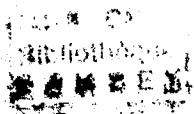


CND100407
P350
NDI
1978/112

REPUBLIQUE DU SENEGAL
PRIMATURE

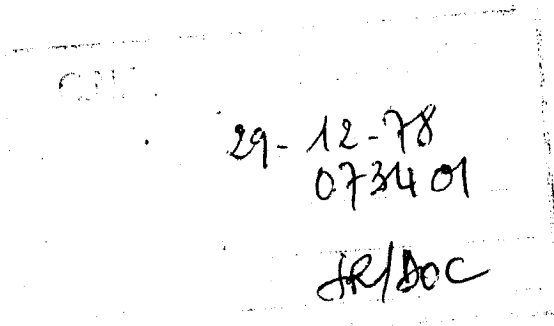
DELEGATION GENERALE
A LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ET TECHNIQUE



EVALUATION DE LA FERTILITE DE QUELQUES TERRES
EXONDEES CULTIVEES AU SINE-SALOUM

par

J.P. NDIAYE
Ingénieur de Recherches ISRA



Novembre 1978

Contre National de Recherches Agronomiques
de BAMBEY

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

S O M M A I R E

I - INTRODUCTION

II - OBJECTIFS ET METHODE

2.1- Objectifs

2.2- Choix des parcelles

2.3- Prélèvement de terre et de plantes

III - EVALUATION DE LA FERTILITE

3.1- Critères retenus

3.2- Application aux parcelles étudiées

3.3- Méthodes statistiques **d'analyse des données**

3.3.1. Analyse en composantes principales

3.3.2. Analyse discriminante pas à pas

3.4- Conclusion.

IV - EVALUATION DES EXPORTATIONS MINERALES DU MIL ET DE L'ARACHIDE

4.1- Cas du mil

4.2- Cas de l'arachide

4.3- Remarques et conclusion

V - ESSAI D'ETABLISSEMENT DU BILAN MINERAL BRUT

5.1- Hypothèse de calcul

5.2- Présentation des **résultats**

5.3- Comparaison du bilan minéral et de l'évaluation
de la fertilité des sols

VI - CONCLUSION GENERALE.

1 - INTRODUCTION

L'histoire culturale et le type pédogénétique sont deux facteurs essentiels qui déterminent le niveau de fertilité d'un champ. Du point de vue de l'histoire culturale du champ cette fertilité (plus ou moins acquise) peut résulter de l'application répétée sur un temps suffisamment long de doses d'engrais dépassant à la fois les exportations et les pertes de toutes natures. On considère généralement que l'utilisation rationnelle des engrais est le moyen le plus simple et le plus sûr d'accroître le rendement des cultures. Au Sénégal, on pourrait encore très avantageusement accroître leur emploi. Comment y parvenir ? C'est un problème que tous ceux qui s'occupent de vulgarisation agricole sont amenés à se poser.

L'analyse de sol et de plantes est un des moyens d'attirer l'attention des agriculteurs sur la nécessité d'apporter davantage de l'engrais à leurs terres et sur l'importance d'un bon dosage des engrais selon les terres et les cultures. L'utilisation rationnelle des engrais suppose une connaissance des besoins des cultures en éléments minéraux et de la capacité du sol à satisfaire la demande des plantes en ces divers éléments. Ceci nécessite la mise au point d'une méthode d'évaluation de la fertilité du sol. Grâce aux études sur l'évolution de la fertilité du sol généralement réalisées en conditions contrôlées (stations de recherches, PAPEM), on dispose, au Sénégal, d'un certain nombre de critères qui, bien qu'encore imparfaits, permettent, à partir de prélèvements et d'analyses de sol, de faire une évaluation du niveau de fertilité des terrains échantillonnés. De plus les méthodes statistiques d'analyse des données permettent une autre approche d'évaluation de la fertilité des sols.

II - OBJECTIFS ET METHODE

2.1- Objectifs

Le premier objectif de cette enquête est d'établir dans des champs paysans contrôlés par la SODEVA, une évaluation du niveau de leur fertilité. Le deuxième objectif est de faire une évaluation des exportations minérales réelles en conditions paysannes par analyses des teneurs en éléments majeurs des échantillons représentatifs des plantes entières cultivées sur ces champs.

Cette évaluation est particulièrement importante car on manque d'informations précises en milieu paysan sur les exportations minérales

réelles des cultures. Or on sait que le choix des formules de fumures appliquées au Sénégal dans le cadre d'une fertilisation économiquement satisfaisante est basé, d'une part sur la satisfaction de la demande des plantes en éléments minéraux, et d'autre part sur la nécessité d'apporter aux sols au moins autant que CO qui a été prélevé par la culture de façon à assurer le maintien de la fertilité du milieu, D'où la nécessité d'avoir une bonne évaluation des exportations minérales.

2.2- Choix des parcelles

Une tournée générale effectuée ensemble avec les responsables de la SODEVA nous a permis de procéder au choix des exploitations et des parcelles qui devraient faire l'objet de prélèvement d'échantillons. Le choix a porté sur :

Arachide

IA1 : 4 parcelles Nord, 4 parcelles Centre, 8 parcelles Sud
TA3 : 8 parcelles Centre, 8 parcelles Sud.

Mil:

IS1 : 3 parcelles Nord, 5 parcelles Centre, 8 parcelles Sud
TS2 : 2 parcelles Nord, 8 parcelles Centre, 6 parcelles Sud,

N.B.

IA1 = parcelles en arachide dessouchées, phosphatées avec apport de 75 kg de 8-18-27 et Plus
IS1 = parcelles en mil dessouchées, phosphatées avec apport de plus de 150 kg Z-10-27 ou plus de 25 kg C-15-27 + tirée ou plus de 100 kg 8-18-27 + forte fumure organique.
TA3 = parcelles traditionnelles en arachide avec apport de moins de 75 kg 8-18-27 sur Toll Gor
TS2 = parcelles traditionnelles en mil avec apport de forte fumure organique ou plus de 75 kg 14-7-7.

2.3- Prélèvement de terre et de plantes

Les points essentiels en matière de prélèvement d'échantillons sont la façon de procéder et l'époque choisie. Nous avons estimé que le prélèvement des échantillons de sol doit se faire avant tout apport de fumure, en particulier derrière une culture épuisante. C'est ainsi qu'au début du mois d'octobre, juste avant la récolte du mil nous avons procédé à l'échantillonnage des parcelles.

Le fait qu'aucun échantillon de sol ne donne une image parfaitement fidèle du champ dans lequel il a été prélevé laisse supposer que

l'appréciation de l'état de ce champ est entachée d'une erreur inhérente à l'échantillonnage dont le choix de la méthode dépend beaucoup de l'hétérogénéité du sol. Cette hétérogénéité elle-même est difficilement appréciable car le sol peut être fort peu homogène alors que le champ où doivent être prélevés les échantillons semble l'être. Par conséquent étant donné que les parcelles ne présentent pas la même homogénéité et que le manque d'homogénéité ne peut être apprécié à l'oeil, l'idéal serait de toujours indiquer l'erreur inhérente à l'échantillonnage lorsqu'on établit le compte rendu d'analyse d'une parcelle. Cette pratique amènerait nécessairement à analyser individuellement un certain nombre d'échantillons prélevés dans chaque parcelle. Il est évident que des considérations pratiques et financières empêchent d'appliquer cette méthode. On se contente donc, en pratique, de prendre un échantillon global en sachant que cet échantillonnage est imparfait.

Pour l'échantillonnage des champs de mil nous avons adopté la technique suivante; les prélèvements ont toujours eu lieu sur les diagonales des parcelles, chaque diagonale faisant l'objet d'un prélèvement au hasard de 5 touffes de mil. Le prélèvement du sol sur les parcelles de mil a été effectué à la sonde Dugain sur l'horizon 0-20 cm autour de chaque touffe de mil (sur un rayon de 23 cm) prélevée pendant l'échantillonnage des plantes. Autour donc de chaque touffe quatre prises ponctuelles ont été effectuées et réunies pour constituer un échantillon composite par parcelle.

L'échantillonnage des parcelles d'arachide a été effectué selon la méthode préconisée par l'IRHO mais avec certaines modifications. A l'endroit où le bâton lancé coupe une ligne X nous avons mesuré non pas 5 m de part et d'autre le long de la ligne, selon la méthode IRHO, mais 0,5m. Nous avons donc été amenés à réduire la longueur de ligne prélevée pour pouvoir avoir l'accord des paysans.

Le bâton a été lancé donc 5 fois sur chaque parcelle, ce qui correspond à une portion de ligne de 5 m.

Le prélèvement de terre sur les parcelles d'arachide a été fait aux emplacements où l'échantillonnage des plantes a été effectué. Sur chaque emplacement, il a été effectué deux prises ponctuelles, ces prises étant ensuite réunies pour la constitution de l'échantillon composite par parcelle.

III - EVALUATION DE LA FERTILITE

3.1- Critères retenus

Bien que la détermination du pli d'un sol soit assez conventionnelle, on admet cependant que c'est un bon critère de l'estimation de la fertilité. Différents auteurs ont montré qu'il existe pour certaines cultures, une corrélation entre la valeur du pH et les rendements; une baisse du pH correspond à un appauvrissement en bases échangeables et peut se traduire par une insolubilisation de l'acide phosphorique et un ralentissement de l'activité biologique. Il semble qu'on obtient une meilleure appréciation des effets nocifs de l'acidité du sol en tenant compte du taux de saturation du complexe absorbant par l'aluminium échangeable, élément qui apparaît lorsque le pH s'abaisse sensiblement au-dessous de la valeur 4,6. En effet les travaux de PIERI (1974) ont montré qu'il existe :

- un seuil de toxicité aluminique des nodosités de l'arachide correspondant à un taux de saturation de la CEC par Al (voisin de 30%);
- un taux de phytotoxicité pour l'arachide, lorsque ce taux est sensiblement plus élevé (voisin de 50%).

En ce qui concerne le calcium qui représente les 2/3 de la valeur de S, les quantités sont généralement suffisantes pour assurer l'alimentation des plantes, c'est donc essentiellement par l'intermédiaire de la saturation du complexe et du pH que le calcium échangeable et la somme des bases interviennent sur la fertilité. Pour chaque pH, la valeur de S dépend donc de la valeur de T et est très variable en fonction du type de sol.

Si la valeur de S dépend essentiellement de la capacité d'échange et du pH, pour les autres cations, c'est leurs proportions relatives qui jouent un rôle important dans la fertilité. Pour ce qui est du potassium échangeable, par exemple, il ne peut être considéré comme une réserve alimentaire définie. Il représente plutôt une sorte de niveau de "tube piézométrique" reflétant un état particulier et souvent transitoire des ions K^+ , entre les deux tendances inverses que constituent la rétrogradation et la libération (GARAUDEAUX, 1973).

Les études effectuées ont montré que la corrélation entre le potassium échangeable (assimilable) et fertilité est faible; cette corrélation devient élevée si l'on tient compte des rapports K/T , K/S ou K/Ca . Il semble donc que l'alimentation en potassium des plantes dépende de la densité des ions potassium par rapport aux autres cations, la vitesse de désorption devient un facteur secondaire alors qu'il est primordial dans le cas du phosphore (DABIN, 1970).

Comme l'a fait remarquer BOUYER (1950) le meilleur critère d'appréciation de la fertilité des sols du Sénégal en ce qui concerne P205 n'est certainement pas la fraction obtenue par l'extraction citrique. En effet les recherches effectuées montrant qu'il existe une corrélation assez nette entre la productivité et la teneur en P205 total, extrait par l'acide nitrique concentré à chaud.

Les critères suivants ont été alors retenus pour l'évaluation de la fertilité des parcelles échantillonnées.

Acidité

pH KCl $<$ 4,0	: acidité très forte
4,1 $\leq$ pH KCl $\leq$ 4,5	: acidité forte
4,6 $\leq$ pH KCl $\leq$ 5,0	: acidité moyenne
5,1 $\leq$ pH KCl $\leq$ 5,5	: acidité faible
5,6 $\leq$ pH KCl $\leq$ 6,0	: acidité proche de la neutralité
pH KCl $>$ 6	: neutre.

Réponse du mil. à la fumure potassique

- 1) $\frac{K \text{ éch.}}{CEC} > 5\%$: réponse à K peu probable
- 2) $\frac{K \text{ éch.}}{CEC} \leq 5\%$: réponse à K probable
- 3) $\frac{K \text{ éch.}}{CEC} < 2\%$: carence en potassium

Réponse de l'arachide à la fumure potassique

- 1) K éch $\leq$ 39 ppm (0,1 me/100g) : réponse à K probable
- 2) K éch. $>$ 39 ppm (0,1 me/100g) : réponse à K peu probable

Réponse à la fumure phosphatée

- 1) P205 total $\leq$ 110 ppm : 67% du rendement maximum
- 2) P205 total: 110-220 ppm: 67-75% du rendement maximum
- 3) P205 total: 220-500 ppm: 75-90% du " "
- 4) P205 total: $>$ 500 ppm: 90% du " "

Réserves facilement utilisables

S mg/100g		Importance des réserves facilement utilisables
A+L > 10%	A+L < 10%	
< 1,5	< 0,75	réserves faibles
1,5 - 3	0,75 - 1,5	réserves médiocres
3-6	1,5 - 3	réserves moyennes
6-12	3 - 6	réserves bonnes

3.2- Application aux parcelles étudiées

Les résultats des analyses de sols tels que les laboratoires les présentent ne sort pas directement utilisables par les agriculteurs. C'est qu'en effet le chimiste ne peut que dire combien un sol donné contient de phosphore ou de Potassium aisément solubles. Mais cela n'intéresse pas du tout l'agriculteur; ce qu'il désire savoir est tout autre chose, c'est: y a-t-il intérêt à faire des applications d'engrais phosphatés ou de sels de potassa ? Si la réponse est positive, il poursuit inévitablement en demandant: Combien en faut-il ? Il est tout aussi difficile de répondre à cette question qu'il est logique, normal et nécessaire de la poser. Et la réponse en admettant qu'il soit possible d'en donner une, dépend de ce que l'agriculteur veut connaître: quantité d'engrais qu'il aura le plus d'intérêt à employer l'année suivante ou quantité nécessaire Pour relever les teneurs jusqu'à un niveau permettant d'affirmer qu'il y a une quantité suffisante de l'élément nutritif en question. Il convient donc de distinguer entre :

- a) une interprétation servant à exprimer le degré de fertilité du sol
- b) une interprétation servant à indiquer la quantité d'engrais à appliquer,

Pour déterminer la quantité d'engrais à appliquer il faut entreprendre un grand nombre d'expériences sur le terrain portant sur des quantités croissantes d'engrais et faire des analyses de sols correspondantes. On peut dire que Pour formuler, d'après les résultats de l'analyse une recommandation concernant l'apport de tel ou tel élément nutritif, il faudrait connaître les données ci-dessous :

- 1- Teneur dans le sol de l'élément nutritif considéré
- 2- Teneur dans le sol d'autres éléments nutritif; ainsi que teneur en argile et en humus, pH, en sels, etc...

- 3- Besoins spécifiques des diverses plantes cultivées en chacun des éléments nutritifs
- 4- Variation de ces besoins sous l'influence des conditions extérieures (précipitations, etc...).

Or il se trouve, en pratique, que, au moins en ce qui concerne l'agriculture sénégalaise, les données énumérées ci-dessus ne sont pas toutes connues. Nous allons essayer donc, à partir des critères retenus, de faire une évaluation de la fertilité des parcelles échantillonnées.

