

## V. - FERTILISATION DU RIZ SUR DEUX TYPES DE SOLS DE LA RÉGION DU LAC ALAOTRA

par P. ROCHE, J. VELLY et B. JOLIET

### I. — Fertilisation du riz sur les alluvions fluviales micacées

- 1° Essai d'enfouissement de la paille du riz.
- 2° Essai de fumure organique et d'efficacité des phosphates.
- 3° Essai de fumure minérale et mixte.

### II. — Fertilisation du riz sur sol de marais

### III. — Résultats généraux des analyses foliaires sur riz en 1953 :

- 1° Essai sur sol de marais.
- 2° Essais sur alluvions fluviales latéritiques récentes.

Les rizières de la région du lac Alaotra sont situées sur deux types de sols : des alluvions fluviales micacées provenant de l'érosion sur les collines entourant la dépression lacustre, et des sols de marais drainés présentant en surface une couche humifère de 20 à 40 cm. d'épaisseur et en profondeur une argile grise compacte et imperméable. La description de ces deux types de sols a été déjà réalisée (1).

## I. FERTILISATION DU RIZ SUR LES ALLUVIONS FLUVIALES MICACÉES

Plusieurs essais ont été entrepris sur ce type de sol, ils vont être successivement passés en revue.

### 1° - ESSAI D'ENFOUISSEMENT DE LA PAILLE DE RIZ

Dans les exploitations rizicoles du lac Alaotra, la paille de riz après récolte à la moissonneuse-batteuse, reste dans certains cas, sur le terrain où elle est enfouie lors du labour de préparation des rizières, ou bien est mise en botte et exportée de la rizière pour la production de fumier de ferme ; dans un dernier cas enfin, elle est brûlée sur place pour permettre un labour plus facile et un meilleur affinage du terrain.

Le but de l'essai mis en place en 1950 est de rechercher la valeur de la paille de riz pour l'entretien de la fertilité des sols de rizière.

Une récolte moyenne produit environ 3 à 4 tonnes de paille à l'hectare. La paille de riz contient environ 15 % de matières minérales et 3 % de matières azotées.

Dans les matières minérales pour 100 gr. de cendres, on a :

0,500 % de chaux,  
4,300 % de potasse,  
0,250 % d'acide phosphorique.

L'enfouissement de paille restitue donc au sol une quantité importante de matières azotées et de matières minérales (principalement potasse).

Les microorganismes responsables de la décomposition et de l'humification des matières végétales consomment de l'azote (2).

En 1950, pour la première année d'essai, la dose de 35 k/ha. de sulfate d'ammoniaque a été expérimentée sur l'enfouissement de paille en vue d'accélérer le travail des microorganismes cellulolytiques humificateurs.

Cet apport était basé sur l'estimation selon laquelle les microorganismes ont besoin de la quantité d'azote correspondant à 2,5 % de la matière sèche décomposée lors des phénomènes de cellulolyse.

Pendant les trois autres années d'essai, cette dose, jugée insuffisante, a été portée à 250 k/ha.

L'apport d'azote a dès lors pour but d'accélérer la cellulolyse et l'humification, mais correspond également à un besoin dans l'alimentation minérale de la plante.

De l'examen de la composition moyenne de la paille de riz, il résulte que celle-ci restitue au sol fort peu d'acide phosphorique.

Une récolte de 2 tonnes de paddy à l'hectare enlevant au sol (3) :

10 à 12 kg. d'acide phosphorique  
4 kg. de potasse  
20 kg. d'azote,

un complément minéral phosphaté semble utile sur les enfouissements de paille.

Les traitements suivants ont été testés suivant la méthode du carré latin.

A. — Paille de riz 3 t/ha.

B. — Paille de riz 3 t/ha. + 250 k/ha. sulfate d'ammoniaque.

C. — Paille de riz 3 t/ha. + 250 k/ha. sulfate d'ammoniaque + 250 k/ha. phosphate bicalcique.

T. — Témoin (sans aucun apport).

L'essai a été répété sur 4 carrés latins ; la dimension des parcelles élémentaires est de 16 m<sup>2</sup>. La variété utilisée pour cet essai est le Makalioka 823.

Le riz a été repiqué à 12 cm. d'écartement en tous sens entre les touffes composées chacune de deux plants.

Ces conditions sont les mêmes pour tous les essais de fertilisation.

Le phosphate bicalcique contenait 40 % de P<sub>2</sub> O<sub>5</sub> total, le sulfate d'ammoniaque 20,6 % de N, ils ont été enfouis avant repiquage en même temps que les pailles.

A partir de la deuxième année d'essai, on a enfoui sur les diverses parcelles, sauf sur les parcelles témoins, les quantités de paille rigoureusement récoltées sur chaque parcelle ; au cours des trois dernières années d'essai, la restitution des pailles a donc été complète. Les apports d'engrais minéraux N et P sont renouvelés chaque année.

Voici les moyennes des rendements en kilos de paddy obtenus pour chaque traitement dans chaque carré au cours des quatre années.

CARRÉ LATIN N° 1 Traitements					CARRÉ LATIN N° 2 Traitements				
Années	A	B	C	T	A	B	C	T	
1950 .....	6,96	6,41	6,77	6,06	6,98	7,60	7,20	6,72	
1951 .....	6,99	7,85	6,76	7,11	6,94	7,38	7,00	6,87	
1952 .....	9,04	9,03	0,44	8,46	10,91	10,10	11,26	9,21	
1953 .....	7,69	7,40	7,06	5,76	7,20	7,83	7,24	6,07	

CARRÉ LATIN N° 3 Traitements					CARRÉ LATIN N° 4 Traitements				
Années	A	B	C	T	A	B	C	T	
1950 .....	6,41	7,14	6,53	6,50	7,78	7,64	7,51	6,47	
1951 .....	8,48	7,68	9,35	8,01	8,12	8,45	8,27	7,45	
1952 .....	9,01	10,07	11,07	8,45	9,94	10,91	11,86	8,71	
1953 .....	7,63	7,24	7,59	5,97	7,80	7,78	7,98	6,08	

L'analyse séparée de chaque année a donné les résultats suivants (on a fait les calculs statistiques en groupant les quatre carrés latins) :

En 1950 : T = A = B = C.

En 1951 : T = A = B = C.

Pendant les deux premières années, il n'y a eu aucune différence significative entre les traitements.

En 1952, les traitements se sont classés dans l'ordre suivant : C B A T

Rendements moyens en kg. de paddy par parcelle de 16 m<sup>2</sup> obtenus en groupant les quatre carrés latins :

C. Paille + N P : 11 k,16  
B. Paille + N : 10 k,19  
A. Paille : 9 k,72  
T. Témoin : 8 k,71

Tableau d'analyse de la variance

Origine de la variation	Somme des carrés	Degrés de liberté	Variance
Lignes et colonnes .....	67,041	24	2,793
Carrés .....	13,525	3	4,508
Traitements .....	49,193	3	16,397
Carrés et traitements .....	10,713	9	1,190
Erreur .....	23,137	24	0,964
Total ..	163,609		

Comparaison des variances

Lignes et colonnes  
Erreur = 2,482 seuil 5 % = 2,00 significatif.

Carrés  
= 4,676 seuil 5 % = 3,01 significatif.

Erreur  
Carrés et traitement  
= 1,234 seuil 5 % = 2,35 non significatif.

Traitements  
Erreur = 17,009 seuil 1 % = 4,72 significatif.

Il y a une légère hétérogénéité à l'intérieur des carrés latins, les quatre carrés ont des niveaux de fertilité différents, il n'y a pas d'interaction carrés et traitement, c'est-à-dire que dans les quatre carrés les traitements agissent de la même manière. L'influence des traitements est très significative.

Variance de la différence de deux traitements quelconques (les moyennes portant sur 16 mesures).

$$S^2 = \frac{0,964 \times 2}{16} = 0,1205, \text{ écart-type } S = 0,347.$$

Plus petite différence significative entre deux traitements : 0,347 × 2,066 = 0,716.

Les trois traitements ont donné des résultats significativement supérieurs au témoin. Le traitement C (Paille + NP) est supérieur au traitement A (paille seule) et au traitement B (paille + N).

L'apport de phosphate bicalcique a donné de bons résultats.

En 1953, les traitements se sont classés comme suit :

C = B = A. T

Rendements moyens en kg. de paddy par parcelle de 16 m<sup>2</sup> obtenus en groupant les quatre carrés latins :

C. Paille + N P ..... 7 k. 471  
P. Paille + N ..... 7 k. 566  
A. Paille ..... 7 k. 583  
T. Témoin ..... 5 k. 976

**Tableau d'analyse de la variance**

Origine de la variation	Somme des carrés	Degrés de liberté	Variance
Lignes et colonnes	17,394	24	0,724
Carrés	2,574	3	0,858
Traitements	30,379	3	10,126
Carrés et traitements	1,449	9	0,161
Erreur	15,168	24	0,632
Total	66,964		

**Tableau d'analyse de la variance**

Origine de la variation	Somme des carrés	Degrés de liberté	Variance
Lignes et colonnes	134,702	96	1,403
Traitements	59,037	3	19,679
Carrés	21,453	3	7,151
Années	368,918	3	122,972
Traitements et années	27,984	9	3,109
Traitements et carrés	5,513	9	0,612
Carrés et années	11,146	9	1,238
Traitements et années et carrés	45,920	27	1,700
Erreur	77,029	96	0,802
Total	736,077	255	—

**Comparaison de variances**

Lignes et colonnes  
 $\frac{\text{Erreur}}{\text{Erreur}} = 1,145$  non significatif.

Carrés  
 $\frac{\text{Erreur}}{\text{Erreur}} = 1,357$  non significatif.

Carrés et traitements  
 $\frac{\text{Erreur}}{\text{Erreur}} = 0,254$  non significatif.

Traitements  
 $\frac{\text{Erreur}}{\text{Erreur}} = 16,022$  significatif.

L'influence des traitements est largement prépondérante.

Variance de la différence entre deux traitements quelconque

$$S^2 = \frac{0,632 \times 2}{16} = 0,079 \quad S = 0,281.$$

L'écart entre deux moyennes est significatif lorsqu'il dépasse

$$0,281 \times 2,064 = 0 \text{ k. } 580$$

Tous les traitements ont donné des rendements significativement supérieurs au témoin, mais ne présentant aucune différence entre eux.

Dès la quatrième année, il serait donc inutile d'ajouter un complément minéral azoté ou phosphoré sur les enfouissements de paille ; on peut, cependant, se demander si cette seule restitution sera suffisante après une assez longue période de culture.

**L'analyse statistique a également été faite en groupant les résultats obtenus sur les quatre années.**

Les rendements moyens en kg. de paddy par parcelle de 16 m<sup>2</sup> obtenus en groupant les 4 carrés au cours des quatre années sont les suivants :

C. Paille + NP	8 k. 371
B. Paille + N	8 k. 200
A. Paille	7 k. 995
T. Témoin	7 k. 125

**Rapport des variances**

1° Lignes et colonnes  
 $\frac{\text{Erreur}}{\text{Erreur}} = 1,749$  (seuil 5 % = 1,70).

Le terrain est légèrement hétérogène..

2° Carrés  
 $\frac{\text{Erreur}}{\text{Erreur}} = 8,916$  seuil à 1 % = 4,12

Il y a des différences significatives entre carrés. La variance de la différence de deux moyennes quelconque est

$$\frac{0,802 \times 2}{64} = 0,025. \text{ (les moyennes portent}$$

sur 16 × 4 = 64 mesures) ; l'écart-type est 0,158 ; la plus petite différence significative entre deux moyennes est 0,316.

Moyennes des rendements :

Carré I :	7 k. 490 par parcelle
Carré II :	7 k. 910 par parcelle
Carré III :	7 k. 989 par parcelle
Carré IV :	8 k. 306 par parcelle

La fertilité moyenne du carré IV est supérieure à celle des carrés III, II et I.

Les carrés III et II sont identiques ; ils sont supérieurs au point de vue fertilité au carré n° I.

3° Traitements × carrés  
 $\frac{\text{Erreur}}{\text{Erreur}} = 0,763$ , seuil 5 % = 2,10

Il n'y a pas interaction entre traitements et carrés, les quatre traitements se classent dans le même ordre dans les quatre carrés.

4° Traitements  
 $\frac{\text{Erreur}}{\text{Erreur}} = 24,537$ , seuil à 1 % = 4,12.

**Il y a une différence significative entre le traitement C paille + NP et le traitement A paille seule.**

**Les trois traitements A, B, C sont significativement supérieurs au témoin.**

En comparant les résultats obtenus sur quatre années, on voit que l'enfouissement de paille seule élève significativement les rendements en paddy par rapport au témoin ; l'adjonction d'azote et de phosphate

à la paille arrive à augmenter significativement le rendement par rapport au seul enfouissement de paille.

5° Années  
 $\frac{\text{Erreur}}{\text{Erreur}} = 153,336$ , seuil à 1 % = 4,12.

Erreur

Il y a des différences significatives entre années. L'année 1952 a été la meilleure; les rendements moyens par année ont été les suivants :

1950 . . . . .	6 k. 92
1951 . . . . .	7 k. 67
1952 . . . . .	9 k. 94
1953 . . . . .	7 k. 14

Ces différences peuvent être attribuées aux conditions météorologiques. En 1952, le mois de février a été exceptionnellement pluvieux. 418 mm. 9 sont tombés en 12 jours. Pendant les trois autres années, la pluie en février a été comprise entre 130 mm. et 167 mm. Le mois de mars 1952 a été par contre très sec, 94 mm. 9. Les autres années ont entre 121 et 217 mm. de pluie en mars. Il est possible qu'une forte pluviométrie en février accompagnée d'une forte humidité de l'air favorise le développement du riz. De faibles précipitations en mars sont peut être favorables à l'épiaison.

Le tableau des conditions météorologiques donné en fin du rapport permettra d'effectuer les diverses comparaisons.

6° Traitements  $\times$  années  
 $\frac{\text{Erreur}}{\text{Erreur}} = 3,876$ , seuil à 5 % = 2,10.

Erreur

Il y a interaction entre traitements et années; ce qui tendrait à prouver que les traitements expérimentés ont été affectés par les conditions propres à chaque année.

7° Carrés  $\times$  années  
 $\frac{\text{Erreur}}{\text{Erreur}} = 1,543$ . Il n'y a pas interaction

Erreur

entre carrés et années. Les écarts de rendements entre chaque année ne peuvent être attribués aux carrés et réciproquement.

### CONTROLE BIO-CHIMIQUE DE L'ESSAI

Des prélèvements de feuilles ont été effectués en 1953 sur toutes les parcelles de l'essai. On a prélevé la première feuille au-dessous de l'épi au début de la floraison. (Lorsque les étamines sont apparentes sur l'épi). **50 feuilles ont été prélevées sur chaque parcelle élémentaire.** Les feuilles séchées à l'étuve à 105° ont été broyées, ensuite analysées en utilisant les techniques décrites dans ce même ouvrage.

Voici les résultats analytiques concernant les niveaux moyens N, P, K, Ca, dans les feuilles de riz.

