

CN 0100603

REPUBLIQUE DU SENEGAL
PRIMATURE

SECRETARIAT D'ETAT A IL4 RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

SUIVI DES FACTEURS ~~PHYSICO-CHIMIQUES~~ DE LA FERTILITE DES
SOLS SOUS ~~CULTURE~~ CONTINUE DANS L'UNITE EXPERIMENTALE
DE THYSSE-KAYEMOR SONKORONG

par

L. CISSE

Septembre 1980

Centre National de Recherches Agronomiques
de Bambey
INSTITUT SENEGALAIS DE RECHERCHES AGRICOLES
(I.S.R.A.)

S O M M A I R E

Pages

INTRODUCTION

GEOMORPHOLOGIE ET TYPES DE SOIS DOMINANTS

METHODE D'ETUDE

- 1 - Choix des parcelles
- II- Techniques de prélèvement des échantillons
 - 21- Prélèvement d'échantillons de sol
 - 22- Prélèvement d'échantillons de feuilles et de plantes

RESULTATS ET INTERPRETATIONS

- 1 - Caractéristiques physico-chimiques des parcelles
 - 11- Texture
 - 12- Matière organique, azote total, carbone total
 - 13- Phosphore total
 - 14- Cations échangeables, somme des bases échangeables
 - 15- Réaction du sol
 - 16- Influence de la topographie sur les caractéristiques physico-chimiques des parcelles
- II- Diagnostic foliaire
 - 21- Relations entre le rendement et la teneur en N, P et K de la feuille de l'épi principal à la floraison mâle.
 - 211. Relation entre le rendement et la teneur en azote de la feuille de l'épi
 - 212. Relation entre le rendement et la teneur en phosphore de la feuille de l'épi.
 - 213. Relation entre le rendement et la teneur en potassium de la feuille de l'épi.
 - 22- Equilibre de la nutrition cationique: $K/Ca/Mg$ à la floraison mâle.
 - 23- Influence de la topographie sur les niveaux foliaires en N, P, K.
- III- Corrélations entre les teneurs du sol en N, P, K et les niveaux foliaires correspondants à la floraison mâle.
- IV- Analyses en composantes principales (ACP) et analyses factorielles discriminantes (AFD)
 - 41- Analyses en composantes principales
 - 42- Analyses factorielles discriminantes

V- Bilan minéral

DISCUSSIONS

CONCLUSIONS

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES.

INTRODUCTION

La mise en culture continue de sols nouvellement défrichés ou l'intensification de sols jadis exploités de façon extensive bouleverse l'équilibre pré-existant du milieu. Les caractéristiques physico-chimiques et biologiques des sols se trouvent ainsi soumises à de nouveaux facteurs qui peuvent les modifier très profondément. Il se révèle donc nécessaire d'exercer un contrôle pédologique ou agronomique pour suivre l'évolution des paramètres du milieu dont les effets sur la fertilité des sols sont les plus déterminants.

De nombreuses études (1, 2, 3, 4) ont déjà signalé des phénomènes préoccupants résultant de l'évolution des sols sous culture continue :

- une dégradation de la structure du sol rendant celui-ci plus sensible à l'action de l'érosion, cette dégradation étant corrélative à la baisse du taux de la matière organique et à la perte en éléments fins des horizons de surface;
- une baisse du pH du sol, suite au lessivage et à l'exportation non compensée des bases échangeables par les récoltes, perturbant la vie de la microfaune, diminuant l'assimilabilité de certains oligo-éléments (Mo...) et accroissent la concentration dans la solution du sol des éléments tels que Al^{+++} , Fe^{+++} , Mn^{++} qui peuvent être toxiques pour les plantes.

Dans l'Unité Expérimentale de Thyssé-Kayemor Sonkorong (UE/TKS) est préconisé un système d'intensification qui connaît une application plus ou moins heureuse. Les recommandations de la recherche ne sont pas fidèlement appliquées notamment les doses d'engrais, les rotations, les labours de début de cycle et d'enfouissement des résidus de récolte en fin de cycle. On peut donc penser que les caractères de l'évolution de ces sols seront différents, dans leur intensité ou leurs formes de manifestation de ceux observés en milieu contrôlé.

Les principaux objectifs de ce travail sont l'étude de cette évolution en se limitant essentiellement aux facteurs physico-chimiques de la fertilité et le comportement subséquent des cultures.

GEOMORPHOLOGIE ET TYPES DE SOIS DOMINANTS

L'Unité Expérimentale de Thyssé-Kayemor Sonkorong se trouve dans le secteur dit des "Plateaux Résiduels" à l'Est du Bao-Bolon. La plus récente et plus complète étude pédologique de cette zone est celle réalisée par R. BERTRAND (5) en 1971. C'est dans cette étude que nous avons tiré l'essentiel des données morpho-pédologiques de ce chapitre,

Des plateaux d'une altitude moyenne de 40 mètres reliés par un glacis de raccordement à la Terrasse colluvio-alluviale, une zone d'épandage d'alluvions anciens de la plaine de LEONA constituent les principales unités géomorphologiques cultivées dans l'UE/TKS. Les sols appartiennent à la classe des sols à sesquioxydes. Dans les zones internes des plateaux se sont développés des sols ferrugineux tropicaux lessivés remaniés à tâches et nodules de pseudogley désignés également sous le nom de "sols beiges" de plateau. Les sols de la terrasse colluvio-alluviale appartiennent au sous-groupe des sols ferrugineux tropicaux lessives remaniés rouges et jaunes rouges avec parfois des signes d'hydromorphie. Les sols développés sur les matériaux anciens de la plaine de LEONA, terrasse ancienne, se distinguent facilement, de par leur couleur, de ceux de la terrasse colluvio alluviale mais leur teinte beige peut les faire confondre avec les sols des plateaux desquels ils ne se distinguent que par un profil textural plus grossier.

Les sols de la terrasse ancienne et ceux de la terrasse colluvio alluviale, du point de vue morphologique et physico-chimique, ont à peu près les mêmes propriétés et se caractérisent par un horizon supérieur 0-20 cm pauvre en matière organique (teneur inférieure à 1%) qui passe à 20-40 cm à un horizon plus riche en éléments fins. Ils sont assez pauvres en bases échangeables (2 meq/100g environ) et originellement en phosphore également (200 ppm en moyenne).

Les sols beiges des plateaux sont nettement plus argileux en surface, leur teneur en argile dans leur horizon supérieur voisine 10% tandis que celle des sols de la terrasse ancienne et colluvio-alluviale se situe à 5% environ, Ils ont une capacité de stockage de l'eau plus favorable. La présence d'une cuirasse très peu profonde ou d'un horizon gravillonnaire se situant le plus souvent à 40 cm de profondeur, ainsi que celle de concrétions ferrugineuses en surface constituent dans certains cas des contraintes pour l'application de certaines techniques culturales comme le labour profond à 15-17 cm.

Trois types de champs coexistent dans l'Unité Expérimentale de Thyssé-Kayemor Sonkorong, les champs dits "Ordinaires" (CO), les champs de case appelés "tolkeur" (TK) à proximité immédiate des habitations et les champs en améliorations foncières (AF).

METHODE D'ETUDE

I - CHOIX DES PARCELLES

Le problème le plus délicat et le plus important dans une étude qu'il faut mener sur la base d'un échantillon est de déterminer la taille de celui-ci et de définir les caractéristiques de ses composantes. Il est de la plus grande importance d'avoir un échantillon représentatif des populations que l'on étudie. Pour ce faire les parcelles doivent être choisies au hasard pour que les interprétations statistiques reflètent de façon satisfaisante la réalité de toute la zone étudiée. De plus le nombre de parcelles choisi doit être au moins supérieur d'une unité au nombre de paramètres que l'on se propose, au départ, d'étudier. Mais en milieu paysan la localisation et l'hétérogénéité de certains champs rendent difficiles l'application stricte de ces règles de conduite pour un bon échantillonnage. Une très grande hétérogénéité due à la présence de nombreux arbres et termitières, de ravineaux creusés par l'érosion poserait des problèmes pour les.. prélèvements d'échantillons de sol et de plantes. Pour ces raisons, certaines parcelles ont été éliminées du choix de départ. Sur la base de ces considérations un échantillon global de 60 parcelles a été choisi à raison de 20 par type de champ.

Les champs ordinaires (CO) se caractérisent par une carence en phosphore non corrigée, une application très faible de fumure minérale, une rotation culturale de rente/céréales, un niveau de technicité très faible.

Les parcelles de "Tolkeur" (TK) sont parquées pendant la saison sèche en général 1 an/2 et reçoivent ainsi une fumure organique assez importante. Elles portent de façon continue des céréales, principalement le Souma et reçoivent un complément de fumure minérale sur maïs.

Les parcelles en Amélioration foncière (AF?) sont exploitées en appliquant plus ou moins correctement les thèmes intensifs que préconise la recherche agronomique. Elles sont; toutes entrées en AF au plus tôt en 1974. Leur précédent cultural ainsi que celui des CO est l'arachide tandis que celui des TK est le Souma, à l'exception de trois champs à précédent arachide et d'un autre à précédent maïs. La distribution des champs choisis sur les différentes unités géomorphologiques est donnée au tableau 1 (les chiffres représentent le nombre de champs)

Types de champs	Unités géomorphologiques			
	P	TA	TCA	DC
CO	4	5	6	3
TK	6	6	6	3
AF	4	7	7	3

Tableau I: Distribution des champs sur les différentes unités géomorphologiques

On remarque que la terrasse ancienne et colluvio-alluviale sont les zones les plus cultivées totalisant pour les AF et les TK les 2/3 des parcelles. Ces deux unités sont celles qui sont les plus anciennement cultivées. Les dépressions et les cuvettes, sauf pour les CO, sont très peu représentées.

II - TECHNIQUES DE PRÉLEVEMENT DES ÉCHANTILLONS

21- Prélèvement d'échantillons de sol

La méthode d'échantillonnage d'une parcelle est fonction de sa forme, de ses dimensions, de son degré d'homogénéité et du but poursuivi. Il est important de choisir une méthode qui permet de réduire au minimum l'erreur inhérente à tout prélèvement d'échantillon. L'hétérogénéité du sol en milieu paysan étant très grande par suite de certaines pratiques culturales (brûlis de pailles et des repousses de la saison sèche à la vielle des semis, formation de meules de fanes d'arachide en certains endroits de la parcelle...) et par la présence d'arbres et de termitières, il convient donc d'opérer un grand nombre de prises unitaires sur chaque parcelle. Pour ce, on a utilisé la méthode préconisée par POULAIN (6). Elle consiste en un prélèvement d'un grand nombre de prises régulièrement réparties sur chacune des diagonales. Ainsi trente prises ponctuelles, à raison de 15 par diagonale ont été opérées. A partir de celles-ci on a tiré un échantillon composite moyen. Cette prise d'échantillon de sol a eu lieu en début de campagne avant tout apport de fumure minérale, au moyen d'une tarière sur les horizons 0-20 et 20-40 cm. Elle sera faite chaque année aux mêmes profondeurs et à la même période afin de pouvoir au cours du temps, comparer de manière satisfaisante les différents paramètres du sol analysés (A+I%), C₁₀₀, N%, bases échangeables, pH, (eau et KCl), P₂O₅ total, S, T,...).

22- Prélèvement d'échantillons de feuilles et de plantes

Pour la première année de cette étude, on a cultivé du maïs sur toutes les parcelles. En effet il est bien connu que le maïs est une plante qui réagit bien à toute déficience ou déséquilibre au niveau des éléments chimiques qui participent à son développement; c'est un bon indicateur de fertilité. Il peut ainsi contribuer à la mise en évidence de facteurs déterminants parmi ceux étudiés et auxquels une attention particulière sera portée.

Au début de la floraison mâle, afin d'apprécier la nutrition anionique et cationique de la plante on a effectué un prélèvement de feuilles pour établir un diagnostic foliaire. La technique de prélèvement pratiquée est celle préconisée par A. LOUE (7). On échantillonne la feuille de l'épi principal. Une centaine de feuilles par parcelle ont été prélevées au hasard en suivant les deux diagonales du champ. Les feuilles endommagées soit par l'urée au moment de son épandage, soit par attaque des insectes ont été éliminées. Après avoir enlevé la nervure principale, on a conservé, pour les analyses (N, P, K, Ca, Mg), le tiers central de la feuille.

Pour le prélèvement de pieds de maïs au moment de la récolte on a également choisi au hasard sur chaque diagonale 10 pieds. Sur ceux-ci on a déterminé l'humidité de la paille à la récolte et dosé les éléments majeurs des pailles, des rachis et des grains pour le calcul des mobilisations de la culture et ensuite des exportations minérales par les récoltes.

RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Avant de procéder à la présentation et à l'interprétation des résultats il est utile de faire brièvement le point sur le déroulement de la campagne L'échantillon global de 60 champs retenu au départ et sur lequel les prélèvements de sol ^{avaient} été effectués n'a pu être maintenu jusqu'à la récolte. En raison de ~~leur~~ très mauvaise tenue, de semis ~~autre~~ ^{sur} le maïs, deux CO et TK ont été éliminés du dispositif. Le suivi s'est donc porté sur 18 CO, 18 TK et 21 AF, soit au total 57 champs.

Les pluies du mois de juin ont incité certains paysan à prendre le risque de semer dans la deuxième quinzaine du mois de juin. Ainsi 22% des CO, 50% des TK et 38% des AF ont eu un semis précoce s'étalant du 15 au 30 juin. Certains de ces premiers semis, surtout des TK, ont subi à la levée des attaques de iules qui ont occasionné des resemis partiels. Le tableau ci-dessous fait le point des principales opérations culturales effectuées sur les champs (les chiffres indiquent les pourcentages des champs sur lesquels les travaux ont été exécutés aux moments correspondants)

Epannage N P K				Démariage			
	CO	TK	AF		CO	TIC	AF
Au semis	: 17	22	57	15-18 j. après semis	33	56	52
10 jours après semis	: 44	39	19				
Plus de 20j après semis:	39	39	24	Plus de 18 après semis	67	44	48
1er Sarclo-binages				2eme			
	CO	TK	AF		CO	TK	AF
10 j. après semis	61	50	57	25 j après semis	50	44	52
plus de 10j après semis	39	50	43	plus de 25j après semis	50	56	48
1er épannage Urée				2ème épannage Urée			
	CO	TK	AF		CO	TK	AF
27 j. après semis	72	83	90	41 j. après semis			86
plus de 27j après semis	28	17	10	plus de 41j après semis			14

On observe, pour les épandages d'engrais, que les délais sont mieux respectés dans les AF que dans les autres types de champs. Le démarrage et les sarclo-binages y sont effectués dans la plupart des cas (plus de 50%) au moment opportun. L'épandage de NPK se fait avec un retard très important dans les CO et les TX. Et c'est dans les champs ordinaires qu'on enregistre les retards les plus longs pour l'exécution des diverses opérations culturales.

On a enregistré en moyenne 750 mm de pluie mais la répartition a été très irrégulière. Il y a eu deux périodes de sécheresse du 30-6 au 9-7-79 et du 11-8 au 20-8-79; la deuxième ayant affecté les semis précoces qui étaient déjà en floraison. La pluviométrie de cette année, bien qu'inférieure à la moyenne annuelle de la région (850-950 mm) aurait pu mieux satisfaire les besoins hydriques des cultures si la répartition était bonne.

Il faut noter enfin l'action de l'érosion qui a posé dans certaines parcelles des problèmes délicats d'échantillonnage du fait de l'hétérogénéité qu'elle induit.

1 - CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES PARCELLES

1 1- Texture

Les sols du Sénégal sont pour la plupart sableux ou sablo-argileux. La fraction argileuse est très peu représentée, c'est pourquoi généralement on détermine le taux d'(A+L) pour caractériser la fraction fine de ces sols. Des études d'évolution des sols sous culture continue, entre autres celles qui sont mentionnées en introduction, ont montré que ce taux varie fortement au cours du temps. Son importance sur la fertilité par rapport aux autres classes texturales nous a amené à retenir ce paramètre. On remarque sur la figure 1 que le taux d'(A+L) augmente avec la profondeur. Il passe en moyenne de 13% (0-20 cm) à 21% (20-40 cm) pour les CO; de 10% en surface à 17% en profondeur pour les TK; de 15% dans 0-20 cm à 21% (20-40 cm) pour les AF. Les TK ont des teneurs plus faibles que celles des CO et des AF. Leur taux d'(A+L) ne dépasse pas 15% en surface et 20% en profondeur tandis que dans les CO et les AF on enregistre des taux de 25-30% en surface et 35% dans l'horizon 20-40 cm. L'importance du taux d'(A+L) est qu'elle représente la fraction texturale chimiquement la plus riche. On observe dans l'horizon travaillé une corrélation significative au seuil de 5% ($r = .512$), entre S (la somme des bases échangeables) et A+L(%) dans les TK et qui devient hautement significative (seuil 1%) dans les CO, $r = .672$ et les AF, $r = .689$.

12- Matière organique - Azote total - Carbone total

Le taux de matière organique est faible pour l'ensemble des parcelles. Il est généralement inférieur à 1%. Il est sensiblement plus élevé pour les TK où 16,67% des champs ont un taux égal à 1%. Dans les trois cas, ce taux diminue en profondeur. Il passe, pour les CO, de (.44 - .88%) dans l'horizon 0-20 à (.26 - .70%) entre 20-40 cm; pour les TK il est situé à y.42 - .1%) en surface et (.32 - .50%) en profondeur; pour les AF, de (.48 - .84%)

La figure 2 représente la distribution fréquentielle de l'azote total (en %) dans l'horizon 0-20 cm pour les trois types de champs. Elle révèle une certaine variabilité du taux d'azote au sein de chaque type de champ.

La figure 3 montre également le même phénomène en ce qui concerne le carbone total. Corrélativement à la diminution de la matière organique, le carbone total et l'azote total diminuent avec la profondeur. Il existe pour les TK une corrélation très étroite entre le taux d'azote total et le pH KCl de l'horizon de surface ($r = .638$, significatif à 1%).

Le rapport C/N varie très peu aussi bien au sein qu'entre les trois types de champs. Sa valeur moyenne en surface est de 13 pour les CO, 12 pour les TK et les AF. Il est pratiquement constant dans les deux horizons. Il passe dans l'horizon 20-40 cm à 12 pour les CO, 11 pour les TK et reste constant pour les Améliorations foncières (AF).

13- Phosphore total,

L'appréciation de la richesse en P total est très délicate pour les sols tropicaux. Les méthodes utilisées pour son dosage varient parfois et doivent donc être prises en considération pour l'établissement des échelles de richesse en P. Par ailleurs, ces échelles sont toujours rapportées à des cultures données (arachide, coton, riz, ...). Il semble donc plus judicieux d'apprécier cet élément du sol en confrontant les observations faites sur le terrain et les données bibliographiques recueillies (8). Cette démarche a l'intérêt d'être plus proche du cas concret étudié.

Les champs ordinaires (CO) dont la carence en P n'a pas été corrigée ont montré, pour une bonne part d'entre eux, des manifestations foliaires très nettes de carence en P. Les analyses de sol révèlent que dans tous ces cas la teneur en P total est comprise entre 170-200 ppm; pour les teneurs supérieures aucun signe manifeste de carence n'a été observé. En se basant sur ces considérations on a retenu les critères d'appréciation suivants :

	P_2O_5 tot	$<$	. 2%	carence en P	
.	2% $<$	P_2O_5 tot	$<$	. 3%	teneur faible en P
.	3% $<$	P_2O_5 tot	$<$	. 5%	teneur moyenne en P?
	P_2O_5 tot	$>$	. 5%	bonne teneur en P	

De l'observation de la figure 4, il se dégage que 33,3% des CO, 5,5% des TK et 4,7% des AF sont carencés en phosphore. La plupart des parcelles suivies sont faiblement à moyennement pourvues en phosphore total; leur teneur se situant entre .2 à .4%. On enregistre, mais très faiblement représentées dans les TK (11% environ) des parcelles bien pourvues en P. Il importe de rappeler que celles-ci plus des apports organiques bénéficient principalement sur le maïs d'apports minéraux. De plus beaucoup de ces parcelles, contrairement aux CO, ont eu un phosphatage de fond. Entre le pH KCl et le P_2O_5 total existe une liaison significative ($r = .527$) à 5% dans les CO et qui devient hautement significative ($r = .715$) et ($r = .547$) pour les TK et les AF.

14- Cations échangeables - Somme des bases échangeables (S)

Les sols du Sénégal, du fait de leur texture essentiellement sableuse, de leur fraction minéralogique composée principalement de Kaolinite et de leur faible teneur en matière organique, ont une faible capacité d'échange cationique. Ils sont par conséquent très peu pourvus en cations échangeables. Les valeurs de S dépassent rarement 2 meq/100g.

En surface S varie de 1 à 3 meq/100g pour les CO et les AF, de 1 à 7 meq/100g pour les TK. Les TX se sont révélés plus riches en cations échangeables. B. DABIN (9) en prenant en considération le taux d'(A+L) du sol propose pour S l'appréciation qui figure au tableau ci-contre. La valeur de S est multipliée ou divisée par 2 suivant que le taux d'(A+L) est supérieur à 50% ou inférieur à 10%.

S (meq/100g)	Importance des réserves facilement utilisables *
< 1,5	Réserves faibles
1,5 - 3	Réserves médiocres
3 - 6	Réserves moyennes
6 - 12	Réserves bonnes
12 - 24	Réserves très bonnes
> 24	Réserves exceptionnelles

Les différents critères ci-dessus révèlent que 80% des CO, 23% des TK et 90% des AF ont des réserves faibles à médiocres dans l'horizon 0-20 cm. Les parcelles moyennement pourvues en bases échangeables représentent seulement 20% des CO et 10% des AF; elles représentent par contre 72% des TK. Parmi ceux-ci 5% présentent de bonnes réserves. Pour l'ensemble des parcelles S diminue avec la profondeur. Cette diminution dans l'horizon 20-40 est peu accentuée pour les CO et les AF, du fait certainement de la faiblesse de leurs réserves, mais représente 30% de sa valeur en surface pour les TK.

Cependant l'incidence des cations échangeables sur la fertilité des sols est déterminée par leur proportion dans le complexe absorbant. C'est ainsi que si la corrélation entre le rendement et la teneur en K échangeable est faible, elle devient de plus en plus forte si l'on considère le rapport K éch/T. Pour le calcium sa teneur est généralement suffisante pour l'alimentation des plantes. Son action est surtout importante sur le pH et est déterminée par sa densité par rapport à T. Le Mg est présent en faible teneur par rapport au Ca son effet sur la structure du sol est important et dépend du rapport Ca/Mg; si celui-ci est inférieur à 1, le magnésium développe ses propriétés peptisantes. L'équilibre cationique au niveau du complexe d'échange est donc très important pour la fertilité; on y reviendra dans l'interprétation des résultats du diagnostic foliaire.

Un bon rapport K/T se situe entre 5 et 10%. Ce rapport est en moyenne de 7,5% dans les CO mais ceci masque une grande variabilité (CV= 50%); 17% de ces champs ont des valeurs de K/T inférieures à 5%. Pour les LE', K/T en moyenne égale à 5% montre aussi une grande dispersion (CV = 45%) et environ 50% de ces champs ont un mauvais rapport K/T. Les TK présentent un rapport 'moyen de 15,5%; 70% des parcelles dépassent les 15. Il est donc probable que ceux-ci aient une alimentation potassique meilleure que les CO et les AF. Quant au rapport Ca/T il est très étroitement corrélé au pH du sol de l'horizon de surface. Corrélativement à la diminution de la concentration des cations échangeables, les rapports K/T et Ca/T diminuent dans l'horizon 20-40 cm. Le rapport K/T passe à 5,2% pour les CO; 9,8% pour les TE et 4,6% pour les AF entre 20-40 cm. Le rapport Ca/T manifeste également la même tendance à la baisse en profondeur.