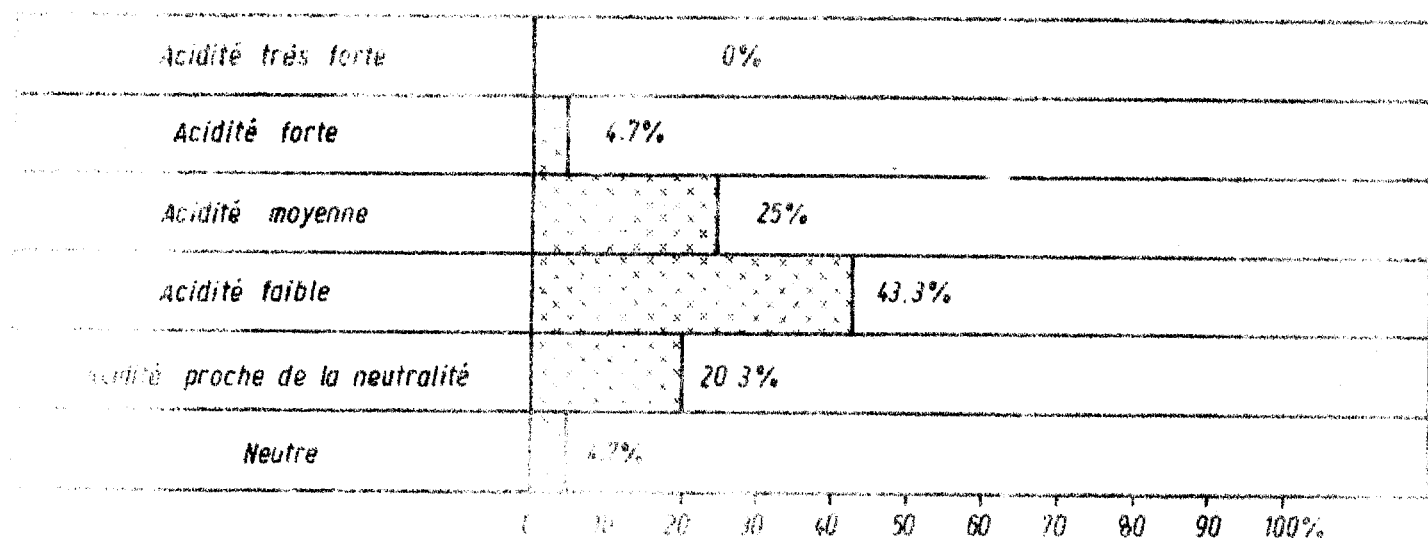


FIG. 1 : REPARTITION DES PARCELLES SUIVANT LEUR DEGRE D'ACIDITE

En fait, plus de la moitié des parcelles ont un pH favorable au développement et à la croissance des plantes.

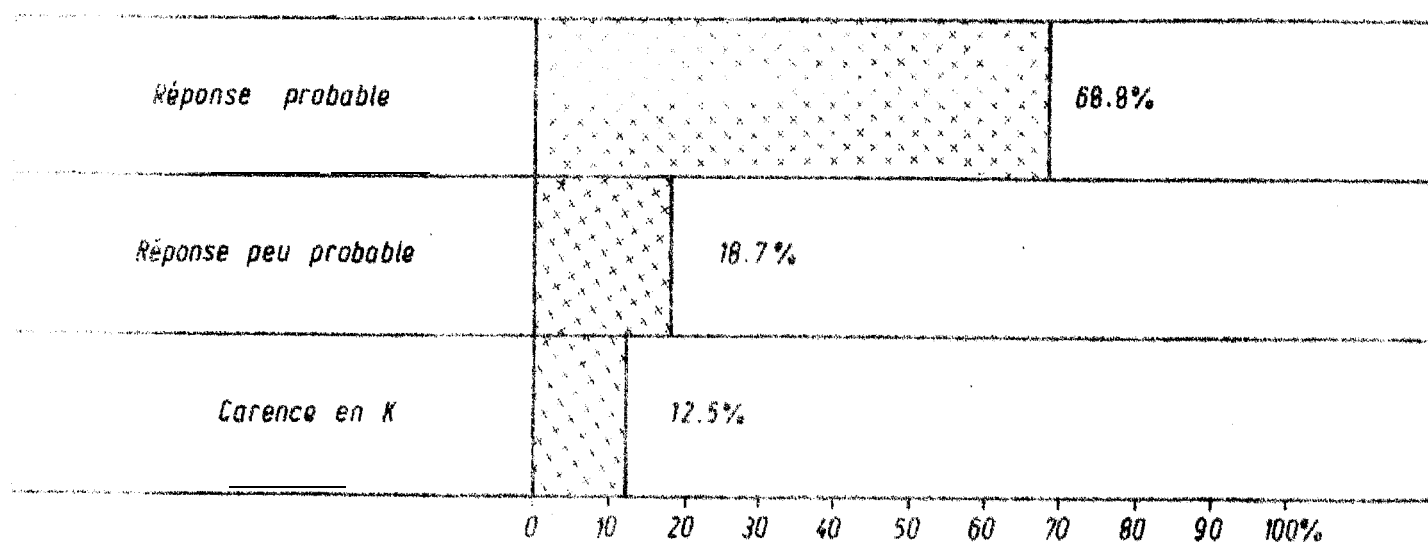
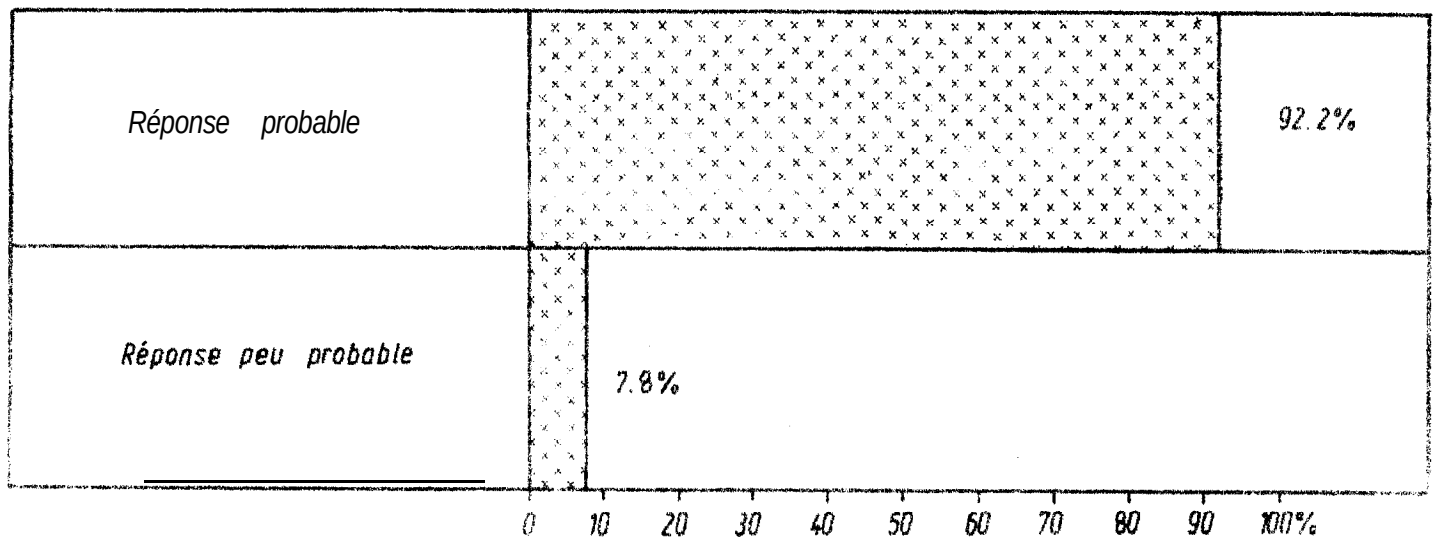


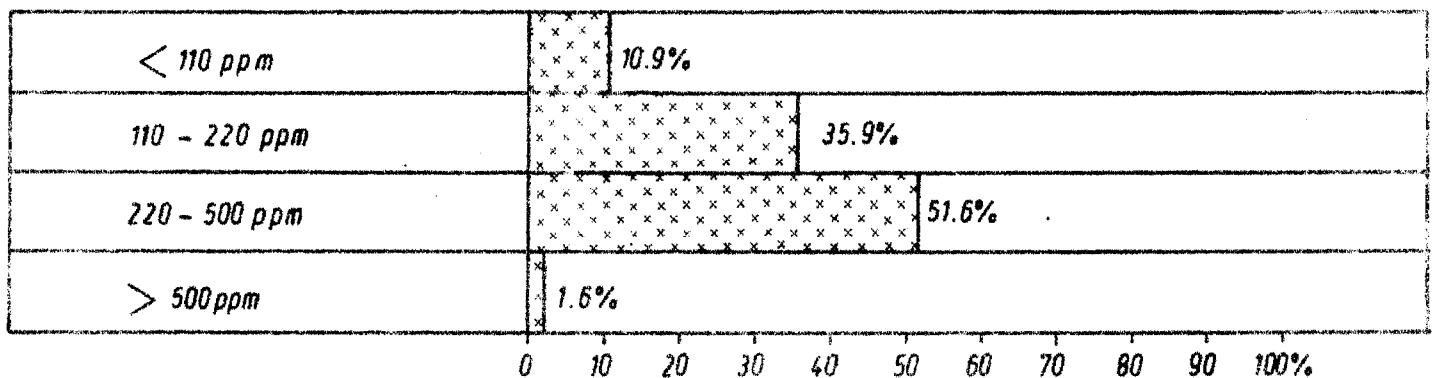
FIG. 2 : REPARTITION DES PARCELLES SUIVANT LA REPONSE DU MIL A LA FUMURE POTASSIQUE

On voit sur cette figure il apparaît que dans presque 69% des cas la réponse du mil à la fumure potassique est probable et que 12% des parcelles sont carencées en potasse.



**FIG. 3: REPARTITION DES PARCELLES SUIVANT LA REPONSE DE
L'ARACHIDE A LA FUMURE POTASSIQUE**

L'examen de cette figure révèle une réponse probable de l'arachide à la fumure potassique sur 92% des parcelles échantillonnées.



**FIG. 4: REPARTITION DES PARCELLES SUIVANT LA TENEUR EN
PHOSPHORE TOTAL**

Sans fertilisation phosphatée sur plus de la moitié des parcelles échantillonnées l'on peut espérer obtenir 75-90% du rendement maximum en arachide et 67-75% du rendement maximum sur 35.9% des parcelles.

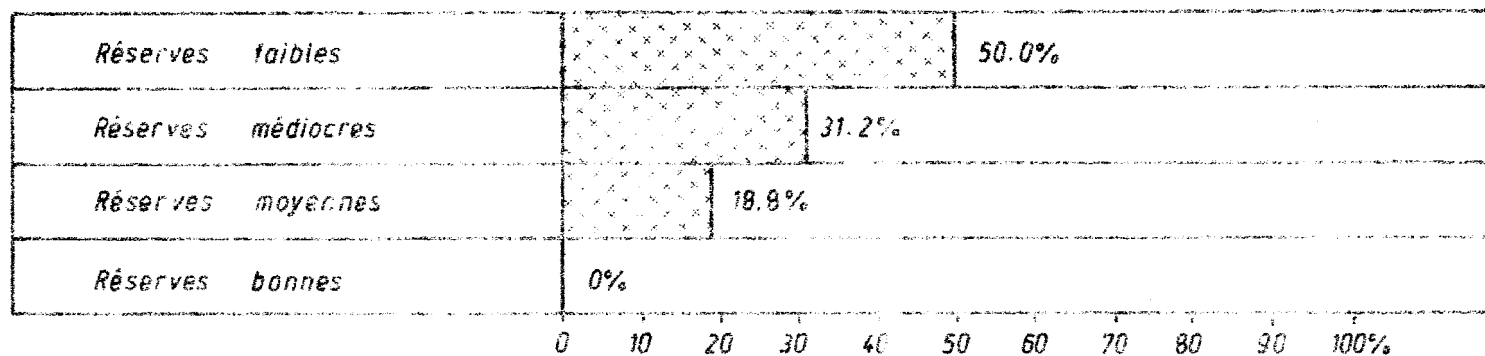


FIG. 5 : RÉPARTITION DES PARCELLES SUIVANT LE NIVEAU DES RÉSERVES FACILEMENT UTILISABLES

Dans leur grande majorité les parcelles échantillonnées ont un niveau faible à médiocre des réserves facilement utilisables.
 Sur les 64 parcelles aucune n'a de bonnes réserves facilement utilisables.

3.3- Méthodes statistiques d'analyse des données

Grâce aux méthodes statistiques d'analyse des données nous avons essayé une autre approche d'évaluation de la fertilité des parcelles échantillonnées. Le dépouillement des données a été réalisé en utilisant les méthodes suivantes :

- analyse en composantes principales
- analyse factorielle discriminante pas à pas.

L'analyse en composantes principales consiste à obtenir une représentation plus fiable du nuage des observations - parcelles dans un espace de dimension restreinte. Pour cela on recherche les axes principaux indépendants de ce nuage préalablement centré. Cette analyse a été effectuée sur les variables suivantes :

a) Pour le mil (27 parcelles)

- rendement en grain
- rendement en paille
- teneurs paille : N, P, K, Ca, Mg
- teneurs grain : N, P
- analyse du sol: pH KCl, A+L, C, N, P2O5, K/T

b) Pour l'arachide (28 parcelles)

- rendement en gousses
- rendement en fanes
- teneurs gousses : N, P, K, Ca, Mg
- teneurs fanes : N, P, K, Ca, Mg
- analyse du sol : pH KCl, A+L, C, N, P2O5, K/T, Al/S.

Après établissement pour chacune des² plantes, mil et arachide, de 2 classes de rendements à partir d'histogrammes :

Classe 1 : parcelles à rendement gousses ou grains inférieur à 800kg/ha

Classe 2 : parcelles à rendements gousses ou grains supérieurs à 800 kg/ha

L'analyse factorielle discriminante pas à pas recherche la première variable qui discrimine au mieux les deux classes, puis recherche la 2ème variable qui associée à la première fournit à nouveau la meilleure discrimination, etc., ,

Cette méthode élimine les variables étroitement liées et à ce titre peut entraîner la suppression de variables qui seraient plus facilement mesurables par l'agronome.

3.3.1. L'analyse en composantes principales

L'analyse en composantes principales a permis de mettre en évidence l'homogénéité des populations formées par les parcelles d'arachide et de mil mais à condition toutefois d'éliminer les parcelles suivantes :

Arachide : 5, 10, 35

Mil : 22, 52, 54

En effet on relève que le précédent cultural de l'arachide de la parcelle 5 a été une culture de mil et de maïs ce qui a dû être à l'origine de l'hétérogénéité des résultats d'analyses. Quant aux parcelles 10 et 35 elles se caractérisent par une densité relativement faible. Il en est de même pour les parcelles de mil n° 22, 52 et 54.

3.3.2. Analyse factorielle discriminante pas à pas

3.3.2.1. Arachide

L'échantillon de base est formé par 13 individus pour le groupe 1 et 12 individus pour le groupe 2. L'ensemble des données chiffrées figurent au tableau 1

Tableau 1

Variables prises en considération	Moyenne		Moyenne globale	Ecart type	
	Gr 1	Gr 2		Gr 1	Gr 2
1. Taux de N dans la graine (TGN)1	3,66	3,66	3,66	0,33	0,35
2. Taux de P dans la graine (TGP)1	0,29	0,31	0,30	0,04	0,04
3. Taux de K dans la graine (TGK)1	1,06	1,08	1,07	0,17	0,15
4. Taux de Ca " (TGCa)1	0,11	0,14	0,12	0,04	0,07
5. Taux de Mg " (TGMg)1	0,54	0,52	0,53	0,14	0,20
6. Taux de N " les fanes (TFN)1	2,07	1,96	2,01	0,31	0,37
7. Taux de P " (TFP)1	0,13	0,14	0,14	0,03	0,02
8. Taux de K " (TFK)1	0,87	0,83	0,85	0,44	0,22
9. Taux de Ca " (TFCa)1	1,11	1,05	1,08	0,20	0,16
10. Taux de Mg " (TFMg)1	0,60	0,57	0,59	0,13	0,10
11. pH KC1	5,12	4,57	5,04	0,28	0,39
12. A 4 L	9,35	9,14	9,25	3,16	1,49
13. c2	4,13	4,53	4,32	1,31	0,89
14. N2	0,29	0,30	0,29	0,07	0,05
15. P2052	0,23	0,28	0,25	0,07	0,05
16. K/T	0,03	0,02	0,03	0,02	0,01
17. Al/S	2,6	5,59	4,06	4,54	11,57

1 : en pour cent

2 : un pour mille.