#### Teneurs en azote % de la matière sèche

Traitements	Carrés latins				Moy.	Rendement moyen en paddy en 1953
	1	2	3	4		
T. Témoin . . . . .	2,53	2,50	2,59	2,57	2,54	5 k, 97
A. Paille . . . . .	2,75	2,70	2,77	2,81	2,75	7 k, 58
B. Paille + N . . . . .	2,93	2,82	2,82	2,86	2,85	7 k, 56
C. Paille + NP . . . . .	2,97	2,90	2,91	2,93	2,92	7 k, 47

#### Teneurs en phosphore P % de la matière sèche

Traitements	Carrés latins				Moyenne
	1	2	3	4	
T. Témoin . . . . .	0,258	0,250	0,255	0,255	0,254
A. Paille . . . . .	0,248	0,248	0,243	0,230	0,242
B. Paille + N . . . . .	0,237	0,242	0,239	0,231	0,237
C. Paille + NP . . . . .	0,234	0,246	0,243	0,242	0,241

#### Teneurs en potassium K % de la matière sèche

Traitements	Carrés latins				Moyenne
	1	2	3	4	
T. Témoin . . . . .	0,845	0,705	0,780	0,669	0,749
A. Paille . . . . .	0,702	0,730	0,753	0,731	0,729
B. Paille + N . . . . .	0,809	0,738	0,788	0,770	0,776
C. Paille + NP . . . . .	0,787	0,770	0,782	0,736	0,768

#### Teneurs en calcium Ca % de la matière sèche

Traitements	Carrés latins				Moyenne
	1	2	3	4	
T. Témoin . . . . .	0,273	0,368	0,318	0,347	0,326
A. Paille . . . . .	0,287	0,352	0,347	0,323	0,327
B. Paille + N . . . . .	0,260	0,310	0,344	0,295	0,302
C. Paille + NP . . . . .	0,295	0,318	0,265	0,252	0,282

Les corrélations ont été calculées entre les niveaux moyens N P K Ca dans les feuilles et les rendements en paddy. Les résultats ont été consignés dans le tableau suivant :

Corrélation	Coefficient de corrélation calculé	Coefficient théorique		Observations
		5%	1%	
Teneurs N dans les feuilles - Rendement en paddy . . . . .	0,6180	0,2500	0,3156	Corrélation fortement positive à 1 %
Teneurs P - Rendement paddy . . . . .	0,2954	0,2500		Corrélation négative à 5 %
Teneurs K - Rendement paddy . . . . .				Non significatif, pas de corrélation
Teneurs Ca - Rendement paddy . . . . .				Non significatif, pas de corrélation
Teneurs en N - Teneurs en P . . . . .	0,3220			Corrélation négative

Il y a une corrélation fortement positive entre les teneurs des feuilles en azote et les rendements en paddy, une corrélation négative entre les teneurs des feuilles en phosphore et les rendements en paddy.

Logiquement, il apparaît dans les feuilles une corrélation négative entre les teneurs en azote et en phosphore.

### ANALYSES DE TERRE

Un prélèvement d'échantillon de terre a également été réalisé en 1953 sur toutes les parcelles. Il a donné les résultats suivants (Teneurs moyennes sur  $4 \times 4 = 16$  prélèvements) :

Les analyses ont été effectuées suivant les méthodes décrites dans le cahier n° 1 de la Recherche Agronomique de Madagascar (compte rendu 1952 PP 8-10).

Teneurs en éléments fertilisants dans le sol	Traitements			
	T Té- moin	A Paille.	B Paille + N	C Paille + NP
Matière organique totale ‰	0,82	0,45	1,27	1,45
Azote total ‰	2,04	2,16	2,25	2,32
Acide phosphorique assimilable ‰	0,041	0,038	0,024	0,031
Potasse échangeable ‰	0,076	0,074	0,066	0,072
Chaux échangeable ‰	1,69	1,40	1,53	1,62

Les quatre enfouissements successifs de paille ont nettement augmenté les teneurs du sol en matière organique totale et en azote total.

Les éléments fertilisants minéraux paraissent moins affectés, cependant, ce sont les parcelles-témoins qui renferment le plus d'acide phosphorique assimilable, de potasse échangeable et de chaux échangeable.

L'augmentation fort nette des rendements en paddy a pu exporter du sol des quantités notables d'éléments minéraux P K Ca. Ce sont les parcelles B (paille et azote) les plus faibles en acide phosphorique et en potasse. On peut donc supposer qu'à longue échéance, les seuls enfouissements de paille ne suffisent pas pour maintenir au sol son degré de fertilité. Les restitutions minérales comportant en particulier de l'acide phosphorique, de la potasse et de la chaux seront un jour nécessaires.

### ETUDE MICROBIOLOGIQUE DES PARCELLES DE L'ESSAI

Des prélèvements pour l'analyse microbiologique du sol ont été réalisés le 20 mars 1953 : à cette date, le sol de la rizière expérimentale était recouvert par 15 à 20 cm. d'eau. La prise d'essai a été réalisée dans l'eau et l'analyse microbiologique effectuée dans le mois suivant, le prélèvement, en utilisant les techniques décrites par Dommergues (4).

Des numérations ont été effectuées sur plaque de silicogel.

Voici les résultats obtenus, indiquée en nombre de colonies par gramme de sol.

Traitements	Azoto- bacter	Clostri- dium	Cellulo- lytiques	Nitreux
T. Témoin .....	695	138	517	46
A. Paille .....	848	625	298	50
B. Paille + N .....	858	3642	428	23
C. Paille + NP .....	600	3574	417	48
Alluvions identiques en culture sèche...	419	1.349	1.042	608

Les enfouissements de paille ont eu une nette influence sur le nombre des clostridium fixateurs d'azote anaérobie ; l'apport d'azote minéral accroît la prolifération des clostridium. L'adjonction de phosphate à l'engrais azoté paraît être sans influence. Les azotobacters sont légèrement accrus. Les germes cellulolytiques et nitreux ne sont pas influencés ; ces germes fonctionnant en aérobie doivent avoir une activité très ralentie en rizière.

Par rapport à des alluvions identiques utilisés en culture sèche, on observe une nette diminution des germes nitreux et cellulolytiques.

Dans les alluvions latéritiques, cultivées en rizière, l'activité des cellulolytiques paraît assez faible. La décomposition des pailles doit, d'autre part, être active de juin à décembre pendant que les rizières sont à sec, en jachère non cultivée.

Un prélèvement effectué sur une parcelle-témoin en septembre a donné les résultats suivants (nombre de colonies par gramme de sol).

	Azoto- bacter	Clostri- dium	Cellulo- lytiques	Nitreux
Parcelle témoin .....	212	2.566	750	59

Pendant la saison sèche, la rizière étant en jachère, l'activité des clostridium et des cellulolytiques est assez importante. La décomposition des pailles doit déjà être avancée. Il serait utile d'expérimenter un apport d'azote minéral (sous forme de nitrate) à très faible dose pour hâter la décomposition des pailles pendant l'intersaison.

### Evolution des rendements en paille au cours des années d'essais

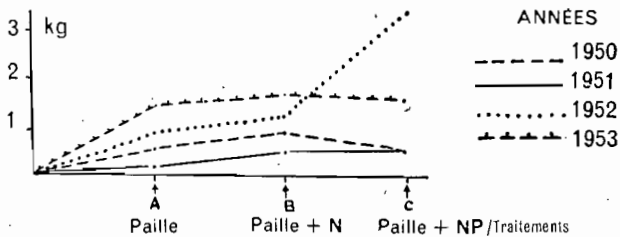
Les rendements en paille sèche ont été notés au cours des quatre années d'essai.

Poids moyens de paille sèche en kg. par parcelle de 16 m<sup>2</sup>.

	Traitements			
	T Témoin	A Paille	B Paille + N	C Paille + NP
1950 .....	11,62 kg	13,36 kg	13,42 kg	12,47 kg
1951 .....	15,60 kg	16,20 kg	16,80 kg	18,08 kg
1952 .....	13,08 kg	13,71 kg	15,79 kg	15,84 kg
1953 .....	9,06 kg	10,89 kg	10,92 kg	10,35 kg

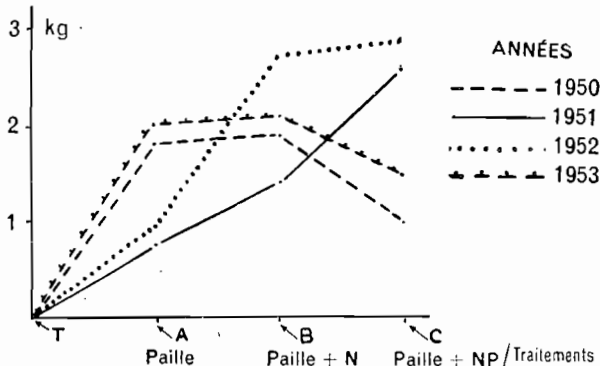
### Augmentation des rendements en paddy par rapport au témoin

(en kg par parcelle de 16 m<sup>2</sup>)



### Augmentation des rendements en paille par rapport au témoin

(en kg par parcelle de 16 m<sup>2</sup>)



Pendant la deuxième année d'essai (1951), la production de paille a été fort élevée, le témoin atteint 15 k. 60. Les plus grandes augmentations de rendements en paille par rapport au témoin ont été obtenues en 1952 sur les parcelles B et C, cela correspond d'ailleurs aux plus fortes augmentations de rendements en paddy par rapport au témoin (traitement C).

En 1953 par rapport à l'année précédente, la production de paille a diminué sur les traitements B et C; simultanément la production du paddy a augmenté sur le traitement B et diminué légèrement sur le traitement C.

### CONCLUSION DE L'ESSAI

Les quatre années d'expérimentation ont permis de démontrer que sur les enfouissements de paille de riz (A), les rendements en paddy vont sans cesse en augmentant par rapport au témoin; il en est de même sur les enfouissements de paille de riz avec complément minéral azoté (B).

L'adjonction d'un complément minéral azoté et phosphaté (C) a une action très significative en troisième année d'essai, par la suite cette action s'atténue. L'analyse statistique globale des quatre années a prouvé qu'il existait des interactions entre années et traitements. Ceci explique les différences d'efficacité du phosphate au cours des années.

L'action fertilisante de la paille de riz ne se fait sentir de façon significative qu'à partir de la troisième année d'enfouissement. On n'observe pas de

dépression de rendement pendant les deux premières années d'enfouissement.

Dans la pratique agricole, la restitution intégrale des pailles en rizière sera une opération rentable.

En 1953, le quatrième enfouissement de paille a apporté un supplément de rendement de 1 k. 600 de paddy sur 16 m<sup>2</sup>, soit 1 t/ha. L'apport d'azote seul sur les enfouissements de paille n'est pas à conseiller, il n'a jamais élevé significativement les rendements par rapport au seul enfouissement de paille.

L'apport d'azote et de phosphate sur les enfouissements de paille a été efficace en 1952, troisième année d'essai, le supplément de rendement obtenu par rapport à l'enfouissement de paille seule est de 1 k. 14 de paddy sur 16 m<sup>2</sup> soit 900 k/ha.

Quatre années successives d'enfouissement de paille en rizière ont accru les teneurs des feuilles en azote, élevé les teneurs du sol en azote et en matière organique, augmenté l'activité des micro-organismes du sol fixateurs d'azote en anaérobiose, et élevé très significativement les rendements en paddy.

## 2° - ESSAI DE FUMURE ORGANIQUE ET D'EFFICACITÉ DES PHOSPHATES

Sur le même type de sol, différentes sources de fumure organique ont été expérimentées. Ce sont le fumier de ferme, les engrais verts, les enfouissements de paille de riz. En vue d'apporter des matières azotées aux rizières, ce sont les seules ressources naturelles utilisables.

L'essai a pour but de tester leur efficacité relative. Un complément minéral phosphaté a été apporté à chaque fumure organique; une parcelle a reçu une fumure uniquement minérale, mais complète en vue de comparer la valeur des apports minéraux et organiques.

L'essai a été réalisé suivant la méthode des blocs de Fisher, avec 8 traitements par bloc et 8 répétitions (8 blocs).

- A. — Fumier de ferme.
- B. — Fumier de ferme + phosphate bicalcique.
- C. — Engrais vert.
- D. — Engrais vert + phosphate bicalcique.
- E. — Paille de riz.
- F. — Paille de riz + sulfate d'ammoniaque 200 k/ha. + phosphate bicalcique.
- G. — Fumure minérale, sulfate d'ammoniaque 200 k/ha., phosphate bicalcique; chlorure de potasse 200 k/ha.
- T. — Témoin.

Les apports d'engrais organiques et minéraux sont renouvelés chaque année.

Les parcelles élémentaires mesurent 16 m<sup>2</sup> (4 m. × 4 m.).

L'essai est en cours depuis 1950. La première année on a apporté le fumier de ferme à la dose de 10 t/ha., par la suite, cet apport a été de 25 t/ha.

Le phosphate bicalcique a été apporté pendant les deux premières années à la dose de 250 k/ha. En 1952, cette dose a été doublée. En 1950 et 1951, on a réalisé un enfouissement d'engrais vert *Crotalaria usaramoensis* (10 t/ha.) provenant d'une parcelle voisine de la rizière. En 1952 et 1953, un engrais vert *Vigna sinensis* a été cultivée sous irrigation en inter-saison. La légumineuse semée le 1<sup>er</sup> septembre a été enfouie en vert, le 21 novembre, les rendements

moyens en poids de matière verte enfouie par parcelle de 16 m<sup>2</sup> ont été les suivants (rendements en kilos) :

	BLOCS							
	1	2	3	4	5	6	7	8
ANNÉE 1951								
Parcelle C — Engrais vert seul .....	94,4	72,5	87,0	64,2				
Parcelle D engrais vert + phosphate ..	79,3	122,2	101,0	97,2				
ANNÉE 1952								
Parcelle C engrais vert seul	33,2	37,1	30,1	45,0	44,5	59,4	42,7	57,5
Parcelle D engrais vert + phosphate ..	45,2	39,1	36,0	48,4	39,1	45,6	64,6	53,4

En 1952, les apports de matière verte varient entre 30 et 50 k. par parcelle, soit 20 à 30 t/ha. ; en 1951, ils avaient atteint 50 t/ha.

Le Vigna a un cycle de végétation très court, il est en fleur lorsqu'on l'enfouit, fin novembre.

La paille a été apportée en 1950 à la dose de 3 t/ha., par la suite sur les parcelles E et F, on a restitué intégralement toute la récolte de paille.