15- Réaction du sol

La mesure du pH qui est très courante dans les études de sol peut être considérée comme un moyen d'appréciation de la fertilité "immédiate". Cette variable conditionne un grand nombre de processus qui sont déterminants pour les cultures.

L'activité microbienne, l'assimilabilité des éléments nutritifs, la solubilité des ions toxiques (comme l'Al, le Mn, ...), la rétrogradation du phosphore sont étroitement dépendantes de la valeur du pH. En général on mesure l'acidité d'un sol par son pH eau mais PIERI (10, 11) en étudiant la sensibilité de l'arachide à la toxicité aluminique a montré que le pH KCl est une mesure plus significative que le pH eau pour l'évaluation de l'acidité des sols du Sénégal. A cette fin on a retenu l'échelle d'acidité suivante :

- pH KCl \leq 4 sol fortement acide
- 4 $<$ pH KCl \leq 4,5 sol très acide
- 4,5 $<$ pH KCl \leq 5,0 sol moyennement acide
- 5,0 $<$ pH KCl \leq 5,5 sol faiblement acide
- 5,5 $<$ pH KCl \leq 6,0 sol très faiblement acide à neutre
- pH KCl $>$ 6,0 sol alcalin

La figure 5 montre que dans l'horizon 0-20 cm environ 17% des CO et des TK, 38% des AF sont très acides; plus de 50% des CO et des AF sont moyennement acides. Du point de vue acidité les TK se comportent différemment des deux autres types de champs. Les trois quarts de ces parcelles sont faiblement acides à neutres et ont donc un pH favorable à l'obtention de bons rendements. Seuls 9,5% des AF et des CO présentent une telle situation. Si le pH est très lié à S le tableau II montre qu'il est très étroitement corrélé, dans l'horizon 0-20 cm au rapport Ca/T.

	CO	TK	AF
$r_{\text{pHKCl}} = f(S)$	. 648**	. 807**	. 455*
$r_{\text{pHKCl}} = f(K/T)$	. 398	. 417	. 443*
$r_{\text{pHKCl}} = f(Mg/T)$	. 306	. 074	. 492*
$r_{\text{pHKCl}} = f(Ca/T)$	. 833**	. 638**	. 827**

Tableau II: Coefficients de corrélation entre le pH KCl et S, K/T, Mg/T

r : coefficient de corrélation

* : significatif au seuil de 5%

** : significatif au seuil de 1%.

Il apparaît donc que l'acidification des champs est surtout due à une décalcification du complexe d'échange. Pour le pH KCl la valeur de 4,5 est souvent considérée comme valeur critique. FAUCK (1) a montré qu'en-dessous de celle-ci la vie microbienne est très affectée, son activité diminue et il y a modification de sa nature caractérisée par une prolifération de champignons. La teneur en ions toxiques (Al, Mn) augmente et il y a risque d'apparition de phénomènes de toxicité si le pH continue à baisser. Il s'avère donc urgent, pour les fractions très acides des parcelles suivies, de corriger l'acidité afin d'avoir un pH favorable à l'obtention de bons rendements. En profondeur, on observe en moyenne une baisse de . 2 unité de pH par rapport à l'horizon de surface.

16- Influence de la topographie sur les caractéristiques physico-chimiques des parcelles

Il est difficile, en milieu paysan, d'isoler un facteur donné pour voir son influence propre. Il est certain que des parcelles appartenant au même type de champ ne sont pas rigoureusement exploitées de la même façon. Les doses d'engrais appliquées, les rotations, en un mot les pratiques culturales connaissent une grande variabilité en milieu paysan. Il faut donc considérer avec prudence les phénomènes observés et attribués à l'influence de la topographie.

On remarque au tableau III que quel que soit le type de champ le taux d' (A+L) est sensiblement plus élevé sur les plateaux que sur les autres unités géomorphologiques. En dehors de cela, la situation topographique ne semble pas induire, dans les CO et les AF, de variations très marquées sur les principaux paramètres du sol. Mais il se dégage, pour les TK, un gradient de fertilité en fonction de la topographie. Les parcelles du plateau se révèlent être plus riches que celles de la terrasse ancienne et celles-ci plus "fertiles" que les champs de la terrasse colluvio-alluviale.

Le taux d'azote total, du plateau à la terrasse ancienne et de celle-ci à la terrasse colluvio-alluviale, passe de .41 à .33‰; le P total de .422‰ à .230‰ et à .231‰; la somme des bases échangeables de 6 meq/100g à 2.79 et à 2.15 meq/100g; le pH KCl de 6.53 à 5,57 et à 4,95. On observe la même évolution pour le P assimilable et le K échangeable. De 112 ppm sur le plateau, le P assimilable tombe à 23 ppm sur la TA et à 20 ppm sur la TCA. Le potassium échangeable passe respectivement de .474 meq/100g à .322 meq/100g et à .180 meq/100g. A l'exception de S les valeurs du coefficient de variation montrent une variabilité satisfaisante de ces caractéristiques du sol au sein de chaque unité géomorphologique. Si on considère l'horizon 20-40 il se dégage les mêmes tendances que celles de l'horizon supérieur.

	C O					T K					A F				
	N ‰	A+L %	P205 tot ‰	S meq/100	pHKCl	N ‰	A+L %	P205 ‰	S meq/100	pH KCl	N ‰	A+L %	P205 ‰	S meq/100	pH KCl
Moyenne	.35	16.70	.246	2.69	4.90	.41	12.16	.422	6.00	6.53	.34	16.20	.288	2.43	4.65
CV (%)	19	35	12	30	4	19	7	29	50	7	17	22	13	15	4
TA															
Moyenne	.302	17.50	.206	2.33	5.16	.33	10.40	.230	2.79	5.57	.35	15.50	.249	2.37	4.71
CV (%)	22	38	15	32	15	21	14	10	19	6	15	34	12	26	4
TCA															
Moyenne	.26	11	.294	3.09	4.97	.27	9.40	.231	2.15	4.95	.29	14.10	.242	2.08	4.67
CV (%)	17	23	52	-	24	22	20	10	43	13	12	22	5	15	8
DC															
Moyenne	.32	14.90	.254	2.43	4.77	-	-	-	-	-	.32	16.70	.283	2.1	4.63
CV (%)	19	17	20	22	4	-	-	-	-	-	3	22	7	30	6

Tableau III: Influence de la topographie sur les caractéristiques physico-chimiques des parcelles

P : plateau
TA : terrasse ancienne
TCA: terrasse colluvio-alluviale
DC : dépression ou cuvette
CV : coefficient de variation

II - DIAGNOSTIC FOLIAIRE

La composition chimique d'un organe de la plante, en général la feuille, à un stade physiologique déterminé, est de plus en plus utilisée comme indicateur de la réponse de la plante aux conditions physico-chimiques du sol. Cette composition chimique est beaucoup plus sensible que le rendement à l'état des caractéristiques du sol mais elle est d'interprétation plus difficile. Si elle permet d'identifier des carences ou des déséquilibres nutritionnels responsables de l'obtention de mauvais rendements, son interprétation doit tenir compte de tous les paramètres agissant sur le rendement et susceptibles d'être exprimés quantitativement ou qualitativement. La nature du substratum, la présence d'une nappe phréatique et sa hauteur, les caractéristiques physiques qui régissent le rythme des disponibilités en eau de la plante, la pluviométrie et surtout sa répartition, la variété cultivée, sont autant de facteurs qui ont une influence sur la composition chimique de la feuille. Il faut donc tenir compte de toutes ces variables pour déterminer la composition foliaire optimale pour une culture donnée. De nombreux travaux qui se déroulent pendant des années, dans les environnements les plus divers, sur des types de sol très différents et pour diverses variétés ont permis de déterminer les seuils critiques des éléments majeurs. Actuellement la notion de seuil critique qui désigne la teneur foliaire au-dessus de laquelle un apport supplémentaire en un élément fertilisant donné ne produit sur le rendement qu'une réponse très faible ou nulle tend à être remplacé par celle de zone critique ou le passage de la zone de déficience à celle de la consommation indifférente n'est pas toujours ponctuel, surtout pour le potassium. L'examen des publications spécialisées permet de retenir respectivement comme valeurs critiques pour l'azote, le phosphore et le potassium, 3.100%, 0.315% et (1.7 - 2%). Ces valeurs sont celles qui ont été proposées lors du colloque sur la fertilité des sols tropicaux à Tananarive (12). Elles ont été obtenues en appliquant la technique d'échantillonnage préconisée par A. LOUE.

21- Relation entre le rendement et la teneur en N, P, K de la feuille de l'épi principal à la floraison mâle

Les rendements obtenus dans les trois types de champs ainsi que les densités de peuplement et les rendements par pied figurent au tableau V des annexes. On a obtenu des rendements très faibles et très variables dans les CO. Le rendement moyen de ces champs est de 1302 kg/ha. Leur densité de peuplement, très faible par rapport à l'optimum (44.000 pieds/ha), varie très fortement. Leur rendement moyen par pied qui est de 50g/pied est le plus faible parmi les trois types de champs.

Les rendements moyens des TK et des AF sont équivalents et sont respectivement de 2238 kg/ha et 2240 kg/ha. Pour ces deux types de champs les rendements sont aussi très variables; les coefficients de variation sont de 37% pour les TK et 27% pour les AF. Si la densité de peuplement, en moyenne est significativement supérieure pour les AF (31 428 pieds/ha contre 28 311 pieds/ha), le rendement moyen par pied des TK (84g/pied) est non seulement plus élevé que celui

des AF (75 g/pied).

Les teneurs foliaires à la floraison mâle, du fait de la faiblesse des densités de peuplement, sont probablement à un niveau supérieur à celui qu'un peuplement normal aurait permis. On observe en effet dans les CO, malgré une teneur en azote du sol très faible et une fertilisation azotée insuffisante, des niveaux foliaires en N au-dessus du seuil critique de 3.100%. Les résultats du diagnostic foliaire (DE') sont représentés sous forme de relation entre le rendement et les niveaux foliaires en N, P, K exprimés en % de matière sèche. Ce mode de représentation permet de voir les corrélations entre rendement et variables du DP et de caractériser l'état de la nutrition minérale de la plante au moment de la floraison mâle. L'action des facteurs de l'environnement, les interactions entre les éléments (N x P, P x K, K x N...) rendent parfois ces relations fort complexes (13, 14).

211. Eclatements entre le rendement et la teneur en azote de la feuille de l'épi

Les figures 6, 7 et 8 montrent qu'il n'existe pas de relation simple (linéaire ou curvilinéaire) entre le rendement et la teneur en azote de la feuille de l'épi. Si on considère les valeurs de N on constate que presque toutes sont au-delà du seuil critique de 3,1%. On sait que dans ce domaine il n'existe pas de relation nette entre ces deux variables; toutefois il est probable que l'intervention d'autres paramètres influant le développement de la plante et son alimentation ainsi que les interactions avec les autres éléments nutritifs aient contribué à accuser davantage la dispersion du nuage de points observé et à donner une distribution aléatoire à N.

212. Relations entre le rendement et la teneur en phosphore de la feuille de l'épi

La relation linéaire entre le rendement et la teneur en P de la feuille dans les champs ordinaires, illustrée à la figure 9, montre que la nutrition phosphatée du maïs dans ces champs est déficitaire. Le coefficient de corrélation ($r = .752$) qui est hautement significatif révèle une liaison étroite entre les rendements des CO et les teneurs foliaires en P. Pratiquement toutes les valeurs de P sont en-deçà du seuil de .315%. La moyenne de la teneur en P est de .282% avec un coefficient de variation de 11%, ce qui montre une situation quasi identique pour l'ensemble de ces champs. La nutrition phosphatée a sans doute limité fortement les rendements des champs ordinaires.

A la figure 10, on observe une relation curvilinéaire entre N et P dans les TK. Les teneurs foliaires sont presque toutes supérieures à .315%.

Au niveau des champs en amélioration foncière, on a la même situation d'ensemble que pour les TK. La figure 11 montre trois domaines dans la relation entre R et P%. Jusqu'à la teneur de .315% la linéarité de la courbe indique une insuffisance de la nutrition en phosphore. De .315% à .330% la linéarité s'atté-

nue, l'augmentation du rendement par suite de celle-ci la teneur de la feuille en P est plus faible que précédemment. Au-delà de .330% il n'y a plus de relation nette entre R et la teneur en P de la feuille de l'épi.

213. Relations entre le rendement et la teneur en potassium de la feuille de l'épi

L'étude de la nutrition potassique est d'interprétation délicate du fait de ses antagonismes avec le Ca et le Mg. C'est pourquoi en plus de la relation entre le rendement et la teneur en K de la feuille il est utile de voir l'équilibre cationique entre le K, le Ca et le Mg.

La figure 12 montre que pour les CO la distribution des niveaux potassiques n'est pas simplement liée à celle des rendements. La mauvaise alimentation en P, l'interaction des autres cations ont certainement contribué à cette situation. On observe par ailleurs que les niveaux potassiques sont tous dans le domaine de la nutrition insuffisante (teneur inférieure à 1.7%) et de la zone critique (1.7 - 2%). La figure 13 montre pour les TK une relation classique entre le rendement et la teneur en K. L'alimentation potassique est dans l'ensemble satisfaisante mais on remarque pour les teneurs en K supérieures à 2.2% une tendance à la diminution des rendements. Les AF présentent une relation similaire à celle des TK (fig. 14). On note cependant que la plupart des niveaux potassiques sont en deçà de la valeur de 2% contrairement à ce que l'on a observé dans les TK. Il semble se dégager aussi pour les AF une tendance à la diminution des rendements pour les teneurs foliaires supérieures à 2.3%.

22- Equilibre de la nutrition cationique: K/Ca/Mg à la floraison mâle

L'action des cations sur la nutrition des plantes et donc sur les rendements se manifeste non par leurs teneurs absolues mais par leurs proportions respectives. L'équilibre entre le K, le Ca et le Mg est ainsi donc souvent étudié afin de déterminer sa valeur optimale. Les teneurs foliaires exprimées en % de matière sèche sont dans un premier temps exprimées en meq/100 de matière sèche. La somme $S = K + Ca + Mg$ (en meq/100g MS) est en général très peu différente de 100. Pour les trois types de champs on a obtenu respectivement pour les CO, les TX et les AF les valeurs de 109, 106 et 105 meq/100g avec des coefficients de variation respectifs de 8,7 et 9%. Les rapports K/S, Ca/S et Mg/S donnent la contribution de chaque cation à la somme S, Les valeurs obtenues sont représentées sous forme de diagramme triangulaire qui permet d'apprécier de manière qualitative la nutrition cationique de la plante. LOUE propose pour le maïs les équilibres K/Ca/Mg compris entre 68/22/10 et 60/28/12 comme équilibres "optimum".

La figure 15 qui rapporte les équilibres cationiques pour les CO, les TK et les AF montre que les parcelles se répartissent principalement dans trois domaines. Celui où K varie de 30 à 40% de S où l'on trouve 28% des AF et 33% des

CO	P				TA				TCA				DC			
	R	N	P	K	R	N	P	K	R	N	P	K	R	N	P	K
Moyenne	739	3.235	.256	2.032	1755	3.352	.296	1.606	1044	3.280	.275	1.683	1813	3.337	.301	1.916
CV (%)	64	3	14	15	29	1	11	28	52	4	8	8	42	2	.2	4
TK																
Moyenne	2415	3.595	.419	2.262	2446	3.331	.354	2.100	1653	3.305	.339	1.989	-	-	-	-
CV (%)	14	6	14	10.5	36	6	13	12	51	4	13	11	-	-	-	-
AF																
Moyenne	2502	3.367	.387	1.987	2284	3.356	.338	1.733	2387	3.387	.366	1.917	2578	3.397	.337	2.017
CV (%)	18	4	5	6	29	2	13	22	21	8	12	14	36	2	8	8.5

Tableau IV: Influence de la topographie sur les niveaux foliaires en N, P, K

R : rendement moyen en kg/ha

N, P, K : exprimés en % de M.S.

CO; la -proportion de Ca variant très peu. Dans le deuxième domaine K varie de 40 à 50% de S et on y trouve les 2/3 des AF, 60% des CO et 39% des TK. Au-delà, dans le troisième domaine, pour K compris entre 50 et 60% de S les TK sont presque les seuls à y être représentés. On remarque d'une façon générale que l'augmentation du taux de potassium de la feuille de l'épi se fait surtout au détriment de celui du Mg. Le taux de Ca varie très peu et se situe entre 35 et 25%; celui du Mg passe environ de 40 à 12%. Les équilibres moyens K/Ca/Mg des CO, TK et AF sont de 43/31/26, 50/29/21 et 44/31/25. Si on se réfère aux valeurs de LOUE il apparaît que pour aucun des trois types de champs on a atteint l'équilibre optimum et le taux de Mg semble plutôt élevé dans la feuille de l'épi et ceci en défaveur de celui de K. Une nutrition potassique, surtout pour les CO et les AF, quantitativement supérieure, corrélativement à une réduction de la consommation en Mg, fournirait donc un équilibre plus favorable à l'obtention de meilleurs rendements. En plus d'une teneur plus élevée en K échangeable, d'une meilleure nutrition potassique, le diagramme de l'équilibre cationique montre que les TK présentent par rapport aux deux autres types de champs un équilibre cationique plus favorable.

23- Influence de la topographie sur les niveaux foliaires en N, P, K

Comme pour les facteurs de la fertilité des sols la même prudence doit être tenue à l'égard des observations liées à la topographie. Il est néanmoins important de souligner que l'analyse foliaire se révèle être en accord avec les tendances décelées au niveau des caractéristiques physico-chimiques des sols sur les différentes unités géomorphologiques. En effet on note au tableau IV que les teneurs foliaires ainsi que les rendements des CO et des AF ne montrent aucune hiérarchie nette liée à la situation topographique. Les TK par contre ont des niveaux foliaires en N, P, K supérieurs du plateau à la TA et de celle-ci à la TCA. Leur nutrition minérale est partout satisfaisante sauf éventuellement pour le K au niveau de la TCA. La valeur des coefficients de variation des teneurs des teneurs foliaires montre que l'état nutritionnel de la plante sur les unités géomorphologiques respectives est assez homogène.

III - CORRELATIONS ENTRE LES TENEURS DU SOL EN N, P., K et LES NIVEAUX FOLIAIRES CORRESPONDANTS A LA FLORAIISON MALE

Les principaux résultats du DF et des analyses de sol mènent à la conclusion que les propriétés physico-chimiques des TK sont plus favorables au développement des cultures. Il est probable aussi que leurs propriétés biologiques soient meilleures. On sait qu'aucun réactif ou mélange de réactifs chimiques n'extraient les éléments minéraux du sol dans les mêmes conditions que la plante; le diagnostic foliaire se trouve donc être d'un intérêt particulier pour l'appréciation de la fertilité. Il permet de situer le niveau de satisfaction de la nutrition minérale, peut mettre en évidence les déséquilibres minéraux éventuels susceptibles de limiter les rendements et il explicite donc davantage le niveau

de fertilité du sol. Il est par conséquent intéressant de voir en particulier les relations pouvant exister entre les teneurs foliaires en N, P, K et celles du sol en ces mêmes éléments. On a représenté au tableau ci-dessous les coefficients de corrélations (r) ou de détermination (R^2) entre ces 2 groupes de variables.

	CO	TK	AF
r N‰ = f(N‰)	.318	200	.026
R^2 $r_{P_{205} \text{ tot} = f(P\%)}$	.317	.390	-
R^2 $r_{K \text{ éch/T} = f(K\%)}$	.482*	.225	.441*

Entre l'azote total du sol et la teneur de la feuille de l'épi en N, au moment de la floraison ~~le~~, il n'existe aucune corrélation simple (fig. 16 cas des TK). Dans leur allure générale, les corrélations curvilinéaires entre le P₂₀₅ total et la teneur en P de la feuille sont les mêmes pour les CO, les TK et les AF. Les figures 17, 18 et 19 montrent jusqu'à 250 ppm de P₂₀₅ total environ des variations fortes de la teneur en P de la feuille pour de faibles différences en P₂₀₅ total. Cette augmentation de P s'atténue mais demeure assez nette jusqu'à 300 ppm de P₂₀₅ total. Au-delà de cette valeur la teneur du sol en phosphore total ne semble plus significativement influencer sur celle de la feuille.

L'ajustement statistique de ces courbes montre que pour les CO la relation qui lie ces deux variables (significative à 5%) est du type logarithmique et s'exprime par :

$$P(\%) = .360 + .054 \ln P_{205} \text{ total } (\%)$$

$$F_c = 7.425^* \text{ et } F \text{ table} = 4,5$$

Pour les TK la relation devient hautement significative (seuil 1%)

$$P(\%) = .514 + .112 \ln P_{205} \text{ total } (\%)$$

$$F_c = 10.233^{**} \text{ et } F \text{ table} = 8.680.$$

Pour les AF la courbe obtenue n'est pas statistiquement significative, et on remarque que la distribution des points est plus dispersée que dans le cas des CO ou des TK. Si ces figures et relations montrent que les niveaux phosphoriques foliaires sont liés à la teneur du sol en P₂₀₅ total il est évident que ceux-ci dépendent aussi, et très largement, de la fertilisation phosphatée et de la teneur des autres éléments nutritifs, principalement l'azote, comme l'a montré L. DUMENIL (15). Il est par ailleurs significatif à ce propos que pour la teneur en P₂₀₅ total de 300 ppm les trois types de champs n'aient pas la même teneur en P de la feuille de l'épi.

Les liaisons entre les teneurs potassiques de la fouille et le rapport K échangeable/T sont linéaires pour les CO et les AF. Cette linéarité est assez lâche comme le montrent les valeurs de r et la distribution des points sur les figures 20 et 22. Pour les TK, mieux pourvus en potassium échangeable, on a une relation curvilinéaire (fig. 21) dont l'ajustement statistique (significative au seuil de 5%) montre qu'elle n'est pas simple.

L'intérêt de ces corrélations, représentées par ces différentes figures et équations, est principalement de montrer l'importance des réserves minérales du sol sur la nutrition des plantes. Un sol aux réserves minérales très faibles, aux caractéristiques physico-chimiques peu favorables même s'il reçoit des doses d'engrais optimales donne en général des rendements plus faibles qu'un sol plus riche et recevant une fumure minérale plus faible (16).

Par conséquent il est essentiel, pour éviter une péjoration du milieu, à défaut d'augmenter les réserves minérales du sol d'avoir une politique de fertilisation qui puisse les maintenir à un niveau satisfaisant.

IV- ANALYSES EN COMPOSANTES PRINCIPALES (ACP) ET FACTORIELLES DISCRIMINANTES (AFD)

41- Analyses en composantes principales

Pour identifier les variables du sol, du DF et de la plante entière (tiges + grains) qui expliquent le mieux les rendements obtenus, on a effectué des ACP en établissant, sur la base des histogrammes faits sur toutes les variables, deux ou trois ou quatre modalités pour chacune d'elles (voir annexes).

L'examen des deux axes principaux (1) et (2) des graphiques 1 et 2 montre que les rendements faibles, RDG1, inférieurs à 1000 kg/ha sont seuls expliqués par des paramètres du sol dans les horizons 0-20 et 20-40 cm. Ainsi on retrouve les rendements faibles dans les champs ayant des valeurs faibles à moyennes en potassium et magnésium échangeables et des valeurs faibles pour le pH KCl (< 4,80). Pour les variables du DF (graphique 3), la teneur foliaire en P est la seule variable contribuant significativement à l'expression des rendements. Ainsi on retrouve les rendements faibles à moyens (< 1500 kg/ha) dans les champs ayant des teneurs foliaires en P faibles à moyennes (< .30%) et les rendements moyens à forts dans les champs ayant en moyenne de fortes teneurs en P (> .36%). Le plan (I-2) est un bon plan discriminant les trois types de champs. A l'exception d'un champ, les CO ont des teneurs foliaires en P très faibles et des niveaux potassiques faibles à moyens. Les TK ont des teneurs foliaires faibles à moyennes en Mg, fortes en K et en P. Les AF ont des teneurs élevées en Ca et en N.