A chaque pas un individu est affecté :

- au groupe 1 si sa valeur pour la Fonction linéaire discriminante est strictement positive
- au groupe 2 si elle est strictement négative
- pas d'affectation si elle est nulle.

Le tableau 2 est un résumé de l'analyse

Tableau 2

Pas	Variables		Coefficients Fonction: discriminante	Pourcentage de bien classés
	Numéro	Nom		
1	16	K/T	7,236	72,00
2	2	TGP	-4,258	68,00
3	4	TGCa	-1,647	72,00
4	5	TGMg	0,761	68,00
5	9	TFCa	0,416	80,00
6	8	TFK	0,179	84,00
7	17	Al/S	0,012	84,00
8	11	pH KCl	-0,016	84,00
9	13	C	0,182	84,00
10	3	TGK	-0,621	88,00
11	14	N	-0,961	84,00
12	6	t _{fm}	-0,188	80,00
13	7	TFP	4,264	76,00
14	15	P205	-1,521	84,00
15	12	A + L	-0,017	88,00
16	10	TFMg	-0,114	84,00
17	1	TGN	13,011	84,00

Constante = 0,841

La meilleure fonction linéaire discriminante ne retient que 10 variables parmi les 17 pour séparer les 2 classes de rendement.

$$V = 7,236 \text{ K/T} - 4,258 \text{ TGP} - 1,647 \text{ TGCa} + 0,761 \text{ TGMg} + 0,416 \text{ TFCa} + 0,179 \text{ TFK} \\ + 0,012 \text{ Al/S} - 0,016 \text{ pH KCl} + 0,182 \text{ C} - 0,621 \text{ TGK} + 0,841.$$

L'utilisation de cette fonction linéaire discriminante permet de classer 88% des parcelles; l'introduction de nouvelles variables n'augmentant pas le pourcentage de bien classés.

On peut remarquer qu'aux faibles valeurs du rapport K/T déterminé après la récolte correspondent des rendements plus élevés. Ceci peut s'expliquer par le fait que les sols étant déjà pauvres en potassium échangeable la culture d'arachide dans le cas de rendements élevés (supérieurs à 500 kg/ha) épuise encore davantage la richesse du sol en potasse de telle sorte que le rapport K/T diminue avec l'augmentation de rendement.

3.3.2.2. Mil

L'échantillon de base est formé par 13 individus pour le groupe 1 et 11 individus pour le groupe 2. Les données chiffrées sont consignées dans le tableau 3

Tableau 3

Variables prises en considération	Moyenne		Moyenne	Ecart type	
	Gr.1	Gr.2	globale	Gr.1	Gr.2
1 Taux de N dans le grain (TGN) ¹	1,79	1,60	1,70	0,211	0,16
2 Taux de P dans le grain (TGP) ¹	0,31	0,32	0,32	0,05	0,03
3 Taux de N dans la paille (TPN) ¹	0,64	0,61	0,62	0,16	0,16
4 Taux de P " " (TPP) ¹	0,07	0,08	0,07	0,05	0,02
5 Taux de K " " (TPK) ¹	1,62	1,93	1,76	0,52	0,65
6 Taux de Ca " " (TPCa) ¹	0,34	0,36	0,35	0,07	0,04
7 Taux de Mg " " (TPMg) ¹	0,32	0,36	0,34	0,06	0,08
8 pH K c i	5,55	5,40	5,48	0,54	0,24
9 A + L ¹	5,47	5,85	5,64	1,53	1,24
10 C ²	3,78	4,04	3,90	1,17	1,21
11 N ²	0,28	0,30	0,29	0,06	0,03
12 P205 ²	0,15	0,24	0,19	0,08	0,15
13 K/T	0,04	0,04			

1 : en pour cent

2 : en pour mille.

Les résultats de l'analyse factorielle discriminante pas à pas sont présentés dans le tableau 4.

Tableau 4

Pas	Variables		Coefficients fonction dis- criminante	Pourcentage de bien classés
	Numéro	Idom		
1	1	TGN	1,594	66,67
2	7	TPMg	-2,817	75,00
3	11	N	-3,132	79,17
4	8	pH KCl	0,291	83,33
5	10	C	0,373	87,50
6	2	TGP	4,595	83,33
7	6	TPCa	1,803	87,50
8	4	TPP	-2,415	91,67
9	12	P2O5	0,583	91,67
10	3	TPN	-0,361	91,67
11	9	A+L	-0,041	91,67
12	5	TPK	-0,049	91,67
13	13	K/T	-0,355	91,67

Constante = 3,637

Au vu des résultats de ce tableau il ressort que l'expression du rendement prend en compte les 8 premières variables.

$$V = 1,594 \text{ TGN} - 2,817 \text{ TPMg} - 3,130 \text{ N} + 0,231 \text{ pH KCl} + 0,373 \text{ C} + 4,595 \text{ TGP} + 1,803 \text{ TPCa} - 2,415 \text{ TPP} - 3,637.$$

L'utilisation de cette fonction linéaire discriminante permet de bien classer 91,67% des parcelles; l'introduction de nouvelles variables n'augmentant pas le pourcentage de bien classés.

Contrairement à ce que l'on a observé plus haut dans le cas de l'arachide le rapport K/T ne semble pas avoir beaucoup de valeur pour le mil.

3.4- Conclusion

La méthode d'analyse factorielle discriminante a permis de mettre en évidence les variables qui discriminent les rendements faibles des rendements forts. Cependant il est à déplorer le faible effectif des parcelles dans chaque groupe et le manque de données pluviométriques d'autant plus que le facteur hydrique a sans doute été le plus limitant en 1977.

IV - EVALUATION DES EXPORTATIONS MINÉRALES DU MIL et DE L'ARACHIDE

L'évaluation des exportations minérales réelles en conditions paysannes est une opération assez difficile au égard au fait que les résidus de récolte sont diversement utilisés, Toutefois une enquête réalisée par DREVON (1978) a révélé que dans le cas du mil à peu près 1 tonne de pailles reste sur le terrain. Il y a donc lieu de considérer les cas suivants :

4.1- Cas du mil

En raison du manque de données précises sur les quantités du pailles réellement exportées nous avons formulé les trois hypothèses de restitution suivantes :

Première hypothèse : les épis et les pailles sont exportés

Deuxième hypothèse : les épis et les $\frac{2}{3}$ des pailles sont exportés ($\frac{1}{3}$ des pailles brûlé sur place). Les résultats de l'enquête de DREVON citée plus haut montrent que ce cas paraît 13 fois plus fréquent si l'on prend 3t comme rondement moyen en paille.

Troisième hypothèse : les épis sont exportés, les pailles brûlées sur place. Ceci est rarement réalisé sur le terrain une partie des pailles servant pour la nourriture du bétail et la confection des tapades.

Nous avons tenté d'établir une relation entre les rendements et les exportations en fonction des trois hypothèses de restitution ci-dessus (graphiques 1 à 5 et 12 à 19).

La lecture de ces graphiques montre que quelle que soit l'hypothèse envisagée il existe une corrélation étroite entre les rendements et les exportations des différents éléments minéraux.

4.2- Cas de l'arachide :

Dans le cas d'une culture d'arachide les fanes et les gousses sont exportées. Les fanes d'arachide sont en effet l'un des meilleurs aliments pour le bétail. Les graphiques 6 à 10 mettent en évidence des corrélations très étroites entre les rendements et les exportations. Cependant la corrélation est moins forte pour ce qui est du calcium et du magnésium. Elle est d'ailleurs non significative dans le cas du calcium.

L'équilibre entre éléments majeurs (N, S, P, K, Ca, Mg) qui se réalise dans la matière végétale revêt une grande importance car il est plus ou moins équivalent aux besoins de la plante.

Le graphique 11 montre, à titre d'exemple, l'équilibre des mobilisations phosphatopotassiques. Dans le cas du mil pour un rendement d'une tonne le rapport K_{20}/P_{205} est voisin de 4, tandis que dans le cas de l'arachide et pour le même rendement il est de l'ordre de 2,5. Ceci veut dire que 10 mil consomme 4 fois plus de potasse que de phosphore et l'arachide 2,5 fois.

4.3- Remarques et conclusion

Les résultats des analyses de plantes à partir desquels les exportations ont été calculées montrent que l'engrais n'a pas d'effet sur les teneurs des plantes en éléments nutritifs. D'autre part, il est à noter qu'une évaluation plus précise des exportations minérales dans le cas de l'arachide devrait tenir compte de la quantité des feuilles qui fait retour au sol. Nous avons volontairement négligé cette quantité pour simplifier les calculs.

V - ESSAI D'ETABLISSEMENT DU BILAN MINERAL BRUT

L'établissement de bilans minéraux même approches revêt une importance particulière pour la détermination des fumures d'entretien. Le calcul des bilans minéraux établis par parcelle dans le cas du mil a révélé que :

- En culture améliorée sur 15 observations 1.: bilan de P est déficitaire le bilan de P est déficitaire dans 4 cas (27%)
le bilan de K est déficitaire dans 12 cas (80%) et quo pour un rendement moyen de 993 kg/ha le bilan moyen de P est égal à + 6 kg/ha tandis que celui de K est de - 32 kg/ha.

- En culture traditionnelle sur 12 observations dont 2 sans engrais le bilan de P est déficitaire dans 7 cas (58%)
le bilan de K est déficitaire dans 10 cas (83%).

Pour un rendement moyen de 662 kg/ha le bilan moyen de P est égal à - 0,75 kg/ha, tandis que celui de K est de - 21 kg/ha. Quant au bilan de l'azote il est toujours négatif aussi bien en culture améliorée qu'en culture traditionnelle et quelle que soit l'hypothèse de restitution. En effet si ce mode de restitution (brûlis) limite, en principe, les pertes de P_{205} et K_{20} , il n'en est pas de même pour l'azote qui se volatilise dans ces conditions.

Dans le cas de l'arachide le calcul de bilans minéraux établis par parcelle montre que :

En culture améliorée sur 16 observations

le bilan de P est déficitaire dans 3 cas (19%)

le bilan de K est déficitaire dans 8 cas (50%)

et pour un rendement moyen de 1016 kg/ha, le bilan moyen de P est égal à + 8,2 kg/ha tandis que celui de K est de -5,6 kg/ha.

En culture traditionnelle sur 12 observations (dont 10 sans engrais)

le bilan de P est déficitaire dans 11 cas (32 %)

le bilan de K est déficitaire dans 11 cas (92%)

Pour un rendement moyen de 625 kg/ha le bilan de P est égal à -5,5 kg/ha et celui de K à -14,2 kg/ha.

5.1- Hypothèses de calcul

Compte tenu de ce qui précède nous pouvons essayer de voir quelle sera la "santé" du sol au terme d'une rotation triennale Arachide-Mil-Arachide. Pour cela, en tenant compte des rendements obtenus sur les différentes parcelles nous ferons les hypothèses suivantes :

- Hypothèse de rendements faibles

Ar.1 = 800 kg/ha

Mil = 500 kg/ha

Ar.2 = 1000 kg/ha

- Hypothèse de rendements moyens

Ar.1 = 1300 kg/ha

Mil = 1000 kg/ha

Ar.3 = 1500 kg/ha

- Hypothèse de rendements forts

Ar.1 = 1600 kg/ha

Mil = 1500 kg/ha

Ar.2 = 2000 kg/ha

- Hypothèse d'exportation

Nous avons choisi ici le cas qu'on a le plus de chance de rencontrer et confirmé par l'enquête de DREVON à savoir épis + 2/3 pailles exportés (1/3 pailles brûlé sur place).

- Fumures recommandées

. systèmes extensifs : Mil 14-7-7 150 kg/ha

Arachide 8-18-27 "

. Systèmes semis-intensifs : Mil 10-21-21 150 kg/ha +
100 kg/ha urée. Arachide 8-18-27 150 kg/ha

7-3- année
d'1 rotation
A.M.

- Fumure moyenne appliquée

Nous avons calculé cette fumure en faisant la moyenne des apports d'engrais d'une part sur les parcelles de mil échantillonnées et d'autre part sur celles en arachide.

Pour le mil cette fumure est la suivante :

N 13,1, P205 14,1, K2O 21,2, CaO 2,0, MgO 0

Pour l'arachide :

N 7, P205 15,6, K2O 23,4, CaO 0, MgO 0

Sur une rotation arachide-mil-Arachide l'apport total d'éléments fertilisants par la fumure moyenne est de: N 27,1, P205 45,3, K2O 60,0, CaO 2,0, MgO 0.

L'apport total de principes fertilisants par la fumure recommandée en système extensif pour la même rotation sera de N 45, P205 64,5, K2O 91,5, CaO 3,4, MgO 0.

En système intensif on aura

N 85, P205 85,5, K2O 112,5, CaO 1,5, MgO 0.

5.2- Présentation des résultats

Les éléments du bilan brut établi sont consignés dans le tableau 5. La lecture de ce tableau appelle les commentaires suivants :

- Il y a lieu de se montrer prudent en ce qui concerne l'azote car il existe une incertitude quant au bilan sur arachide. En effet nous n'avons pas de données précises sur les quantités d'azote fixé dans l'atmosphère.

- La fumure moyenne appliquée ne compense les exportations que dans le cas du phosphore avec des rendements relativement faibles aussi bien pour le mil que pour l'arachide. Les bilans des autres éléments nutritifs sont nettement déficitaires.

- Avec l'application de la fumure recommandée en systèmes extensifs le bilan du phosphore est positif si les rendements sont faibles à moyens celui du potassium est équilibré dans l'hypothèse de faibles rendements; le déficit s'accroît avec l'augmentation des rendements.

La fumure recommandée en système intensif assure un bilan du phosphore positif aussi bien avec de faibles rendements que de rendements élevés. Pour le Potassium le bilan est nettement déficitaire, sauf dans l'hypothèse de faibles rendements. Cependant dans ces conditions la fumure ne saurait être rentable.

Bilan minéral brut

	Première hypothèse de rendement					Deuxième hypothèse de rendement					Troisième hypothèse de rendement				
	Ar.1 : 800 kg/ha					Ar.1 = 1300 kg/ha					Ar.1 = 1800 kg/ha				
	Mil = 500 "					Mil = 1000 "					Mil = 1500 "				
	Ar.2 = 1000 "					Ar.2 = 1500 "					Ar.2 = 2000 "				
	N	P205	K2O	CaO	MgO	N	P205	K2O	CaO	MgO	N	P205	K2O	CaO	MgO
Exportations	137,7	30,1	84,2	51,4	51,2	222,7	50,4	143,7	82,6	82,3	307,9	70,7	203,1	114,6	113,4
Fumure moyenne non appliquée	-110,6	+ 15,2	- 16,2	- 49,4	- 51,2	-195,6	- 5,1	- 75,7	- 80,6	- 82,3	-280,8	- 25,4	-135,1	-112,6	- 3,4
Fumure recommandée en système extensif	- 92,7	+ 34,1	+ 7,3	- 48,0	- 51,2	-177,7	+ 14,1	- 52,2	- 79,2	- 82,3	-262,9	- 6,2	-111,6	-111,2	-113,4
Fumure recommandée en système intensif ou semi-intensif	- 52,7	+ 55,4	+ 28,3	- 49,9	- 51,2	-137,7	+ 35,1	- 31,2	- 81,1	- 82,3	-222,9	+ 14,8	- 90,6	-113,1	-113,4

- Les bilans du calcium et du magnésium sont toujours déficitaires. C'est que les formules de fumure vulgarisées ne contiennent ni du Ca ni du Mg (c'est le cas de 8-18-27) ou bien en contiennent très peu (cas de la 14-7-7 et de la 10-21-21 qui titrent respectivement 2,25 et 1% de CaO). Un appauvrissement continu donc du sol en calcium et magnésium peut avoir à long terme des conséquences très graves (augmentation de l'acidité du sol).