**Rendements en riz paddy par parcelle de 16 m<sup>2</sup> observés au cours des quatre années d'essai**  
(rendements en kilos)

	1950	1951	1952	1953
A. Fumier de ferme .....	5,82	10,21	9,71	9,01
B. Fumier de ferme + phosphate bicalcique .....	5,69	10,57	9,87	9,01
C. Engrais vert .....	6,25	8,67	9,16	9,02
D. Engrais vert + Phosphate bicalcique .....	5,72	9,13	10,03	9,21
E. Paille de riz .....	4,62	8,42	9,53	9,22
F. Paille de riz + Sulfate d'ammoniaque .....	6,21	9,18	9,55	9,02
+ phosphate bicalcique .....				
G. Fumure minérale N P K .....	6,09	9,90	9,45	9,17
T. Témoin .....	5,01	7,76	8,78	6,60

**Rendements en paille sèche par parcelle de 16 m<sup>2</sup> au cours des années d'essai**

	1950	1951	1952	1953
A. Fumier de ferme .....	10,12	17,93	14,52	13,12
B. Fumier de ferme + phosphate bicalcique .....	11,50	16,61	13,21	12,77
C. Engrais vert .....	12,10	11,91	13,42	12,18
D. Engrais vert + phosphate bicalcique .....	11,40	15,71	14,07	13,49
E. Paille de riz .....	10,57	13,36	14,51	13,38
F. Paille de riz + sulfate d'ammoniaque .....	11,05	15,17	13,36	12,21
+ phosphate bicalcique .....				
G. Fumure minérale N P K .....	12,71	19,55	14,53	13,47
T. Témoin .....	10,16	13,88	15,10	10,10

Au point de vue rendement en paddy, en 1950, il y a des différences significatives dans l'ensemble des traitements.

**Tableau d'analyse de la variance**

Origine de la variation	Somme des carrés	D <sup>o</sup> de liberté	Variance
Entre blocs .....	35,78	7	5,111
Entre traitements .....	19,08	7	2,726
Résiduelle (erreur) .....	34,38	49	0,701

Comparaison des variances  $\frac{\text{blocs}}{\text{erreur}} = 7,29$  seuil 5 %  
2,25.

Le terrain est hétérogène, il y a des différences significatives entre blocs.

Comparaison des variances  $\frac{\text{traitements}}{\text{erreur}} = 3,88$  seuil 5 % : 2,25.

Il existe des différences significatives entre traitements.

La plus petite différence significative entre deux moyennes est de 0 k. 82.

Les traitements : Engrais vert  
Paille de riz + N + P  
Fumure minérale N P K.

sont significativement supérieurs au témoin, mais non différents entre eux.

En 1951, l'hétérogénéité entre blocs diminue, les traitements sont davantage significatifs.

Engrais vert en culture dérobée en rizière.



Tableau d'analyse de la variance

Origine de la variation	Somme des carrés	D° de liberté	Variance
Entre blocs .....	12,46	7	1,780
Entre traitements .....	50,59	7	7,227
Résiduelle (erreur) .....	59,96	49	1,223
Total .....	123,01		

$$\text{Variance} \frac{\text{traitement}}{\text{erreur}} = 5,999 \text{ seuil } 1\% = 3,47.$$

Plus petite différence significative entre deux moyennes = 1 k. 10.

Les traitements : Fumier de ferme + phosphate.  
Fumier de ferme.  
Fumure minérale N P K.  
Engrais vert + phosphate.  
Paille + azote + phosphate

sont significativement supérieurs au témoin.

Le traitement fumier de ferme + phosphate est significativement supérieur aux traitements : engrais vert + phosphate et paille de riz + azote + phosphate.

En 1952, une légère hétérogénéité entre blocs réapparaît, les différences entre traitements sont significatives dans leur ensemble.

Tableau d'analyse de la variance

Origine de la variation	Somme des carrés	D° de liberté	Variance
Entre blocs .....	8,080	7	1,154
Entre traitements .....	9,191	7	1,312
Erreur .....	25,706	49	0,524
Total .....	42,977	63	

$$\text{Variance} \frac{\text{traitements}}{\text{erreur}} = 2,505 \text{ seuil } 5\% = 2,25.$$

La plus petite différence significative entre deux moyennes est de 0 k. 72.

Tous les traitements sont significativement supérieurs au témoin sauf le traitement (C), engrais vert. Il n'y a pas de différences significatives entre eux.

C'est la première fois que le traitement E paille de riz est significatif.

En 1953, tous les traitements sont significativement supérieurs au témoin, mais non différents entre eux.

Tableau d'analyse de la variance

Origine de la variation	Somme des carrés	D° de liberté	Variance
Entre blocs .....	3,872	7	0,553
Entre traitements .....	44,271	7	6,324
Erreur .....	21,726	49	0,443
Total .....	69,869		

$$\text{Comparaison variance} \frac{\text{traitements}}{\text{erreur}} = 14,275 \text{ seuil}$$

1 % = 3,47. La plus petite différence significative entre deux moyennes est de 0 k. 66.

L'analyse statistique a également été réalisée en groupant les quatre années d'essai.

Les rendements moyen en kg. de paddy par parcelle de 16 m<sup>2</sup> au cours des années ont été les suivants :

A. — Fumier de ferme .....	8 k. 696
B. — Fumier + phosphate bicalcique .....	8 k. 787
C. — Engrais vert .....	8 k. 280
D. — Engrais + phosphate bicalcique .....	8 k. 258
E. — Paille de riz .....	7 k. 951
F. — Paille + azote + phosphate .....	8 k. 492
G. — Fumure minérale N P K .....	8 k. 655
T. — Témoin .....	7 k. 039

Tableau d'analyse de la variance

Origine de la variation	Somme des carrés	D° de liberté	Variance
Entre blocs .....	60,192	28	2,149
Entre traitement .....	75,399	7	10,771
Entre années .....	604,330	3	201,443
Traitements × années ..	47,740	21	2,270
Erreur .....	141,776	196	0,723
Total .....	929,437	255	

Comparaison des variances

$$\text{Blocs} \frac{\text{traitements}}{\text{erreur}} = 2,972 \text{ seuil } 1\% = 2,12 \text{ significatif.}$$

Erreur

$$\text{Traitements} \frac{\text{traitements}}{\text{erreur}} = 14,8197 \text{ seuil } 1\% = 2,80 \text{ significatif.}$$

Erreur

$$\text{Années} \frac{\text{traitements}}{\text{erreur}} = 378,621 \text{ seuil } 1\% = 3,78 \text{ significatif.}$$

Erreur

$$\text{Traitements} \times \text{années} \frac{\text{traitements}}{\text{erreur}} = 3,152 \text{ seuil } 1\% = 2,12 \text{ significatif.}$$

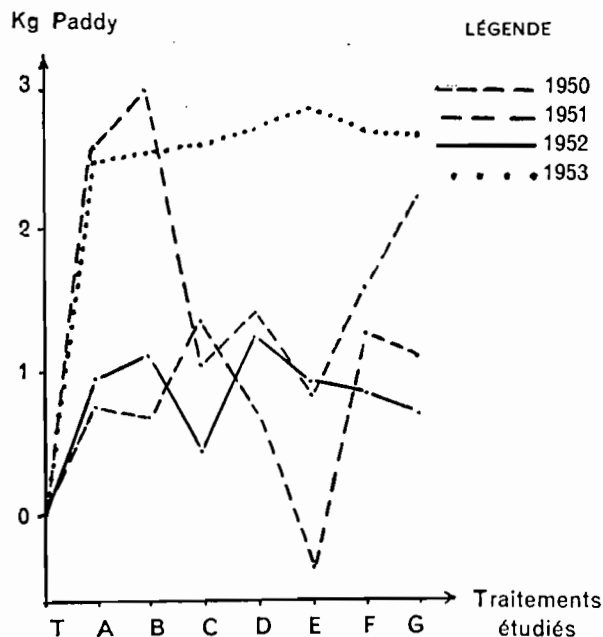
Il existe donc une légère hétérogénéité du sol, largement compensée par la très forte significativité des traitements.

L'influence des années est considérable, la simple comparaison des moyennes annuelles l'indique d'ailleurs clairement. Les conditions propres à chaque année ont influencé l'efficacité des traitements : il y a interaction : année × traitements.

La plus petite différence significative entre deux moyennes quelconque est de 0 k. 42.



### Augmentation des rendements en paddy par rapport au témoin

 (en kg sur parcelle de 16 m<sup>2</sup>)


Au cours des quatre ans, les traitements se classent dans l'ordre suivant d'efficacité décroissante :

- Fumier + phosphate.
  - Fumier de ferme.
  - Fumure minérale N P K.
  - Paille + azote + phosphate.
  - Engrais vert.
  - Engrais vert + phosphate.
  - Paille.
- { Ces quatre premiers traitements donnent des résultats semblables.

Le témoin est significativement inférieur à tous les traitements. Le traitement « paille » est inférieur à tous les traitements sauf : engrais vert et engrais vert + phosphate.

L'adjonction d'azote et de phosphate sur les enfouissements de paille élève significativement le rendement par rapport à l'enfouissement de paille seule.

**Les traitements « engrais vert » et « engrais vert + phosphate » sont significativement inférieurs aux traitements : fumier de ferme et fumier de ferme + phosphate.**

**La seule adjonction de phosphate bicalcique au fumier de ferme ou à l'engrais vert n'a jamais élevé significativement les rendements.**

Pour maintenir la fertilité de sols de rizière, on peut réaliser un apport de fumier de ferme (25 t/ha.), ou bien enfouir intégralement la paille de riz en apportant un complément minéral azoté et phosphaté ; ou enfin apporter une fumure minérale complète **NPK**.

Dans l'ordre d'efficacité, l'utilisation des engrais verts vient ensuite. Il ne faut pas oublier qu'à la quatrième année d'apports successifs, tous les traitements (y compris la paille seule) sont à peu près équivalents.

Au cours des premières années, les traitements E, paille de riz et C, engrais vert sont toujours inférieurs en efficacité aux autres traitements.

En 1953, ils ont rattrapé le retard et se trouvent aussi efficaces que tous les autres traitements.

En 1951, le fumier de ferme et la fumure minérale N P K sont nettement supérieurs à tous les autres traitements. Cet avantage s'atténue par la suite.

### CONTROLE BIOCHIMIQUE DE L'ESSAI

Le tableau suivant donne les niveaux moyens N P K Ca dans les feuilles de riz (1<sup>re</sup> feuille sous l'épi à la floraison) sur les différentes parcelles de l'essai. Teneurs en % de la matière sèche.

#### Traitements

	Témoin T	Fumier A	Fumier + P B	Engrais vert C	Engrais vert + P D	Paille E	Paille + N P F	N P K. C
N %	2,622	2,830	2,940	2,770	2,865	2,825	2,870	2,940
P %	0,242	0,221	0,223	0,226	0,226	0,232	0,226	0,231
K %	0,729	0,708	0,730	0,746	0,729	0,723	0,722	0,748
Ca %	0,274	0,317	0,329	0,309	0,314	0,311	0,313	0,311

#### Tableau des calculs de corrélation

Corrélation	Coefficient de corrélation calculé	Coefficient théorique		Observations
		à 5 %	à 1 %	
Teneurs N dans les feuilles - Rendement en paddy	0,4251	0,2500	+ 0,3248	Corrélation positive à 1 %
Teneurs P dans les feuilles - Rendement en paddy ..	- 0,3285			Corrélation négative à 1 %
Teneurs K dans les feuilles - Rendement en paddy				Non significatif, pas de corrélation
Teneurs Ca dans les feuilles - Rendement en paddy	0,1618			Non significatif, pas de corrélation
Teneurs en N - Teneurs en P ..	- 0,3042			Corrélation négative à 5 %

On retrouve comme pour le précédent essai une corrélation positive hautement significative entre teneurs des feuilles en azote et les rendements en paddy ; une corrélation négative entre les teneurs des feuilles en acide phosphorique et les rendements en paddy ; une corrélation négative entre les teneurs des feuilles en azote et les teneurs des feuilles en acide phosphorique.

## ANALYSES DE TERRE

Un prélèvement d'échantillon de terre a été réalisé en 1953 sur toutes les parcelles de l'essai.

Voici les résultats moyens pour les principaux éléments fertilisants du sol

Teneurs en éléments fertilisants dans le sol	TRAITEMENTS							
	T	A	B	C	D	E	F	G
	Témoin	Fumier	Fumier + P	Engrais vert	Engrais vert + P	Paille	Paille + N P	N P K
Matières organ. totales % .....	0,76	1,52	1,32	1,28	1,18	1,16	1,23	1,20
Azote total .. % <sub>100</sub>	1,95	2,19	2,37	2,22	2,30	2,17	2,34	2,40
Humus .... % <sub>100</sub>	0,28	0,52	0,44	0,45	0,44	0,42	0,45	0,44
Acide phosphor. assimilable .. % <sub>100</sub>	0,012	0,014	0,015	0,014	0,009	0,012	0,012	0,011
Potasse échangeable .. % <sub>100</sub>	0,085	0,170	0,126	0,140	0,111	0,128	0,169	0,131
Chaux échangeable .. % <sub>100</sub>	1,35	1,18	1,23	1,22	1,15	1,34	1,37	1,28
Capac. d'échange m. c. pour 100 gr. de sol .....	16,3	18,8	19,6	17,5	19,0	17,6	18,8	18,5

Les différentes fumures organique élèvent très significativement les teneurs du sol en matière organique totale, azote et humus.

Le fumier de ferme donne toujours les meilleurs résultats.

Les teneurs du sol en acide phosphorique assimilable ne sont pas influencées par les divers traitements. Le phosphate bicalcique disparaît donc en rizière même après 4 années successives d'apport. Une forme moins facilement soluble (tricalcique) serait vraisemblablement mieux conservée dans le sol.

La chaux échangeable diminue sur tous les traitements sauf sur les enfouissements de paille.

La potasse échangeable est en progression principalement sur les traitements fumier, engrais vert, paille + N P, fumure minérale.

La capacité d'échange est partout augmentée, elle est en liaison avec des teneurs en éléments organiques.

## ETUDE MICROBIOLOGIQUE DES PARCELLES DE L'ESSAI

Des prélèvements destinés à l'analyse microbiologique ont été effectués le 9 avril 1953 (prélèvement effectué sous l'eau).

Des numérations sur plaque de silicogel ont donné les résultats suivants :

## Nombre de germes par gramme de terre

Traitements	Azotobacter	Clostridium	Cellulolytiques	Nitreux
I. Témoin .....	433	1636	178	418
A. Fumier .....	621	2019	272	324
B. Fumier + P .....	477	1618	328	161
C. Engrais vert .....	726	1595	361	248
D. Engrais vert + P .....	553	3841	491	450
E. Paille .....	984	3472	206	500
F. Paille + N P .....	467	1391	245	236
G. N P K .....	728	1244	337	823

Le fumier de ferme, l'engrais vert + phosphate et la paille de riz augmentent l'activité des clostridium de façon très marquée.

L'activité des azotobacters est légèrement accrue

L'activité des germes cellulolytiques est augmentée par les apports de fumier + phosphate, engrais vert, et engrais vert + phosphate.

Les germes nitreux ne sont pas influencés par les différents traitements.

Ces résultats ont besoin d'être confirmés par plusieurs années d'étude, mais l'accroissement de l'activité des clostridium en rizière par enfouissement d'engrais organique semble s'affirmer.