Les teneurs minérales des pailles et des grains ne sont pas significativement liées aux rendements. On observe toutefois que les champs à rendements faibles ont des pailles à teneur calcique faible (< .43%) et que les teneurs en K des pailles, dans les TK, sont en général fortes.

42- Analyses factorielles discriminantes

On a utilisé pour le traitement des données une discriminante pas à pas. Elle consiste à identifier dans un premier pas la variable qui maximise le rapport variance intergroupe sur variance intragroupe. Cette première variable trouvée, le deuxième pas identifie la deuxième qui maximise le même rapport en tenant compte de l'existence de la première. A chaque pas un champ est affecté à un groupe défini, suivant que la valeur de la fonction discriminante est positive ou négative. Si celle-ci est nulle il n'y a pas d'affectation. En plus, à chaque pas, l'AFD donne le pourcentage de bien classés, c'est-à-dire la probabilité que le groupe auquel la fonction discriminante affecte un champ soit effectivement le sien. L'AFD s'arrête lorsque l'introduction d'autres variables n'augmente plus significativement le pourcentage de bien classés. L'échantillon global a été divisé en deux groupes: les champs à rendement inférieur à 1964 kg/ha et ceux dont le rendement est supérieur à 1964 kg/ha comprenant respectivement 28 et 29 individus. Le tableau ci-dessous donne les variables prises en considération et les paramètres correspondants.

De ce tableau, on constate en fait, d'une part, que les quatre premières variables suffisent pour discriminer de façon satisfaisante les trois types de champs (84% de bien classés) et d'autre part parmi celles-ci la variable PF est la plus discriminante de tous les paramètres mesurés. A elle seule, elle permet de bien répartir 77% des champs.

PAS	Variables		Coefficients Fonction discrimi- nante	Pourcentage de bien classés
	Numéro	Nom		
1	30	PF	- . 981	77,19
2	1	DEN	- . 000	88,46
3	42	CaR	1. 913	80,70
4	33	MGF	- . 113	84,21
5	12	/T1	- . 005	84,21
6	36	KP	- . 051	84,21
7	45	PG	- . 647	87,72
8	14	T1	. 036	85,72
9	29	NF	- . 119	89,47
10	2	RDP	. 000	91,23

V - BILAN MINERAL

Le calcul d'un bilan minéral en milieu paysan pose beaucoup de problèmes. Il ne peut qu'être simplifié, approximatif, car on ne peut comptabiliser ni les pertes par volatilisation, dénitrification, immobilisation, lessivage ou ruissellement, ni les apports par les eaux de pluie, le parcage et les déchets organiques de toutes sortes provenant des concessions et répandus sur les champs de case.

L'évaluation des exportations par les récoltes est difficile car les pailles sont diversement utilisées: construction de tapades, alimentation du bétail des carrés et des animaux divagants. Pour obtenir les quantités de pailles réellement restituées au sol on a pesé les résidus de récolte à la fin de la saison sèche suivant les cultures (fin mai - début juin). Les valeurs obtenues sont consignées au tableau V. Pour les champs qui portent un asterix les résidus étaient ravagés par un feu de brousse ou brûlés par les paysans avant la pesée, A ceux-ci on a affecté la moyenne générale obtenue sur le type de champ auquel ils appartiennent. Les quantités moyennes de résidus restitués sont respectivement de 489, 785 et 1290 kg/ha pour les CO, les TK et les AF. Les quantités restituées sont très variables et représentent, par rapport au rendement en paille, 1 à 85% dans les CO, 10 à 56% dans les TK et 9 à 86% dans les AF. Le pourcentage moyen de restitution pour les trois types de champs est de 28, 26 et 39% et représente environ le 1/3 de la production en pailles, ce qui confirme les résultats de l'enquête de JJ DREVON (19) dans le bassin arachidier.

Les tableaux VI, VII et VIII donnent les bilans des cinq éléments majeurs pour les trois types de champs. On observe d'une façon générale, malgré les pertes occasionnées par le brûlis, que le bilan de l'azote est positif. A l'exception d'un cas enregistré dans les TK, le bilan du phosphore est toujours positif. Les exportations de cet élément sont en général faibles et s'élèvent en moyenne à 6, 12,5 et 13,5 kg/ha de P₂O₅ dans les CO, les TK et les AF. Le bilan de la potasse est le moins équilibré parmi les éléments apportés par la fumure minérale: 22% des CO, 78% des TX et 33% des AF présentent un bilan négatif. Les quantités moyennes de K₂O exportées sont de 39 kg/ha (inférieures aux apports) dans les CO, 73,5 kg/ha (supérieures aux apports) dans les TK et de 54 kg/ha (égales aux apports) dans les AF. Les CO, du fait de la faiblesse de leurs rendements, ont des exportations minérales très faibles qui pourraient, à plus ou moins long terme, leur permettre un enrichissement substantiel du sol en phosphore si la pratique de la fumure minérale était régulière et satisfaisante.

Le maïs, dans les TK, semble beaucoup plus épuisant pour les réserves du sol en potasse.

Pour le calcium et le magnésium, leurs bilans sont toujours négatifs, ces éléments ne sont pas apportés par la fumure minérale. Les CO et les TK en ont exporté en moyenne 13 kg/ha et les AF 18 kg/ha.

DISCUSSION

En milieu paysan où les conditions d'exploitation du sol sont très variables, l'appréciation précise des faits, la mise en évidence des causes des phénomènes observés ne sont pas toujours faciles. Il importe cependant d'essayer au moins d'identifier les facteurs dont les effets sont les plus déterminants sur les rendements pour les suivre et préciser les caractères généraux de leur évolution. Avec le dispositif mis en place dans l'unité expérimentale de Thyssé-Kayemor Sonkorong, on s'est proposé de suivre l'évolution des principaux facteurs de la fertilité des sols cultivés. Il faut cependant dire que celui-ci est critiquable sur le plan de sa composition numérique. En effet, il aurait fallu, dans un premier temps, recenser tous les champs appartenant aux trois catégories identifiées afin de fixer leur importance relative et respecter dans le dispositif les proportions dégagées par le recensement. Pour des raisons d'inexistence des données requises et le manque de temps nécessaire pour faire ce travail préliminaire, il n'a pas été possible de satisfaire cette condition pour pouvoir, de façon rigoureuse, disposer d'un échantillon suffisamment représentatif, dans la zone étudiée pour chaque type de champ. En face de cette difficulté, on a été amené à donner un poids égal aux trois types de champs en choisissant un dispositif comprenant 20 champs de chacune des trois catégories.

Les résultats d'analyse montrent qu'en général les sols étudiés sont très peu pourvus en matière organique. Ceci rejoint beaucoup d'autres observations à ce sujet. Le fumier apporté par le parcage, les déchets ménagers de toutes sortes déversés sur les TK expliquent leurs teneurs en matière organique sensiblement plus élevées. Ces divers apports de matière organique, comme cela a été déjà observé dans des essais de maintien de la fertilité ou de régénération de sols dégradés? contribuent à l'augmentation des teneurs en éléments minéraux du sol et à tamponner celui-ci. Bien que la plupart des TK ont eu un phosphatage de fond comme les AF, les teneurs de 400 à 500 ppm que l'on n'obtient ni sur les AF encore moins sur les CO qui sont carencés à faiblement pourvus en P, ne sont concevables qu'en considérant la libération progressive du P par la minéralisation des déchets organiques, libération complétant l'insuffisance de la fumure phosphatée et enrichissant progressivement le Sol en phosphore. Les corrélations entre les teneurs du sol et les niveaux foliaires en P ont révélé qu'à 300 ppm de P₂₀₅ total la contribution du sol à l'alimentation phosphorique de la plante semble satisfaisante. Le statut phosphorique des sols montre, malgré la prudence qu'il convient d'observer à l'égard de ces valeurs, que les teneurs en P₂₀₅ total sont en général faibles pour contribuer de façon satisfaisante à la nutrition de la plante.

Les teneurs relativement élevées en for libre pourraient limiter dans la fraction; la plus acide des parcelles suivies l'assimilabilité du phosphore. Il est indispensable de relever au moins le pH de cette fraction des parcelles pour en faire un milieu plus favorable aux plantes. Cette acidité comme

le montrent les corrélations entre le pH et la densité du calcium du complexe d'échange est surtout corrélative à une décalcification. En plus des exportations par les récoltes, l'important excès hydrique par rapport aux besoins des cultures dans cette zone (400 mm environ) incite à penser que le lessivage intervient aussi de façon non négligeable à cette décalcification du complexe argilo-humique.

La faiblesse des teneurs potassiques du sol (38% des AF et 33% des CO ont des teneurs en K inférieures à ~~1~~ 1 meq/100g), la très faible densité de K dans le complexe d'échange au niveau de ces deux types de champs pourraient limiter la nutrition potassique même en présence d'une fumure correcte. En effet les corrélations linéaires entre les teneurs foliaires en K et le rapport K éch/T révèlent l'importance des réserves du sol sur la nutrition potassique. Les TK dont les réserves potassiques sont plus importantes, contrairement aux AF dont la liaison entre le rendement et la teneur en K de la feuille de l'épi montre une nutrition potassique insuffisante pour la plupart des parcelles, ont une alimentation potassique satisfaisante. On peut dire donc que le niveau de ces réserves a affecté de façon non négligeable la satisfaction des besoins en K. Cependant l'appréciation de la nutrition minérale doit aussi tenir compte de la densité de peuplement. En effet le volume de sol disponible pour chaque pied et qui est fonction de la densité de peuplement (Dl?) détermine également la satisfaction des besoins minéraux et hydriques. Significativement corrélée au rendement dans les CO ($r = .490$) et dans les AF ($r = .437$), la DP, dans les TK, du fait probablement de sa variation plus faible que dans les autres cas n'est pas significativement liée au rendement. Quant au rendement par pied (RP) qui mesure la contribution individuelle de chaque plant de maïs, il est en général faible alors que le peuplement des champs aurait normalement permis des valeurs plus élevées et même supérieures à la normale. La prise en compte de ces deux facteurs permet de fournir quelques éléments de réponse à certaines observations. Il s'agit de champ à DE' très voisines mais aux rendements très différents ou inversement. Ainsi pour des Dl? assez proches les CG (27 255 pieds/ha en moyenne) et les TK (28 311 pieds/ha en moyenne) ont des rendements moyens qui vont presque du simple dans le même sens que les RP qui sont respectivement (50 g/pied et 84 g/pied).

D'un autre côté les AF avec 3000 pieds/ha de plus ont le même rendement moyen que les TIC (2240 kg/ha) avec un RP (75 g/pied) significativement supérieur.

Les analyses en composantes principales n'ont permis d'expliquer que partiellement les rendements obtenus. Seuls les rendements faibles à moyens (< 1500 kg/ha) peuvent être liés aux paramètres mesurés. Ces rendements sont obtenus sur des champs dont les teneurs en potassium échangeable sont faibles ($< .16$ meq/100g), le pH très ou moyennement acide (pH KCl $\sim 4,8$) et dont la nutrition phosphorique est insuffisante. Ces résultats, tout en permettant d'identifier les facteurs importants dans l'expression des rendements, suggèrent que des facteurs non moins importants n'ont pas été pris en considération. Il est probable, compte tenu des observations faites sur l'exécution des principales opérations culturales, que les paramètres de techniques culturales (date des différents travaux culturaux, qualité de la réalisation de ceux-ci, etc...) aient été très influents sur les rendements obtenus.

CONCLUSIONS

Les divers apports de matière organique sur les TK bien que quantitativement beaucoup plus faibles que les doses utilisées dans les essais en station ou PAFEM se révèlent avoir des effets positifs sur les caractéristiques physico-chimiques des sols (bornes réserves minérales, pH favorable au développement des cultures, etc...). Ceci rejoint les résultats obtenus dans les essais de maintien de la fertilité des sols nouvellement défrichés ou de régénération de sols dégradés (18). Comme il était prévisible l'exploitation extensive des CO n'améliore pas leurs caractéristiques physico-chimiques. D'une façon générale ces champs sont très pauvres; ils sont carencés ou très faiblement pourvus en P; leurs réserves minérales sont très faibles; l'acidification s'étend sur une bonne partie d'entre eux (17,5 environ).

Le problème le plus marquant au niveau des AF est l'acidification qui a gagné une bonne part de ces champs. Trente huit pour cent des AF sont déjà à un niveau d'acidité qu'il convient de redresser afin d'avoir un pH favorable au développement des cultures et l'obtention de bons rendements. La liaison très forte entre le pH et le rapport Ca/T indique que la décalcification est le principal processus qui a abouti à la baisse du pH. Cette décalcification risque de s'accroître de par la lixiviation et les exportations par les récoltes non compensées par les apports. Il est déjà nécessaire à défaut d'apporter du Ca en même temps que les autres éléments minéraux de définir une politique d'amendement calcique intégrée au système d'intensification proposé. Du fait des mobilisations importantes en K₂O et des faibles niveaux de restitution des résidus de récolte, le bilan potassique est généralement déficitaire. La faiblesse du statut potassique du sol, qui apparaît déjà comme élément limitant des rendements, doit inciter à porter une attention particulière au potassium. Le calendrier cultural et le niveau de technicité des paysans, l'utilisation multiple des résidus de récolte, rendent difficiles l'émergence d'une solution réalisable actuellement pour une restitution des pailles plus importante et qualitativement plus satisfaisante que celle de la pratique du brûlis en différents endroits du champ, pratique qui entretient et même accentue l'hétérogénéité du sol sous culture continue en milieu paysan. Enfin il semble important de mettre davantage l'accent sur une bonne application des thèmes culturaux (semis, épandage des engrais, démarrage, sarclages, etc...). La deuxième année de ce travail intégrera dans une ACP, sous forme de variables binaires, ces paramètres culturaux afin d'explicitier leurs effets sur les rendements dans les champs paysans.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier tout particulièrement J.P. NDIAYE, P. SIBAND, S. DIATTA pour leurs critiques et suggestions qui m'ont été d'un grand apport dans ce travail. Mes remerciements vont également à Aliou DIOB (SR/Techno) pour son soutien amical et sa disponibilité entière pour les calculs et les interprétations statistiques. A M. ARNAUD, statisticien au service de méthodologie de l'IRAT/Montpellier, je formule mes sincères remerciements pour les traitements multivariés effectués et l'aide qu'il m'a apportée dans l'interprétation des ACP et des AFD.

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

- 1- FAUCK, MOUREAUX, THOMANN (1969).
Bilans de l'évolution des sols de Séfa après quinze années de culture continue
Agron. Trop. vol. XXIV n°3
- 2- BOUYER (S.), MARA (M.), DIAGNE (M.) (1964).
L'évolution d'un sol dans un secteur de modernisation agricole au Sénégal: Cas du secteur de Boulol.
Annales CRA Bamboey
- 3- SIBAND (P.) (1974).
Evolution des caractères et de la fertilité d'un sol rouge de Casamance
Agron. Trop. Vol. XXIX N° 12.
- 4- SIBAND (P.) (1972)
Etude de l'évolution des sols sous culture traditionnelle en Haute-Casamance
Agron. Trop. Vol XXVII N° 5.
- 5- R. BERTRAND (1972).
Morphopédologie et orientations culturales des régions soudanaises du Sine-Saloum.
Agron. Trop. Vol. XXII N° 11.
- 6 POULAIN (J.F.) (1967).
Intérêts et limites des analyses physico-chimiques des terres dans l'établissement du diagnostic de la fertilisation.
Colloque sur la Fertilité des sols tropicaux. Tananarive.
- 7- LGUC (A.) (1967).
Fertilisation minérale du maïs: II Diagnostic foliaire du maïs
Colloque sur la fertilité des sols tropicaux, Tananarive
- 8- BOYER (J.) (1970).
Essai de synthèse des connaissances acquises sur les facteurs de fertilité des sols en Afrique intertropicale francophone - Comité des sols tropicaux - Londres 8-10 juin 1970
- 9- DABIN (B.) (1970).
Les facteurs chimiques de la fertilité des sols
Techniques culturales en Afrique.
- 10- PIERI (C.) (1974)
Sensibilité de l'arachide à la toxicité aluminique.
Doc. ronéo. IRAT/Sénégal.
- 11- PIERI (C.) (1974).
L'acidification de terres de culture exondées au Sénégal.
Doc. ronéo. IRAT/Sénégal.
- 12- Effets de la fertilisation minérale sur la production agricole en milieu tropical
Colloque sur la fertilité des sols tropicaux
Tananarive 19-25 Nov. 1967 - 427-468.

- 13- BENNETT (W.F.), GEORGES STANFORD and L. DUMENIL (1953).
Nitrogen, phosphorus and potassium content of the corn leaf and grain as related to nitrogen fertilisation and yield.
Soil sci. Amer. 17 - 252-258.
- 14- LOUE (A.)
Analyses du sol et de la plante pour le contrôle de l'expérimentation
Revue de la potasse*
- 15- DUMENIL (L.) (1961).
Nitrogen and phosphorus composition of corn leaves and corn yield on relation to critical levels and nutrient balance.
Soil sci. Amer. Proc. - 25 - 295-298.
- 16- SOLTNER (D.) (1978).
Les bases de la production végétale
Tome 1. Le Sol.
- 17- BOIFFIN (J.), SEBILLOTTE (M.) (1975).
Influence des conditions écologiques et de l'histoire culturale sur le rendement du maïs-grain. Analyse de 8 campagnes sur un essai de longue durée.
Annales agron. 26(5) - 555-591.
- 18- DIATTA (S.) (1976).
Etude de l'évolution sous culture des sols de plateau en Casamance continentale.
Rapport d'activité.
- 19- DREVON (J.J.) (1978).
Eléments pour une étude des apports de matière organique aux sols dans le bassin arachidier au SN.
- 20- TCHAKERIAN (E.) (1980).
Les relations entre agriculture et élevage dans un milieu agro-pastoral en évolution: Exemple du parcage de saison sèche 1978 dans l'Unité Expérimentale de Thyssé-Kayemor-Sonkorong.

A N N E X E S

N°	CHAMPS ORDINAIRES (CO)				TOLKEUR (TK)				AMELIORATIONS FONCIERES (AF)							
	Densité de peuplement (pieds/ha)	RENDEMENTS			Résidus de récolte (kg/ha)	Densité de peuplement (Pieds/ha)	RENDEMENTS			Résidus de récolte (kg/ha)	Densité de peuplement (pieds/ha)	RENDEMENTS			Résidus de récolte (kg/ha)	
	Grain (kg/ha)	Par pied (g/pied)	Paille (kg/ha)		Grain (kg/ha)	Par pied (g/pied)	Paille (kg/ha)		Grain (kg/ha)	Par pied (g/pied)	Paille (kg/ha)		Grain (kg/ha)	Par pied (g/pied)	Paille (kg/ha)	
1	21.600	690	33	1636	439* (27)	24.200	1892	88	2491	785* (32)	24.400	931	64	3700	1290* (35)	
2	22.000	1192	57	2945	292 (10)	28.200	2200	90	5463	1122 (21)	31.200	1959	67	6130	1290* (21)	
3	18.800	978	55	980	264* (27)	24.200	2325	100	1993	785* (39)	27.200	2736	121	1802	1543 (86)	
4	30.600	96	3	2797	439* (16)	36.000	2681	50	1944	312 (16)	21.400	1751	83	5714	539 (9)	
5	22.200	1071	50	2809	268 (10)	28.000	2632	76	1591	884 (56)	35.800	2383	43	2764	2011 (73)	
6	23.600	2595	72	2040	766* (38)	20.000	2762	143	3549	1288 (36)	31.400	2435	81	4336	1441 (33)	
7	31000	1823	63	3940	439* (11)	22.600	897	43	2339	612 (21)	23.800	1839	82	2361	1539 (65)	
8	42.400	2420	60	5858	1176 (20)	25.000	1327	58	2782	368 (13)	28.400	2813	104	4868	1456* (30)	
9	32.200	1710	56	1919	790 (41)	32.200	1235	46	2587	785* (30)	29.000	2489	89	4274	1290* (30)	
10	20.400	7206	62	1557	310 (20)	26.200	2239	91	1624	358 (22)	27.400	1366	52	2914	1290* (44)	
11	40.600	1351	35	35%	439* (12)	24.400	2491	107	3481	1029 (30)	26.400	2774	74	5842	8772 (30)	
12	31.000	2090	70	4184	439* (10)	26.400	1398	54	4192	914 (22)	31.000	2589	89	3416	795 (23)	
13	20.800	1773	89	842	439* (52)	37.400	2636	76	3085	316 (10)	48.400	3215	72	5292	1180 (22)	
14	18.200	615	35	270	200 (74)	33.600	2810	88	2981	816 (27)	35.200	2470	72	3473	1141 (33)	
15	22.000	367	19	1560	439* (28)	32.600	2038	64	2402	504 (21)	34.200	1500	47	3864	1290* (33)	
16	23.400	819	34	526	439* (83)	33.000	4300	135	7379	1183 (16)	33.000	2075	66	4117	1108 (27)	
17	32.600	1396	44	4566	40 (1)	31.000	1234	41	1655	352 (21)	34.600	372	71	1423	1277 (86)	
18	32.200	1246	42	1755	280 (16)	24.600	3190	138	4722	1711 (36)	23.400	2156	56	1316	652 (50)	
19		-	-	-	-		-	-	-	-	34.600	2773	57	5510	1648 (30)	
20		-	-	-	-		-	-	-	-	33.200	2791	89	4506	1293 (29)	
21		-	-	-	-		-	-	-	-	4600	2619	60	4224	1290* (31)	

TABLEAU V : Tableau de données

* Valeurs ajustées à la moyenne générale

(.) Chiffre représentant le pourcentage de restitution des pailles.