Par ailleurs nous avons vu que le bilan du potassium était toujours déficitaire pour des rendements moyens à forts quoi que soit le type de fumure appliquée, ce qui est très préoccupant, si l'on sait que les sols dont il est question ici sont pauvres en potassium échangeable. D'où donc la nécessité de compenser les exportations des récoltes par les institutions soit en enfouissant des résidus de récolte, soit en apportant au sol du compost ou du fumier.

5.3- Comparaison du bilan minéral et de l'évaluation de la fertilité des sols

Nous avons vu plus/^{haut}que 12,5% des parcelles étaient carencées en K et que la réponse du mil et de l'arachide à la fumure potassique était probable respectivement dans 68,8 et 92,2% des cas. D'autre part, le bilan du potassium, à l'exception des fumures recommandées en système extensif et intensif et dans l'hypothèse de rendements faibles, est nettement déficitaire. Ceci montre toute l'importance qu'il convient d'accorder au maintien du statut potassique des sols par l'incorporation dans le sol de résidus de récolte ou de matière organique préhumifiée (compost, fumier). Des études ultérieures devraient préciser les doses de fumier et de compost les plus efficaces et les plus compatibles avec les possibilités des agriculteurs.

Le cas du phosphore est moins alarmant si l'on sait que 51,6% des parcelles ont une teneur en P₂₀₅ comprise entre 220 et 500 ppm et 1,6% des parcelles une teneur supérieure à 500 ppm. Le passage systématique à la fumure recommandée en système intensif au semi-intensif assurerait donc le maintien du statut phosphorique des sols comme le montre bien le bilan du phosphore dans le cadre de ce système.

Par contre le cas du Ca et du Mg est particulièrement préoccupant si l'on sait que leurs bilans sont nettement déficitaires et que 81,2% des parcelles ont des réserves faibles à médiocres. Le processus d'acidification des sols sénégalais étant corrélatif d'un déficit en cations alcalins (Ca et Mg) des efforts restent à déployer en vue de l'en-

ploi de moyens permettant tout d'abord d'éviter tout accident dû à une acidité trop forte ou d'autre part le maintien d'une alimentation calcique et magnésienne satisfaisante des cultures.

VI - CONCLUSION GENERALE

Nous avons tenté dans chaque cas de présenter des normes d'interprétation chiffrées. Cependant il est bien évident que les critères de fertilité dont nous nous sommes servis ne peuvent être qu'approximatifs. Néanmoins ils ont l'avantage de préciser l'orientation des phénomènes, l'intensité de chaque facteur pris séparément et fixer certains niveaux de valeurs où ces facteurs deviennent insuffisants. Il convient de noter qu'au point de vue de l'échantillonnage l'enquête est critiquable car au lieu d'un échantillonnage au hasard les parcelles ont été choisies en fonction de la convenance de la SODEVA. Par conséquent on ne peut rien dire de la représentativité de cet échantillon. Cette première enquête d'évaluation de la fertilité en milieu paysan doit donc être poursuivie et si possible étendue et améliorée sur le plan méthodologique.

Remerciements:

Le traitement statistique des données a été effectué par M. ARNAUD, statisticien au Service de Méthodologie IRAT-Montpellier. Nous tenons à lui exprimer notre profonde gratitude.

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

PIERI (C.), 1974.

Premiers résultats expérimentaux sur la sensibilité de l'arachide
à la toxicité aluminique

Agron., Trop. Wld. XXIX n° 66-7.

GARAUDEAUX (G.), 1973.

Aspects théoriques de l'étude de l'action des fertilisants

Revue de la Potasse n° 2/1973.

DABIN (B.), 1970.

Les facteurs chimiques de la fertilité des sols

Techniques rurales en Afrique.

10 Pedologie et Développement - ORSTOM, 1970.

BOUYER (S.), 1950

Phosphate et arachide

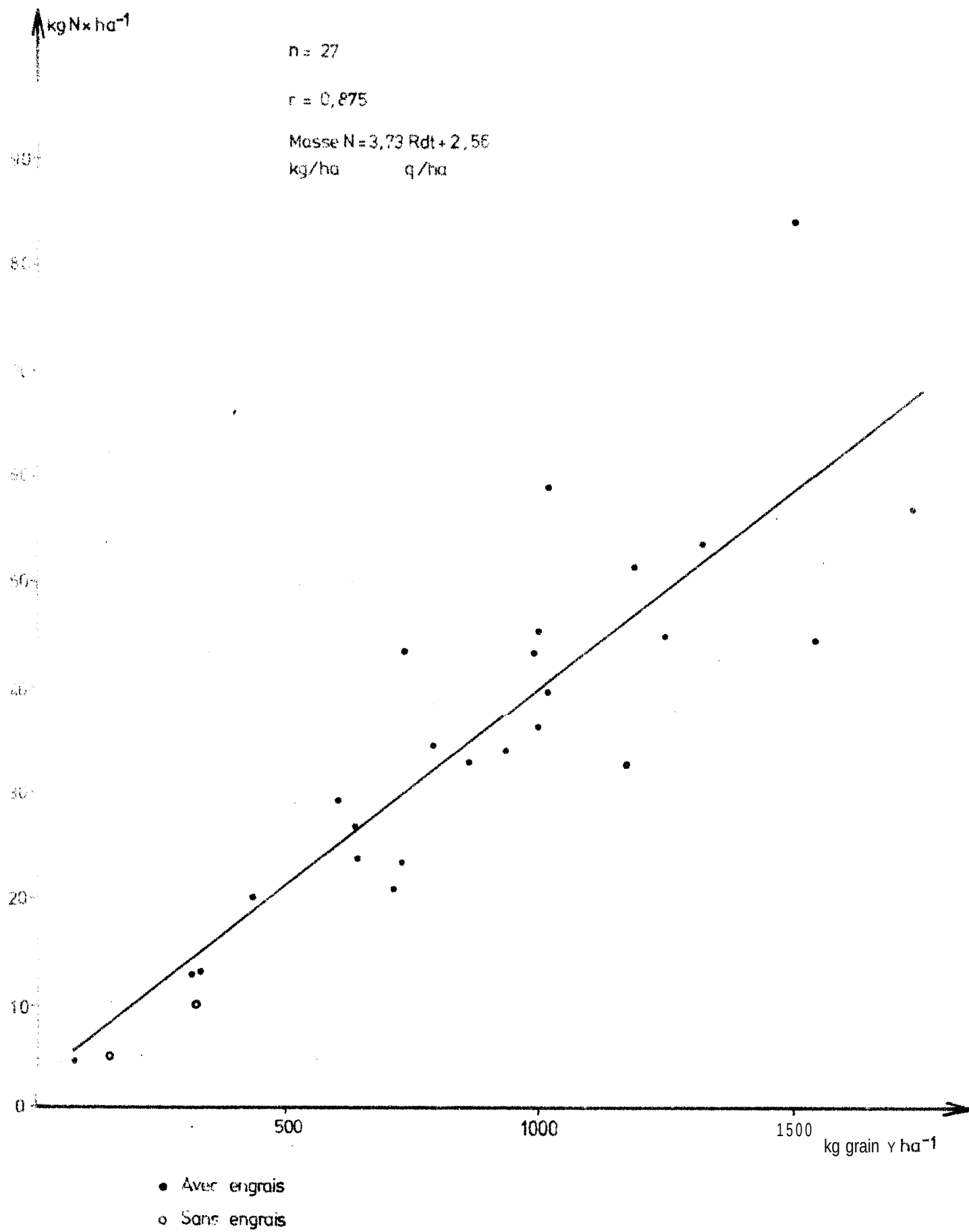
Ann. du Centre de Recherches Agronomiques de Bambo, 1950.

DREVON (J.J.), 1978

Eléments pour une étude des apports de matière organique aux sols
dans le bassin arachidier du Sénégal. A partir d'une enquête dans
quatre villages du bassin arachidier

Ronéo, ISRA, CNRA de Bambo.

