alimentation correcte de la céréale.

Nous nous proposons, dans une étude future, à partir d'expérimentations installées depuis trois ans et disposées en séries, de comparer l'effet des éléments de la fumure dans deux systèmes de culture : le système à faible fumure qui correspond à cette première étude, et le système à forte fumure mettant en jeu le phosphatage de fond, une fumure potassique correcte sur arachide et un niveau d'azote permettant à la céréale d'exprimer sa potentialité.

BIBLIOGRAPHIE

- BOUYER S., TOURTE R. Contribution à l'étude de la fumure des terres à arachides du Sénégal
L'Agr. Trop. 5-6 1949
- BOUYER S. Croissance et nutrition minérale de l'arachide
L'Agron. Trop. N° 5-6 1949
- CORIOLS & TOURTE R. Contribution à l'étude de la fumure minérale au Sénégal
Annales du C.R.A. 1951
- TOURTE R. Les engrais NPK - Poursuite de l'étude de leurs effets
Annales du C.R.A. 1952
- TOURTE R., FAUCHE S. Les engrais NPK sur l'arachide et le mil au Sénégal
Annales du C.R.A. 1953
- TOURTE R., CHARREAU C., POULAIN J.F., VIDAL P., NICOU R.
La fumure minérale des sols au Sénégal
- VIDAL P. Croissance et nutrition minérale des mils au Sénégal
Thèse 1961 Dakar
- OLLAGNIER Aperçu sur quelques types de plans expérimentaux
Oléagineux 1952
- SNEDECOR Statisticals methods 1956
- YATES The Design and analysis of factorial experiments
Communication Rothamsted 1958
- COCHRAN et COX Experimental Designes 1960
- BINET Analysis of confounded factorial experiment
North Caroline Agr. Exp Station N° 113 - Oct 1955
- Rapport d'activité de la Division d'amélioration du milieu
C.R.A Bambeu 1962-1963-1964.