CO	N				P ₂ O ₅				K ₂ O				CaO				MgO			
	AP	MO	EX	B	AP	MO	EX	B	AP	MO	EX	B	AP	MO	EX	B	AP	MO	EX	B
1	62.67	16.89	16.89	+45.78	36	3.67	3.29	+32.71	54	32.76	24.96	+29.04	0	7.60	5.62	-5.62	0	12.02	10.69	-10.69
2	62.67	44.87	44.87	+17.80	36	8.20	7.73	+28.22	54	55.21	50.76	+3.24	0	20.77	18.74	-18.74	0	12.88	11.82	-11.82
3	62.67	14.40	14.40	+48.27	36	3.74	3.52	+32.48	54	21.49	17.98	+36.02	0	4.45	3.28	-3.28	0	4.65	4.28	-4.28
4	62.67	17.29	17.29	+25.38	36	2.94	2.53	+33.47	54	58.18	49.15	+4.85	0	14.64	12.35	-12.35	0	8.44	7.20	-7.20
5	62.67	30.83	30.83	+31.80	36	7.06	6.70	+29.30	54	56.74	52.20	+1.80	0	17.96	16.26	-16.26	0	19.48	17.79	-17.79
6	62.67	50	50	+12.67	36	10.35	9.65	+26.35	54	35.33	28.84	+25.16	0	16.82	10.64	-10.64	0	18.57	13.23	-13.23
7	62.67	60.66	60.66	+2.01	36	13.12	12.30	+23.70	54	83.23	75.63	-21.63	0	25.66	26.40	-26.40	0	20.89	18.91	-18.91
8	62.67	54.61	54.61	+8.06	36	11.63	10.66	+25.34	54	127.05	104.85	-50.85	0	33.29	26.69	-26.69	0	33.87	27.82	-27.82
9	62.67	34.39	34.39	+28.28	36	6.52	5.69	+30.31	54	42.03	30.18	+23.82	0	12.26	7.33	-7.33	0	13.92	9.46	-9.46
10	62.67	32.51	32.51	+30.16	36	5.12	4.80	+31.20	54	15.07	13.72	+40.28	0	10.45	8.41	-8.41	0	14.09	11.70	-11.70
11	62.67	39.89	39.89	+22.78	36	7.02	6.66	+29.32	54	36.78	33.65	+20.35	0	21.55	18.95	-18.95	0	22.68	20.20	-20.20
12	62.67	45.43	45.43	+17.24	36	10.19	9.70	+26.30	54	66.01	60.54	-6.54	0	33.13	29.69	-29.69	0	34.58	31.30	-31.30
13	62.67	23.29	23.29	+39.38	36	6.04	5.55	+30.45	54	27.23	20.38	+33.62	0	4.54	2.39	-2.39	0	3.55	2.35	-2.35
14	62.67	8.52	8.52	+54.15	36	1.93	1.77	+34.23	54	7.43	6.12	+47.88	0	1.75	.52	-.52	0	2.59	1.39	-1.39
15	62.67	16.24	16.24	+46.43	36	3.32	2.65	+33.35	54	18.95	14.25	+31.75	0	9.28	6.68	-6.68	0	10.70	7.86	-7.86
16	62.67	11.99	11.93	+50.68	36	3.06	2.32	+33.68	54	14.93	7.39	+46.61	0	3.20	.63	-.63	0	2.75	1.55	-1.55
17	62.67	59.36	59.36	+3.31	36	10.77	10.70	+25.30	54	89.41	88.72	-34.72	0	43.82	43.44	-43.44	0	24.96	24.74	-24.74
18	62.67	28.27	28.27	+34.40	36	5.23	4.85	+31.15	54	31.90	28.24	+25.76	0	10.07	8.48	-8.48	0	12.74	11.03	-11.03

TABLEAU VI : Bilan minéral (exprimé en kg/ha) des Champs Ordinaires (CO)

AP = apport; MO = mobilisation; EX = Exportations, B = bilan (apports - exportations)

TK	N				P ₂ O ₅				K ₂ O				CaO				MgO			
	AP	MO	EX	B	AP	MO	EX	B	AP	MO	EX	B	AP	MO	EX	B	AP	MO	EX	B
1	62.67	53.39	53.39	+ 9.28	36	17.21	15.38	+ 20.62	5	68.99	65.43	-11.43	0	10.10	6.98	-6.98	0	11.63	9.31	- 9.31
2	62.67	84.11	84.11	-21.44	36	21.24	19.18	+16.82	5	225.79	182.89	-128.89	0	23.74	19.03	-19.03	0	16.15	12.16	-12.16
3	62.67	51.18	51.18	+11.49	36	15.60	14.27	+21.73	5	98.35	66.06	-12.04	0	6.56	4.02	- 4.02	0	9.82	7.79	- 7.79
4	62.67	48.85	48.85	+13.82	36	14.16	13.81	+22.10	5	80.13	70.24	-16.24	0	6.58	5.54	- 5.54	0	11.77	10.69	-10.69
5	62.67	55.95	55.95	+ 6.72	36	19.18	16.45	+19.55	5	64.17	39.46	+14.54	0	6.61	2.07	- 2.07	0	10.47	7.81	- 7.81
6	62.67	62.57	62.57	+ 0.10	36	19.47	17.11	+18.89	5	78.51	56.69	- 2.69	0	23.02	14.30	-14.30	0	20.42	14.67	-14.67
7	62.67	32.72	32.72	+29.95	36	7.76	6.88	+29.12	5	50.09	40.91	+13.09	0	24.42	19.35	-19.35	0	17.46	14.12	-14.12
8	62.67	38.31	38.31	+24.36	36	11.83	11.14	+24.86	5	81.87	72.43	-18.43	0	16.01	14.06	-14.06	0	14.03	12.47	-12.47
9	62.67	42.82	42.82	+19.85	36	14.28	11.85	+24.15	5	95.60	70.14	-16.14	0	20.13	14.09	-14.09	0	15.51	11.54	-11.54
10	62.67	31.72	31.72	+30.95	36	19.50	17.76	+18.24	5	51.28	43.97	+10.03	0	5.28	4.15	- 4.15	0	8.78	7.78	- 7.78
11	62.67	54.44	54.44	+ 8.23	36	15.12	13.92	+22.08	5	91.25	69.34	-15.34	0	20.52	14.56	-14.56	0	19.16	14.75	-14.75
12	62.67	40.70	40.70	+21.97	36	7.23	6.43	+29.57	5	101.62	81.49	-27.49	0	24.78	19.41	-19.41	0	23.24	18.69	-18.69
13	62.67	56.98	56.98	+ 5.69	36	12.67	12.16	+23.87	5	92.01	84.48	-30.48	0	18.19	16.36	-16.36	0	17.66	16.39	-16.39
14	62.67	65.68	65.68	- 3.01	36	12.38	11.30	+24.70	5	90.52	70.48	-18.48	0	22.69	16.57	-16.57	0	22.52	17.71	-17.71
15	62.67	40.25	40.25	+22.42	36	9.29	8.39	+27.61	5	64.78	54.43	- 4.43	0	15.47	12.28	-12.28	0	13.84	11.70	-11.70
16	62.67	125.94	125.94	-63.67	36	42.65	37.94	- 1.94	5	185.01	160.25	-106.25	0	35.10	29.58	-29.58	0	31.10	27.60	-27.60
17	62.67	18.04	18.04	+44.13	36	5.24	4.93	+31.07	5	37.53	31.69	+22.31	0	9.72	7.69	- 7.69	0	10.46	8.65	- 8.65
18	62.67	65.43	65.43	- 2.76	36	16.58	13.95	+22.05	5	88.40	63.35	- 9.35	0	29.12	18.84	-18.84	0	22.02	16.03	-16.03

TABEAU II : Bilan minéral (exprimé en kg/ha) des TK

AP = apports , MO= mobilisations; EX = exportations; B : bilan apports - exportations).

AF	N				P ₂ O ₅				K ₂ O				CaO				MgO			
	AP	MO	EX	B	AP	MO	EX	B	AP	MO	EX	B	AP	MO	EX	B	AP	MO	EX	B
1	109.34	90.00	50.00	+59.34	36	12.30	9.85	+26.15	54	83.70	57.63	-3.63	0	20.26	13.31	-13.31	0	17.96	12.44	-12.44
2	109.34	56.26	56.26	+53.08	36	12.99	12.10	+23.90	54	104.81	88.39	-32.39	0	37.41	29.64	-29.64	0	29.47	23.99	-23.99
3	109.34	58.88	58.88	+50.46	36	15.93	13.31	+22.19	54	57.83	24.41	+29.59	0	9.67	1.63	-1.63	0	11.66	6.10	-6.10
4	109.34	78.83	78.83	+30.51	36	24.45	23.12	+12.88	54	169.94	155.07	-101.07	0	46.07	41.74	-41.74	0	19.37	17.83	-17.83
5	109.34	64.81	64.81	+44.53	36	16.24	13.75	+22.25	54	80.52	34.96	+19.04	0	23.29	4.45	-4.45	0	18.91	8.33	-8.33
6	109.34	75.84	75.84	+33.50	36	17.41	15.60	+20.40	54	102.47	73.87	-19.87	0	25.33	16.98	-16.98	0	21.26	15.81	-15.81
7	109.34	43.07	43.07	+66.27	36	11.60	10.19	+25.81	54	36.39	22.61	+31.39	0	11.21	4.08	-4.08	0	13.34	6.99	-6.99
8	109.34	69.78	69.78	+39.56	36	19.64	18.27	+17.73	54	32.98	20.40	+25.60	0	30.82	21.65	-21.65	0	27.41	20.64	-20.64
9	109.34	68.25	68.25	+41.09	36	14.10	13.30	+22.70	54	67.07	52.09	+1.91	0	23.82	16.67	-16.67	0	22.18	16.70	-16.70
10	109.34	36.63	36.63	+72.71	36	4.76	3.16	+32.16	54	20.10	14.79	+39.21	0	9.79	5.51	-5.51	0	12.28	7.83	-7.83
11	109.34	89.17	89.17	+20.17	36	21.82	19.63	+18.81	54	100.74	75.87	-21.87	0	38.78	27.10	-27.10	0	39.22	30.41	-30.41
12	109.34	61.39	61.39	+47.95	36	14.58	13.72	+22.28	54	136.26	124.91	-70.91	0	18.89	14.55	-14.55	0	19.45	15.90	-15.90
13	109.34	76.66	76.66	+32.68	36	20.61	19.04	+16.96	54	77.47	66.19	-12.19	0	41.59	32.40	-32.40	0	38	30.79	-30.79
14	109.34	64.65	64.65	+44.69	36	16.67	15.39	+20.61	54	47.70	37.48	+16.52	0	26.36	17.77	-17.77	0	27.82	20.34	-20.34
15	109.34	47.93	47.93	+61.41	36	9.40	8.28	+27.72	54	66.74	48.65	+5.35	0	32.76	21.87	-21.87	0	27.86	19.40	-19.40
16	109.34	44.77	44.77	+64.57	36	13.96	12.97	+23.03	54	53.56	43.37	+10.63	0	22.62	16.57	-16.57	0	25.98	19.93	-19.93
17	109.34	35.01	35.01	+74.33	36	10.54	6.77	+29.23	54	39.83	15.93	+38.07	0	8.47	1.36	-1.36	0	9.09	3.39	-3.39
18	109.34	42.95	42.95	+66.39	36	11.87	11.05	+24.95	54	44.62	30.50	+23.50	0	7.56	3.88	-3.88	0	10.07	7.04	-7.04
19	109.34	86.63	86.63	+22.71	36	17.62	15.51	+20.49	54	49.93	39.96	+14.04	0	54.94	38.56	-38.56	0	47.98	34.85	-34.85
20	109.34	79.96	79.96	+29.38	36	20.86	18.78	+17.22	54	40.89	34.63	+19.37	0	40.46	28.92	-28.92	0	39.62	29.75	-29.75
21	109.34	58.30	58.30	+51.04	36	12.03	10.10	+25.90	54	49.35	35.02	+14.98	0	23.37	16.33	-16.33	0	17.99	13.94	-13.94

TABLEAU VIII : Bilan minéral (exprimé en kg/ha) des AF

AP = apports; MO = mobilisations; EX = exportations; B = bilan (apports - exportations)

Liste des variables

DEN : densité de peuplement
RDG : rendement en grains
RDP : rendement en paille
AL1 : A + L
Cl : C
N1 : N
PA1 : P₂O₅ assimilable
PT1 : P₂O₅ total
KT1 : K total
KE1 : K échangeable Horizon (0-20)
CA1 : ca
MG1 : Mg
/T1 : K/T
S1 : s
T1 : T
PH1 : PH KCl
AL2 : A + L
c2 : c
N2 : N
PA2 : P₂O₅ assimilable
PT2 : P₂O₅ total
KT2 : K total
KE2 : K échangeable Horizon (20-40)
MG2 : Mg
/T2 : K/T
s2 : s
T2 : T
PH2 : PH KCl
NF : N
PI- : P
KF : K Diagnostic foliaire feuille
CAF : Ca de l'épi principal
MGF : Mg
NP : N
PP : P
KP : K Plante entière
CAP : Ca Paille : tiges + feuilles
MGP : Mg
NR : N
PR : P
KR : K Plante entière
CAR : Ca Rachis
MGR : Mg
NG : N
PG : P
KG : K Plante entière
CAG : Ca Grains
MGG : Mg

Code des modalités des individus passifs

DEN1	=	cdg*	des champs tels que :				DEN	≤	24.910 (pieds/ha)		
DEN2	=	" "		99	"	"	24190	↗	DEN	≤	31620 --
DEN3	=	" "		"	"	99	31620	<	DEN		
RDG1	=	" "		"	"	71			RDG	≤	1050 (kg/ha)
RDG2	=	" "		"	"	VI	1050	<	RDG	≤	1497
RDG3	=	" "		"	"	91	1497	<	RDG	≤	2431
RDG4	=	" "		"	"	71	2431	↗	RDG		
RDP1	=	" "		"	"	"			RDP	≤	2637 (kg/ha)
RDP2	=	" "		91	"	"	2637	<	RDP	≤	4215
RDP3	=	" "		"	"	99	4215	<	RDP		
AL1 1	=	" "		"	"	19			AL1	≤	11 (%)
AL1 2	=	" "		"	"	"	11	<	AL1	≤	13
AL13	=	" "		"	"	"	13	<	AL1		
C11	=	" "		99	"	"			Cl	≤	3.72 (‰)
C12	=	" "		99	99	VI	3.72	<	Cl	≤	4.44
C13	=	" "		99	"	"	4.44	<	Cl		
N1 1	=	" "		"	"	91			NI	≤	0.27 (‰)
N12	=	" "		97	"	91	0.27	<	N1	≤	0.33
N13	=	" "		19	99	"	0.33	<	N1		
PA1 1	=	" "		"	"	"			PA1	≤	30 (ppm)
PA12	=	" "		"	"	"	30	<	PA1		
PT11	=	" "		"	"	"			PT1	≤	0.22 (\$)
PT12	=	" "		"	"	"	0.22	<	PT1	≤	0.26
PT13	=	" "		"	"	"	0.26	↗	PT1		
KT11	=	" "		"	"	"			KT1	≤	3.33 (meq/100 g)
KT12	=	" "		79	"	91	3.33	<	KT1	≤	4.11
KT13	=	" "		"	91	"	4.11	<	KT1		
KE1 1	=	" "		"	"	"			KE1	≤	0.1 (meq/100 g)
KE12	=	" "		11	99	"	0.1	<	KE1	≤	0.22
KE13	=	" "		"	97	"	0.22	<	KE1		
CA11	=	" "		"	79	"			CA1	≤	1.85 (meq/100 g)
CA12	=	" "		"	"	19	1.85	↗	CA1		
MG11	=	" "		"	"	99			MG1	≤	0.34 (meq/100 g)
MG12	=	" "		"	"	"	0.34	<	MG1	≤	0.56
MG13	=	" "		"	"	"	0.56	<	MG1		
/T11	=	" "		"	"	"			/T1	≤	5.18 (%)
/T12	=	" "		"	"	"	5.18	<	/T1	≤	9.44
/T13	=	" "		"	"	"	9.44	<	/T1		

* cdg = centre de gravité ou point moyen

S11 = cdg des champs tels que : SI : 2.34 (meq/100 g)
S12 = " " " : 2.34 < S1 : 3.56
S13 = " " " : 3.56 < SI

T11 = " " " : T1 51.62 (meq/100 g)
T12 = " " " : 1.62 < T1 2.18
T13 = " " " : 2.18 < T1

PH11 = " " " : PH1 < 4.82
PH12 = " " " : 4.82 < PH1 : 5.54
PH13 = " " " : 5.54 < PH1

AI'21 = " " " : AI2 < 16.4 (%)
AI22 = " " " : 16.4 < AI2 : 19
AI23 = " " " : 19 < AI2

C21 = " " " : C2 < 2.53 (%)
C22 = " " " : 2.53 < C2 : 2.99
C23 = " " " : 2.99 < C2

N21 = " " " : N2 < 0.20 (SO)
N22 = " " " : 0.20 < N2 : 0.27
N23 = " " " : 0.27 < N2

PA21 = " " " : PA2 < 4 (ppm)
PA22 = " " " : 4 < PA2

PT21 = " " " : PT2 < 0.213 (SO)
PT22 = " " " : 0.213 < PT2 : 0.239
PT23 = " " " : 0.239 < PT2

KT21 = " " " : KT2 < 3.4 (meq/100 g)
KT22 = " " " : 3.4 < KT2 : 4.25
KT23 = " " " : 4.25 < KT2

KE21 = " " " : KE2 < 0.061 (meq/100 g)
KE22 = " " " : 0.061 < KE2 : 0.169
KE23 = " " " : 0.169 < KE2

CA21 = " " " : CA2 < 1.23 (meq/100 g)
CA22 = " " " : 1.23 < CA2 : 1.73
CA23 = " " " : 1.73 < CA2

MG21 = " " " : MG2 SO.35 (meq/100 g)
MG22 = " " " : 0.60 0.35 < MG2 : 0.60
MG23 = " " " : 0.60 < MG2

/T21 = " " " : /T2 < 3.3 (%)
/T22 = " " " : 3.3 < /T2

S21 = " " " : s2 < 2 (meq/100 g)
s22 = " " " : 2 < S2 : 2.5
s23 = " " " : 2.5 < S2

T21 = " " " : T2 : 2.2 (meq/100 g)
T22 = " " " : 2.2 < T2 : 2.9
T23 = " " " : 2.9 < T2

PH21 = " " " : PH2 < 4.6
PH22 = " " " : 4.6 < PH2 : 4.9
PH23 = " " " : 4.9 < PH2

NF1 = cdg des champs tels que : NF 3.38 (%)
NF2 = " " " : 3.38 NF 3.50
NF3 = " " " : 3.50 NF

PF1 = " " " : PF 0.30 (%)
PP2 = " " " : 0.30 PF 0.36
PF3 = " " " : 0.36 PF

KF1 = " " " : 1.87 KF 2.06 1.87 (%)
KF2 = " " " :
KF3 = " " " : 2.06 KF

CAF1 = " " " : CAF 0.59 (%)
CAF2 = " " " : 0.59 CAF 0.64
CAF3 = " " " : 0.64 CAF

MGF1 = " " " : MGF 0.26 (%)
MGF2 = " " " : 0.26 MGF 0.31
MGF3 = " " " : 0.31 MGF

NP1 = " " " : NP 0.56 (%)
NP2 = " " " : 0.56 NP 0.70
NP3 = " " " : 0.70 NP

PP1 = " " " : PP 0.047 (%)
PP2 = " " " : 0.047 PP 0.067
PP3 = " " " : 0.067 PP

KP1 = " " " : KP 0.94 (%)
KP2 = " " " : 0.94 KKP
KP3 = " " " :

CAP1 = " " " : CAP 0.38 (%)
CAP2 = " " " : 0.38 CAP 0.43
CAP3 = " " " : 0.43 CAP

MGP1 = " " " : MGP 0.22 (%)
MGP2 = " " " : 0.22 MGP 0.33
MGP3 = " " " : 0.33 MGP

NR1 = " " " : NR 0.30 (%)
NR2 = " " " : 0.30 NR 0.35
NR3 = " " " : 0.35 NR

PR1 = " " " : PR 0.026 0.026 0.032 (%)
PR2 = " " " :
PR3 = " " " : 0.032 PR

KR1 = " " " : KR 0.69 (%)
KR2 = " " " : 0.69 KR 0.81
KR3 = " " " : 0.81 KR

CAR1 = " " " : CAR 0.015 (%)
CAR2 = " " " : 0.015 CAR 0.020
CAR3 = " " " : 0.020 CAR

MGR1 = cdg des champs tels que : MGR ≤ 0.03 (%)
MGR2 = " " " : 0.03 < MGR ≤ 0.04
MGR3 = " " " : 0.04 < MGR

NG1 = " " " : NG ≤ 1.26 (%)
NG2 = " " " : 1.26 < NG ≤ 1.48
NG3 = " " " : 1.48 < NG

PG1 = " " " : P G ≤ 0.128 (%)
PG2 = " " " : 0.128 < P G ≤ 0.196
PG3 = " " " : 0.196 < P G

KG1 = " " " : KG ≤ 0.417 (%)
KG2 = " " " : 0.417 < KG ≤ 0.433
KG3 = " " " : 0.433 < KG

CAG1 = " " " : CAG ≤ 0.002 (%)
CAG2 = " " " : 0.002 < CAG

MGG1 = " " " : MGG ≤ 0.093 (%)
MGG2 = " " " : 0.093 < MGG ≤ 0.101
MGG3 = " " " : 0.101 < MGG

Al? = cdg des champs en amélioration foncière
TK = " " en intensification traditionnelle
CO = " " ordinaires

MIL = " " ayant comme précédent culturel le mil
MAI = " " " " " le maïs
ARA = " " " " " l'arachide

PLAT = " " sur plateau
TCAL = " " sur terrasse colluvio-alluviale
TANC = " " " ancienne
DEPR = " " sur dépression
CUV? = " " sur cuvette.