A N N E X E



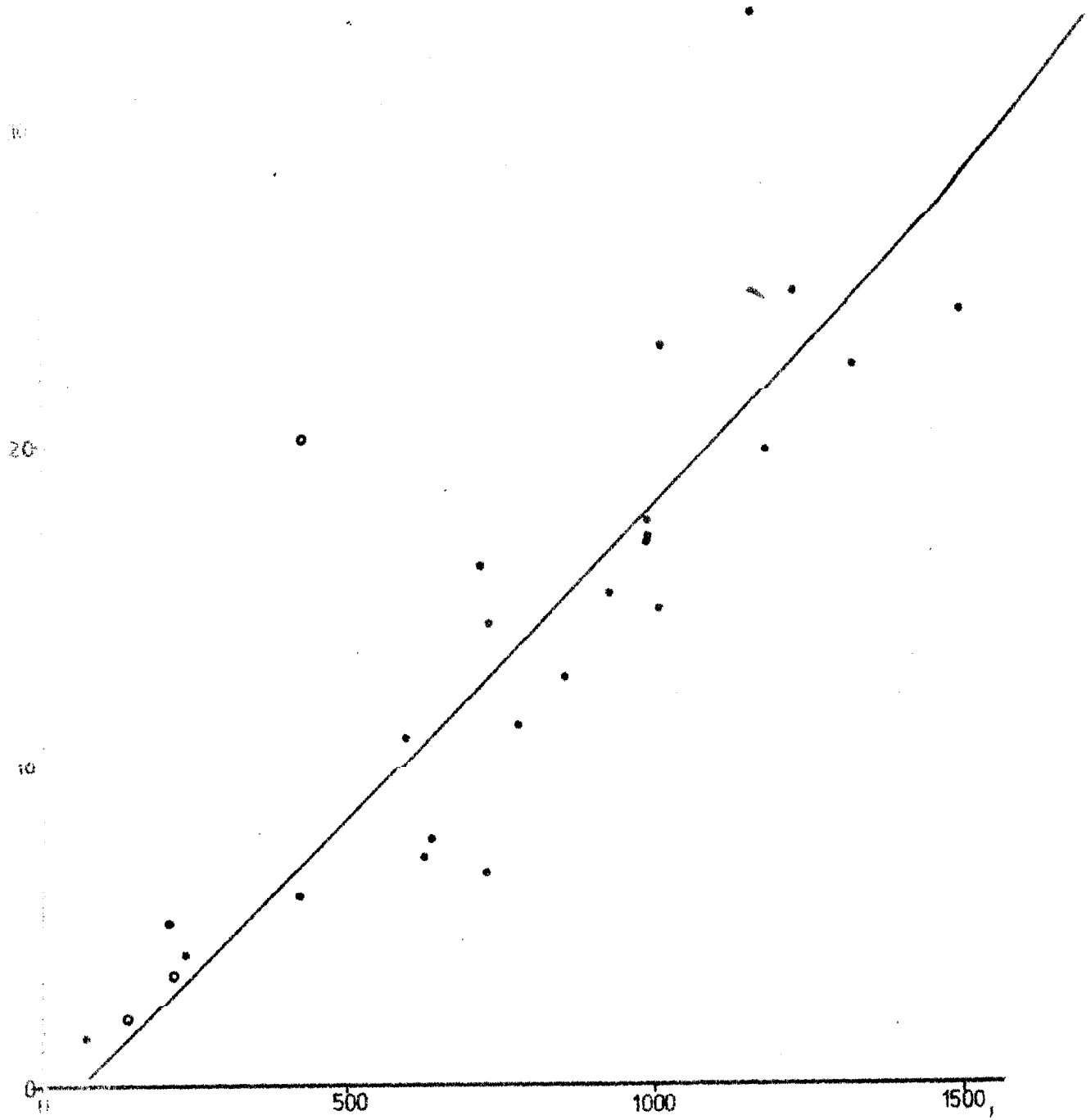
Gr.1: MOBILISATIONS DU MIL: AZOTE

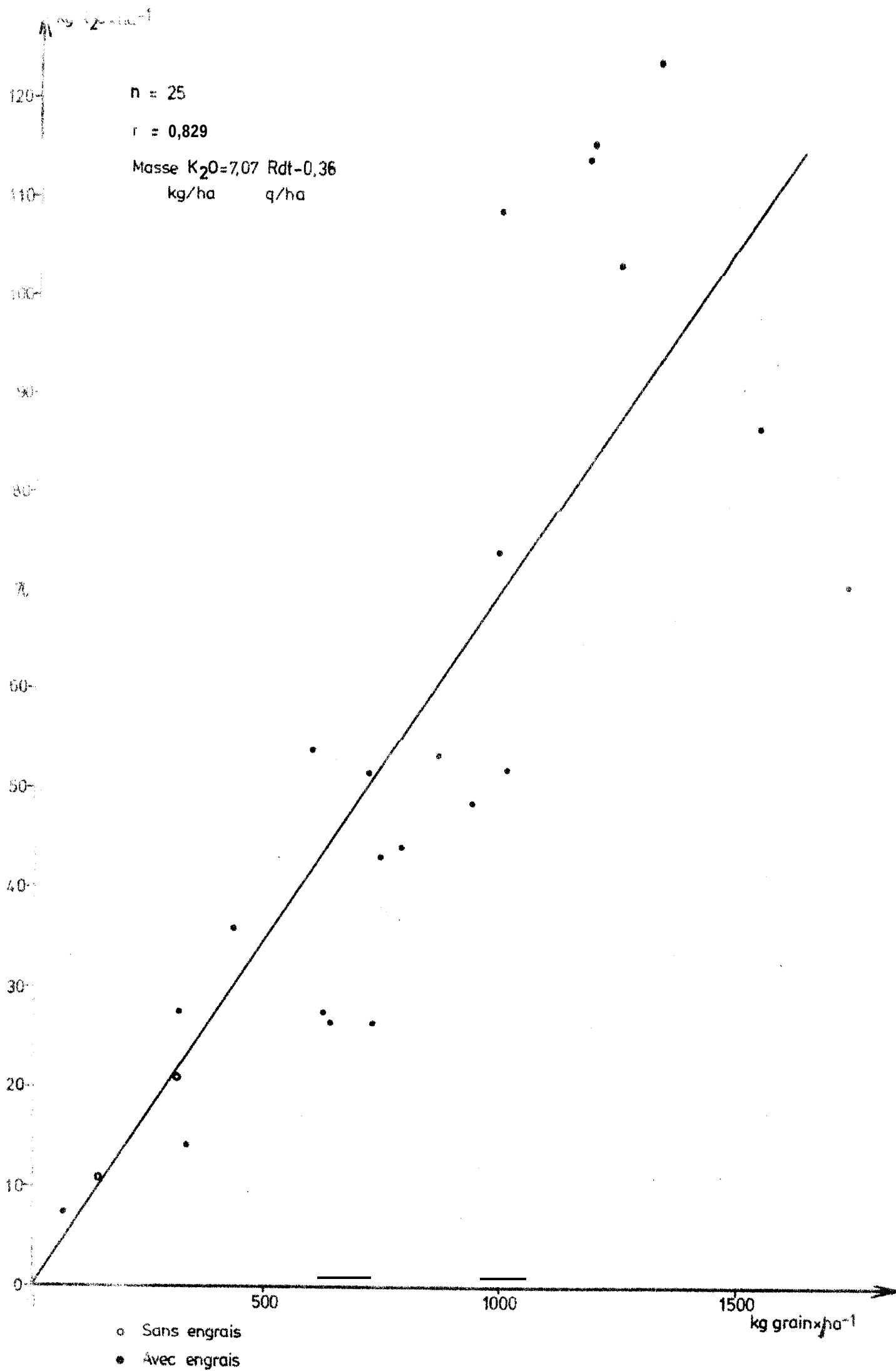
kg P₂O₅ × ha⁻¹

n = 27

r = 0,876

Masse P₂O₅ = 1,92 Rdt - 1,56
kg/ha q/ha





kg grain $\times$ ha $^{-1}$

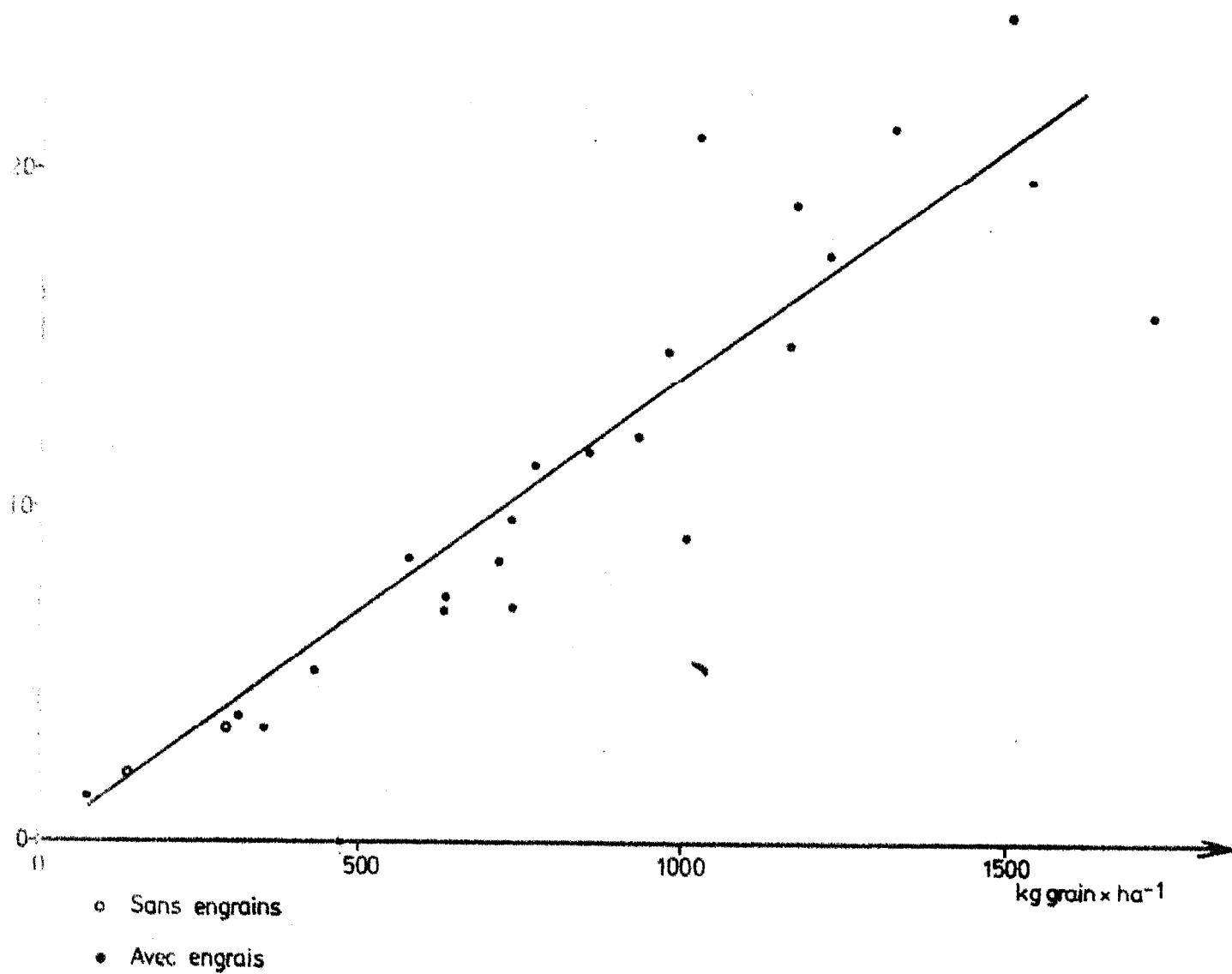
n = 27

z = 0,662

y = 0,015 Rdt + 0,37

kg/ha

kg/ha



y en $\text{kg O} \times \text{ha}^{-1}$

$n = 27$

$r = 0,833$

$y = 0,016 \text{ Rdt} + 0,18$

$\text{kg/ha} \quad \text{kg/ha}$

100

10

0.1

○ Sans engrais

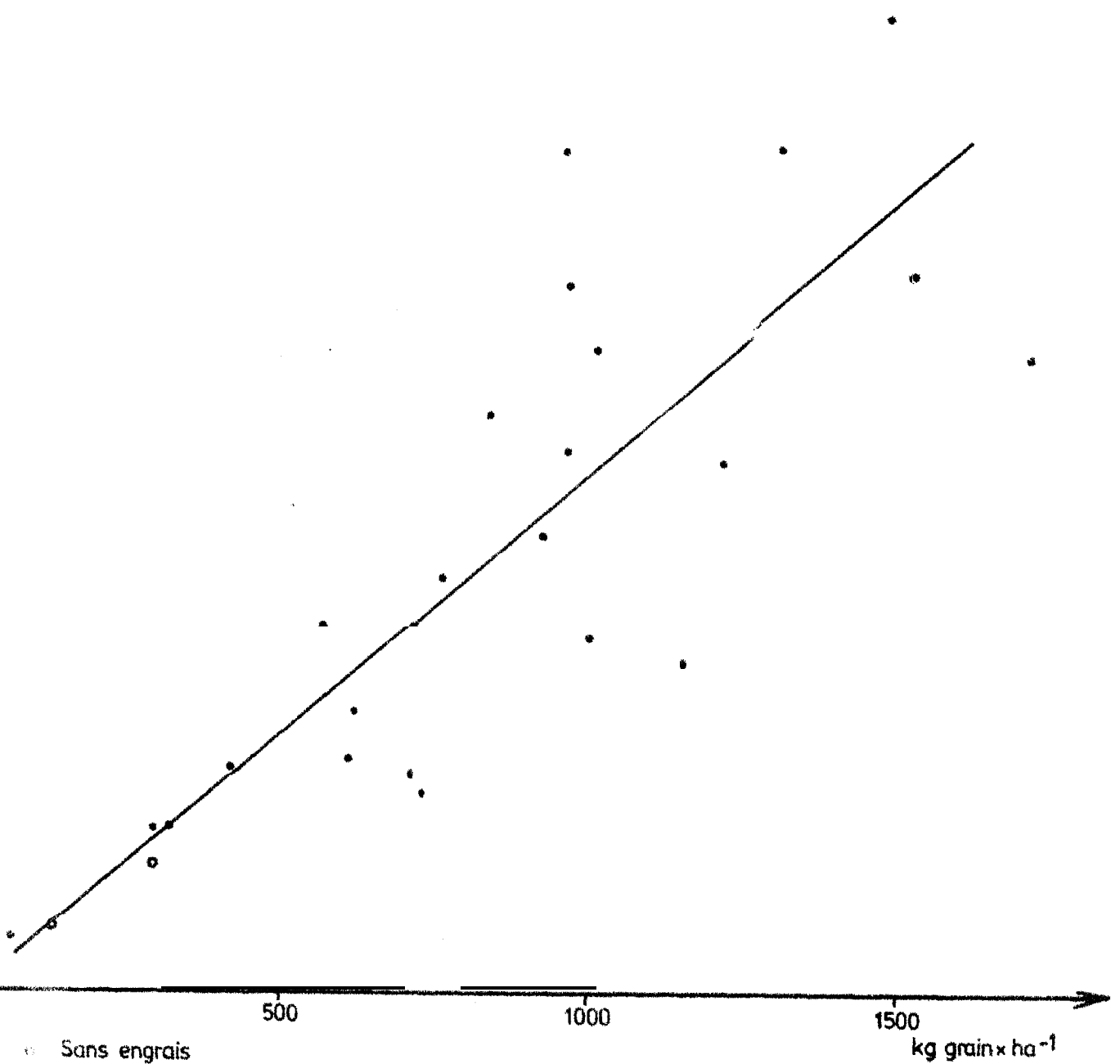
+ Avec engrais

500

1000

1500

$\text{kg grain} \times \text{ha}^{-1}$



kg N x ha⁻¹