Le fait nouveau ici est l'augmentation de l'activité des cellulolytiques par les apports combinés fumier + phosphate ou engrais vert + phosphate. **L'appoint de fumure minérale phosphatée paraît favoriser l'activité des cellulolytiques.**

Les enfouissements de paille n'augmentent pas l'activité des cellulolytiques ; le fumier de ferme et les engrais verts, surtout lorsqu'ils sont enfouis avec un complément minéral phosphaté, augmentent leur activité.

## Evolution de la production de paille au cours des quatre années d'essai.

Pendant les deux premières années d'essai, ce sont les traitements fumier et fumure minérale N P K qui ont entraîné les plus fortes productions de paille. La troisième année se distingue par une très faible production de paille, tous les traitements produisent moins de paille que le témoin.

Lors de la troisième année d'essai, tous les traitements sont à peu près identiques, sauf les traitements fumier + phosphate, engrais vert et paille + N P qui ont moins tendance à pousser à la production de paille.

## CONCLUSION DE L'ESSAI

A l'égard de la production de paddy, le fumier de ferme a fourni les résultats les plus rapides et les meilleurs. Le complément phosphaté sur enfouissement de fumier de ferme n'a jamais marqué significativement ; la fumure minérale N P K, la paille de riz avec adjonction d'azote et de phosphate, les enfouissements d'engrais vert avec complément phosphaté donnent ensuite les meilleurs résultats et arrivent en quatrième année à égaler le traitement fumier de ferme.

Les traitements engrais vert seul, et paille seule viennent enfin, et mettent quatre ans pour apporter des suppléments de rendements importants.

L'ensemble des traitements répétés pendant quatre ans augmentent le rendement de 1,5 t/ha. par rapport au témoin.

Les rendements moyens sur quatre ans accusent un supplément de rendement par rapport au témoin de :

- 1 t/ha. par an pour le traitement fumier de ferme.
- 1 t/ha. par an pour la fumure minérale N P K.
- 0,93 t/ha. par an pour le traitement paille + N P.
- 0,74 t/ha. par an pour le traitement engrais vert.

Ce sont les quatre formules de fumure organique que nous conseillons pour les rizières situées sur ce type de sol. Les différentes sources de fumure organique

(fumier de ferme, paille, engrais verts) ont élevé les teneurs d'azote dans les feuilles, augmenté les teneurs du sol en azote, humus, matière organique, potasse échangeable, augmenté l'activité des micro-organismes fixateurs d'azote, Clostridium, et dans certains cas azotobacter. Ils ont élevé enfin significativement les rendements en paddy.

### 3° - FUMURE MINÉRALE ET MIXTE

Les fumures minérales ont été expérimentées en combinaison ternaire ou binaire.

Le sulfate d'ammoniaque a été utilisé seul. Le fumier de ferme et le fumier de parc ont été utilisés en mélange avec des engrais minéraux.

L'essai a été réalisé suivant la méthode des blocs de Fisher, 12 traitements par bloc, et 12 répétitions (12 blocs).

- 1. — Témoin.
- 2. — N P K.
- 3. — N P.
- 4. — N K.
- 5. — P K.
- 6. — N.
- 7. — Fumier de ferme + N P K.
- 8. — Fumier de ferme + N P.
- 9. — Fumier de ferme + P.
- 10. — Fumier de parc + N P K.
- 11. — Fumier de parc + N P.
- 12. — Fumier de parc + P.

En 1951, les engrais ont été apportés aux doses suivantes :

- N : 200 k/ha. sulfate d'ammoniaque.
- P : 250 k/ha. phosphate bicalcique.
- K : 100 k/ha. chlorure de potasse.
- Fumier de ferme : 20 t/ha.
- Fumier de parc : 20 t/ha.

En 1952 et 1953, les doses ont été légèrement augmentées :

- N : 300 k/ha. sulfate d'ammoniaque.
- P : 350 k/ha. phosphate bicalcique.
- K : 200 k/ha. chlorure de potasse.

Le fumier de ferme est pailleux, bien décomposé.

Le fumier de parc est une poudre assez peu riche en éléments organiques, mais renfermant des quantités importantes d'éléments minéraux.

Les parcelles élémentaires mesurent 25 m<sup>2</sup>.

Les engrais sont apportés chaque année avant le repiquage et enfouis à la bêche.

#### Rendements en kg. de paddy par parcelle de 25 m<sup>2</sup> observés au cours des années d'essai

Traitements	1951	1952	1953
N P K	9,15	11,98	12,11
N P	10,51	14,35	12,82
N K	9,41	13,67	12,76
P K	9,07	12,67	12,77
N	10,42	13,23	12,88
Fumier de ferme + N P K	9,72	14,03	12,21
Fumier de ferme + N P	9,26	14,68	12,84
Fumier de ferme + P	9,84	13,85	12,72
Fumier de parc + N P K	9,03	15,47	12,82
Fumier de parc + N P	9,35	14,58	12,12
Fumier de parc + P	8,94	12,91	12,19
Témoin	7,23	10,92	9,04

#### Rendements en kg. de paille sèche par parcelle de 25 m<sup>2</sup> observés au cours des trois années d'essai

Traitements	1951	1952	1953
N P K		19,75	17,93
N P		19,58	17,25
N K		21,31	18,46
P K		17,55	18,06
N		21,20	18,36
Fumier de ferme + N P K		22,10	18,03
Fumier de ferme + N P		23,41	18,32
Fumier de ferme + P		20,22	17,76
Fumier de parc + N P K		25,98	18,07
Fumier de parc + N P		21,80	17,54
Fumier de parc + P		19,55	17,32
Témoin		15,75	14,19

#### Analyses statistiques

En 1951, on a observé des différences significatives dans les rendements en paddy, pour l'ensemble des traitements. Le terrain s'est avéré homogène. Les moyennes ont été comparées entre elles en utilisant le test T de Fisher.

Les traitements se classent dans l'ordre suivant : (efficacité décroissante)

- N.
  - N P.
  - Fumier de ferme + N P K.
  - Fumier de ferme + N P.
  - Fumier de parc + N P K.
  - Fumier de ferme + P.
  - N P K.
  - Fumier de parc + N P.
  - N K.
  - Fumier de parc + P.
  - P K.
- } Tous ces traitements sont significativement supérieurs au témoin à la probabilité 1 %.
- } Sont significativement supérieurs au témoin à la probabilité 5 %.
- } Ne sont pas significativement supérieurs au témoin.

Dès la première année d'essai, l'élément azote donne les meilleurs résultats. Employé seul à la dose de 200 k/ha., le sulfate d'ammoniaque a élevé les rendements en paddy de 1.276 kg/ha. Tous les autres traitements apportent des augmentations de rendements comprises entre : 700 et 1.000 kg/ha.

On peut se contenter lors de la première année de fertilisation d'apporter uniquement un engrais azoté.

#### En 1952

Les différences de rendement en paddy entre les divers traitements sont devenues plus significatives. Les traitements se classent par ordre d'efficacité décroissante de la façon suivante :

Traitements	Coefficient T Fisher calculé	Significativité	Coefficient T Fisher théorique	
			Pro- babi- lité, 5 %	Pro- babi- lité, 1 %
Fumier de parc + N P K .	4,8	Significatif à 1 %	2,07 <sup>3</sup>	2,81
Fumier de parc + N P ...	4,8	à 1 %		
Fumier de ferme + N P ...	4,31	à 1 %		
Fumier de ferme + N P K	3,88	à 1 %		
N P .....	3,40	à 1 %		
Fumier de ferme + P .....	2,95	à 1 %		
N K .....	2,76	à 5 %		
N .....	2,74	à 5 %		
Fumier de parc + P .....	2,57	à 5 %		
P K .....	1,8	Non significatif		
N P K .....	Plusieurs parcelles accidentées			

En deuxième année d'essai, les rendements les plus élevés sont obtenus sur les traitements : fumure organique + N P K ou fumure organique + N P. à l'intérieur de cette fumure mixte, la potasse a une action réduite. Les suppléments de rendements obtenus par rapport au témoin sont de l'ordre de 1,820 kg/ha. à 1170 kg/ha. La fumure minérale N P. donne des résultats semblables.

L'azote utilisé seul est bien moins efficace qu'en première année d'essai, il y a vraisemblablement un déséquilibre dans l'alimentation du riz. Les traitements N K et fumier de parc + P sont également déclassés par rapport aux autres traitements.

La fumure P K n'est toujours pas efficace. Sur le type de sol considéré, la fumure minérale est à dominance N P, les fumures mixtes qui donnent les meilleurs résultats sont : **fumier de ferme + N P** et **fumier de parc + N P**.

**En 1953.** Tous les traitements ont augmenté significativement les rendements en paddy par rapport au témoin, il n'y a pas de différences significatives entre eux. L'année 1953 paraît avoir une tendance fort nette à uniformiser l'influence des traitements sur les rendements en paddy.

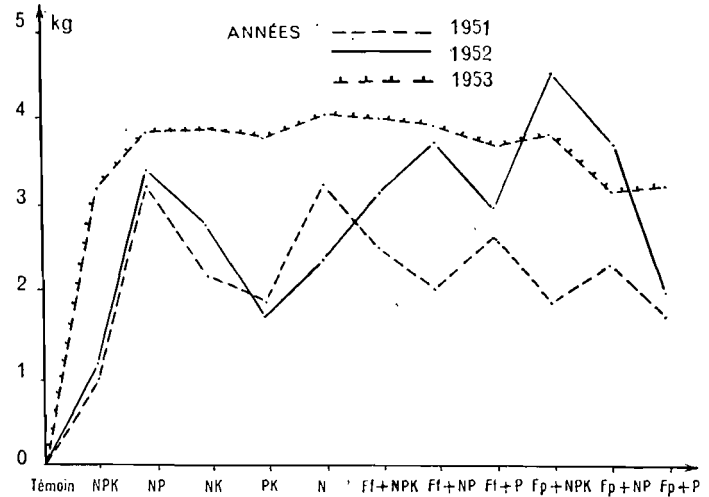
Le traitement P K lui-même, après trois années successives d'apport, s'avère enfin efficace.

**En groupant les résultats des trois années d'essai, on arrive aux conclusions suivantes :**

**Tableau d'analyse de la variance**

Origine de la variation	Somme des carrés	Degrés de liberté	Variance
Blocs .....	252,81	25	10,112
Traitements .....	343,14	11	31,194
Années .....	882,42	2	441,212
Traitements × Années .....	45,35	22	2,061
Erreur .....	729,18	275	2,651
Total .....	2.252,91	335	

**Augmentation des rendements en paddy par rapport au témoin**  
(en kg par parcelle de 25 m<sup>2</sup>)



**Comparaison des variances**

Blocs	=	3,814	seuil à 1 % =	2,12
erreur				
Traitements	=	11,766	seuil à 1 % =	2,82
erreur				
Années	=	166,432	seuil à 1 % =	4,98
erreur				
Traitements × Années	=	0,777	seuil à 5 % =	1,70
erreur				

On observe une hétérogénéité assez forte entre blocs, largement compensée d'ailleurs par l'influence prépondérante des traitements. Les années ont fortement fait varier les rendements sans pour cela affecter les traitements dans leur action. L'essai est dans son ensemble hautement significatif.

Les moyennes générales obtenues au cours des trois années d'essai par les différents traitements sont les suivantes :

Rendement moyen en kg. de paddy par parcelle de 25 m<sup>2</sup>.

Témoin .....	9 kg. 46
N P K .....	11 kg. 28
N P .....	12 kg. 98
N K .....	12 kg. 43
P K .....	11 kg. 93
N .....	12 kg. 50
Fumier de ferme + N P K .....	12 kg. 46
Fumier de ferme + N P .....	12 kg. 80
Fumier de ferme + P .....	12 kg. 59
Fumier de parc + N P K .....	13 kg. 14
Fumier de parc + N P .....	12 kg. 58
Fumier de parc + P .....	11 kg. 80

La plus petite différence significative entre deux moyennes est de 0 kg. 868.

Tous les traitements sont significativement supérieurs au témoin, les meilleures fumures au cours des trois années d'essai ont été :

- Fumier de parc + N P K.
- Fumier de ferme + N P.
- N P.
- N.

Sur alluvions fluviales latéritiques, on peut conseiller les fumures N, N P ou fumure organique + N P ; il ne semble pas qu'il soit nécessaire d'avoir une fumure complète N P K, la potasse n'est pas un facteur limitant du rendement.

### CONTROLE BIOCHIMIQUE DE L'ESSAI

En 1953

Les analyses foliaires ont été effectuées sur l'ensemble des parcelles de l'essai pour les éléments N P K Ca.

Traitements	Teneurs dans les feuilles % de la matière sèche			
	N	P	K	Ca
Témoin .....	2,86	0,236	0,726	0,296
N P K .....	3,29	0,232	0,707	0,302
N P .....	3,27	0,231	0,708	0,296
N K .....	3,18	0,229	0,681	0,291
P K .....	3,16	0,237	0,725	0,290
N .....	3,12	0,226	0,688	0,288
Fumier de ferme + N P K	3,40	0,219	0,713	0,257
Fumier de ferme + N P	3,31	0,223	0,731	0,267
Fumier de ferme + P	3,28	0,227	0,654	0,286
Fumier de parc + N P K	3,45	0,222	0,744	0,267
Fumier de parc + N P	3,32	0,222	0,728	0,277
Fumier de parc + P	3,26	0,226	0,695	0,296

Tableau des coefficients de corrélation

Corrélation	Coefficient de corrélation calculé	Coefficient théorique	Observations
Teneurs en N dans les feuilles - Rendement en paddy .....	+ 0,2878	au seuil 1 % 0,254	Corrélation positive à 1 %
Teneurs en P dans les feuilles - Rendement en paddy .....	- 0,213	au seuil 5 % 0,194	Corrélation négative à 5 %
Teneurs en K - Rendement en paddy ..	—	—	Non significatif, pas de corrélation
Teneurs en Ca - Rendement en paddy ..	—	—	Non significatif, pas de corrélation
Teneurs en N - Teneurs en P .....	- 0,4114	au seuil 1 % 0,254	Corrélation négative à 1 %

Comme pour tous les essais sur alluvions fluviales latéritiques, on retrouve la corrélation positive : teneur en azote dans les feuilles/rendement en paddy et les corrélations négatives :

Teneurs en phosphate dans les feuilles/rendement en paddy.

Teneurs en azote dans les feuilles/teneurs en phosphore dans les feuilles.

### Analyse de terre

Des prélèvements de terre ont été effectués sur toutes les parcelles de six blocs de l'essai.

Les teneurs moyennes suivantes ont été observées pour les principaux éléments du sol (voir tableau ci-dessous).

Les fumures mixtes élèvent sensiblement les teneurs du sol en matière organique totale, azote total et humus.

Les fumures minérales et particulièrement les traitements contenant de l'azote minéral élèvent également les teneurs en éléments organiques, mais de façon moins significative que les fumures mixtes.

Les fumures mixtes donnent au sol les teneurs les plus élevées en acide phosphorique assimilable (on passe de 0,006 ‰ sur le témoin à 0,012 ‰ sur les parcelles fumier de parc + phosphate) et en potasse échangeable (on passe de 0,077 ‰ sur les parcelles témoins à 0,113 ‰ sur les parcelles fumier de ferme + N P K).