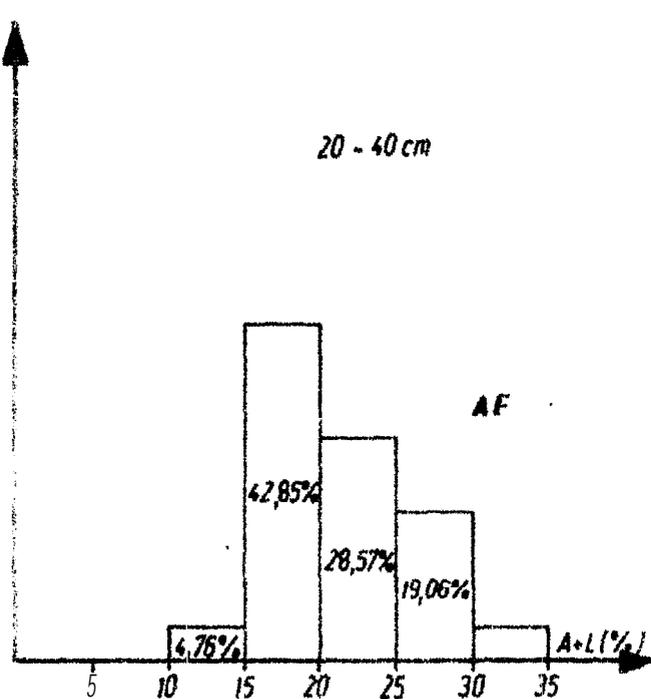
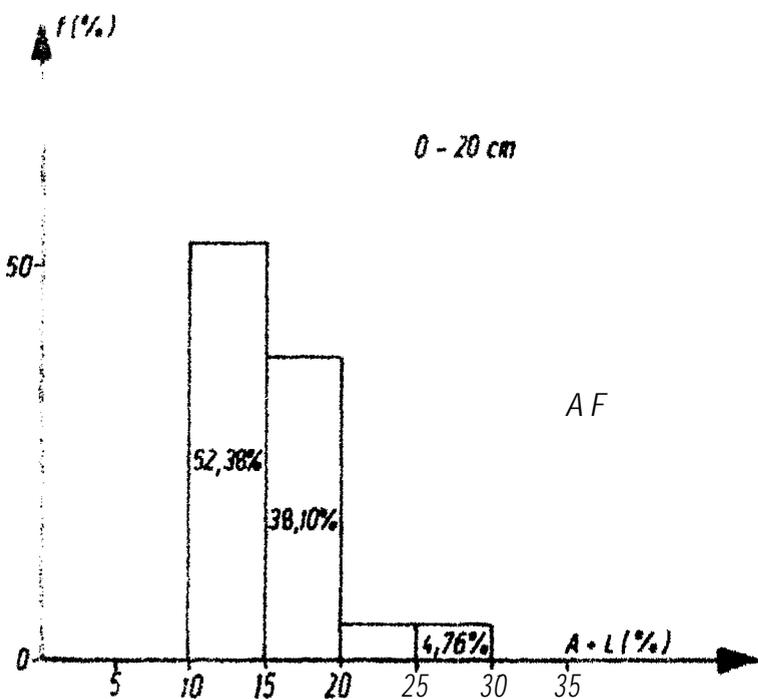
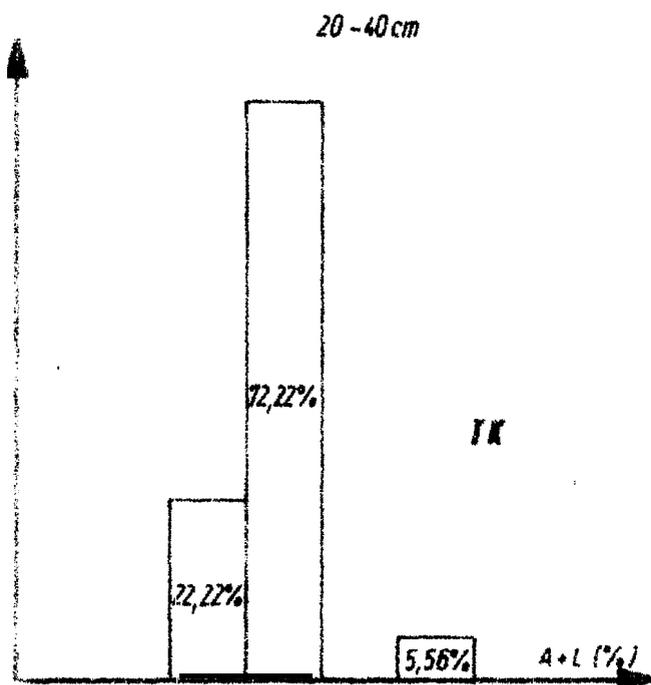
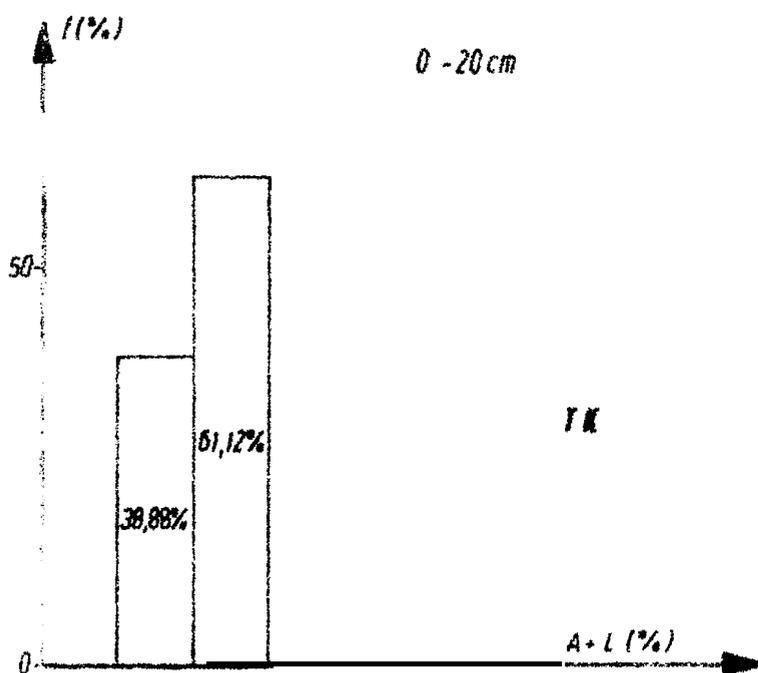
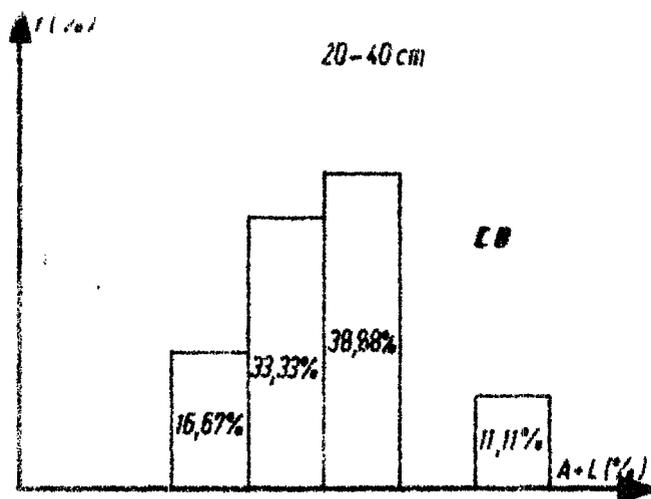
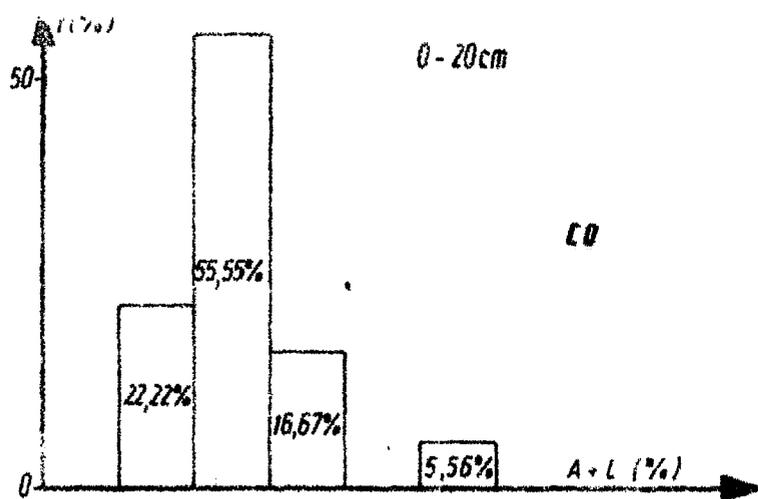


Fig.1 : Distribution fréquentielle du taux (A+L) dans

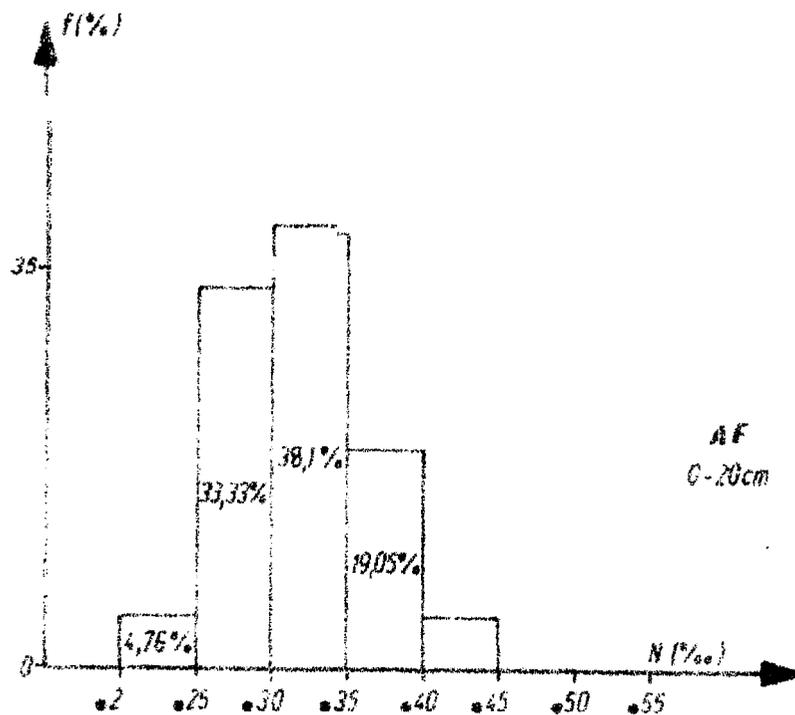
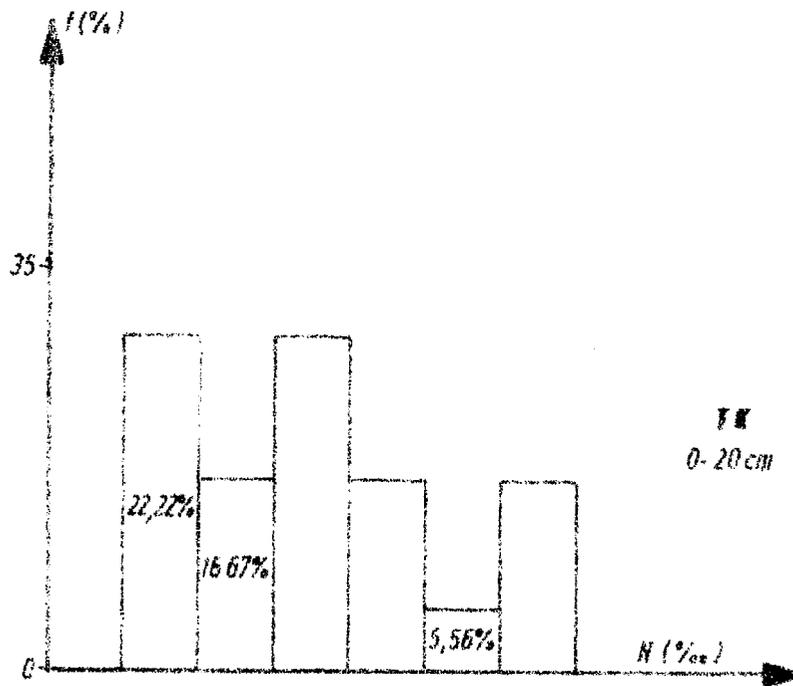
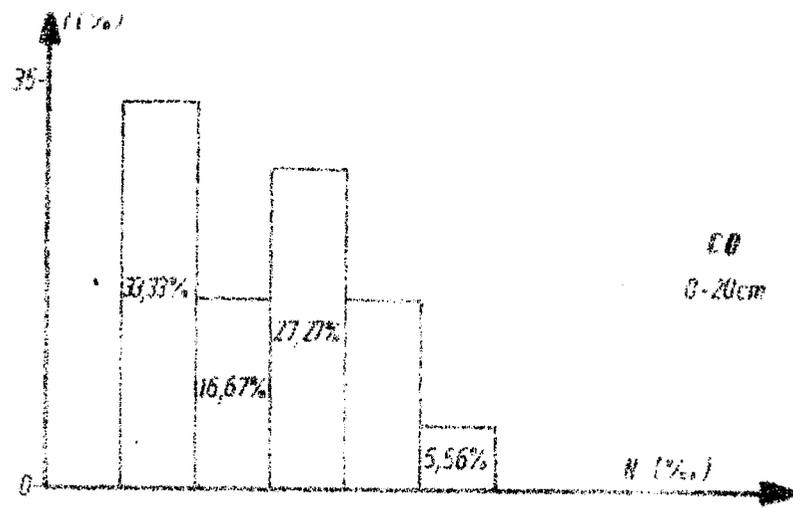


Fig. 2 : Distribution fréquentielle du taux d'azote total

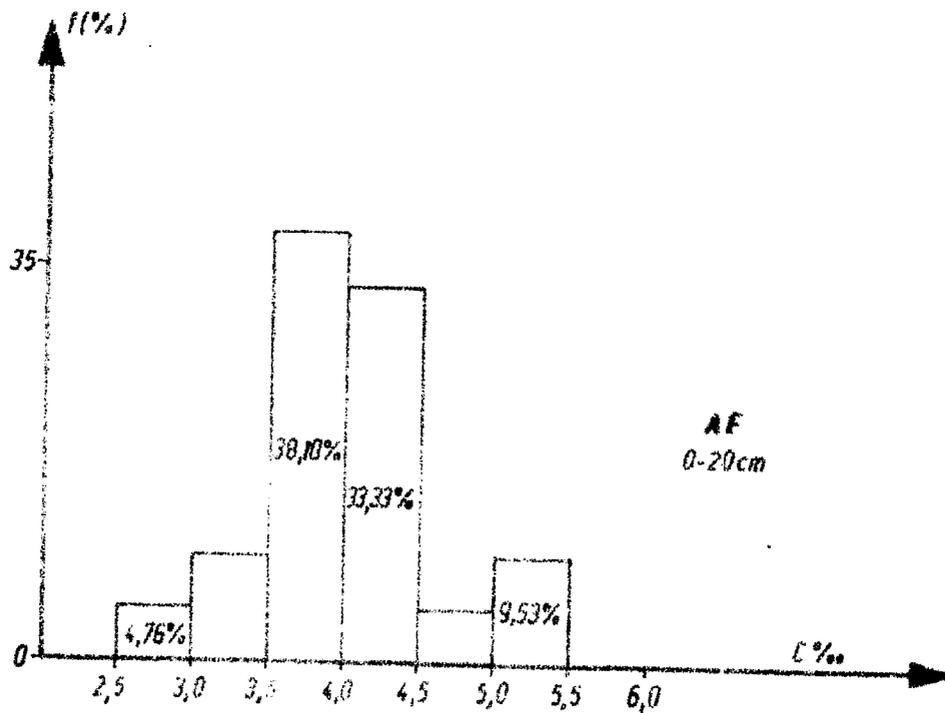
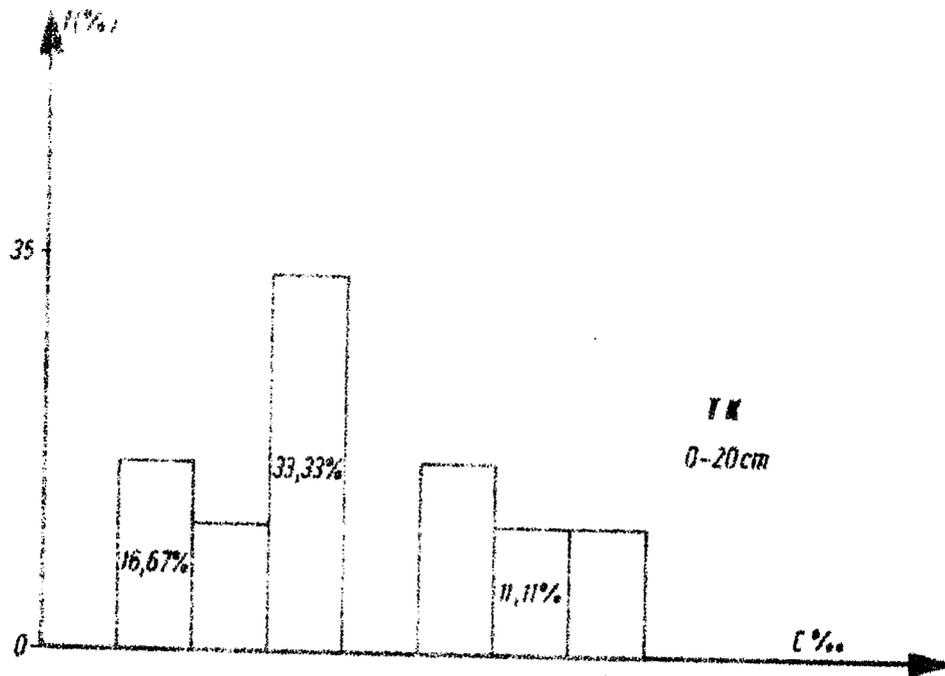
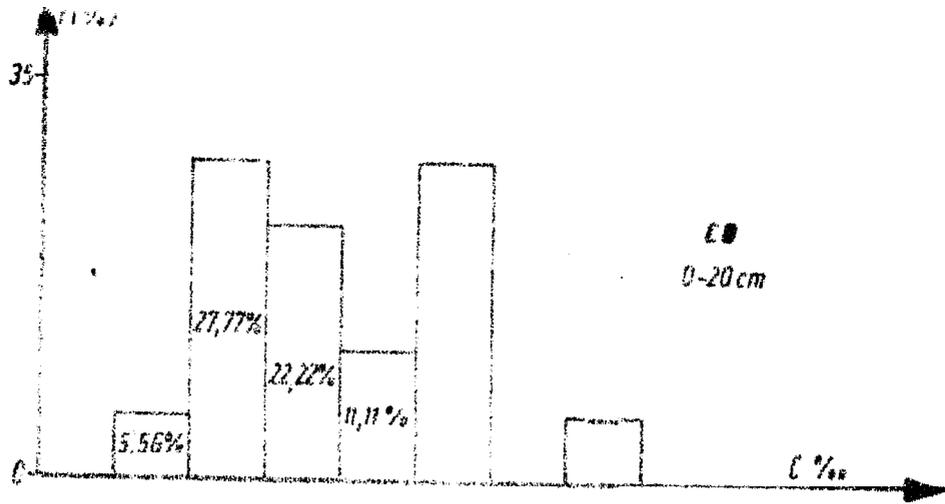


Fig. 3 : Distribution fréquentielle du taux de carbone total

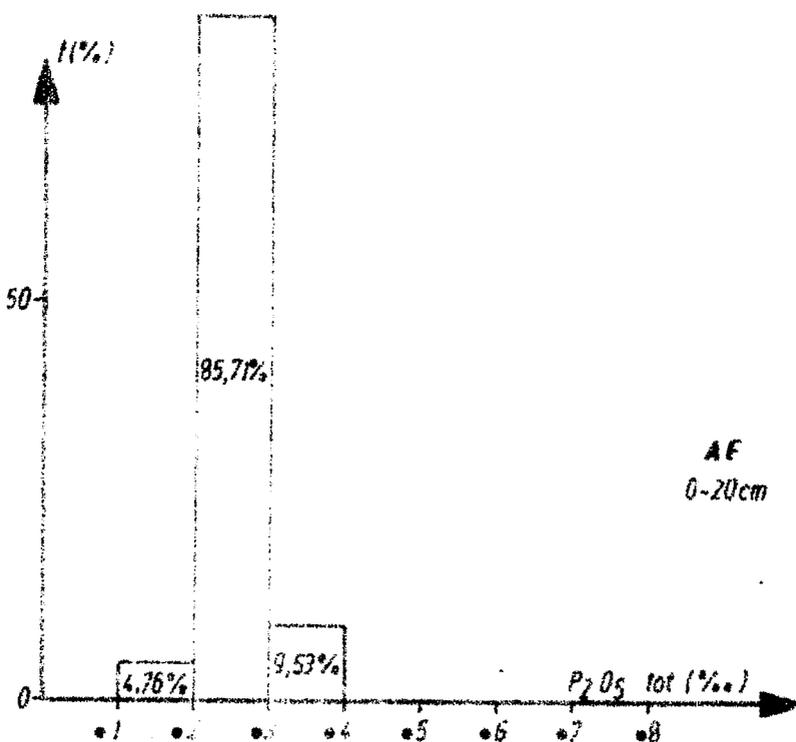
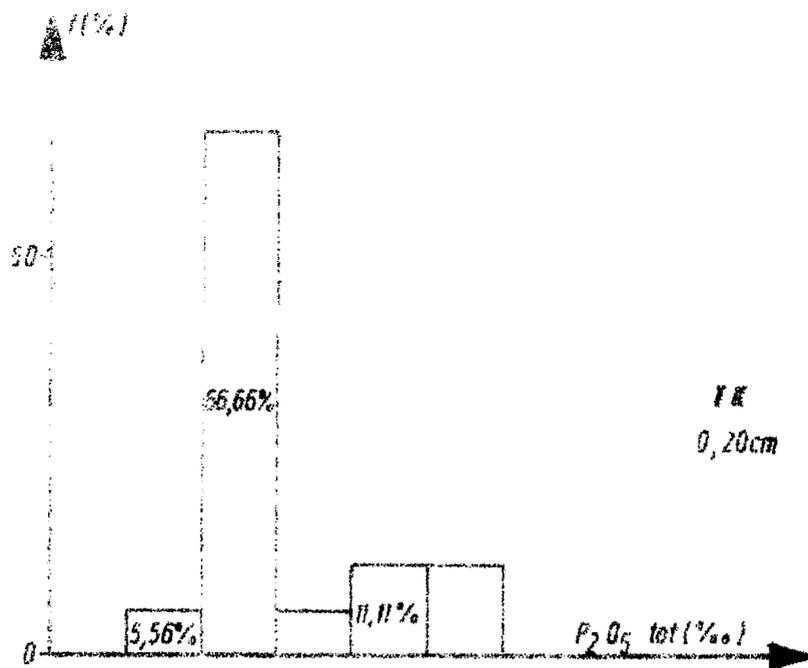
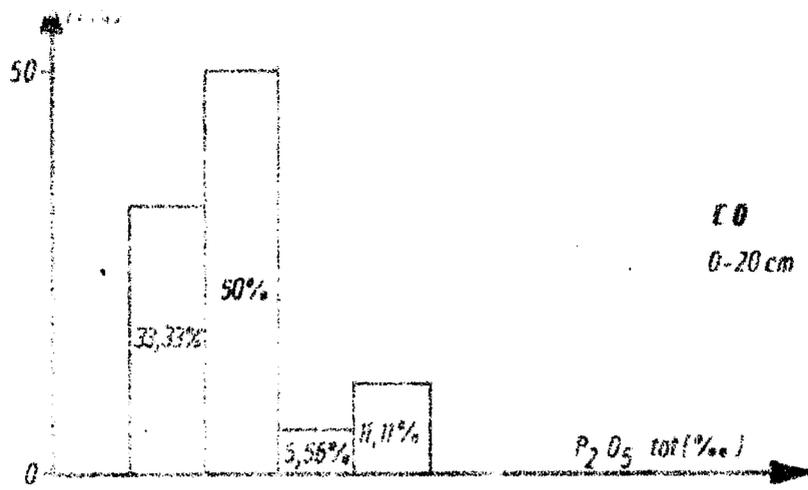