n = 26

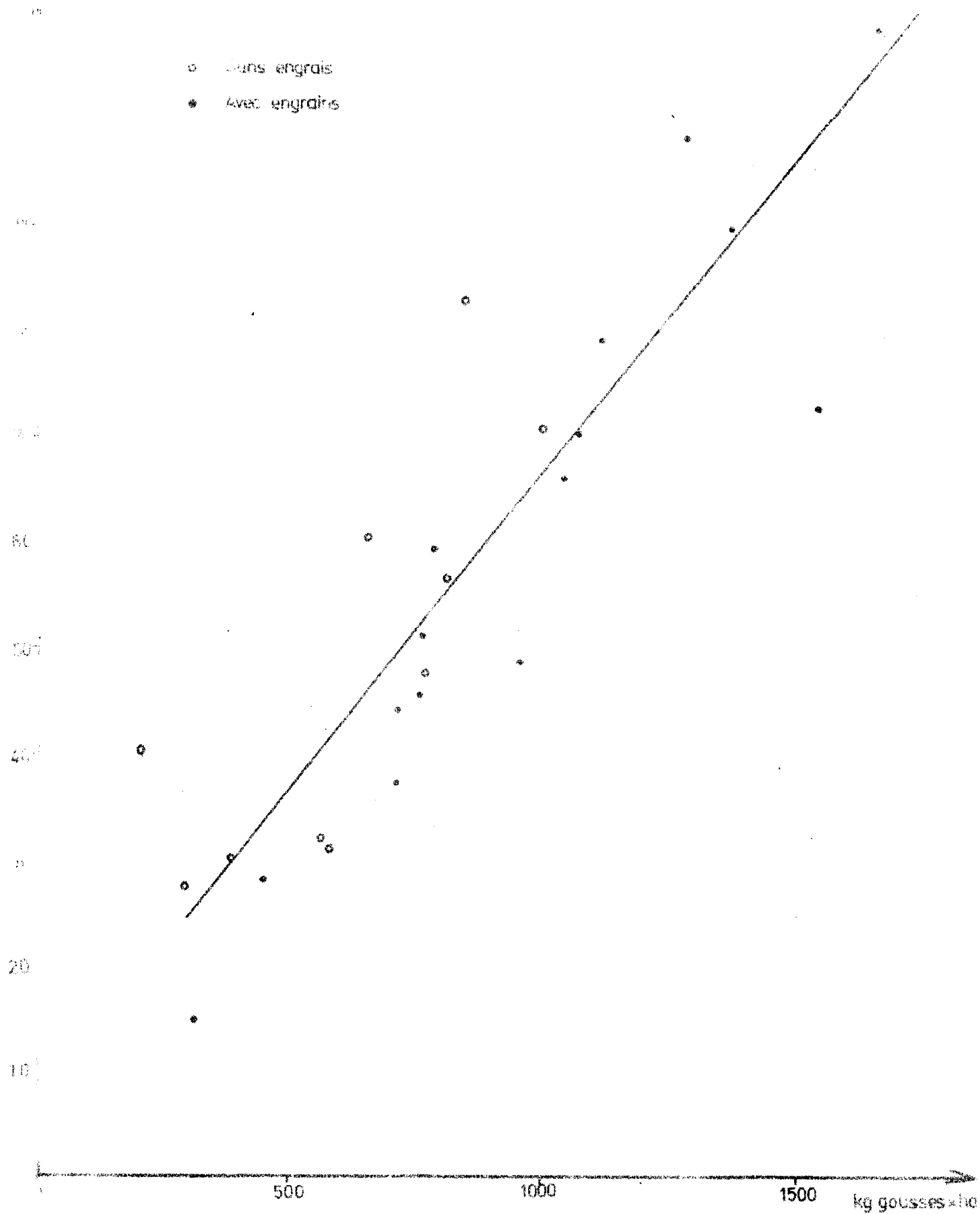
r = 0.909

Masse N = 5,96 Rdt + 7,46

kg/ha %/ha

○ Sans engrais

● Avec engrais



kg $P_2O_5 \times ha^{-1}$

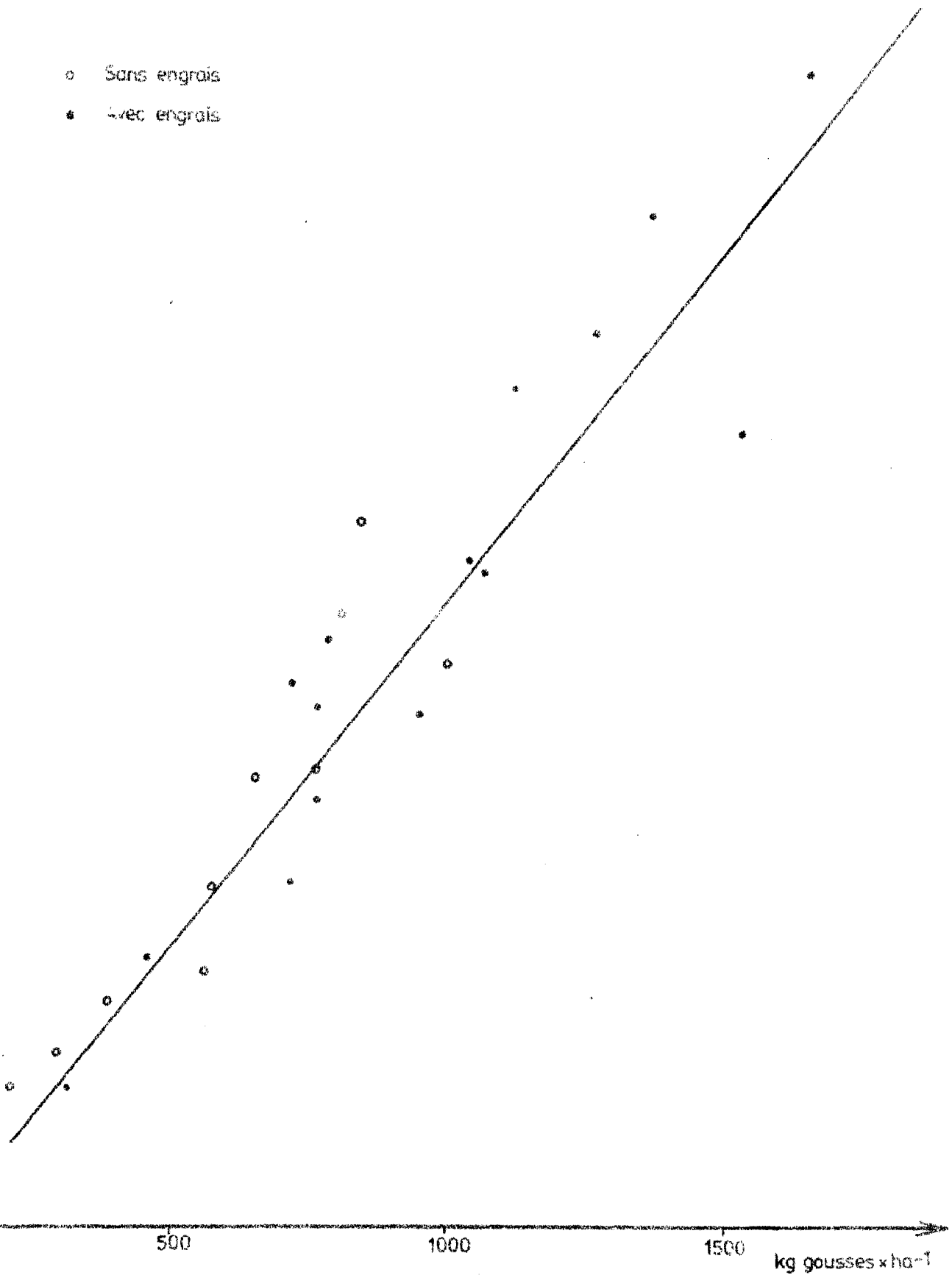
n = 26

r = 0,953

Masse P_2O_5 = 1,30 Rdt = 1,10
kg/ha q/ha

o Sans engrais

• Avec engrais



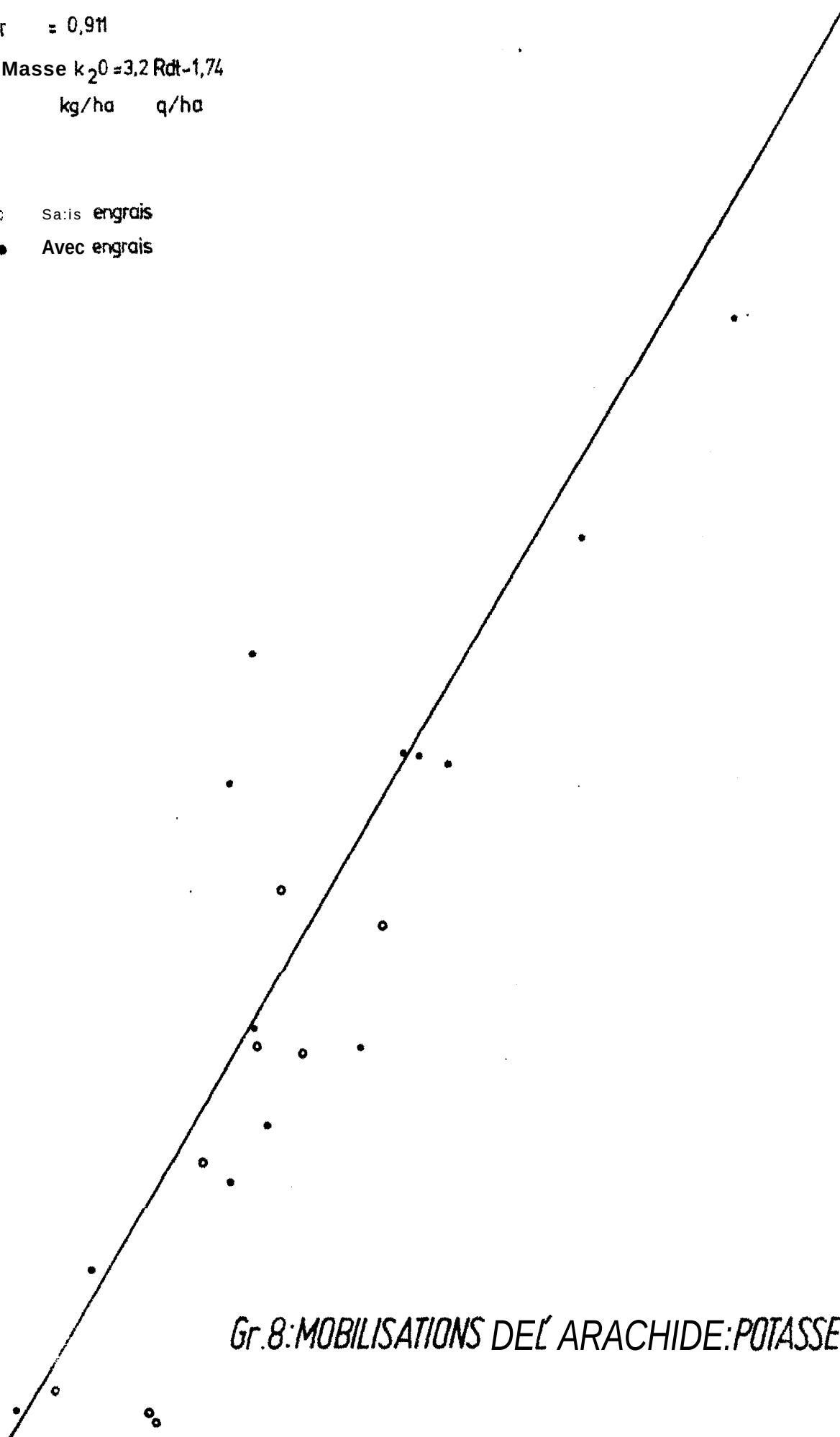
n = 25

r = 0,911

Masse $k_2O = 3,2 Rdt - 1,74$
kg/ha q/ha

○ Sans engrais

● Avec engrais



Gr.8: MOBILISATIONS DE L'ARACHIDE: POTASSE

kg/ha x ha⁻¹

n = 28

r = 0,298

y = 0,016 Rdt + 12,72

kg/ha

kg/ha

40-

30-

20-

10-

0-

500

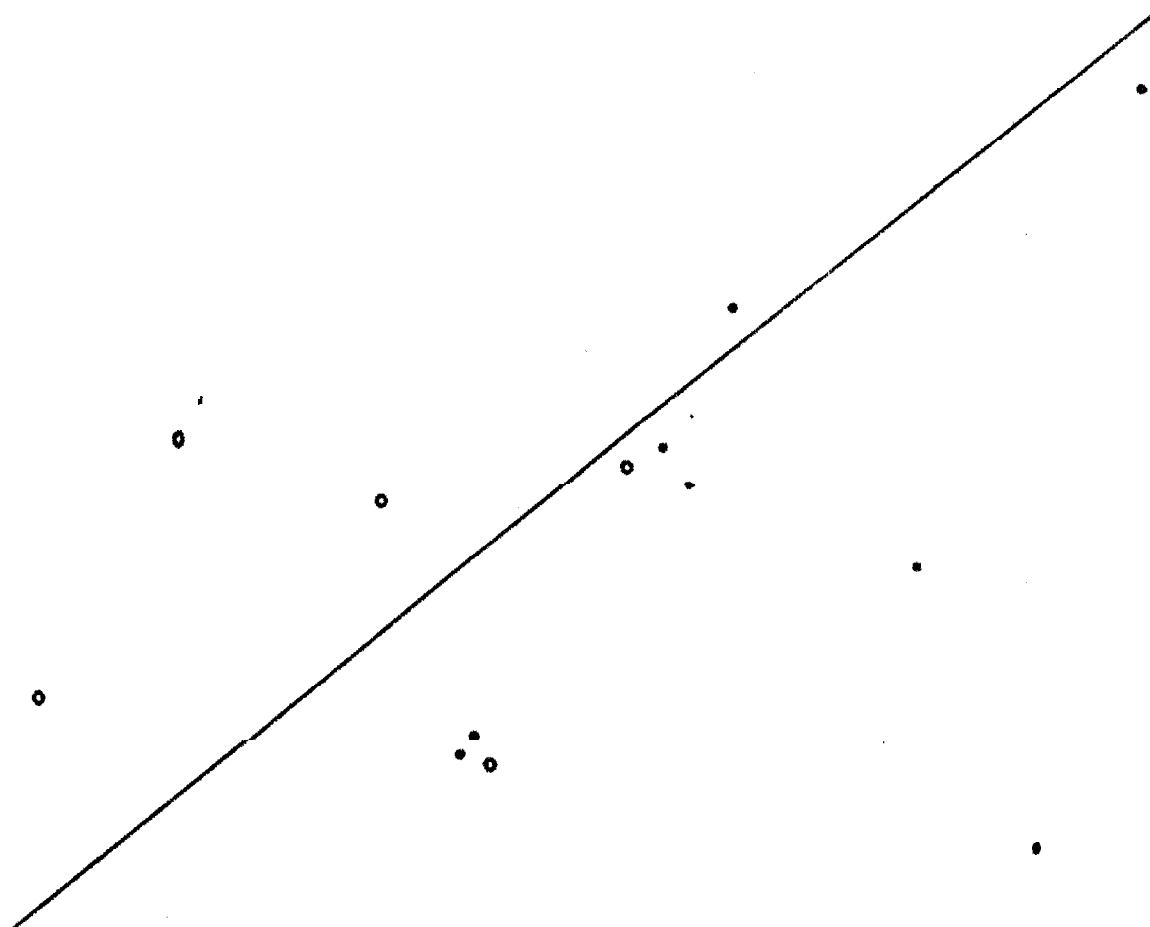
1000