Les teneurs en chaux échangeable et les valeurs de capacité d'échange ne sont pas influencées par les différents traitements.

### CONCLUSION DE L'ESSAI

La fumure minérale la plus efficace et la plus rentable est l'azote ou le mélange azote et acide phosphorique. On peut, en utilisant annuellement ces fumures, escompter un accroissement de rendement de 1 t., 2 à 1 t., 4 ha/an.

Les fumures mixtes, fumier de ferme + N P ou fumier de parc + N P, donnent des résultats à peu près analogues ; le sol emmagasine davantage d'éléments fertilisants que dans le cas des fumures minérales.

Cet essai confirme au point de vue niveau d'azote et d'acide phosphorique dans les feuilles, les résultats trouvés précédemment.

Teneurs moyennes pour les principaux éléments de sol :

Teneurs en éléments fertilisants du sol	Témoin	N P K	N P	N K	P K	N	Fumier de ferme + N P K	F f + N P	F f + P	Fumier de parc + N P K	F Parc + N P	F Parc + P
Matière organique totale %	1,33	2,19	1,87	1,99	1,75	1,82	1,95	2,18	2,00	2,22	2,15	2,17
Azote total ‰	2,03	2,37	2,35	2,29	2,30	2,31	2,41	2,41	2,36	2,48	2,40	2,37
Humus ‰	0,47	0,69	0,66	0,70	0,58	0,71	0,71	0,72	0,77	0,76	0,77	0,71
Acide phosphor. assimilable ‰	0,006	0,007	0,006	0,009	0,007	0,008	0,010	0,006	0,007	0,008	0,013	0,012
Potasse échangeable ‰	0,077	0,072	0,074	0,066	0,069	0,070	0,113	0,087	0,131	0,106	0,090	0,107
Chaux échangeable ‰	1,26	1,59	1,46	1,44	1,52	1,39	1,59	1,25	1,32	1,52	1,29	1,51
Capacité d'échange . éq. pour 100 gr. de sol	25,7	25,7	26,3	27,5	26,0	26,1	27,0	27,0	26,5	28,2	26,7	26,9

## II. - FERTILISATION DU RIZ SUR SOLS DE MARAIS

La zone rizicole du lac Alaotra est surtout développée sur les sols de marais drainés. Il était nécessaire de mettre au point une fumure permettant de maintenir et d'améliorer la fertilité de ces sols. Ces terrains ont, après drainage, une évolution rapide (5), le terme de cette évolution est l'obtention du profil classique.

**0 à 30 cm.** : horizon limoneux noir.

**Au-dessous de 30 cm.** : horizon argileux gris imperméable.

La couche humifère de surface est assez bien pourvue en azote total, les teneurs en acide phosphorique assimilable sont faibles, les teneurs en potasse et en chaux sont moyennes ou faibles.

Ces terrains ont fort peu de réserve en éléments minéraux fertilisants et par contre une bonne capacité d'échange leur permettant de fixer utilement les apports d'éléments minéraux.

La Station Agronomique du lac Alaotra ne disposant pas de terrains d'essai sur sol de marais, nous avons dû créer un point d'expérimentation sur la Rive Ouest du lac Alaotra, près du village d'Amborompotsy. Un essai de fumure minérale a été entrepris suivant la méthode des blocs de « FISHER ».

Huit fumures différentes ont été comparées à un témoin au cours des campagnes 1952 et 1953.

### Traitements étudiés

	Doses utilisées
P. K.	
N. K.	
N. P.	N = 150 k/ha sulfate ammoniacque à 20% N.
N. P. K.	2 N = 300 k/ha —
2 N. P. K.	P = 200 k/ha phosphate bicalcique à 38 % P 2 O 5 Total
N 2 P. K.	2 P = 400 k/ha phosphate —
N. P. 2 K.	K = 100 k/ha chlorure de potasse à 56 % K 2 O.
2 N 2 P. K.	2 K = 200 k/ha chlorure de potasse.

La variété utilisée est le Makalioka 34 repiqué.

Les parcelles élémentaires mesurent 5 m × 5 m = 25 m<sup>2</sup>.

En 1952. On a obtenu les rendements suivants en kg. de paddy par parcelle élémentaire de 25 m<sup>2</sup> (classement par ordre d'efficacité décroissante).

2N + P + K	= 9 kg. 66	} Traitements significatifs par rapport au témoin.
2N + 2P + K	= 9 kg. 63	
N + 2P + K	= 8 kg. 83	
N + P + K	= 8 kg. 20	
N + P + 2K	= 7 kg. 63	
N P	= 6 kg. 26	} Traitements non significatifs par rapport au témoin.
P K	= 6 kg. 03	
N K	= 5 kg. 43	
Témoin	= 5 kg. 36	

Tableau d'analyse de la variance

Origine de la variation	Somme des carrés	Degrés de liberté	Variance
Blocs.....	0,637	2	0,318
Traitements.....	72,101	8	9,012
Erreur.....	5,081	16	0,317
Total.....	77,819		

### Comparaison des variances

Blocs  
 — = 1,00 seuil 5 % = 3,63 non significatif.  
 erreur

Traitements  
 — = 28,4 seuil 5 % = 2,59. Les traitements sont significatifs.  
 erreur

La plus petite différence significative entre deux moyennes est de : 0 kg. 973.

Les traitements à trois éléments ont donné des rendements significativement supérieurs au témoin et à tous les traitements à deux éléments.

Les traitements 2N P K, 2N 2P K sont significativement supérieurs au traitement N P K.

Dès la première année, il semble possible d'affirmer l'efficacité de la fumure complète N P K avec dominance N et P.

### En 1953

Les rendements moyens en kg. de paddy par parcelle de 25 m<sup>2</sup> ont été les suivants (classement par ordre d'efficacité décroissante) :

2N 2P K.....	11 k. 150	N P.....	7 k. 48
N P K.....	9 k. 06	N K.....	7 k. 53
N P 2K.....	8 k. 90	P K.....	6 k. 85
N 2P K.....	8 k. 78	Témoin.....	5 k. 9
2N P K.....	7 k. 65		

### Comparaison des variances

Blocs  
 — = 1,213 non significatif.  
 erreur Il n'y a pas d'hétérogénéité du sol.

Traitements  
 — = 9,283 seuil 1 % = 3,17 significatif.  
 erreur

Les différences entre traitements sont fortes.

La plus petite différence significative entre deux moyennes est 1,408. Seul le traitement P K n'est pas significativement supérieur au témoin. Le traitement 2N 2P K se détache nettement. Il est supérieur à tous les autres traitements.

### Calculs statistiques sur les deux années groupées

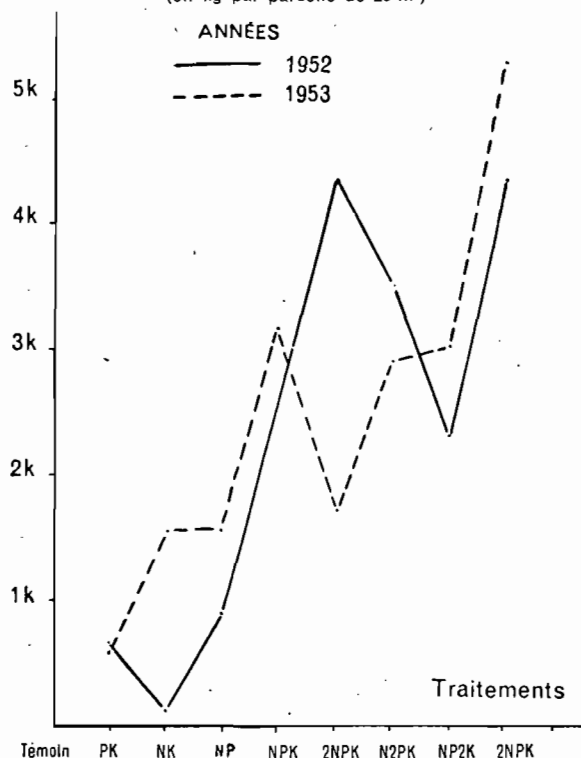
En groupant les résultats des deux années d'essai, on obtient les rendements moyens suivants en kg. de paddy par parcelle de 25 m<sup>2</sup>.

(Classement par ordre d'efficacité décroissante)

2N 2P K.....	10 k. 64	N. P.....	7 k. 077
N 2P K.....	8 k. 80	N K.....	6 k. 833
N P K.....	8 k. 77	P K.....	6 k. 577
N P 2K.....	8 k. 47	Témoin.....	5 k. 755
2N P K.....	8 k. 322		

**Accroissement des rendements en paddy par rapport au témoin**

(en kg par parcelle de 25 m<sup>2</sup>)



**Tableau d'analyse de la variance**

Origine de la variation	Somme des carrés	Degrés de liberté	Variance
Blocs	9,684	7	1,210
Traitements	160,045	8	20,005
Années	8,286	1	8,286
Années × traitements	22,797	8	2,849
Erreur	64,723	56	1,156
Total	265,535		

**Comparaison des variances**

Bloc/erreur = 1,1, non significatif. Le sol n'est pas hétérogène.

Traitement/erreur = 17,350, hautement significatif. Il y a de fortes différences entre traitements. La plus petite différence significative entre deux moyennes est de 1 k. 01. Les traitements se classent de la façon suivante :

2N + 2P + K. signi- } N2 P.K. } significative- } N. K.  
 ficativement supé- } N P. K. } tivement su- } N. P.  
 rieur à } N P2 K. } périeurs à } P. K.  
 } 2NP. K. }

Tous les traitements sont significativement supérieurs au témoin sauf P K.

**Variances**

Année / erreur = 7,167 significatif. Les différences de rendement entre années sont significatives. La plus petite différence significative est de 0 k. 340.

L'année 1953 (rendement moyen 8 k. 15) est supérieure à l'année 1952 (rendement moyen 7 k. 45).

**Traitements et années**

= 2,464. Il y a interaction entre traitements et années. Les conditions propres à chaque année ont influencé l'efficacité des traitements.

**Conclusion des deux années d'essai :**

La meilleure fumure minérale sur sol de marais reste la formule **2N, 2P, K**.

La seule fumure à conseiller ensuite est la formule simple N P K.

**CONTROLE BIOCHIMIQUE DE L'ESSAI**

**Analyses foliaires**

En 1953. Les éléments N, P, K, Ca ont été dosés dans les feuilles de chaque parcelle. On a prélevé par parcelle 50 feuilles à la base de l'épi.

**Teneurs dans les feuilles en % de la matière sèche**

Traitements	N	P	K	Ca
P. K.	3,69	0,253	1,010	0,285
N K.	3,72	0,258	0,950	0,290
N. P.	3,80	0,254	0,950	0,273
N P K.	4,04	0,262	0,970	0,306
2N P K.	4,14	0,259	1,002	0,267
N 2P K.	4,12	0,258	0,985	0,276
N P 2K.	3,94	0,262	0,983	0,281
2N 2P K.	4,21	0,260	1,000	0,284
Témoin	3,37	0,237	0,940	0,268

Le calcul des corrélations entre les teneurs N, P, K, Ca dans les feuilles et les rendements en paddy a été réalisé ; les corrélations entre deux éléments dans les feuilles ont également été calculées.

Corrélation	Coefficient de corrélation calculé	Coefficient de corrélation théorique		Observations
		5 %	1 %	
Teneurs en N / Rendement en paddy	+ 0,672	0,273	0,321	Hautement significatif à 1 %.
Teneurs en P / Rendement en paddy	+ 0,183			Non significatif.
Teneurs en K / Rendement en paddy	- 0,021			Non significatif.
Teneurs en Ca / Rendement en paddy	+ 0,260			Non significatif.
Teneurs en N / Teneurs en P	+ 0,308			Significatif à 5 %.
Teneurs en N / Teneurs en K	+ 0,250			Non significatif.
Teneurs en N / Teneurs en Ca	- 0,186			Non significatif.
Teneurs en P / Teneurs en K	+ 0,007			Non significatif.
Teneurs en P / Teneurs en Ca	- 0,316			Significatif négatif à 5 %.
Teneurs en K / Teneurs en Ca	- 0,296			Corrélation négative.

On retrouve la corrélation positive hautement significative : teneurs en azote dans les feuilles/rendement en paddy.

Sur sol de marais, il n'y a pas corrélation négative entre teneurs en acide phosphorique dans les feuilles et rendement en paddy. Cela différencie nettement les deux types de sol.

Les teneurs en K et Ca dans les feuilles ne sont pas en relation avec les rendements en paddy.

Les seules corrélations entre éléments, observées, sont :

1° Teneurs en azote / teneurs en acide phosphorique, corrélation positive. Les niveaux des feuilles en N et en P croissent simultanément une bonne alimentation en acide phosphorique favorise l'alimentation azotée et par conséquent les rendements.

2° Teneurs en acide phosphorique / teneurs en chaux, corrélation négative, il y a antagonisme entre absorption d'acide phosphorique et absorption de chaux.

3° Teneurs en potasse / teneurs en chaux ; corrélation négative, il y a antagonisme entre absorption de potasse et absorption de chaux.

**Optimum nutritif.** On a cherché à déterminer la liaison existant entre les teneurs dans les feuilles et les rendements en paddy. On a ainsi trouvé que les meilleurs rendements étaient obtenus pour les niveaux suivants (en % de la matière sèche) :

Azote N :	4,01	±	0,19
P :	0,257	±	0,019
K :	0,993	±	0,067
Ca :	0,284	±	0,012

Pour établir l'équilibre nutritif N P K, on a calculé l'alimentation globale  $S = N + P + K$  dans les feuilles.

**On a divisé ensuite chaque teneur (N P K) par cette somme, en multipliant par 100, pour avoir le pourcentage de chaque élément dans l'alimentation globale.**

Ainsi, pour le traitement 2N, 2P, K.

$$S = 4,210 + 0,260 + 1,000 = 5,470.$$

N	4,210	× 100 = 76,4 % de l'alimentation globale.
	5,470	
P	0,260	× 100 = 4,7 % de l'alimentation globale.
	5,470	
K	1,000	× 100 = 18,9 % de l'alimentation globale.
	5,470	

L'équilibre nutritif optimum dans les feuilles est :

76,4 % d'azote
4,7 % de phosphore
18,9 % de potassium.

Le témoin de l'essai est éloigné de cet optimum nutritif puisqu'il indique l'équilibre suivant :

73,9 % d'azote
5,3 % de phosphore
20,8 % de potassium.

L'azote est le principal facteur limitant, mais son apport doit être combiné à celui des autres éléments : acide phosphorique et potasse.

**Analyses des sols.** Dans les 4 premiers blocs de l'essai, les terres de chaque parcelle élémentaire ont été analysées. Les résultats moyens d'analyse sont consignés dans le tableau ci-dessus (moyennes de 4 analyses de terre).

La matière organique totale et l'humus ont été très sensiblement augmentés par les traitements NK., NP., NPK., N 2P K. L'apport d'éléments fertilisants minéraux a vraisemblablement développé l'activité des micro-organismes responsables de l'humification et de la cellulolyse.

Il est remarquable que l'humus et la matière organique totale évoluent simultanément.