Fig. 4 : Distribution fréquentielle du phosphore total dans

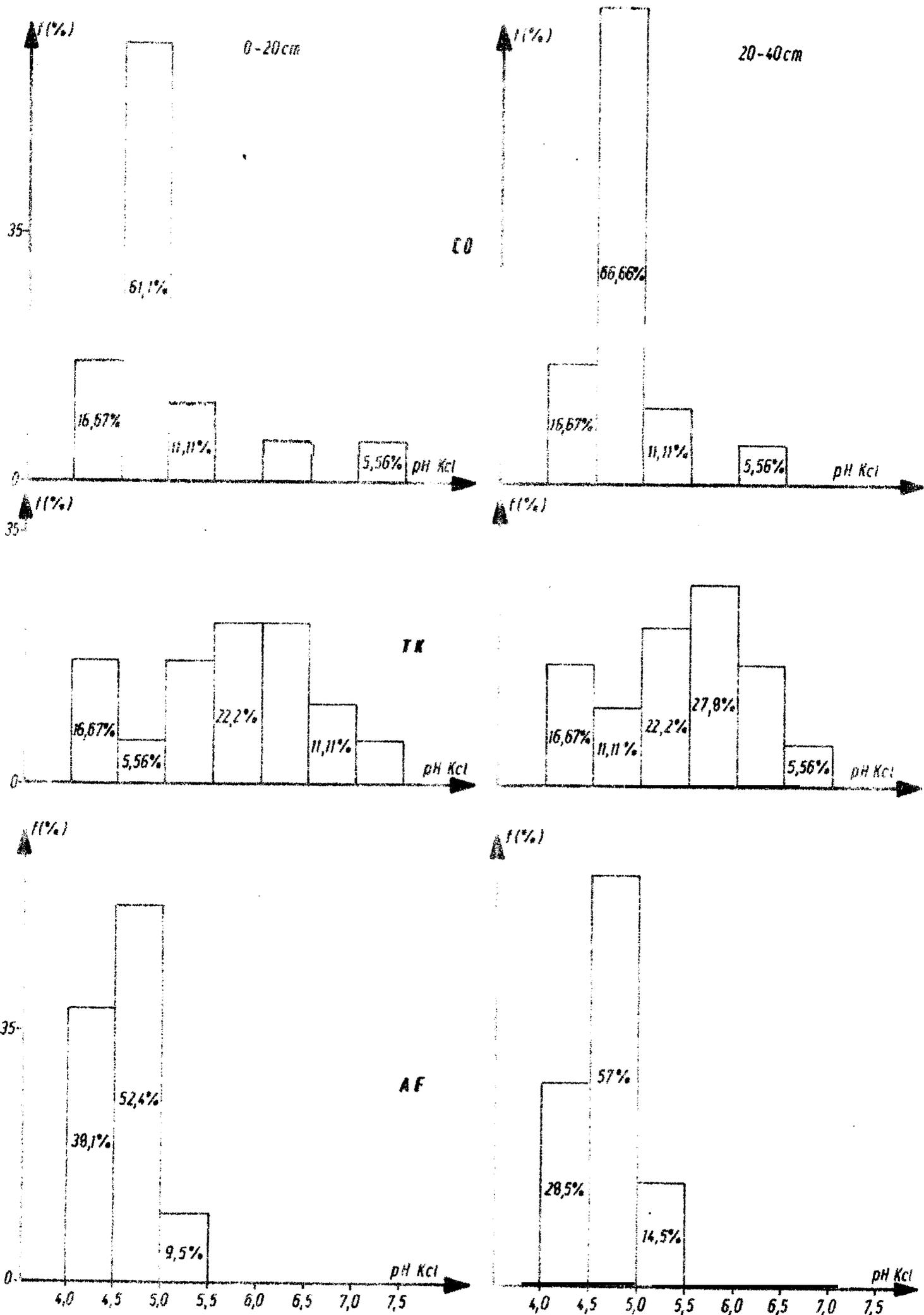


Fig. 5: Distribution fréquentielle du pH KCl dans les trois

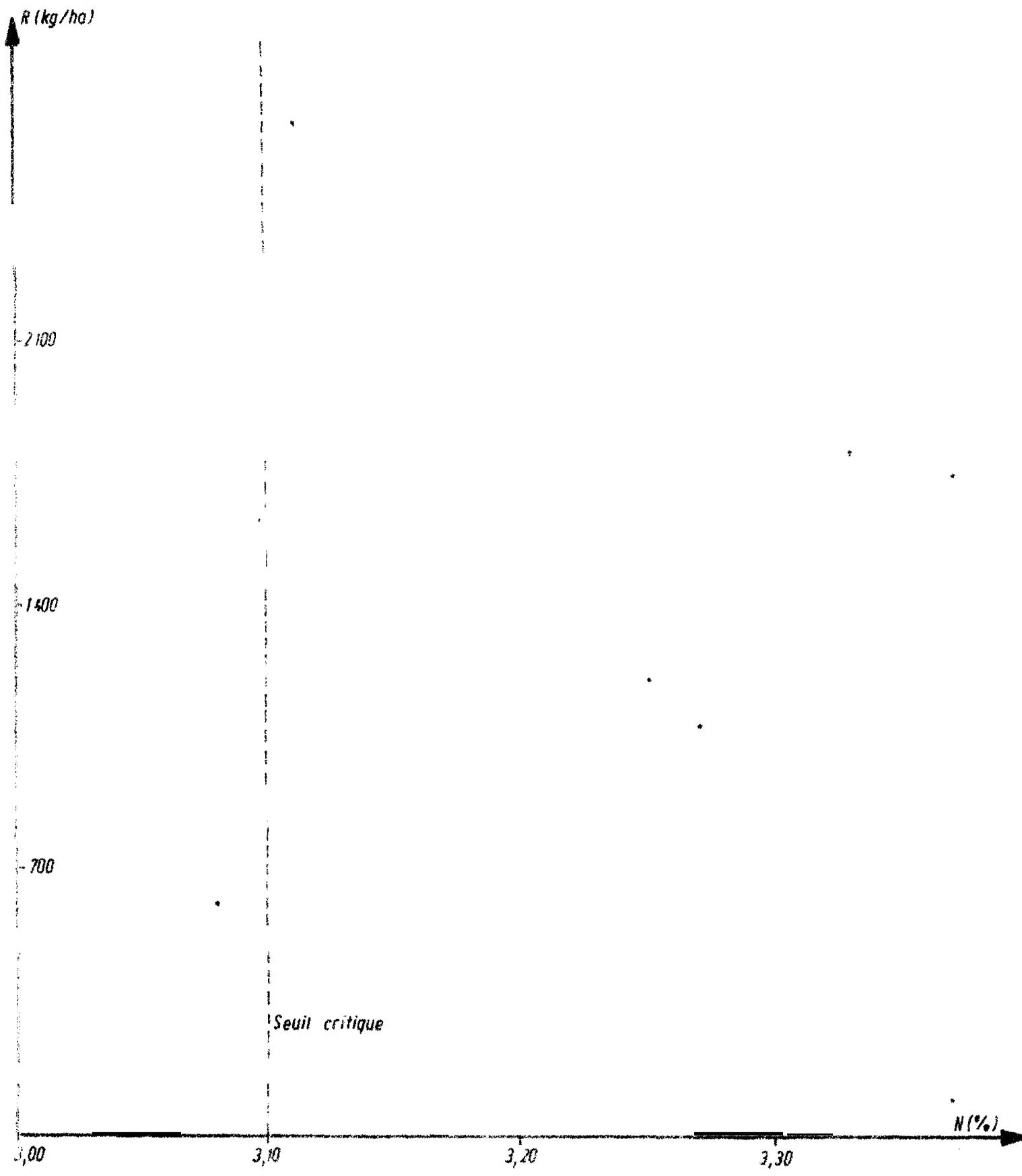


Fig. 6 Diagnostic foliaire: relation entre le rendement et la teneur en N de la feuille de l'épi à la floraison mâle

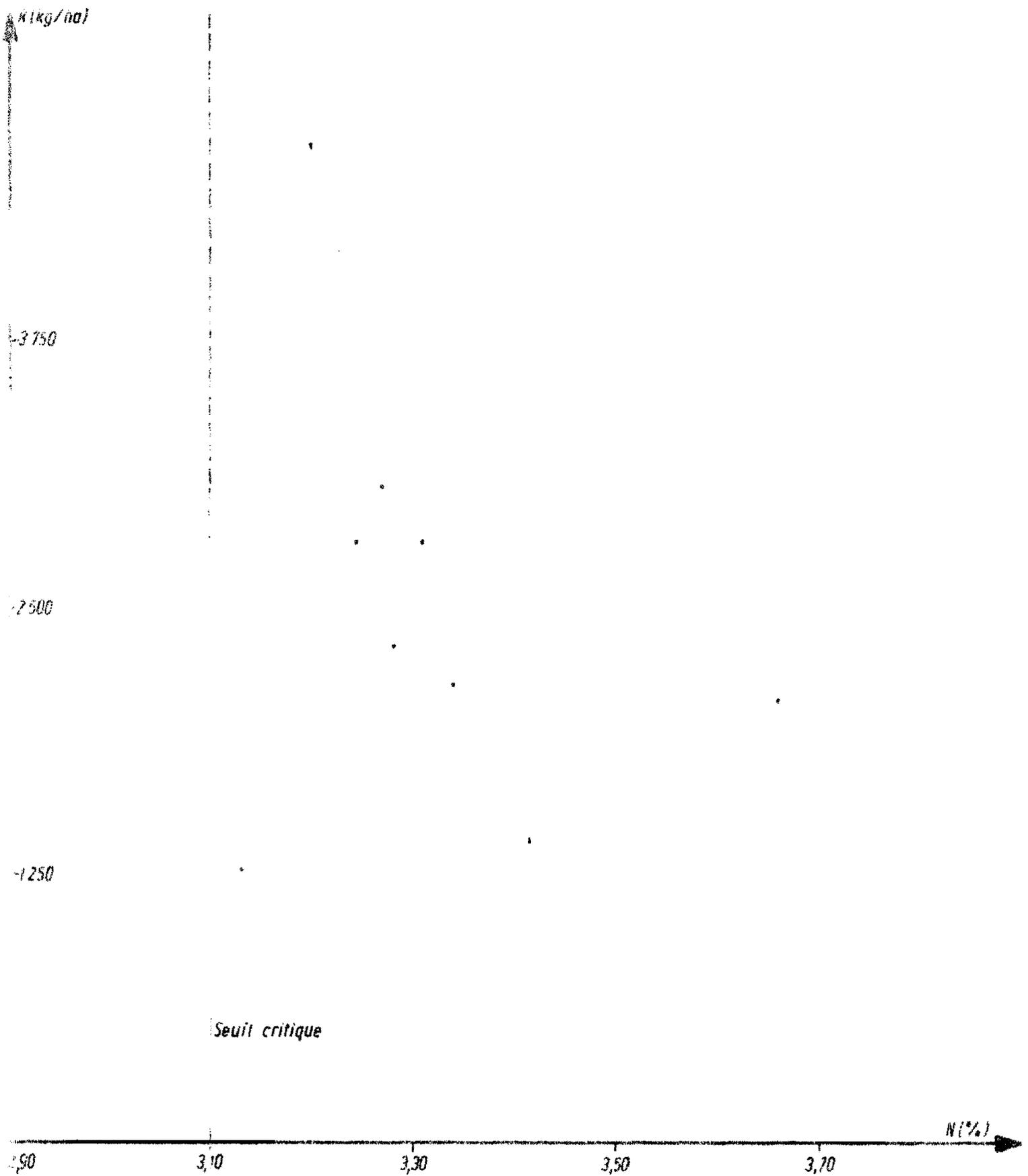


Fig. 7: Diagnostic foliaire : relation entre le rendement et la teneur en N de la feuille de l'épi à la floraison mâle

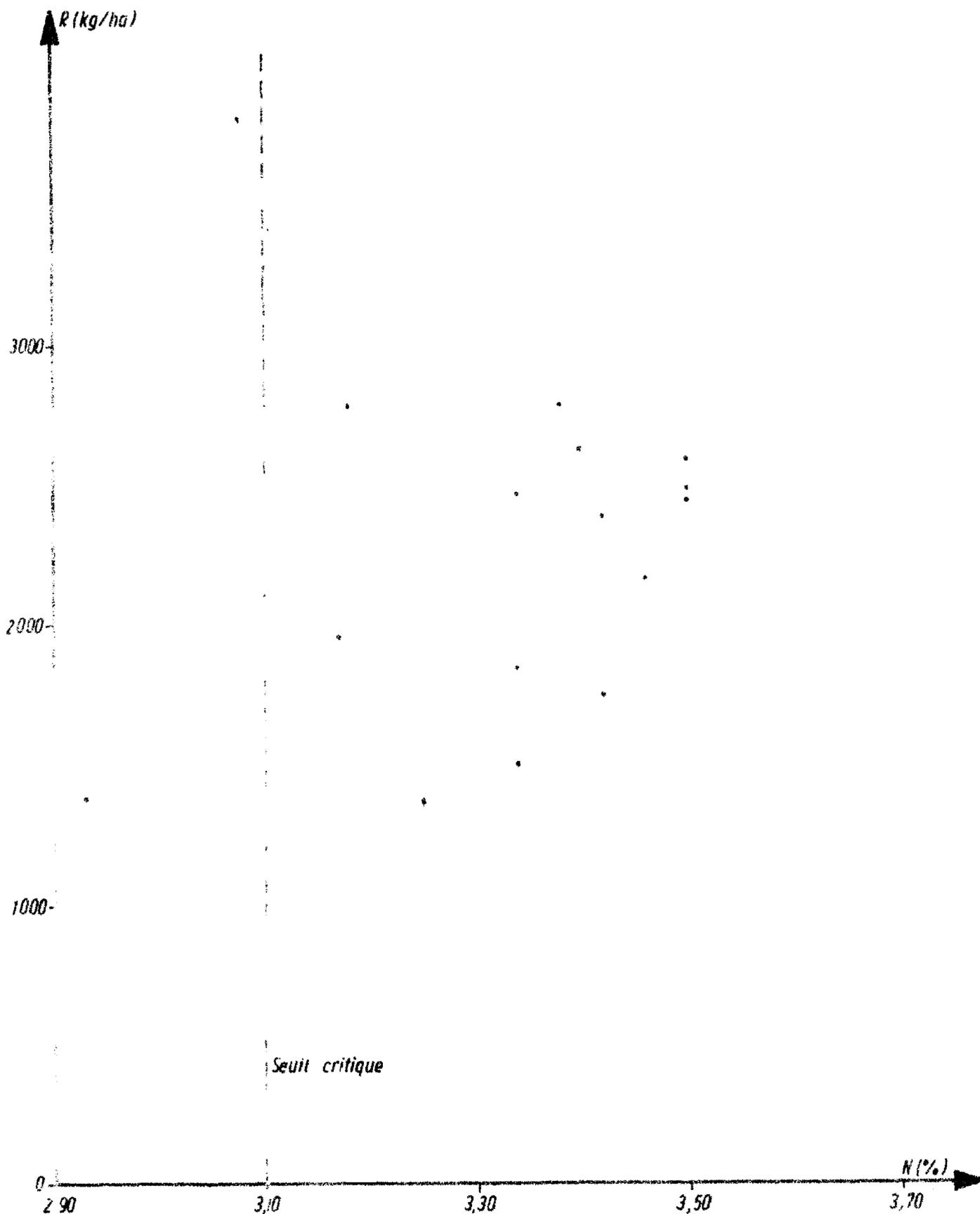


Fig. 8: Diagnostic foliaire: relation entre le rendement et la teneur en N de la feuille de l'épi à la floraison mâle

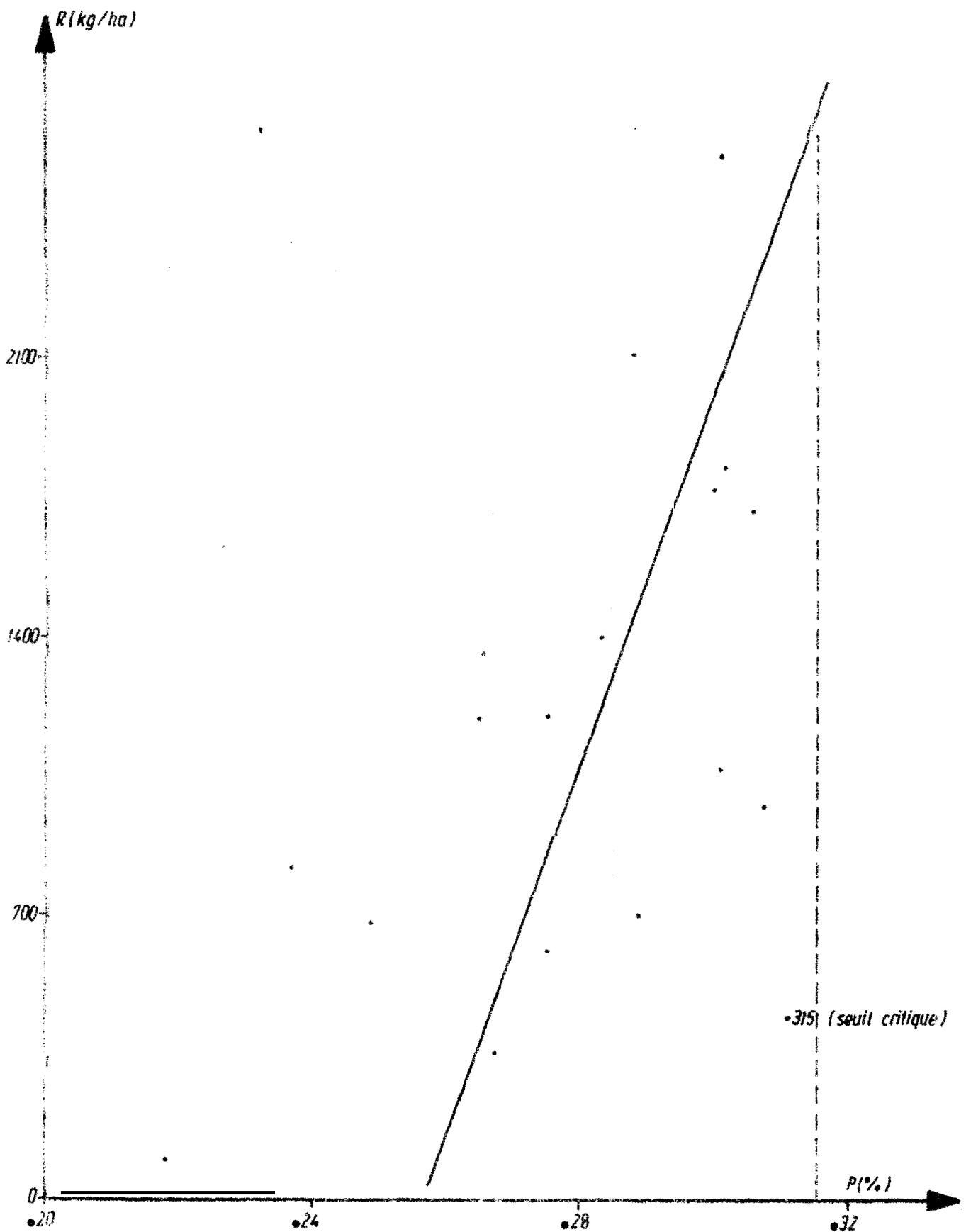


Fig. 9: Diagnostic foliaire : relation entre le rendement et la teneur en P de la feuille de l'épi à la floraison mâle

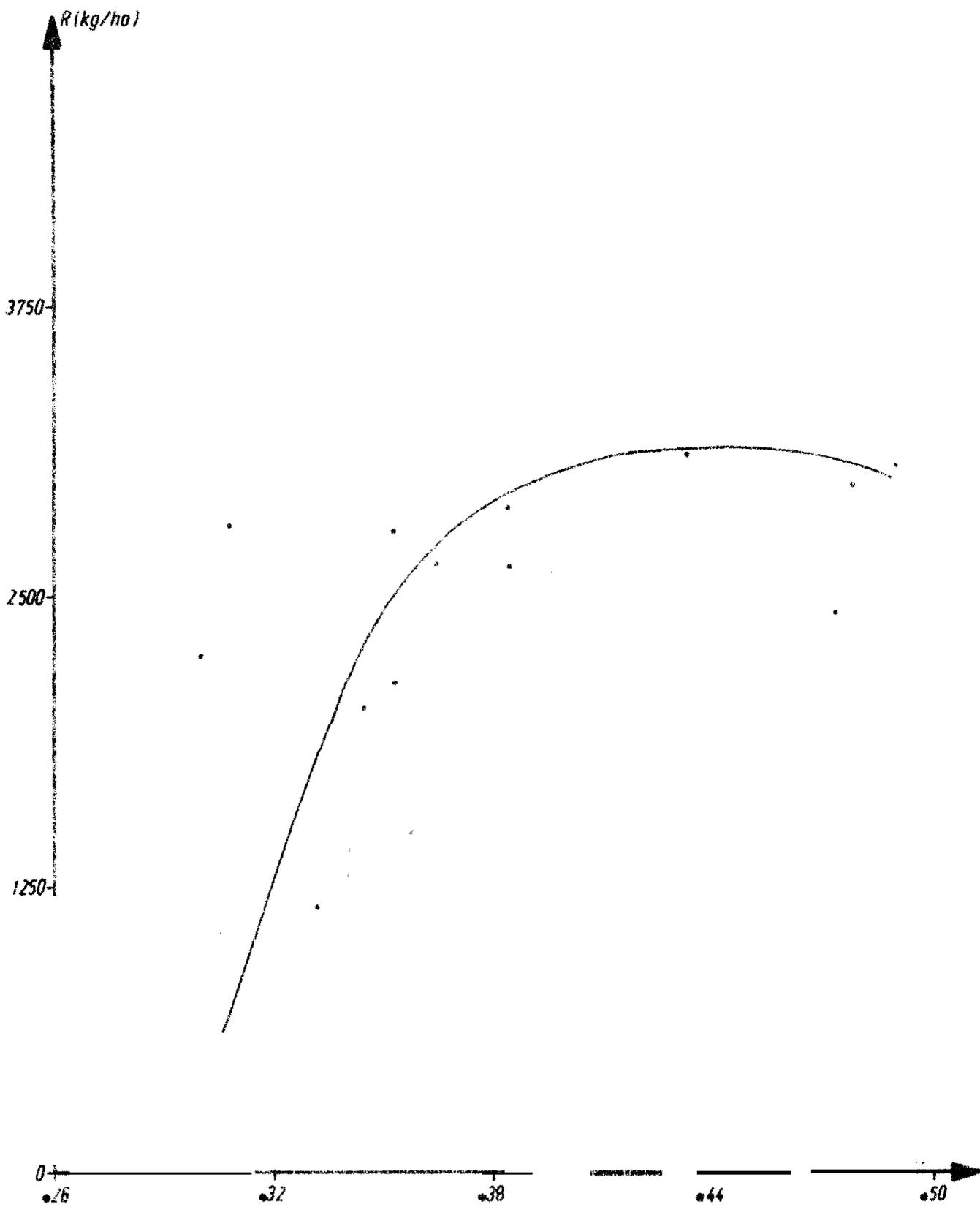


Fig. 10: Diagnostic foliaire: relation entre le rendement et la teneur en P de la feuille de l'épi à la floraison mâle

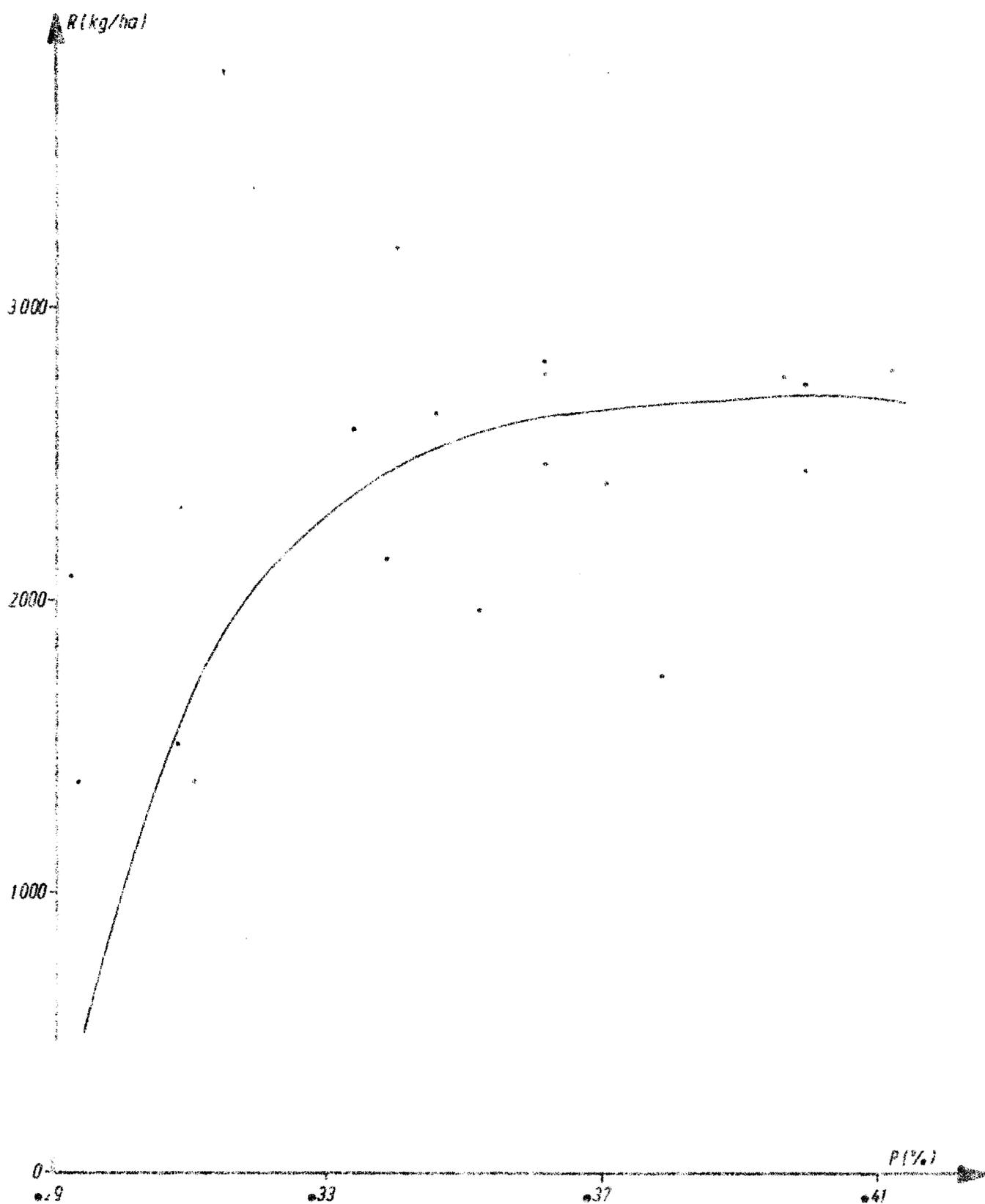


Fig 11 : Diagnostic foliaire : relation entre le rendement et la teneur en P de la feuille de l'épi de la floraison mâle