1500

kg gousses x ha⁻¹

○ Sans engrais

● Avec engrais



kg MgO $\times$ ha⁻¹

n = 28

r = 0,576

y = 0,023 Rdt + 2,81

kg/ha

kg/ha

110

100

90

80

70

60

50

40

30

20

10

0

500

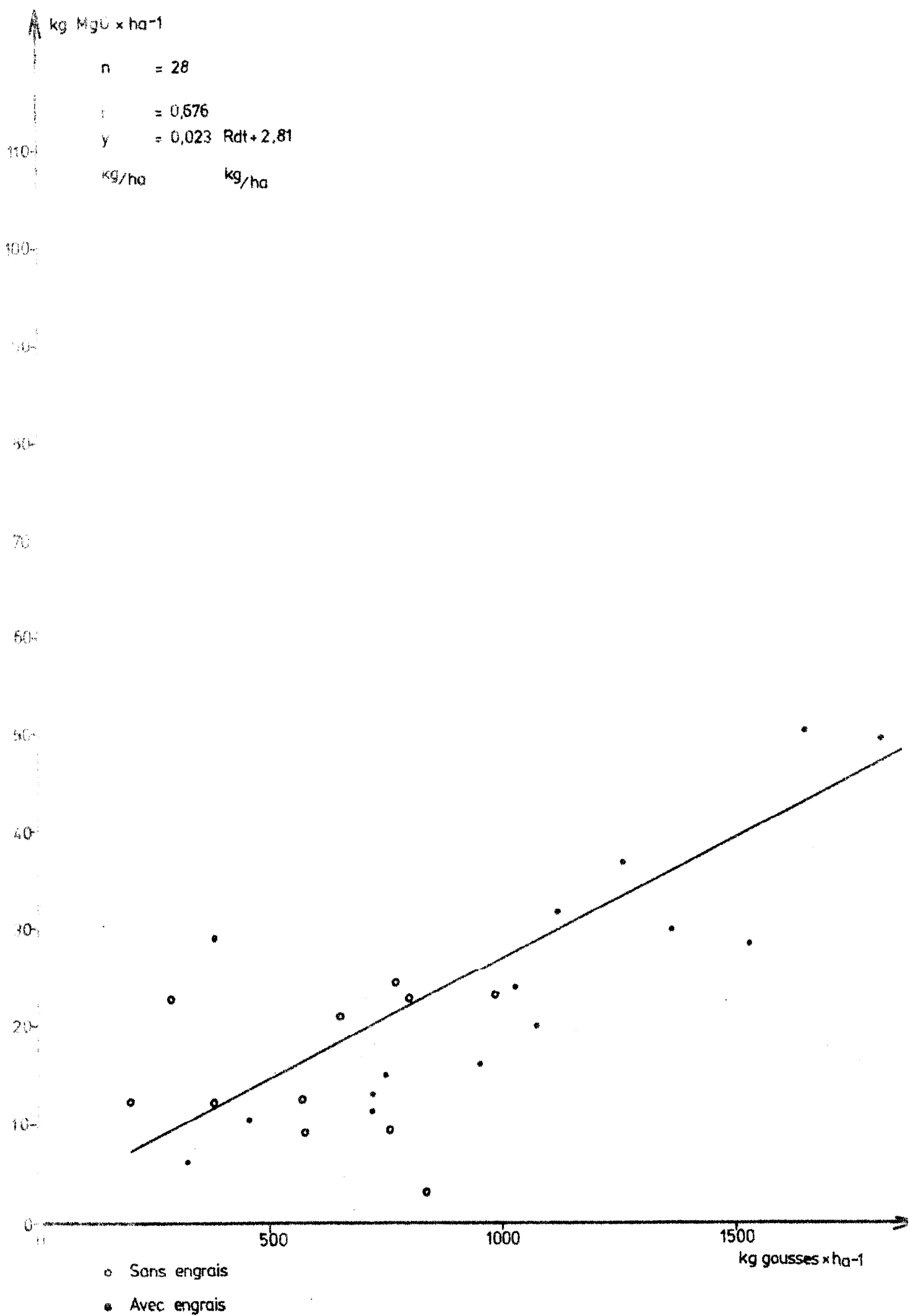
1000

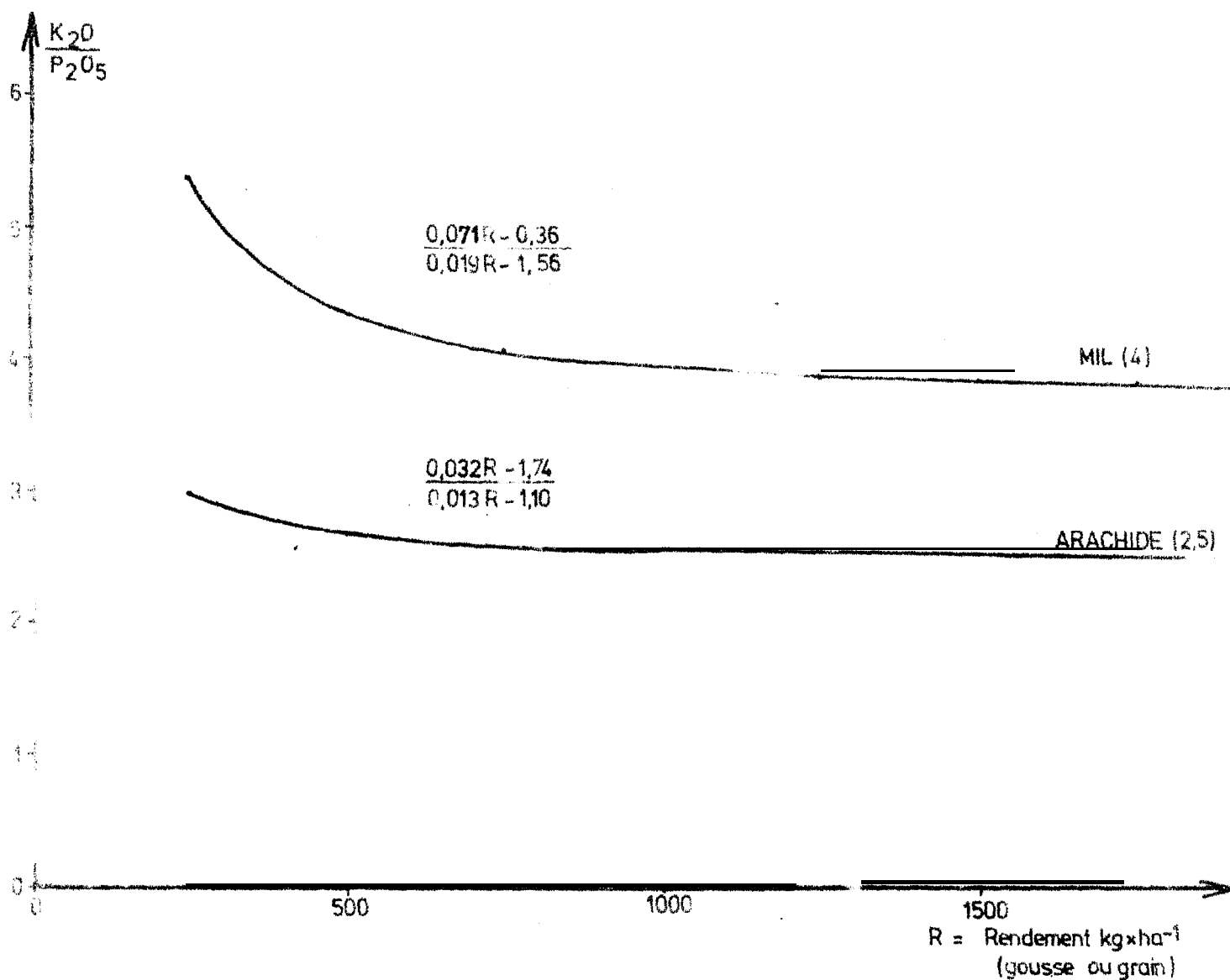
1500

kg gousses $\times$ ha⁻¹

○ Sans engrais

● Avec engrais

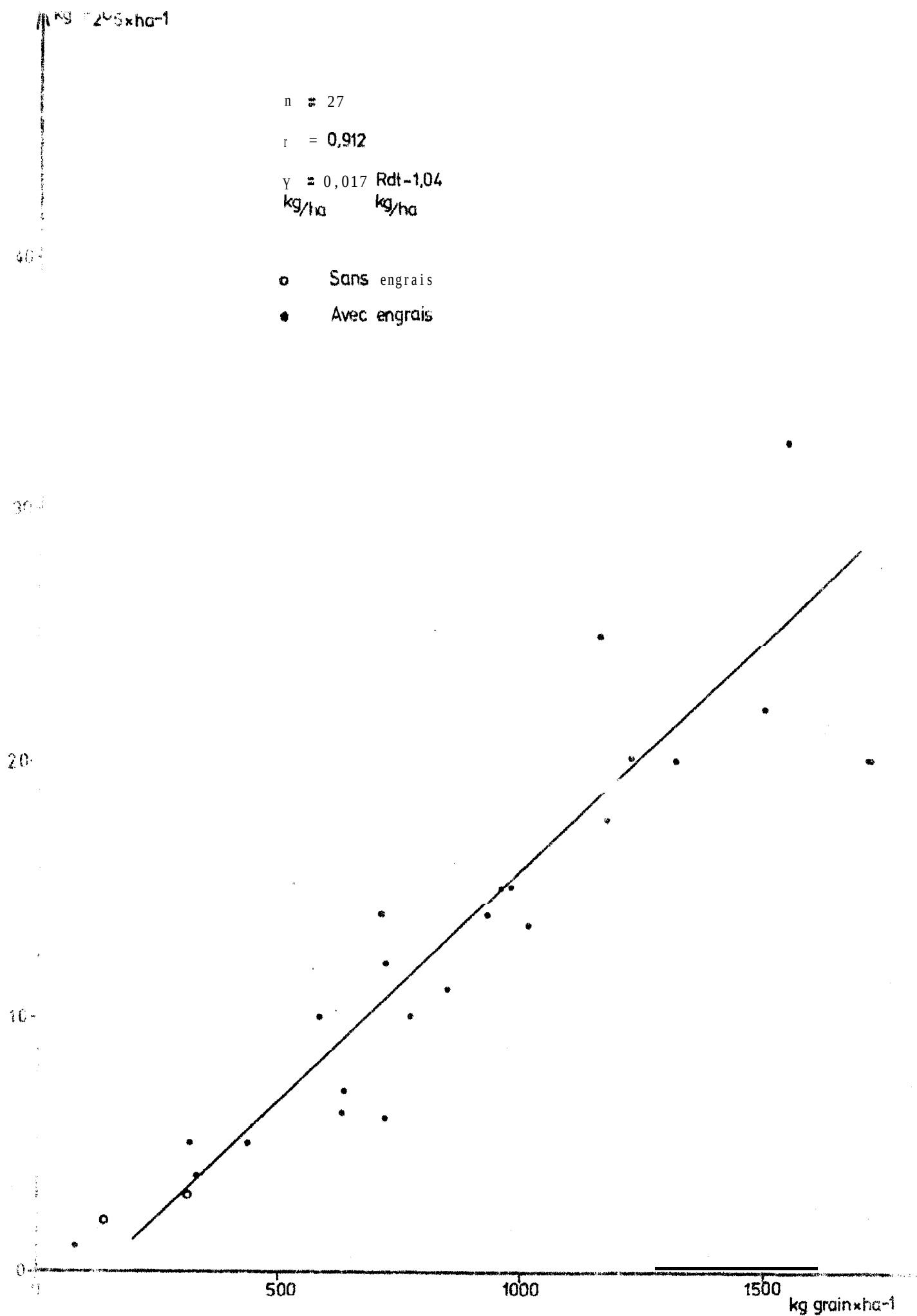




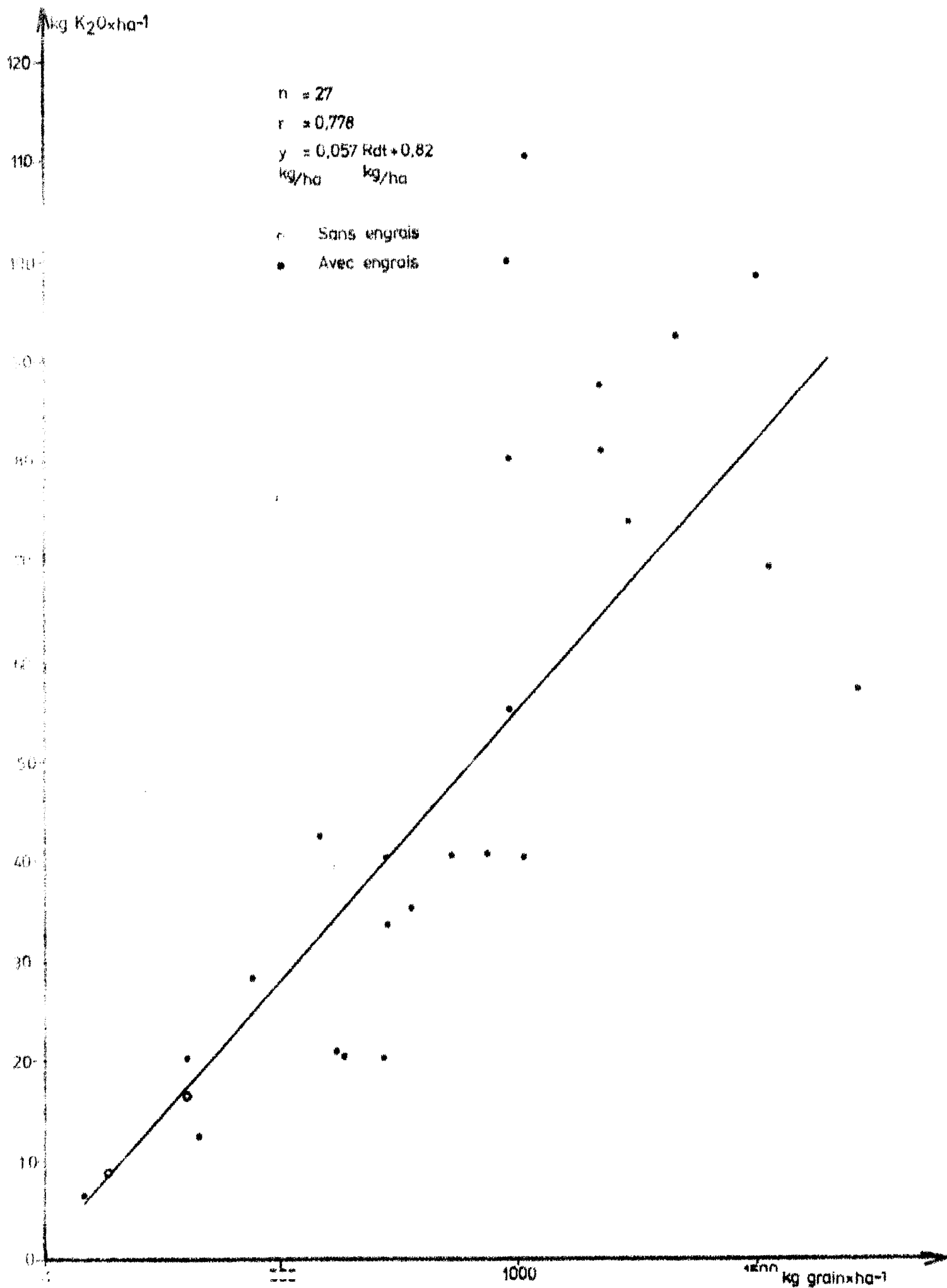
Gr. 11: EQUILIBRE DES MOBILISATIONS PHOSPHOPOTASSIQUES

MOBILISATIONS TOTALES POUR 1 TONNE DE RENDEMENT (en kg)

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
MIL	40	18	71
ARACHIDE	67	11	31