Les parcelles donnant les plus forts rendements, NPK et 2N 2PK, n'ont pas eu les plus fortes améliorations en humus et en matière organique totale. La plante a davantage exporté d'éléments fertilisants et a concurrencé l'alimentation des micro-organismes.

Les teneurs en azote total vont en croissant avec les augmentations de rendements. L'association apport d'azote du sulfate d'ammoniaque, apport de phosphate est nécessaire pour augmenter nettement les réserves du sol en azote total. C'est encore une constatation qui ne pourra être éclaircie que par l'étude microbiologique des sols. On a déjà observé que l'apport de phosphate élève les teneurs des feuilles en azote (corrélation positive NP). Ces deux observations sont liées.

Les traitements, à trois éléments, 2NPK, N2PK, N P 2K augmentent fortement les teneurs du sol en azote total, mais ne donnent cependant pas d'augmentation de rendement supérieure au traitement NPK. Un déséquilibre joue vraisemblablement, corrigé d'ailleurs par l'apport plus important d'acide phosphorique puisque le traitement **2N. 2P. K.** élève simultanément les teneurs d'azote dans les sols, dans les feuilles et élève d'un seul coup très sensiblement les rendements.

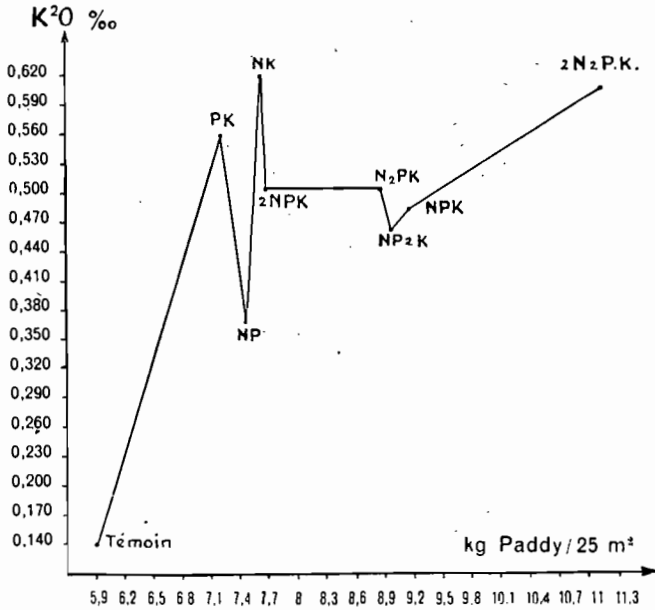
	TRAITEMENTS								
	Témoin	P K	N K	NP	NPK	2 N P K	N2 P K	N P 2 K	2N 2P K
Matière organique totale %	1,57	1,69	2,87	3,63	2,69	2,61	2,90	2,40	2,43
Azote total ‰	1,94	2,04	2,08	2,21	2,35	2,38	2,43	2,42	2,69
Humus ‰	0,50	0,60	0,86	0,98	0,84	0,72	0,85	0,75	0,77
Acide phosphorique assimilable ‰	0,071	1,356	0,884	1,050	1,225	1,115	1,423	1,289	1,408
Potasse échangeable ‰	0,143	0,558	0,617	0,368	0,480	0,500	0,503	0,462	0,597
Chaux échangeable ‰	0,78	0,92	0,95	1,08	1,08	1,15	1,19	0,86	0,98



Ordonnée : teneur en potasse échangeable dans les sols

(moyenne des prélèvements effectués sur les différentes parcelles d'un même traitement)

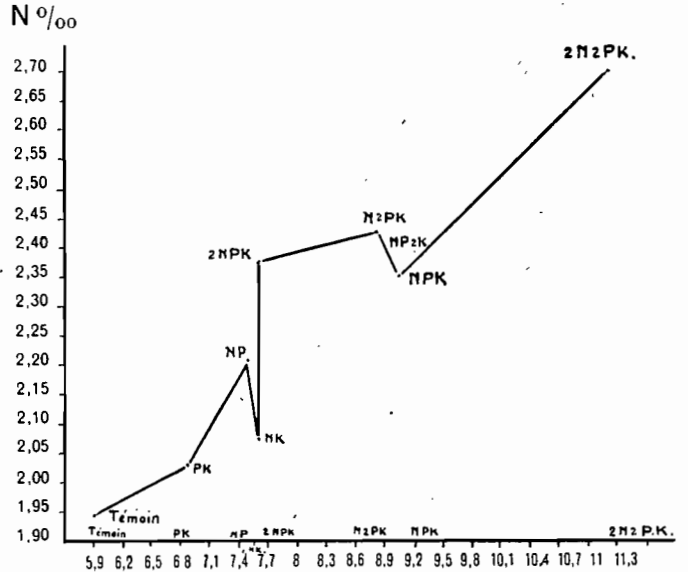
Abscisse : rendements en kg de paddy par parcelle de 25 m<sup>2</sup>



Ordonnée : teneurs en azote dans les sols

(moyenne des prélèvements effectués sur les différentes parcelles d'un même traitement)

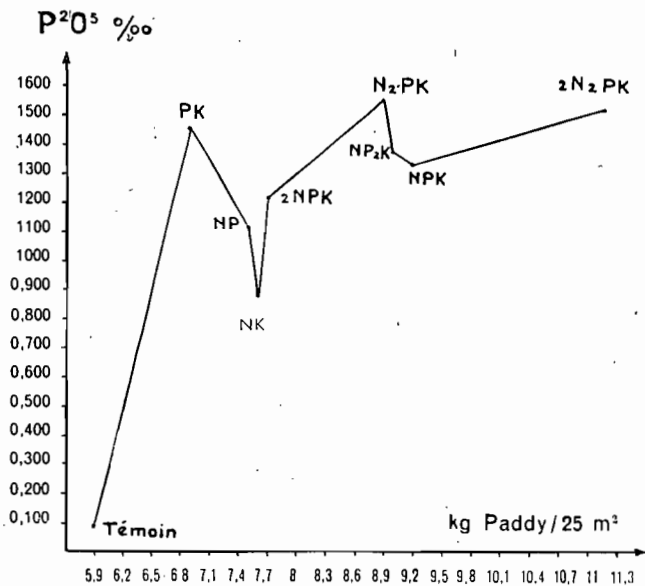
Abscisse : kg de paddy par parcelle de 25 m<sup>2</sup>



Ordonnée : teneurs en acide phosphorique assimilable dans les sols

(moyenne des prélèvements effectués sur différentes parcelles d'un même traitement)

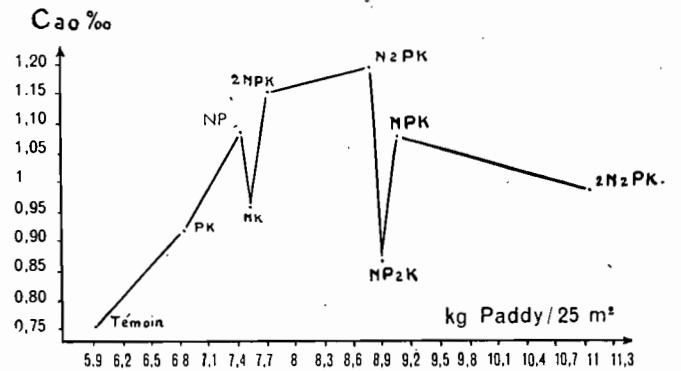
Abscisse : rendement en kg de paddy par parcelle de 25 m<sup>2</sup>



Ordonnée : teneurs en chaux échangeable dans les sols

(moyenne des différents traitements effectués sur les différentes parcelles d'un même traitement)

Abscisse : rendement en paddy en kg par parcelle de 25 m<sup>2</sup>



Les teneurs en acide phosphorique assimilable sont augmentées à peu près également pour tous les traitements ; le traitement NK est cependant très nettement décroché. Les traitements PK. et N<sub>2</sub> PK présentent une accumulation d'acide phosphorique dans le sol, non utilisé par la plante, en raison de l'absence d'une quantité suffisante d'azote.

Les teneurs en potasse échangeable sont fortement élevées par rapport au témoin. Les traitements PK et NK présentent les teneurs les plus fortes ; là aussi, l'absence d'un élément (azote pour le premier, acide phosphorique pour le second) a déséquilibré l'alimentation de la plante.

La chaux échangeable est particulièrement élevée sur les parcelles ayant reçu les fumures 2N PK et N 2P K. La parcelle 2N 2PK donnant les meilleurs rendements est peu pourvue en chaux échangeable. L'élément calcium paraît avoir peu d'influence sur la fertilité des sols de rizière.

#### Rendement en paille

En 1953. Les différences de productions de paille sont significatives.

Traitement	Rendement en paille en kg par parcelle de 25 m <sup>2</sup>
Témoin .....	4 k.516
P. K. ....	5 k.450
N P. ....	5 k.716
N K. ....	5 k.883
2N + P + K. ....	5 k.966
N + 2P + K. ....	7 k.023
N P K. ....	7 k.216
N P 2 K. ....	7 k.816
2N 2P K. ....	8 k.183

Ces rendements en paille sont étroitement liés aux rendements en paddy.

Le traitement 2N, P.K. produit fort peu de paille, l'acide phosphorique fait déjà défaut sur cette parcelle ; les rendements en paille et paddy s'en ressentent.

#### CONCLUSION DE L'ESSAI

Les deux premières années d'essai démontrent que sur sol de marais, il est indispensable d'apporter des fumures équilibrées à trois éléments N.P.K. On peut insister sur les apports d'azote et de phosphate. La formule de fumure 2N 2P K a apporté en 1953 un supplément de rendement en paddy de 2,080 t/ha. La formule simple NPK entraîne un supplément de rendement de 1,245 t/ha. Ces deux formules de fumure sont rentables.

L'apport combiné NPK augmente les teneurs des feuilles et des sols en azote et élève significativement les rendements en paddy. Les sols de marais répondent de façon très satisfaisante aux apports de fumure minérale.

### III. - RÉSULTATS GÉNÉRAUX DES ANALYSES FOLIAIRES SUR RIZ EN 1953

Pour tous les essais analysés dans ce rapport, les analyses de feuilles ont été exécutées. Rappelons qu'on a prélevé la feuille se trouvant juste au-dessous de l'épi au moment de la floraison. 50 feuilles ont été prélevées dans chaque parcelle des essais étudiés. Pour chaque essai nous donnerons les teneurs moyennes observées pour chacun des éléments dosés, azote, phosphore, potassium, calcium, magnésium. Il nous a semblé utile, d'une part, de regrouper tous les résultats obtenus, d'autre part, les teneurs dans les feuilles variant suivant le type de sol et la variété étudiée, d'étudier séparément les essais sur alluvions fluviales récentes plantés en MK 823, et un essai sur sol de marais drainé, planté en MK 34.

#### 1. - ESSAI SUR SOL DE MARAIS

Cet essai est déjà décrit dans la présente publication. Le tableau n° 1 donne les teneurs moyennes en azote, phosphore, potassium, calcium et magnésium trouvées dans les feuilles et exprimées en % de la matière sèche, en fonction du rendement en paddy exprimé en tonnes par hectare. Ces teneurs moyennes sont affectées de leur écart-type.

Dans la figure n° 2, on trouvera la représentation, graphique de ces valeurs, le trait plein représentant la teneur moyenne et la zone hachurée, l'écart-type. Pour les teneurs en potassium et en calcium, on n'a pas représenté l'écart-type qui s'écartait très largement de la moyenne.

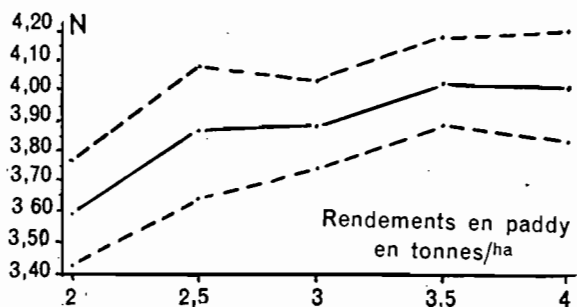
A l'examen de ce tableau et de ces courbes, l'azote apparaît bien comme l'élément essentiel dans l'alimentation de la plante. Afin de montrer d'une façon plus nette les corrélations possibles entre, d'une part, les teneurs et les rendements en paddy et, d'autre part, ces teneurs entre elles, le coefficient de corrélation « r » a été calculé. Seules sont apparues significatives les corrélations N, rendements en paddy, N P, toutes deux positives et P Ca et K Ca, négatives. Seule la droite de régression des rendements en paddy en fonction des teneurs en azote a été tracée (figure 4), les autres n'étant pas assez nettes pour qu'il soit possible d'en tirer de conclusions. Le tableau des coefficients de corrélation a déjà été donné page 69.

Tableau 1

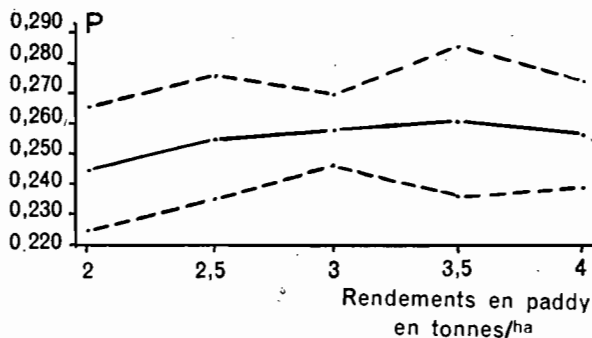
Rendements	N	P	K	Ca	Mg
2 à 2,5 t .....	3,61 ± 0,29	0,244 ± 0,021	0,982 ± 0,057	0,266 ± 0,028	0,084 ± 0,007
2,5 à 3 t .....	3,84 ± 0,23	0,256 ± 0,022	0,983 ± 0,091	0,282 ± 0,023	0,086 ± 0,016
3 à 3,5 t .....	3,84 ± 0,15	0,258 ± 0,013	0,959 ± 0,032	0,277 ± 0,018	0,084 ± 0,019
3,5 à 4 t .....	4,03 ± 0,14	0,261 ± 0,023	0,988 ± 0,098	0,287 ± 0,058	0,090 ± 0,016
> 4 tonnes .....	4,01 ± 0,19	0,252 ± 0,019	0,993 ± 0,067	0,289 ± 0,019	0,084 ± 0,012

Figure 2

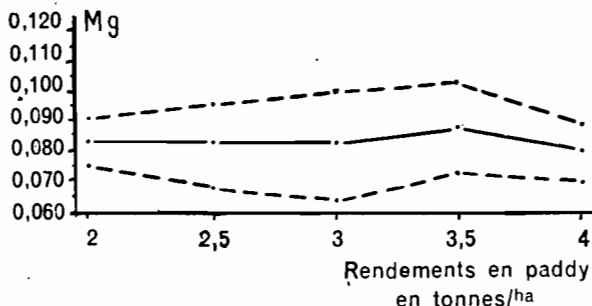
**Teneurs en azote dans les feuilles**  
% de la matière sèche