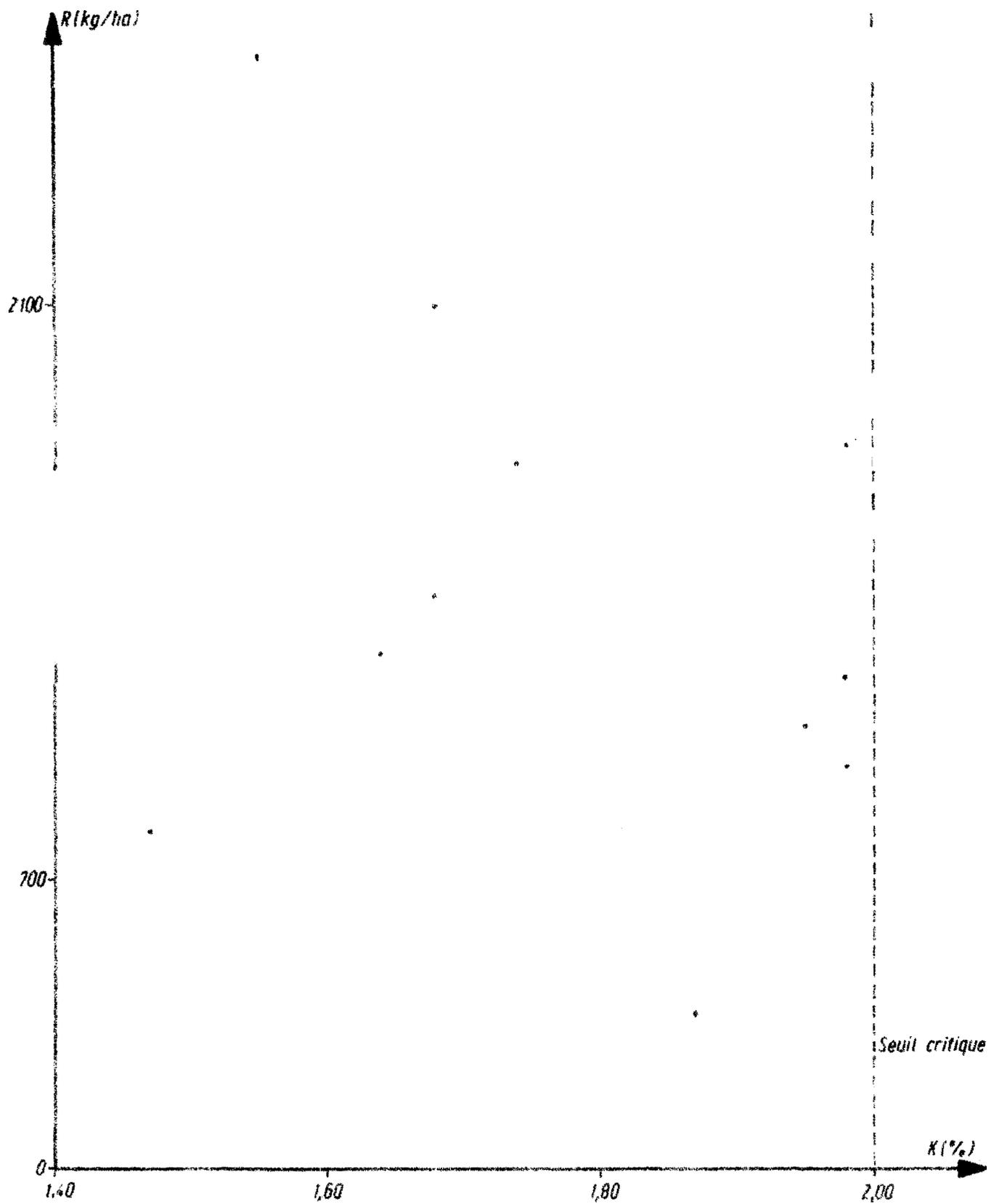
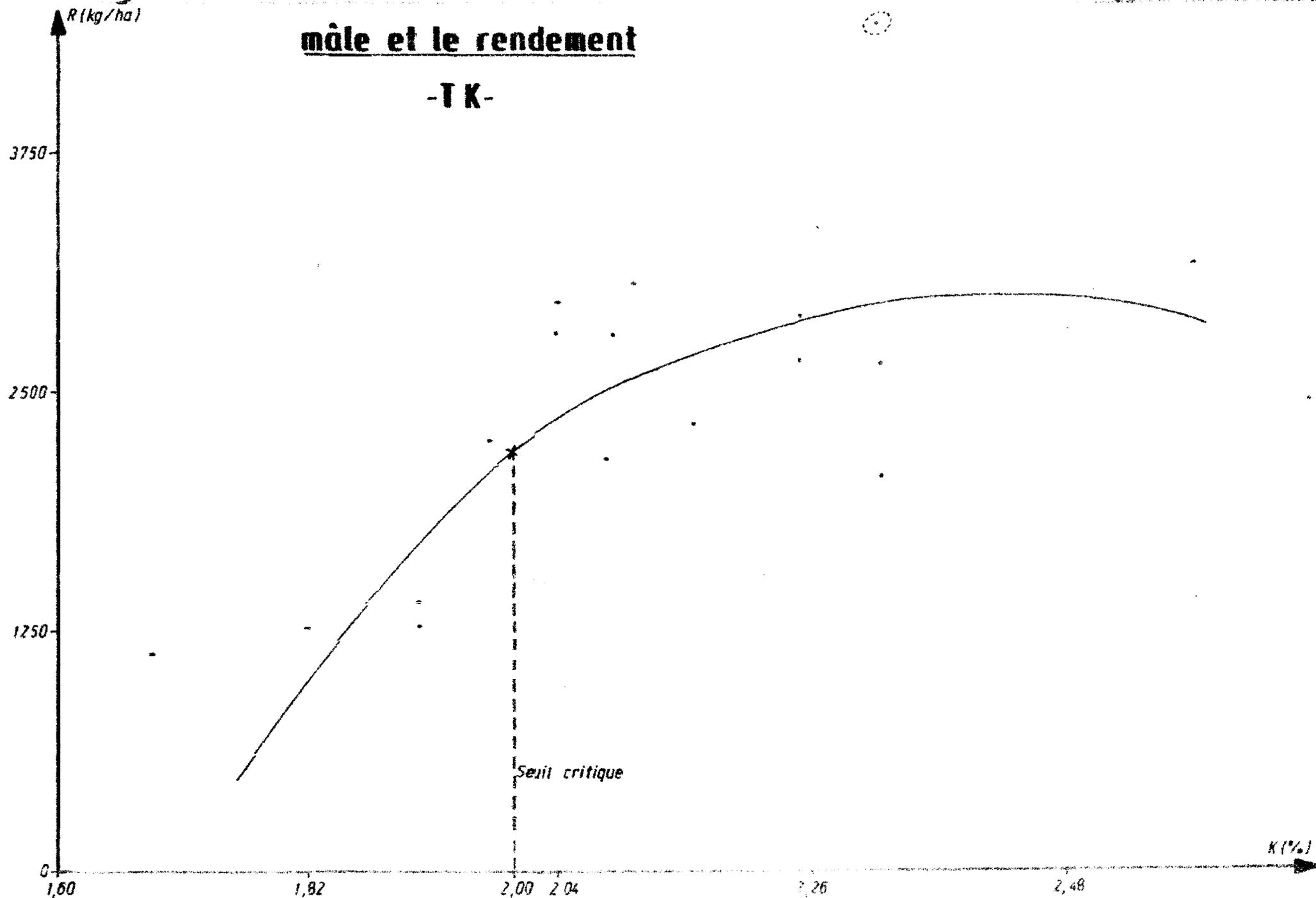


Fig. 12: Diagnostic foliaire: relation entre le rendement et la teneur en K de la feuille de l'épi à la floraison mâle

Fig 13 Diagnostic foliaire: relation entre la teneur en K de la feuille de l'épi à la floraison



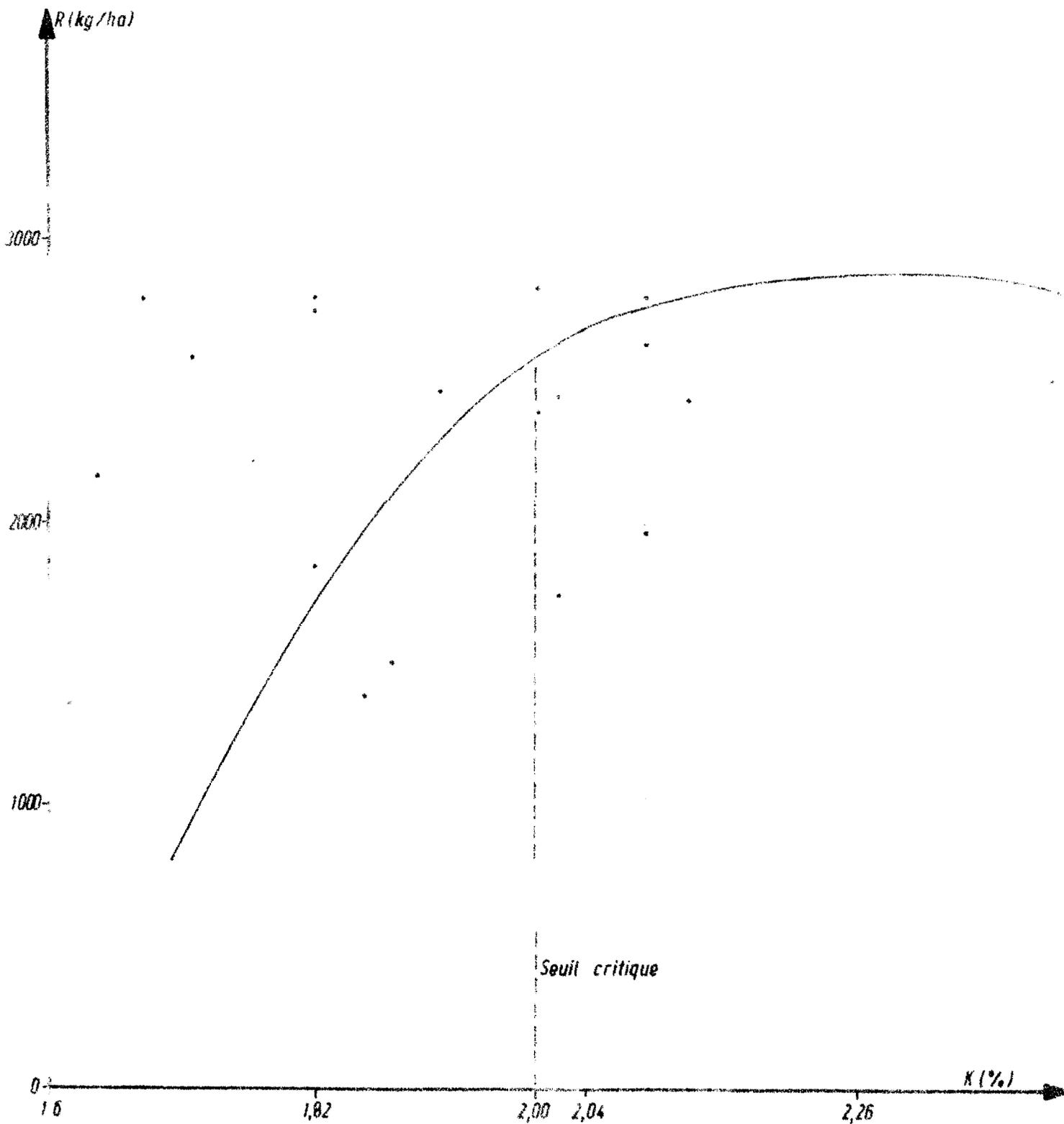


Fig. 14 : Diagnostic foliaire : relation entre le rendement et la teneur en K de la feuille de l'épi à la floraison mâle

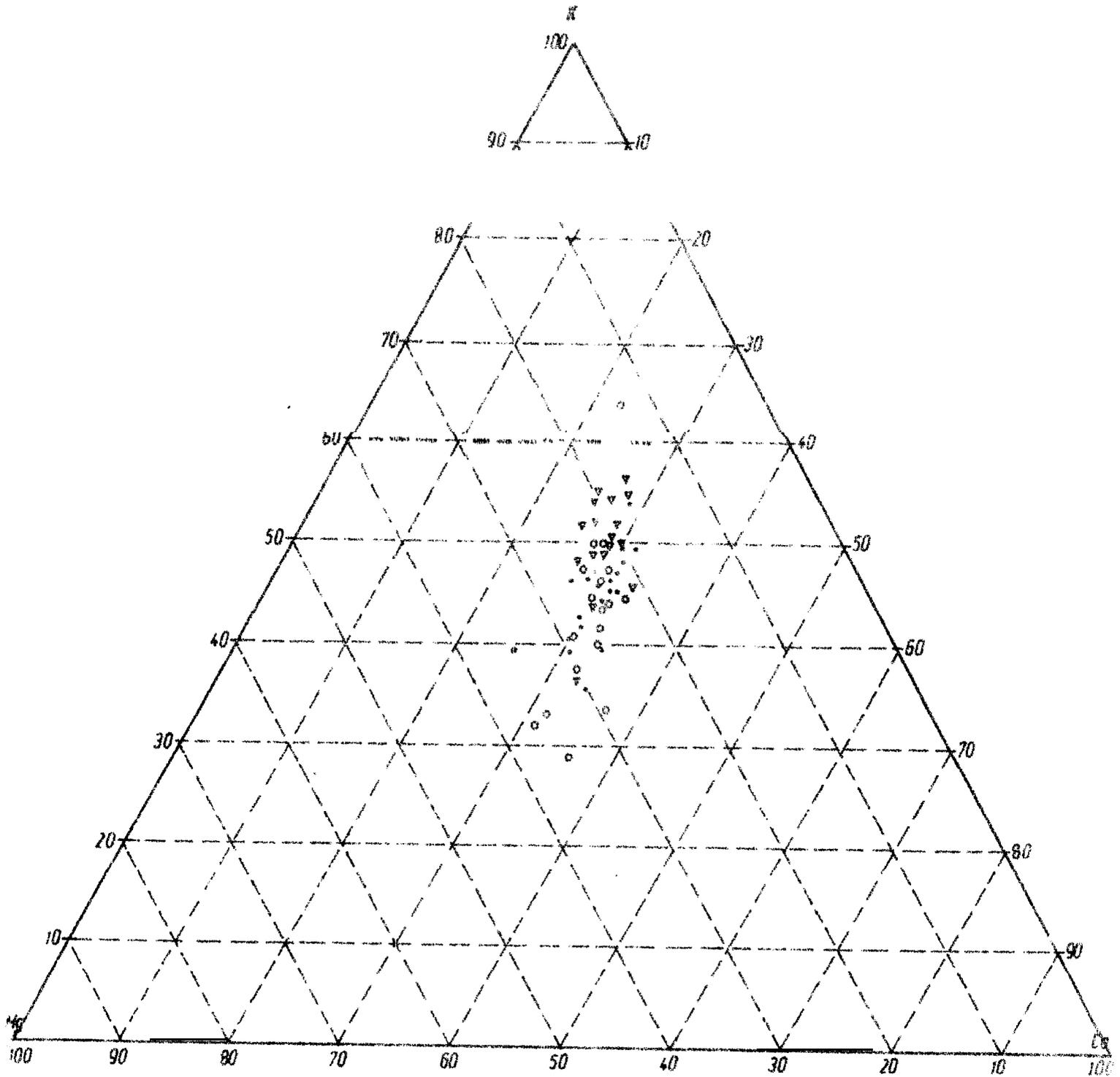


Fig.15: Equilibre cationique : K/cà /Mg de la nutrition minérale

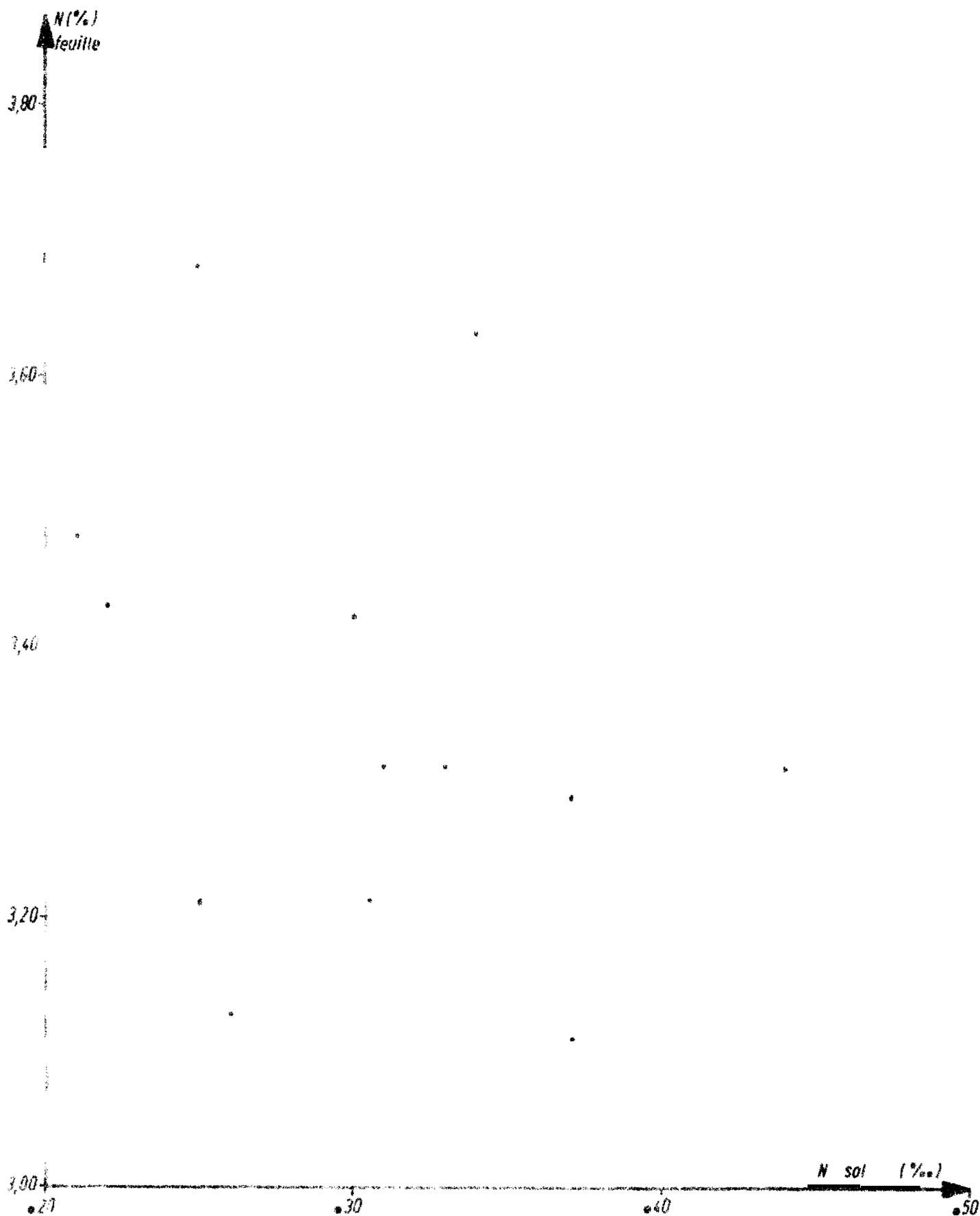
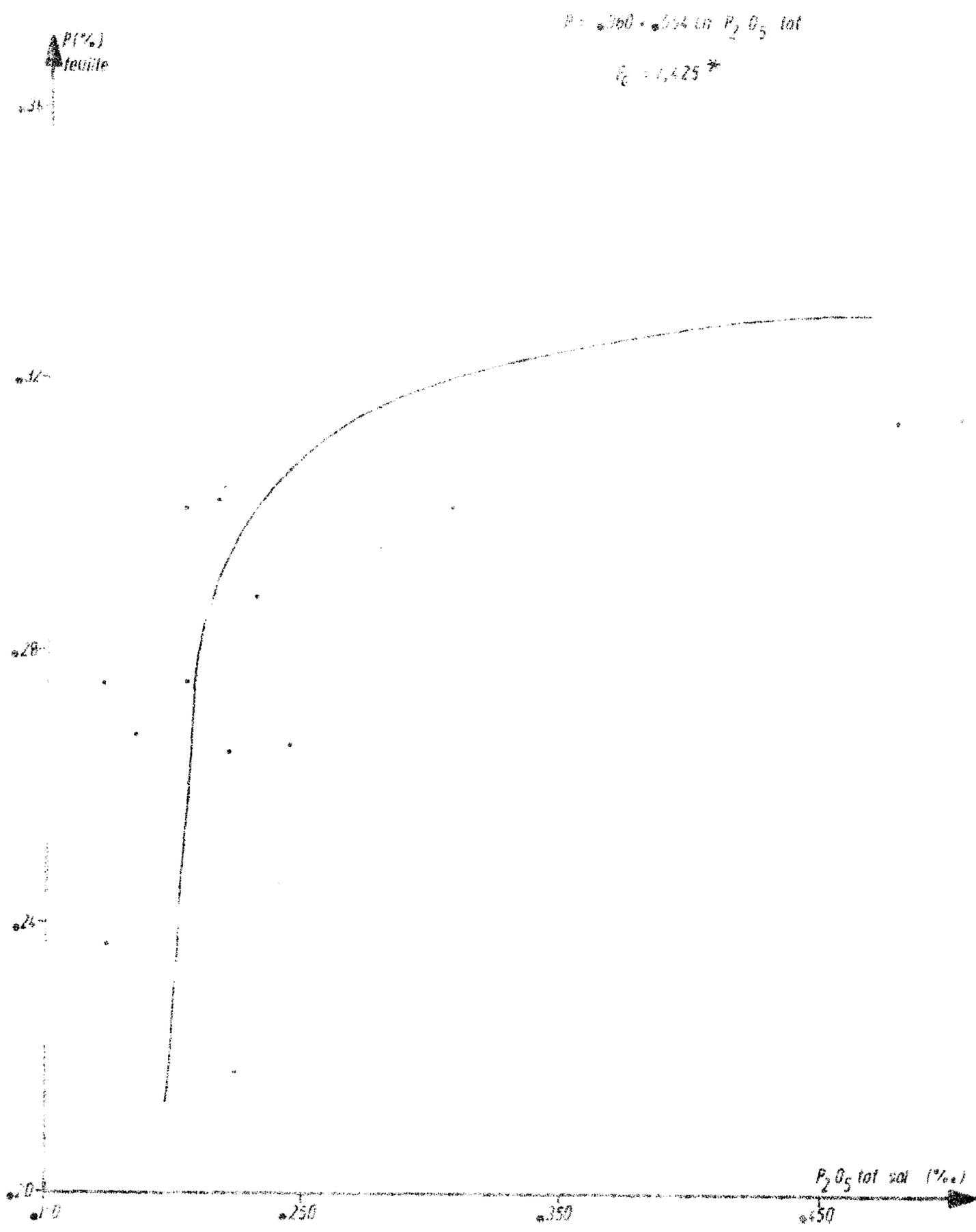


Fig 16: relation entre la teneur en N de la feuille de l'épi et la teneur en N total du sol