Gr.12: RELATION ENTRE RENDEMENT ET EXPORTATIONS: P_2O_5



Gr.13: RELATION ENTRE RENDEMENT ET EXPORTATIONS: K₂O

kg grain × ha⁻¹

n = 27

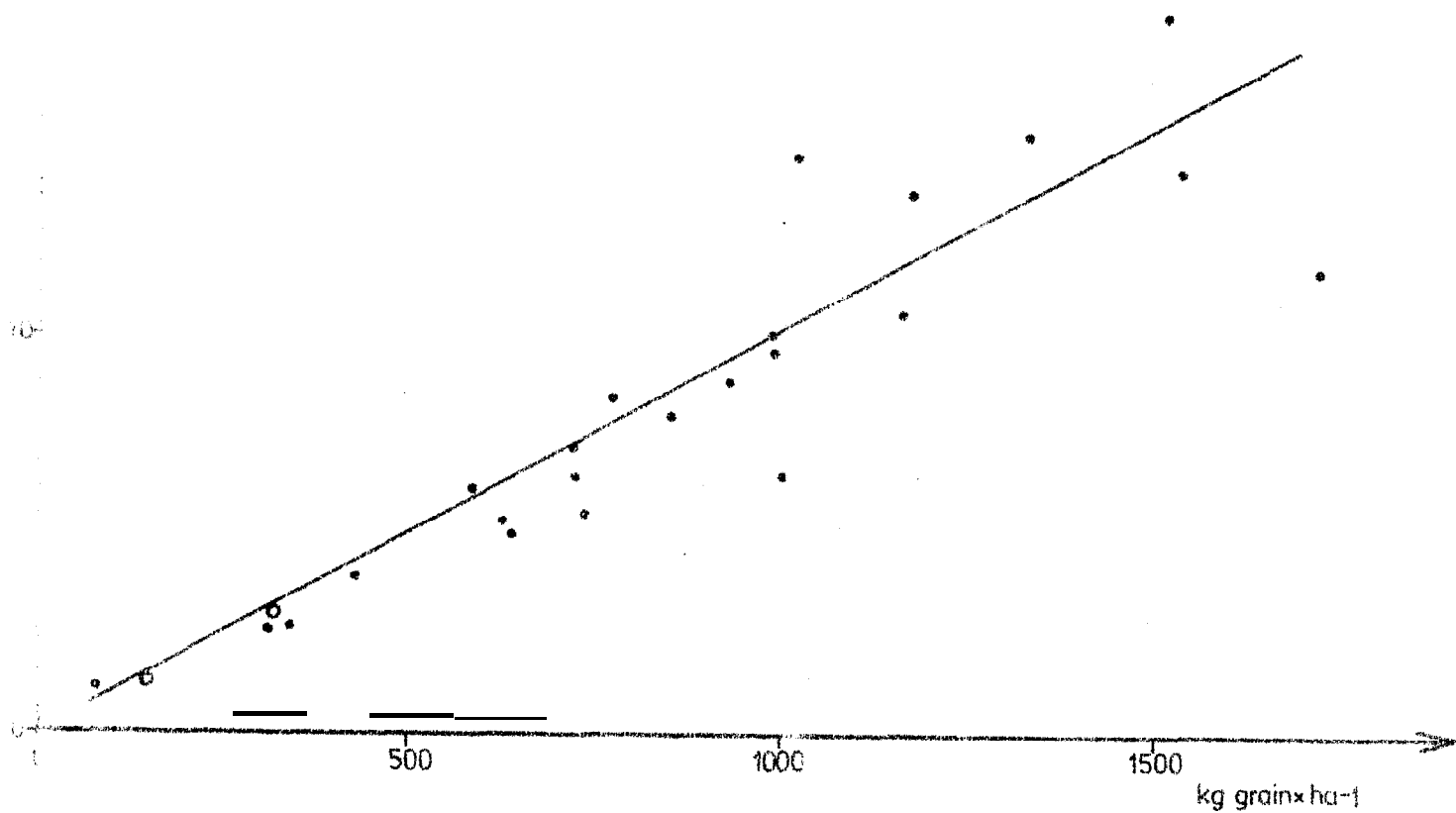
r = 0,609

y = 0,011 Rdt + 0,35

kg/ha kg/ha

○ sans engrais

• avec engrais



$kg \times ha^{-1}$

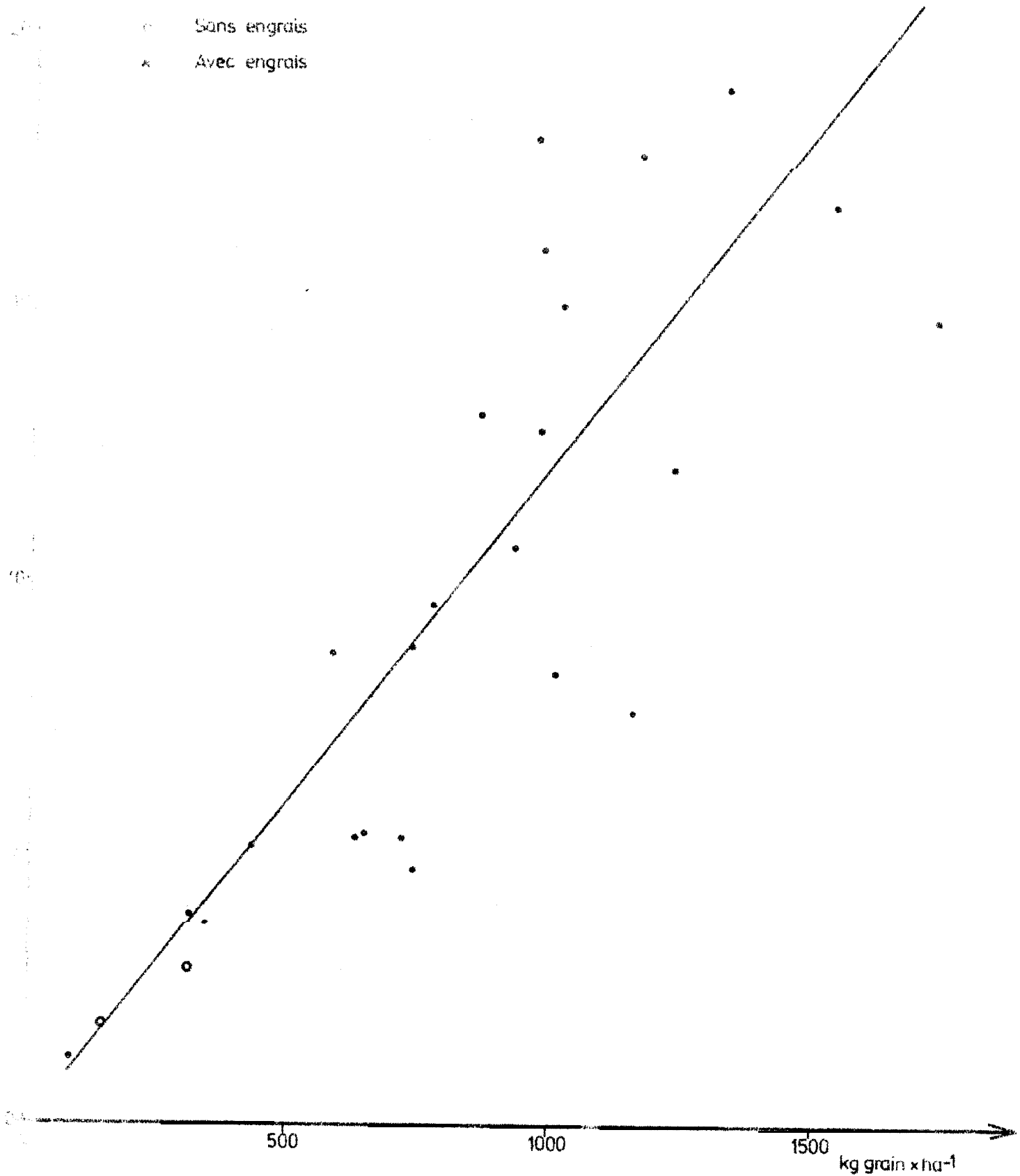
$n = 27$

$r = 0,846$

$y = 0,012 \text{ Rdt} + 0,13$
 $kg/ha \quad kg/ha$

o Sans engrais

* Avec engrais



kg $P_2O_5 \times ha^{-1}$

n = 27

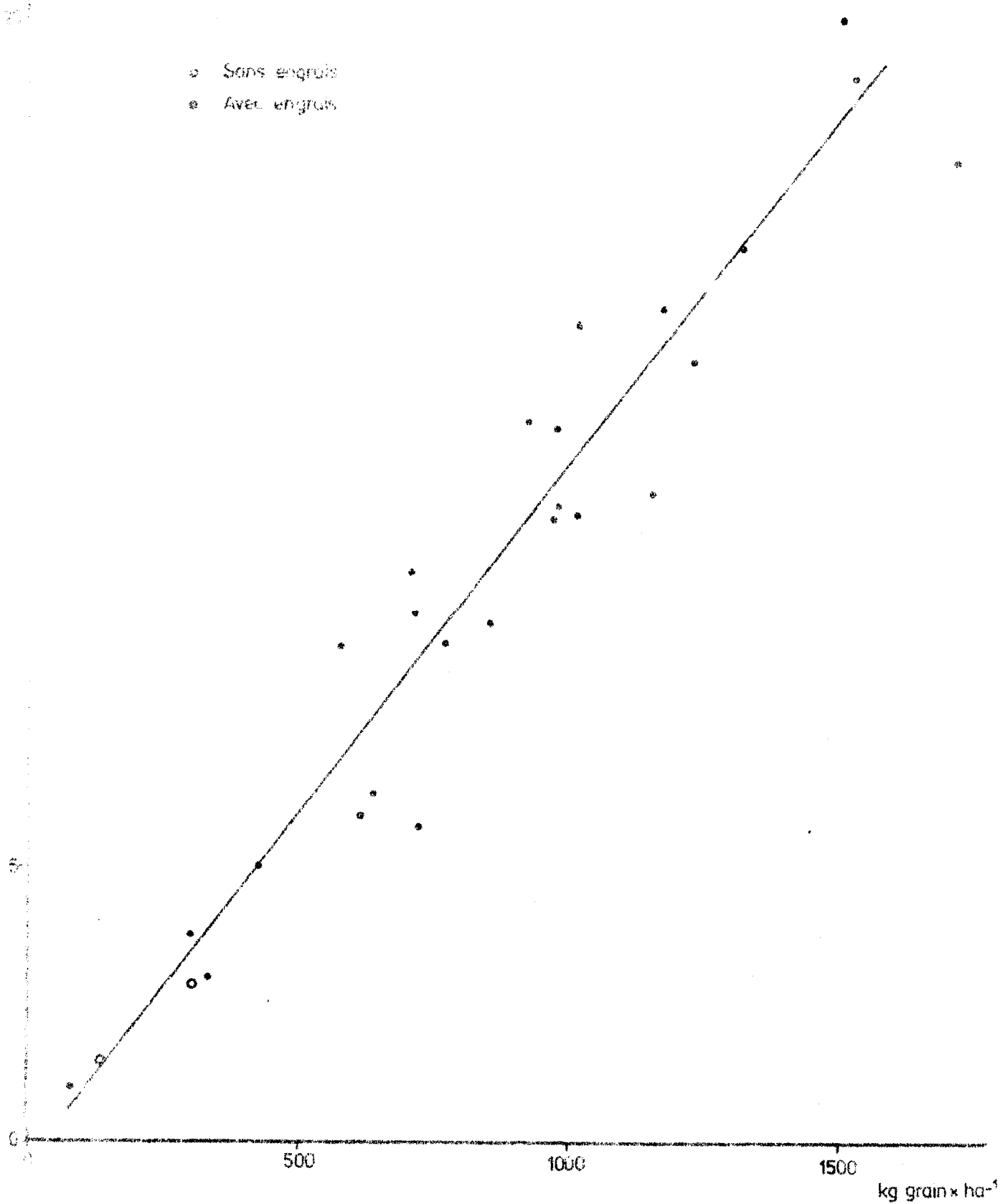
r = 0,961

y = 0,012 Rdt + 0,032

kg P_2O_5

○ Sans engrais

● Avec engrais



1-16: REFIATION ENTRE RENDEMENT ET EXPORTATIONS: P_2O_5

kg $K_2O \times ha^{-1}$

n = 27

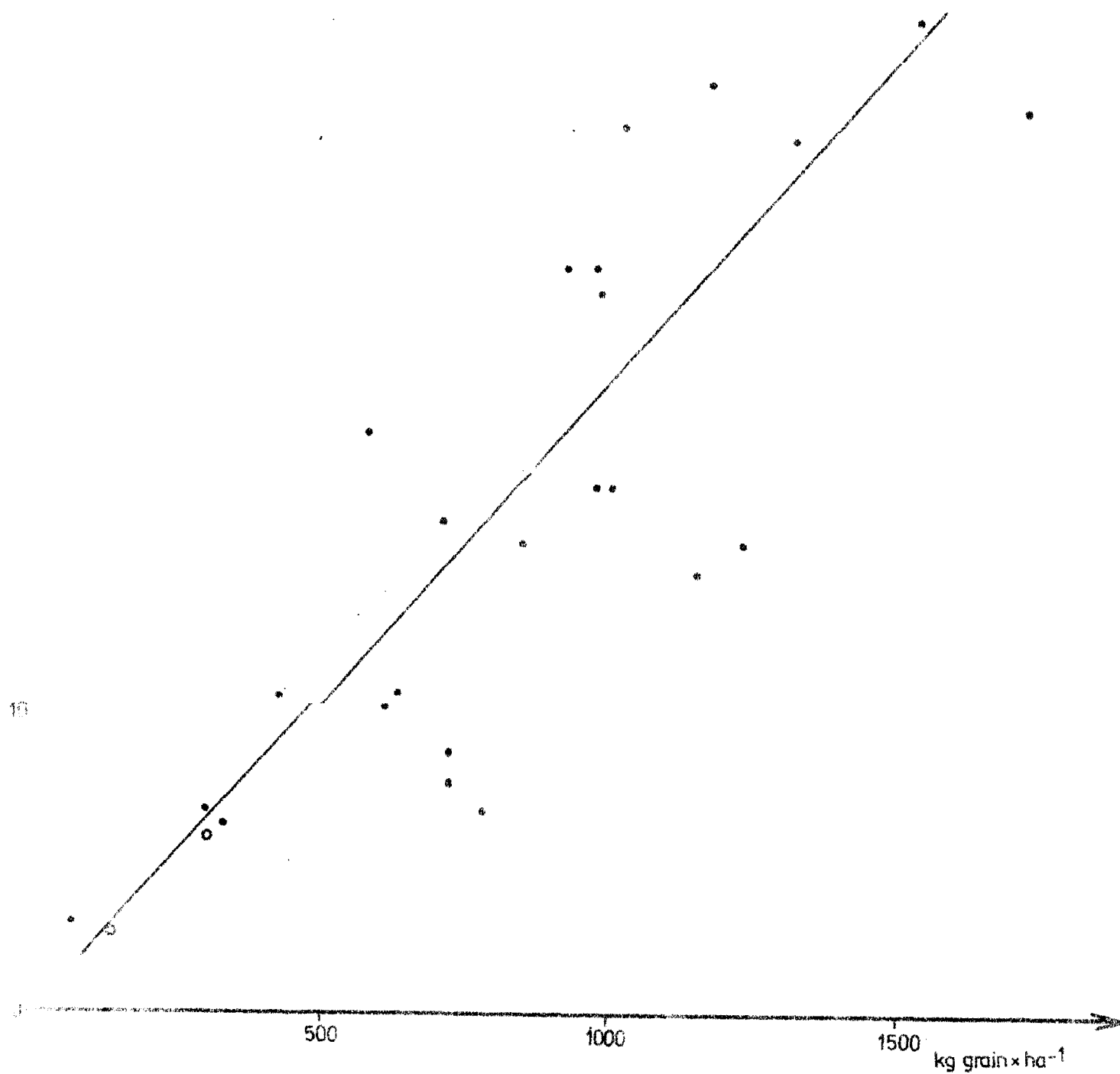
r = 0,854

y = 0,021 Rdt + 0,30

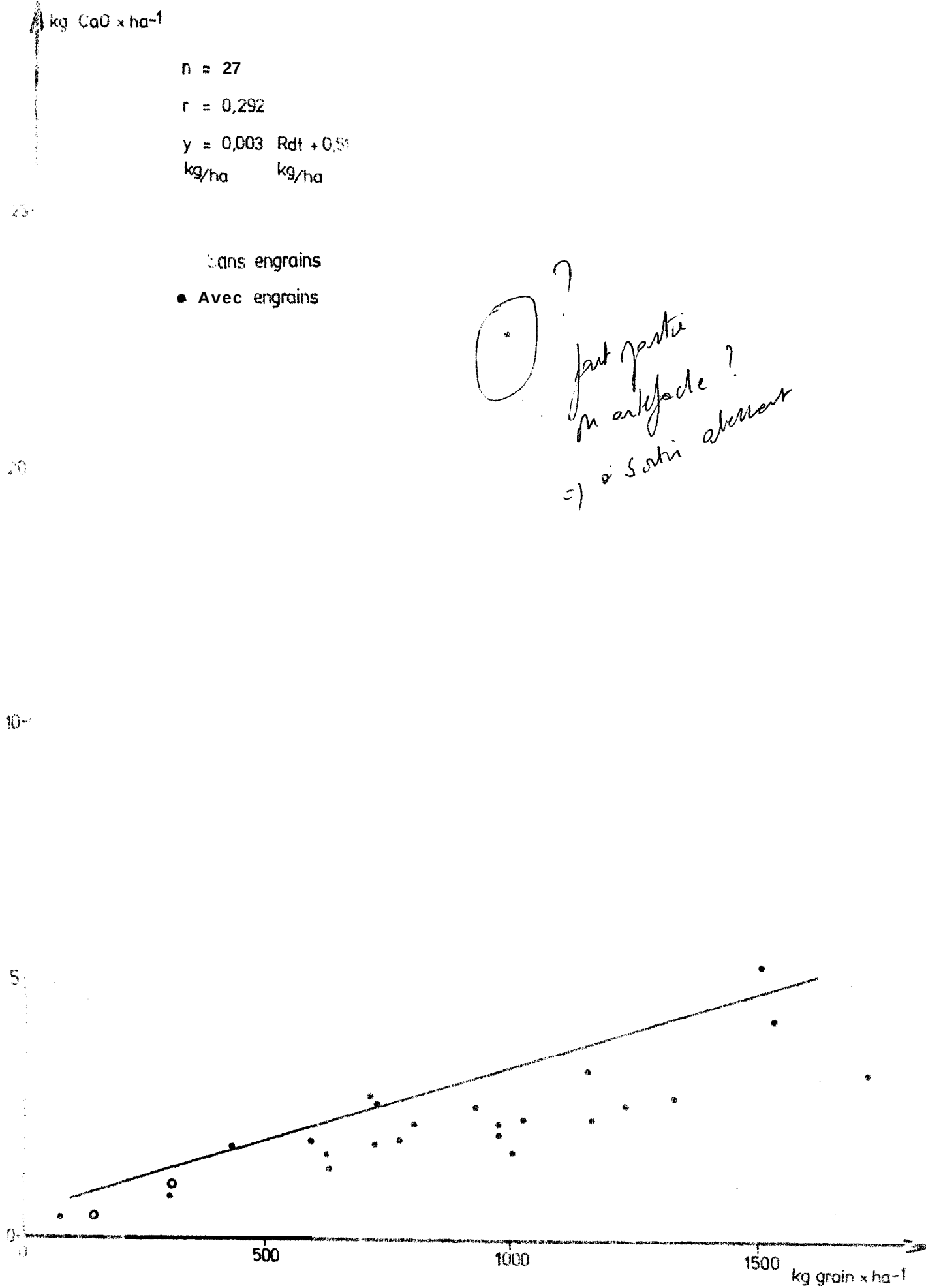
kg/ha kg/ha

o sans engrais

* avec engrais



Gr. 17: RELATION ENTRE RENDEMENT ET EXPORTATIONS: K_2O



Gr. 18: RELATION ENTRE RENDEMENT ET EXPORTATIONS: CaO

kg MgO × ha⁻¹

n = 27

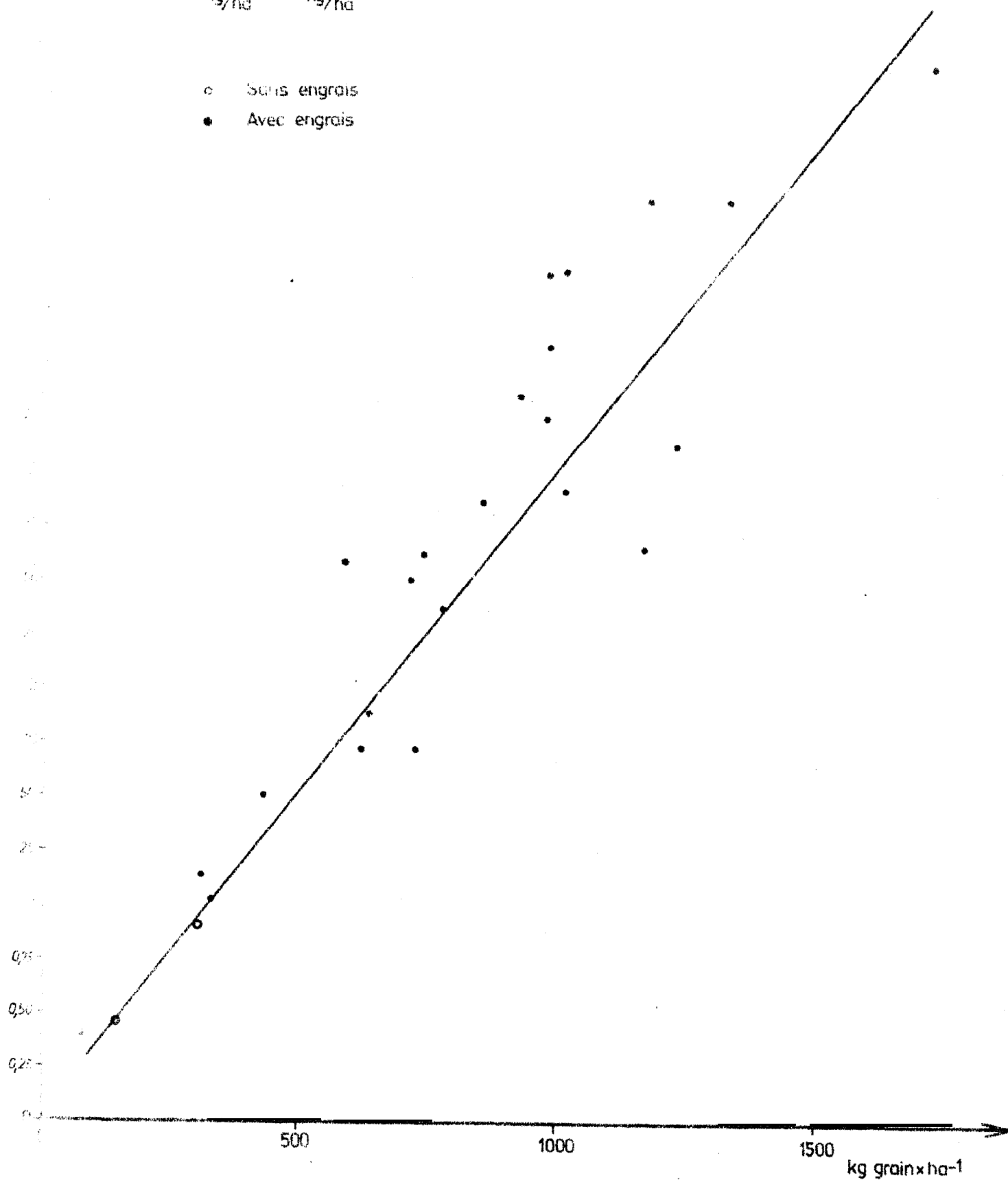
r = 0,931

y = 0,003 Rdt + 0,02

kg/ha kg/ha

○ Sans engrais

● Avec engrais



Gr. 19: RELATION ENTRE RENDEMENT ET EXPORTATIONS: MgO