**Teneurs en phosphore dans les feuilles**  
% de la matière sèche



**Teneurs en magnésium dans les feuilles**  
% de la matière sèche



**Teneurs en potassium dans les feuilles**  
% de la matière sèche

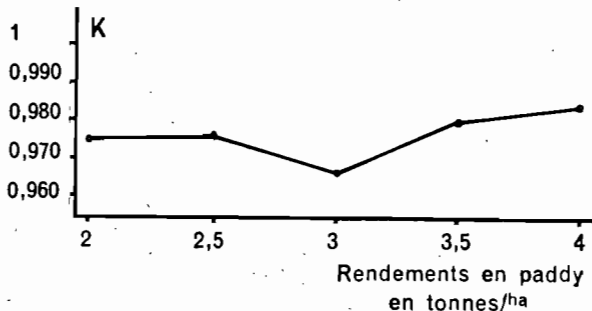
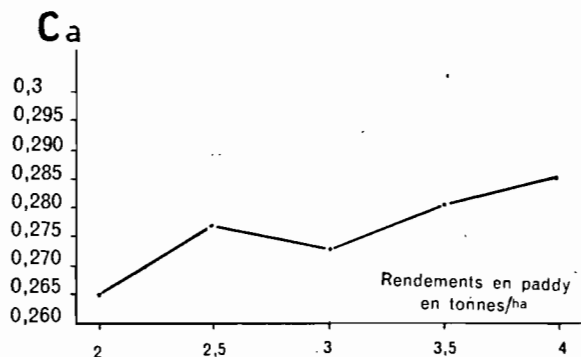


Figure 3

**Teneurs en calcium dans les feuilles**  
% de la matière sèche



Afin de déterminer l'équilibre nutritif N P K correspondant aux rendements les meilleurs, il a été procédé de la manière habituelle suivante :

On détermine d'abord l'alimentation globale qui est égale à la somme des pourcentages dans les feuilles, d'azote, de phosphore et de potassium. On calcule ensuite le pourcentage de chacun des trois éléments N, P, K par rapport à cette somme en faisant :

$$\frac{N}{\text{Somme N P K}} \times 100, \quad \frac{K}{\text{Somme N P K}} \times 100,$$

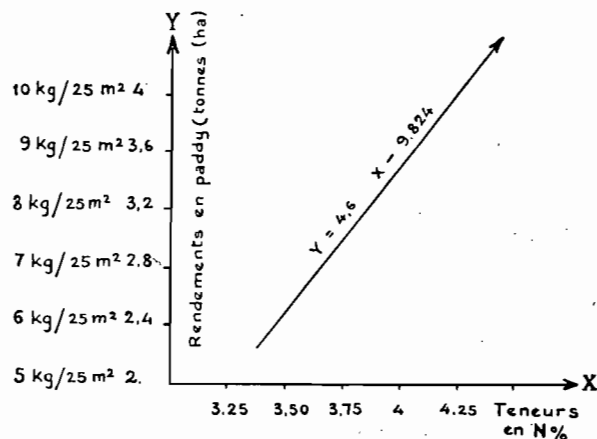
$$\frac{P}{\text{Somme D P K}} \times 100.$$

On porte alors chacun des trois chiffres obtenus, dont le total est égal à 100, sur des coordonnées trilineaires, chacun des côtés du triangle correspondant respectivement aux pourcentages d'azote, de potassium et de phosphore. La figure 5 représente un tel triangle ; dans la figure 6 se trouve agrandie la partie du triangle original qui nous intéresse plus particulièrement. Sur cette figure ont été marqués les

Figure 4

**Corrélation N - Rendement en paddy**

$r = 0,622$  Seuil à 1% : 0,321



résultats significativement différents de l'essai de fumure sur sol de marais. Pour ce type de sol, l'optimum nutritif semble être compris entre 75,8 et 76,5 % d'azote, 18,5 et 19,5 % de potassium et 4,5 et 5 % de phosphore.

Un certain nombre de prélèvements effectués chez des particuliers sur des parcelles non fumées ou incomplètement fumées, vient confirmer cette hypothèse. Ce sont les prélèvements numérotés de 1 à 6 et qui correspondent aux traitements suivants :

1. Parcelle ayant reçu 200 kilos/hectare d'hyperphosphate Reno et 150 kilos de sulfate d'ammoniaque.
2. Parcelle ayant reçu 400 kilos d'hyperphosphate Reno.
3. Parcelle ayant reçu 200 kilos d'hyperphosphate Reno.
4. Parcelle ayant reçu fumier de parc + cendres.
5. Parcelle ayant reçu 300 kilos de 7, 13, 20 en 1950.
6. Parcelle témoin sans fumure.

Les rendements de ces parcelles varient entre 1,5 tonne et 2 tonnes à l'hectare. A l'examen de la figure 6, la parcelle 1 et la parcelle 3 apparaissent particulièrement déséquilibrées. Les coordonnées du témoin montrent qu'il contenait suffisamment de phosphore. L'addition de phosphate seul a accentué ce

déséquilibre. On rejoint ici les conclusions tirées de l'examen des rendements de l'essai de fumure sur sol de marais : nécessité, sur ce type de sol, d'apporter une fumure équilibrée, contenant les trois éléments N, P, K.

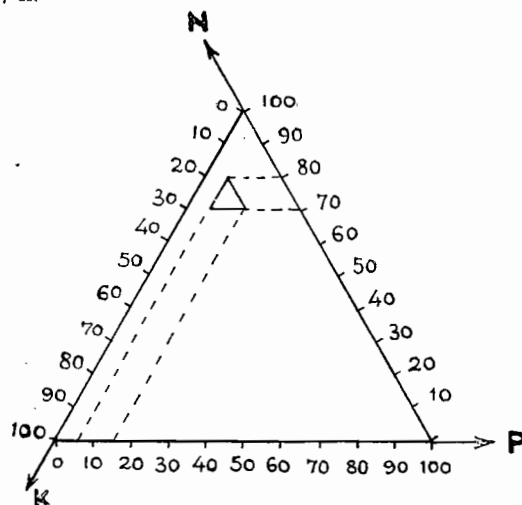


Figure 5

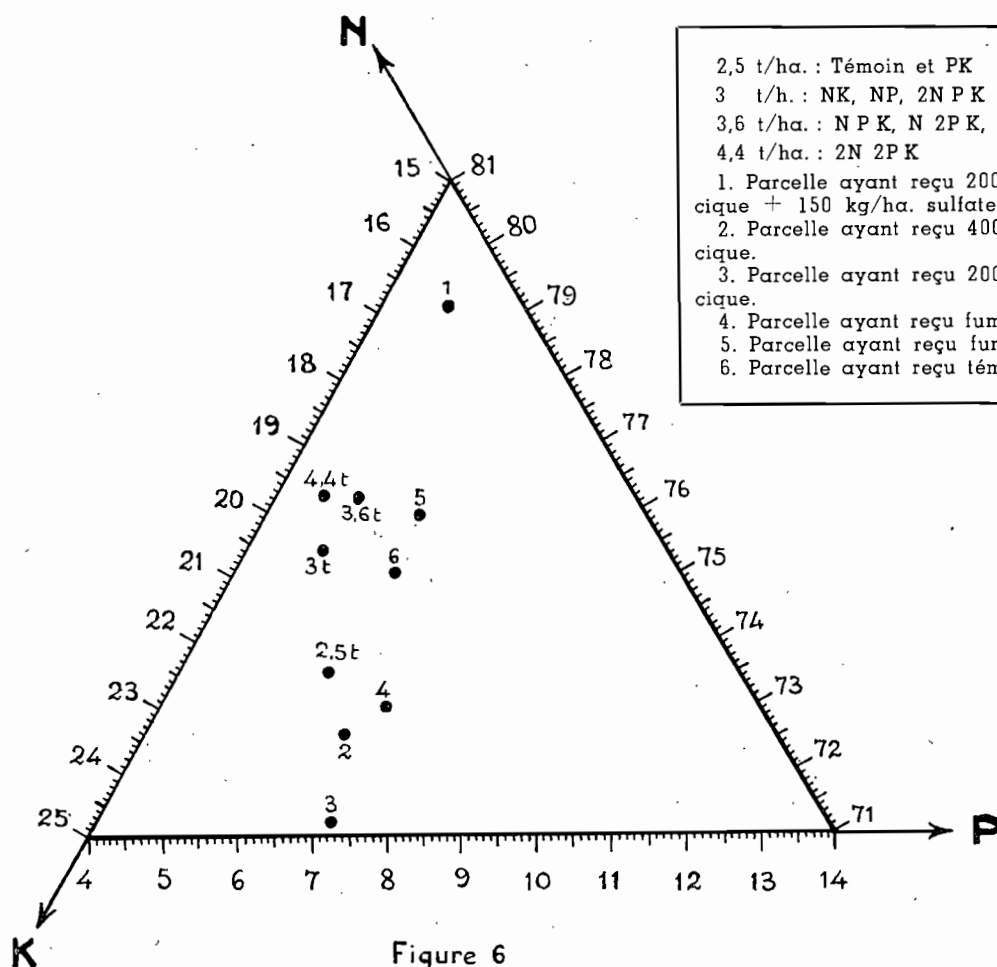


Figure 6

2,5 t/ha. : Témoin et PK	} Traitements de l'essai.
3 t/h. : NK, NP, 2N PK	
3,6 t/ha. : N P K, N 2P K, N P 2K	
4,4 t/ha. : 2N 2PK	
1. Parcelle ayant reçu 200 kg/ha. phosphate tricalcique + 150 kg/ha. sulfate d'ammoniaque.	
2. Parcelle ayant reçu 400 kg/ha. phosphate tricalcique.	
3. Parcelle ayant reçu 200 kg/ha. phosphate tricalcique.	
4. Parcelle ayant reçu fumier de parc + cendres.	
5. Parcelle ayant reçu fumure 7 - 13 - 20 en 1950.	
6. Parcelle témoin ayant reçu témoin sans fumure.	

## 2. - ESSAIS SUR ALLUVIONS FLUVIATILES LATÉRIQUES RÉCENTES

Le même travail que sur sol de marais a été effectué sur alluvions fluviales récentes. Mais ici les moyennes dans les feuilles, les corrélations des éléments avec les rendements en paddy et des éléments entre eux ont été calculées sur 5 essais de fumures. La méthode de prélèvements des feuilles a été la même. Le riz utilisé était le makalioka 823.

Le tableau 1 donne les moyennes obtenues affectées de leur écart-type, classées d'après les rendements en paddy. On constate immédiatement une forte corrélation positive entre les rendements en paddy et les teneurs en azote, une forte corrélation négative entre les rendements en paddy et les teneurs en P. Logiquement, on devait trouver une corrélation négative entre N et P, ce qui est bien le cas. Les coefficients de corrélation sont les suivants (tableau 2) :

Dans la figure 3 ont été représentés graphiquement les résultats du tableau 1. Pour les teneurs en potassium et en magnésium, on n'a pas porté les valeurs de l'écart-type, qui s'écartaient très largement de la moyenne (page 76).

Nous n'avons trouvé aucune autre corrélation intéressante. Les autres éléments paraissent varier d'une manière indépendante. On peut seulement remarquer une augmentation de toutes les teneurs (sauf P) entre 3,5 t. et 4 t. et une diminution de toutes les teneurs entre 6 t. et 6,5 t. Ce rendement correspond sans doute au point où les apports d'engrais n'amènent plus d'accroissement d'éléments dans les feuilles, même s'ils provoquent encore un accroissement de rendement. Nous manquons encore de chiffres pour l'affirmer. Il nous faut attendre les années à venir pour établir avec plus de sûreté ce maximum nutritif. Nous avons, comme pour les sols de marais, porté les résultats en coordonnées trilineaires (figure 7). Nous n'avons relevé que les points importants, significati-



Essais comparatifs de soja en rizière à la Station Agronomique du Lac Alaotra.

vement différents de leurs témoins, et exprimé les rendements en tonnes de paddy/ha.

La direction générale donnée par les rendements croissants de paddy tend vers le sommet N en s'éloignant des sommets K et P. Autrement dit, plus les teneurs en azote (% de la somme NPK) sont élevées, plus les teneurs en P et K (% de la somme NPK) sont faibles et plus les rendements sont élevés.

Un fait intéressant mis en évidence par ce travail est le rôle des phosphates dans la fertilisation du riz. L'apport de phosphate en rizières situées sur alluvions fluviales accroît les rendements, en faisant augmenter la teneur des feuilles en azote. Il est vrai-

Tableau 1

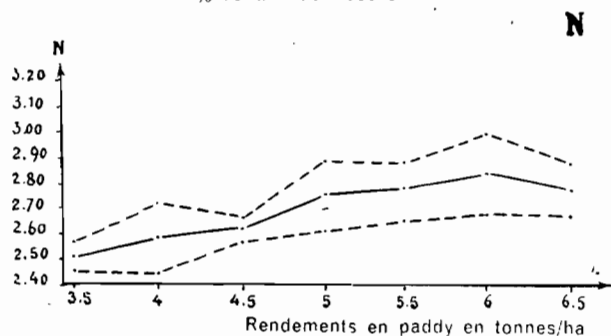
Rendements à l'hectare	N	P	K	Ca	Mg
3 à 3,5 t	2,49 ± 0,06	0,249 ± 0,011	0,729 ± 0,020	0,268 ± 0,087	0,118 ± 0,027
3,5 à 4 t	2,62 ± 0,15	0,244 ± 0,016	0,751 ± 0,094	0,293 ± 0,044	0,156 ± 0,031
4 à 4,5 t	2,67 ± 0,056	0,235 ± 0,016	0,745 ± 0,072	0,297 ± 0,040	0,134 ± 0,030
4,5 à 5 t	2,79 ± 0,15	0,234 ± 0,020	0,725 ± 0,075	0,287 ± 0,040	0,125 ± 0,021
5 à 5,5 t	2,80 ± 0,12	0,229 ± 0,017	0,703 ± 0,060	0,306 ± 0,042	0,130 ± 0,031
5,5 à 6 t	2,88 ± 0,18	0,225 ± 0,011	0,739 ± 0,057	0,302 ± 0,038	0,152 ± 0,016
6 à 6,5 t	2,81 ± 0,11	0,222 ± 0,015	0,724 ± 0,081	0,292 ± 0,046	0,140 ± 0,038

Tableau 2

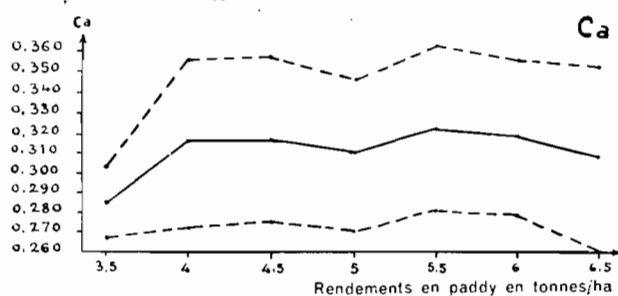
Corrélation	Coefficient de corrélation	Coefficient théorique		Observations
		P = 0,05	P = 0,01	
N — Rendements en paddy	+0,3228	0,2000	0,2540	Significatif P = 0,01
P — Rendements en paddy	-0,3528			Significatif P = 0,01
N — P	-0,249			Significatif P = 0,05