**Fig.17: relation entre la teneur en P de la feuille de l'épi
 et la teneur en P total du sol**

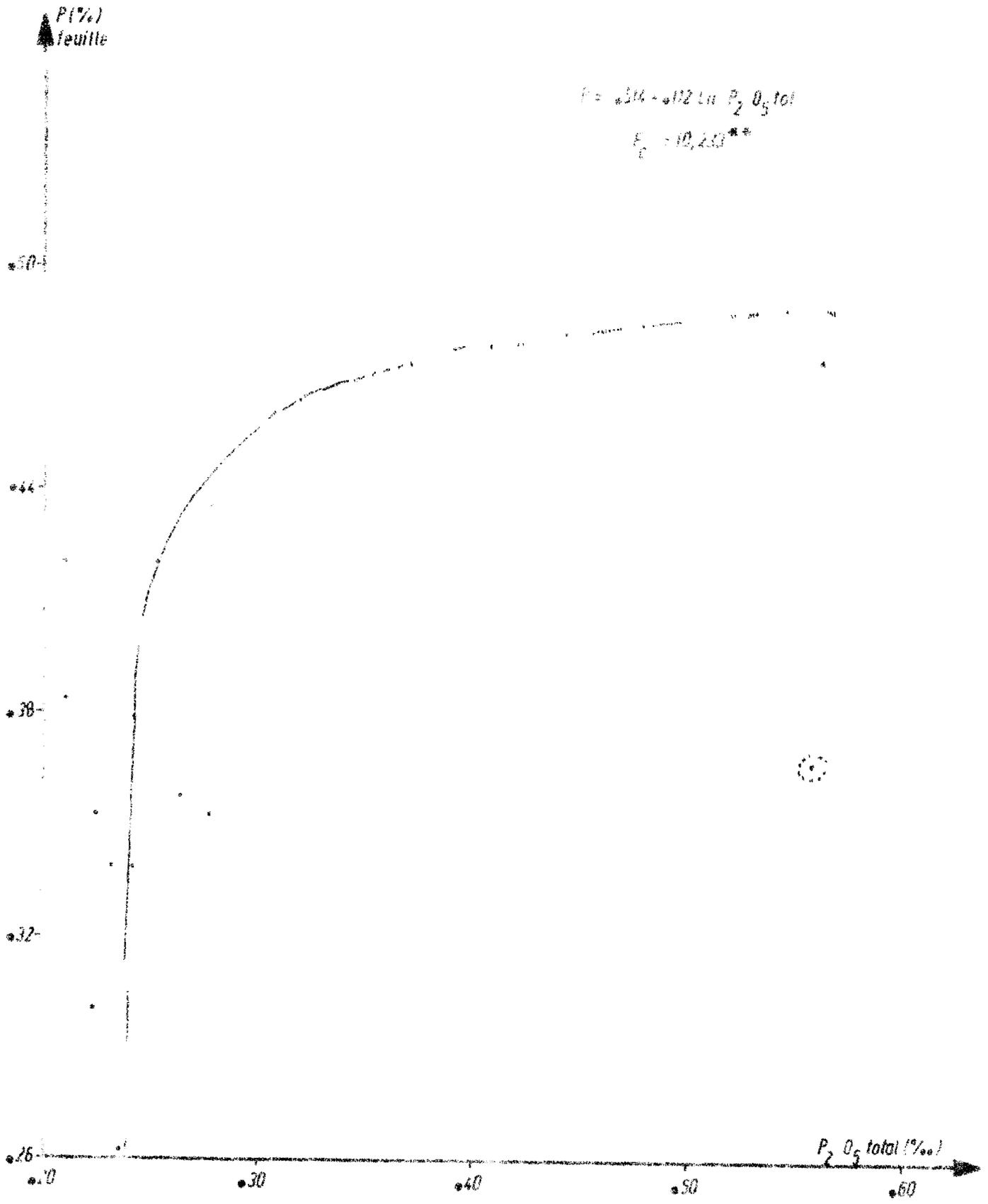
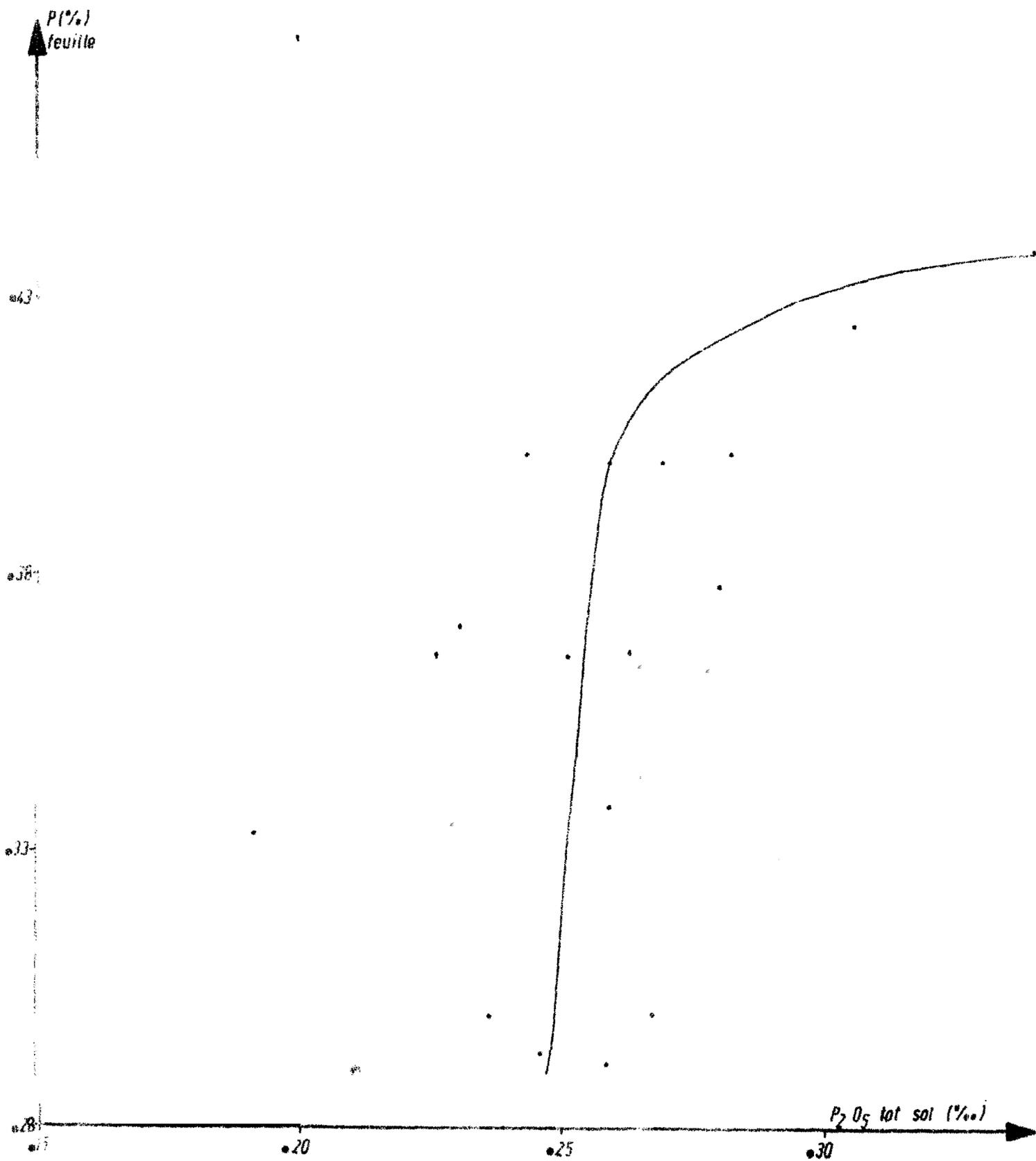


Fig 18 : relation entre la teneur en P de la feuille de l'épi et la teneur en P total du sol



**Fig. 19: relation entre la teneur en P de la feuille de l'épi
et la teneur en P total du sol**

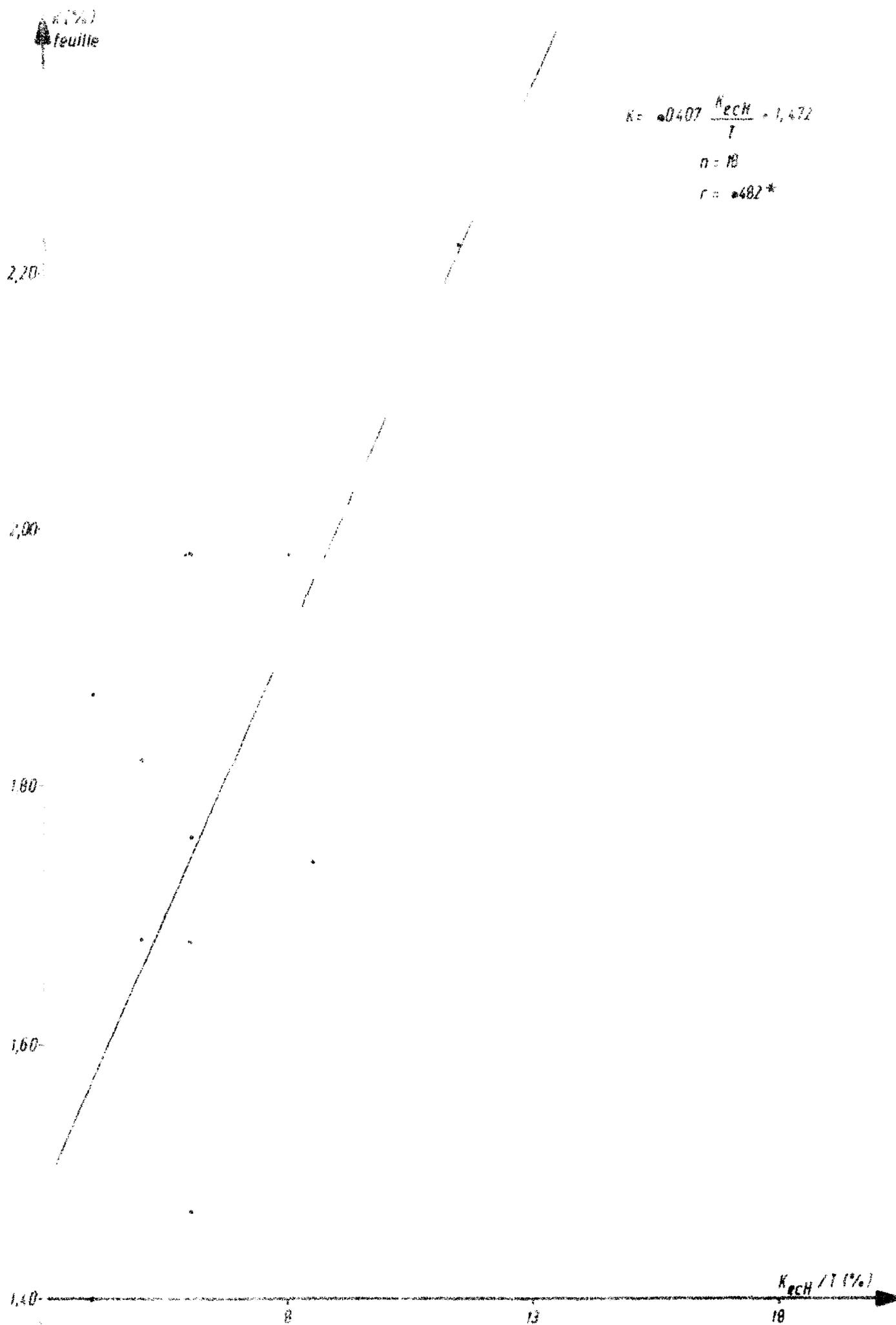


Fig. 20 : relation entre la teneur en K de la feuille de l'épi et le rapport K_{ech} / T du sol

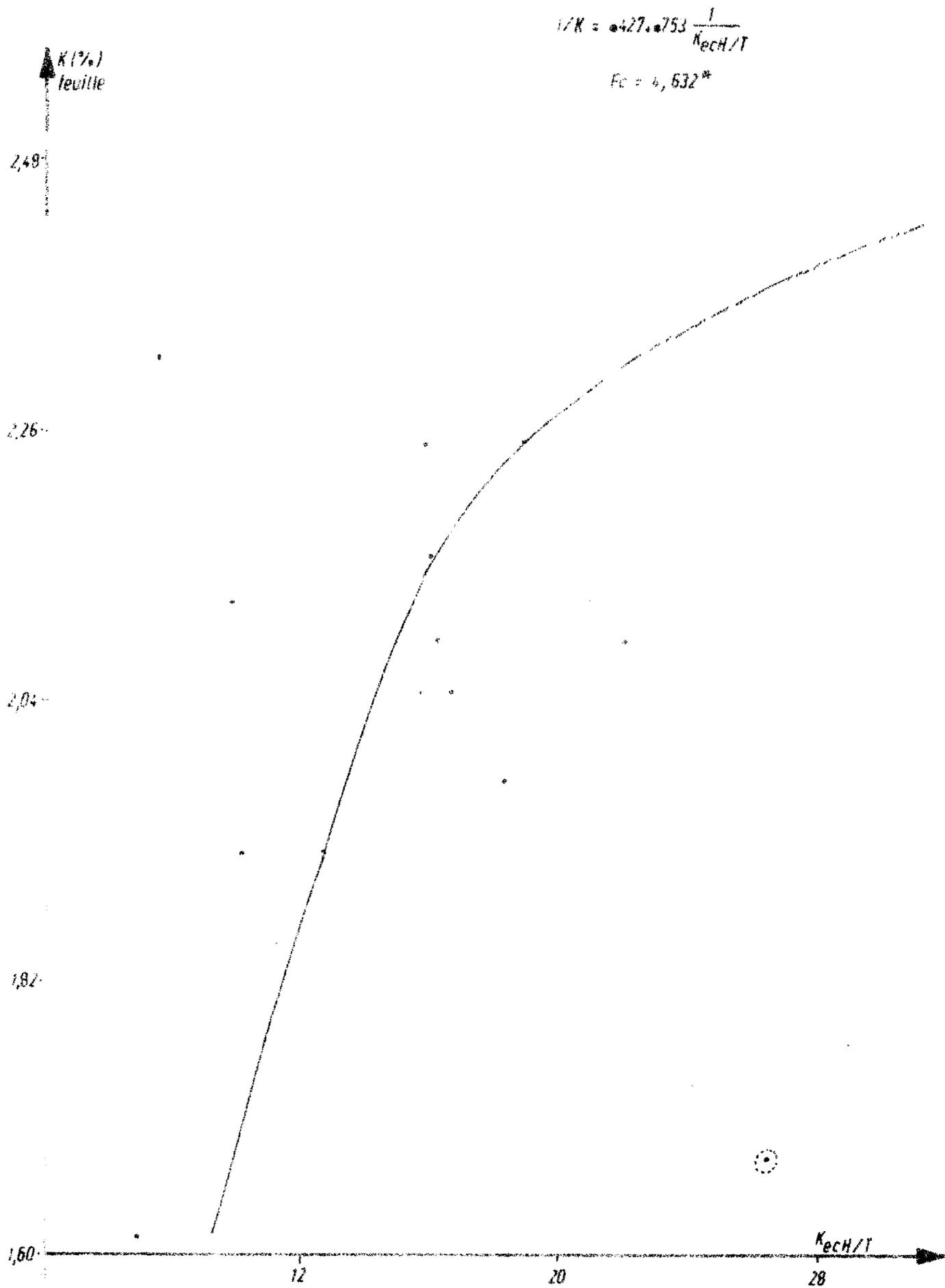
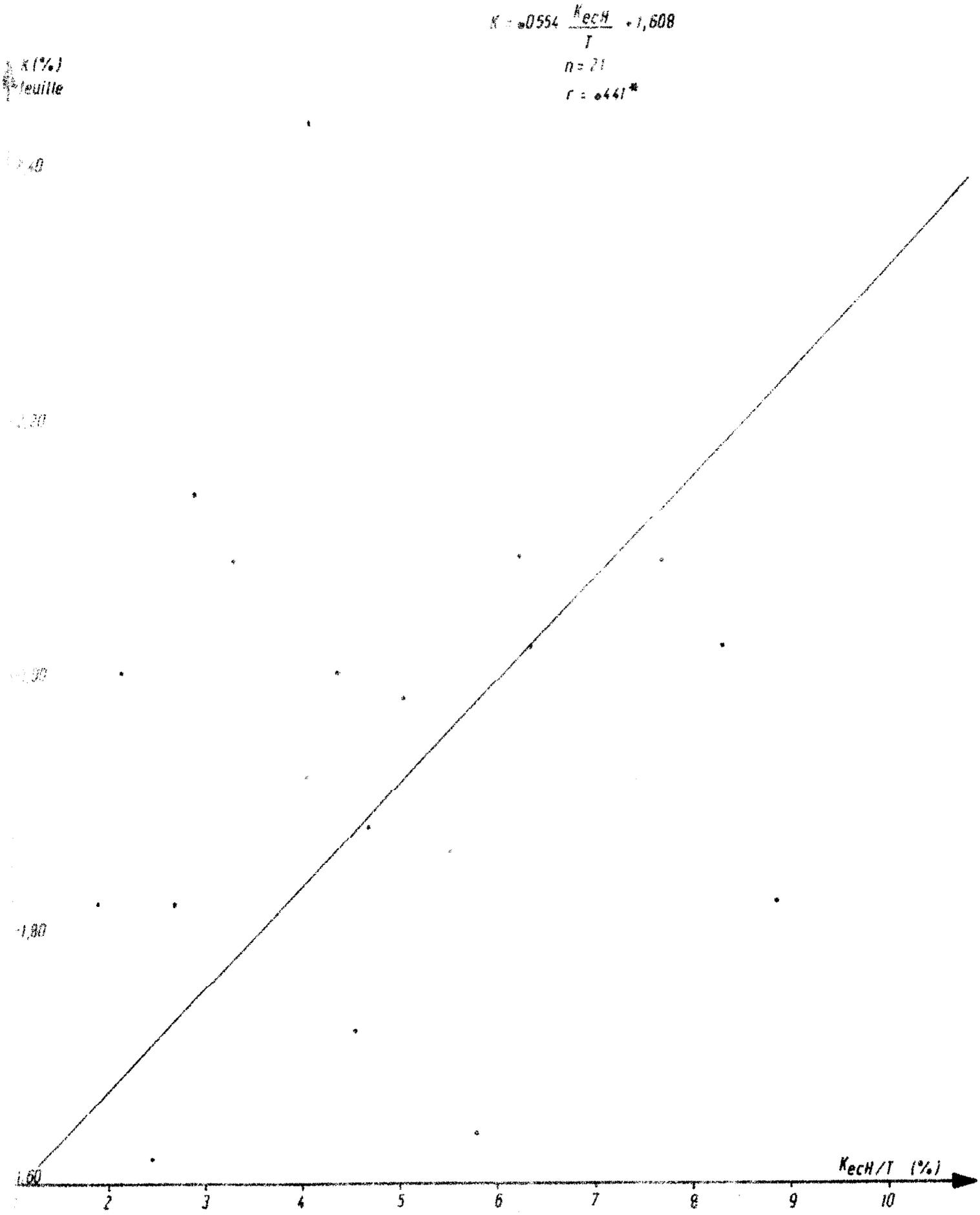


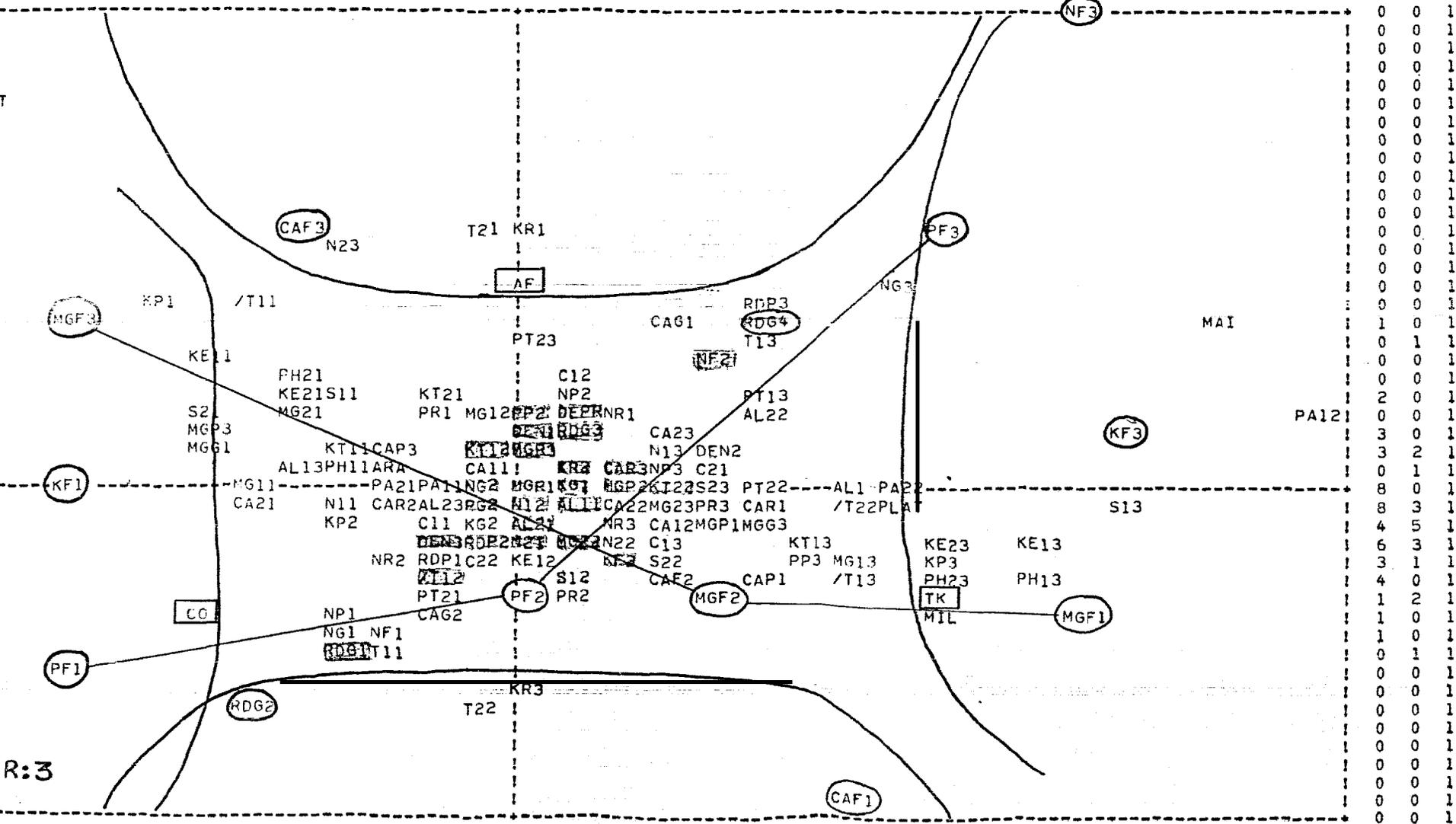
Fig. 21: relation entre la teneur en K de la feuille de l'épi et le rapport $K_{ecH/T}$ du sol



**Fig. 22 : relation entre la teneur en K de la feuille de l'épi
 et le rapport K_{ecH}/T du sol**

AXE HORIZONTAL (1)--AXE VERTICAL (2)--TITRE:ACP SUR LES VARIABLES DIAGNOSTIC FOLIAIRE FEUILLE DE L EPI PRINCIPAL

DEGRE= 3.99337 HAUTEUR= 2.41640 -NOMBRE DE POINTS= 154 --OPTION= 2 --GRAPH= 1 --ECHELLE:1 CM= 0.13034 4 CARACTERE=0.133
 DISTANCE=0.055 -FORMAT1(1X, 30A4,A1,3I3) 31



CIPIJA
 centre interuniversitaire de traitement de l'information
 Montpellier

R:3