Figure 3

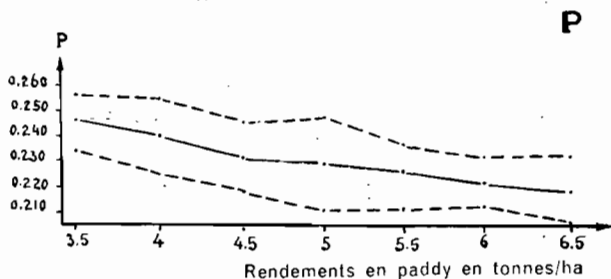
**Teneurs en azote dans les feuilles**  
% de la matière sèche



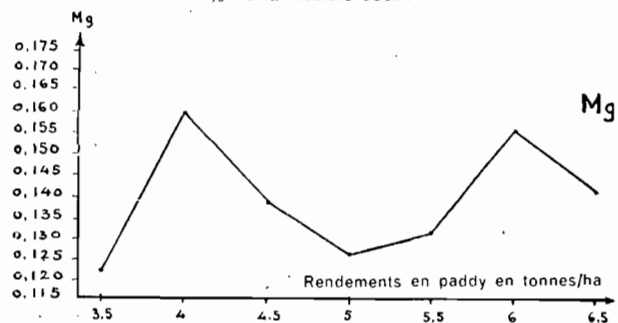
**Teneurs en calcium dans les feuilles**  
% de la matière sèche



**Teneurs en phosphore dans les feuilles**  
% de la matière sèche



**Teneurs en magnésium dans les feuilles**  
% de la matière sèche



**Teneurs en potassium dans les feuilles**  
% de la matière sèche

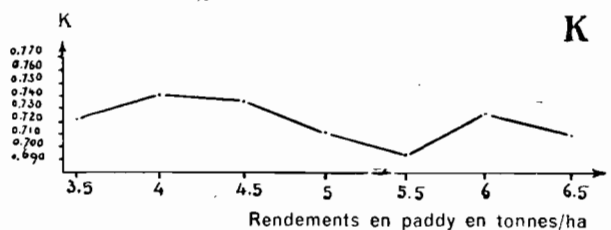


Figure 5

**II. - Corrélation P - Rendements en paddy**  
 $r = 0,3528$  Seuil à 5% = 0,200

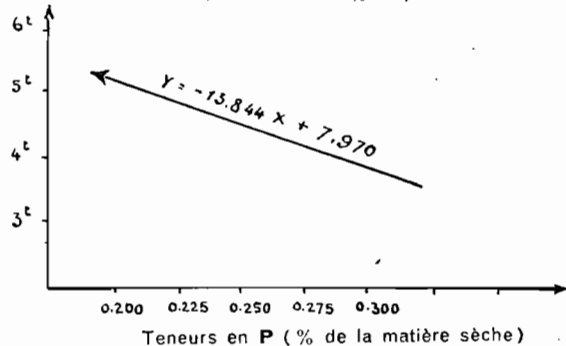


Figure 4

**I. - Corrélation N - Rendement en paddy**  
 $r = 0,3228$  Seuil à 1% = 0,2540

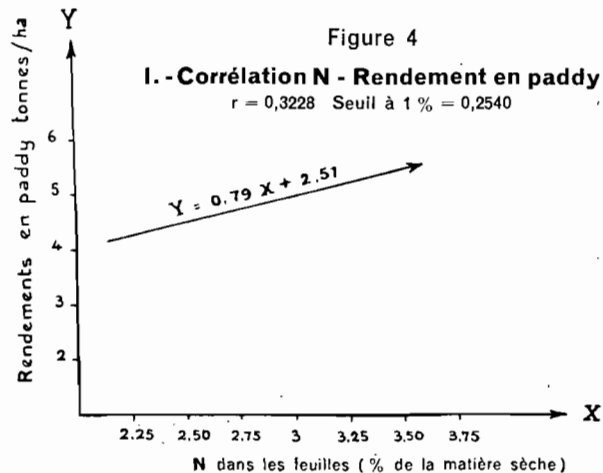
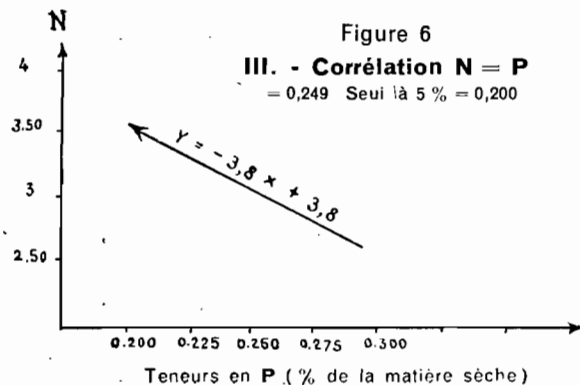


Figure 6

**III. - Corrélation N = P**  
 $r = 0,249$  Seuil à 5% = 0,200



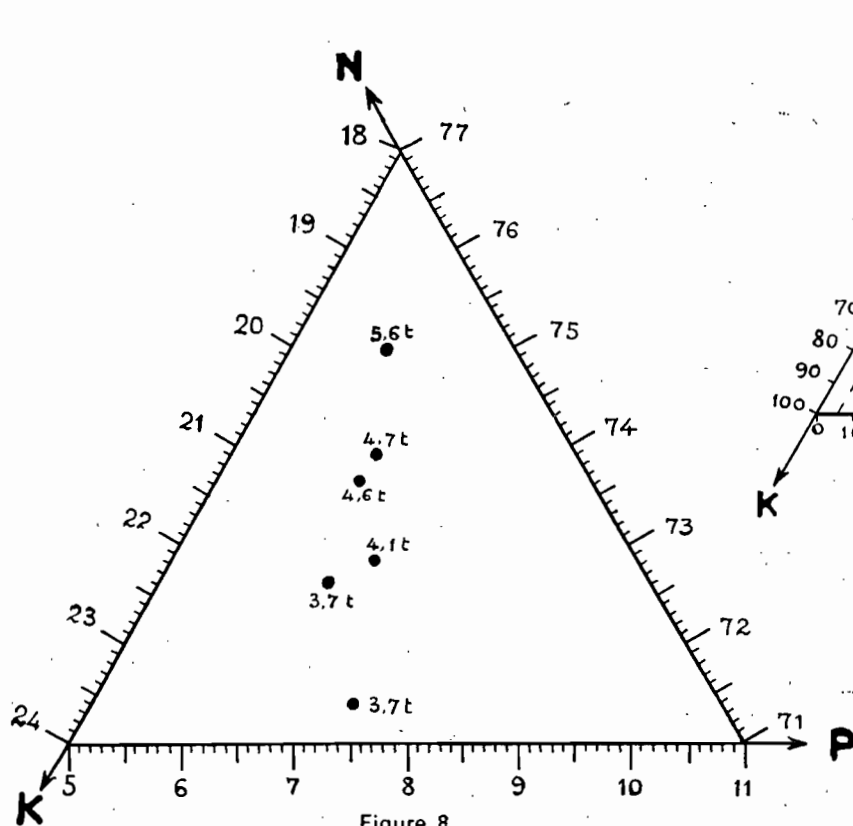


Figure 8

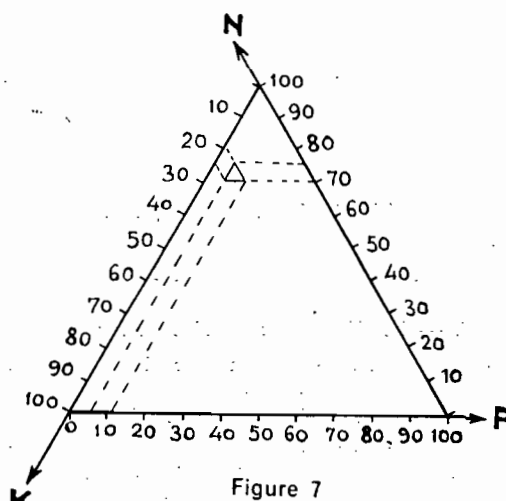


Figure 7

Les parcelles classées d'après leurs rendements en paddy ont fait l'objet d'une analyse foliaire portant sur NPK. En portant sur les coordonnées trilineaires, on a obtenu la dispersion ci-dessus.

semblable que les phosphates interviennent en stimulant la vie microbienne des sols. Ce point sera précisé ultérieurement. L'apport de phosphate augmente également la teneur en azote des sols, leur rôle serait donc indirect.

Les apports de potasse, sans marquer directement, élèvent également la teneur en azote des feuilles.

En résumé, sur les sols d'alluvions récentes, on retrouve le rôle très important joué par l'azote dans la nutrition minérale du riz. Mais à l'encontre de ce qui se passe sur les sols de marais, il ne semble pas qu'il soit toujours nécessaire d'apporter une fumure complète NPK. La fumure doit être surtout azotée, les éléments K et P étant ajoutés suivant les cas.

BIBLIOGRAPHIE

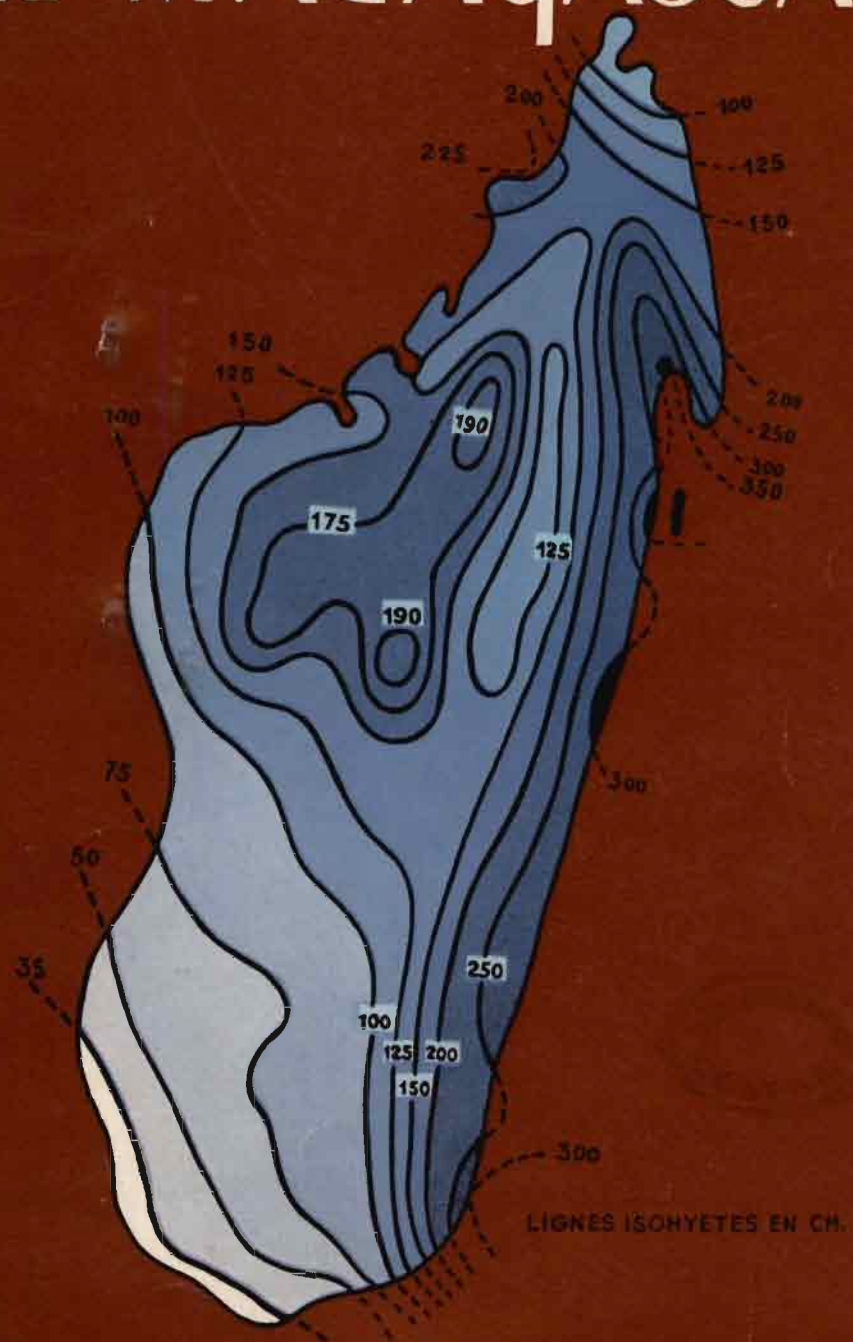
- 1° SEGALEN ET RIQUIER — Notice sur la carte pédologique du lac Alaotra.
- 2° BOISCHOT, BARBIER ET GAROLA — Annales Agronomiques n° 5 - 1948.
- 3° A. CHEVALLIER ET ANGLADETTE — Le Riz, p. 27.
- 4° DOMMERGUES — L'analyse microbiologique des sols tropicaux acides. Mémoires de l'Institut scientifique de Madagascar. Série D - Tome IV - Fascicule 2, 1952, 169 à 181.
- 5° P. ROCHE — Les sols de marais récemment récupérés au Lac Alaotra (Madagascar). Agronomie tropicale janvier-février 1952. N° 1, p. 43 à 63.
- 6° P. BURON ET Mlle MAUVISSEAU — Contribution à l'étude de la triple analyse. Travaux effectués en 1951 dans les stations de R.A., p. 528-529.

Données météorologiques relatives aux années 1950-1953

	Pluviométrie				Température moyenne mensuelle				Humidité			
	1950	1951	1952	1953	1950	1951	1952	1953	1950	1951	1952	1953
	en mm	en mm	en mm	en mm								
Janvier .....	329,7 en 19 j	548,3 en 26 j	468,9 en 24 j	187,5 en 15 j	23,71	23,29	23,75	22,99	74,98	81,19	78,33	74,58
Février .....	130,4 en 12 j	132,9 en 13 j	418,9 en 12 j	167,1 en 11 j	22,61	22,45	23,60	23,88	74,37	74,28	76,21	73,10
Mars .....	144,0 en 15 j	121,7 en 19 j	94,9 en 14 j	217,1 en 14 j	22,65	23,26	23,80	23,80	76,47	80,26	77,45	73,49
Avril .....	3,8 en 8 j	20,8 en 5 j	52,8 en 12 j	71,8 en 8 j	21,22	21,80	22,45	22,30	72,99	73,29	74,84	76,60
Mai .....	19,8 en 3 j	—	31,3 en 3 j	29,2 en 3 j	18,52	18,80	20,67	19,88	72,25	75,74	74,73	76,68
Juin .....	—	2,3 en 3 j	11,5 en 6 j	18,6 en 3 j	17,26	17,50	17,45	19,31	72,62	78,30	74,79	77,96



# RECHERCHE AGRONOMIQUE DE MADAGASCAR



P.533



INSPECTION GÉNÉRALE DES SERVICES AGRICOLES

---

# RECHERCHE AGRONOMIQUE DE MADAGASCAR

N° 2

---

COMPTE RENDU 1953