

IV. 6. — Fertilisation des sols de rizière dans la région du lac Alaotra (Madagascar)

PAR

P. Roche, J. Velly et B. Joliet
(Tananarive, Madagascar)

Les rizières de la région du lac Alaotra sont situées sur deux types de sols : des alluvions fluviales micacées et des sols de marais humifères (1).

Fertilisation du riz sur alluvions fluviales micacées.

La variété Makalioka 823 a été utilisée.

1. — L'enfouissement de la paille de riz a été expérimenté (carrés latins) :

A — Restitution annuelle de la paille de riz;

B — Restitution annuelle de la paille de riz + 250 kg/ha de sulfate d'ammoniaque;

C — Restitution annuelle de la paille de riz + 250 kg/ha de sulfate d'ammoniaque + 250 kg/ha de phosphate bicalcique;

T — Témoin.

L'essai a duré quatre ans; comme pour tous les essais suivants, les apports d'engrais minéraux sont renouvelés chaque année.

Exceptionnellement en première année d'essai l'apport de sulfate d'ammoniaque a été de 35 kg/ha.

Tableau des rendements en paddy (kg) par parcelle de 16 m².

Année	T	A	B	C
1950... ..	6,44	7,03	7,20	7,00
1951... ..	7,36	7,63	7,84	7,85
1952... ..	8,71	9,72	10,19	11,16
1953... ..	5,97	7,58	7,56	7,57

Rendements annuels moyens en kg de paddy sur 16 m².

$$C = 8,370$$

$$B = 8,200$$

$$A = 7,990$$

$$T = 7,120$$

$$C > A \quad C, B, A > T.$$

Contrôle biochimique.

Les prélèvements de feuilles sont effectués sur toutes les parcelles. On a prélevé la première feuille au-dessous de l'épi au début de la floraison, 50 feuilles par parcelle élémentaire. Les feuilles séchées à l'étuve à 105°, ont été broyées et analysées en utilisant les méthodes décrites par VELLY (1).

Tableau des corrélations.

Corrélation	Coefficient de corrélation			
	Calculé	Théorique		
		5 %	1 %	
Teneur N dans les feuilles/rendement en paddy... ..	0,6180	0,2500	0,3156	Corrélation positive à 1 %
Teneur P/rendement	0,2954			Corrélation négative à 5 %
Teneur K/rendement				Non significatif
Teneur Ca/rendement				Non significatif
Teneurs en N/teneurs en P ...	0,3220			Corrélation négative

Analyse de terre.

Un prélèvement d'échantillon de terre a été réalisé en 1953 sur toutes les parcelles. Les analyses ont été effectuées suivant les méthodes décrites par GOARIN et VELLY (3).

Tableau des teneurs moyennes en éléments fertilisants dans le sol.

	T Témoin	A Paille	B Paille + N	C Paille + NP
Matière organique (%)	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

Microbiologie.

Des prélèvements pour l'analyse microbiologique ont été réalisés le 20 mars 1953 (prélèvement effectué sous l'eau). Numération sur plaque de silicogel en utilisant les techniques décrites par DOMMERGUES (4).

Nombre de colonies par gramme de sol.

	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	25
C. Paille + NP	600	3574	417	48

Fort accroissement des *Clostridium*.

L'action fertilisante de la paille de riz ne se fait sentir de façon significative qu'à partir de la 3^e année d'enfouissement.

Le seul complément minéral à conseiller sur les enfouissements de paille est l'apport simultané d'azote et de phosphate. A partir de la quatrième année d'enfouissement il est inutile d'apporter un

supplément minéral. Reste à savoir si les rendements se maintiendront sur les parcelles où la paille est apportée seule.

2. — Diverses fumures organiques ont été comparées, avec ou sans adjonction de phosphate.

Méthode des blocs.

A — Fumier de ferme;

B — Fumier de ferme + phosphate;

C — Engrais vert;

D — Engrais vert + phosphate;

E — Paille de riz;

F — Paille de riz + phosphate + azote;

G — Fumure minérale : azote, phosphate, potasse.

T — Témoin.

Azote = 200 kg/ha sulfate d'ammoniaque.

Phosphate = 250 kg/ha phosphate bicalcique.

Potasse = 200 kg/ha chlorure de potasse.

En 1950, 1^{re} année d'essai, le fumier de ferme a été apporté à la dose de 10 t/ha, par la suite cet apport a été de 20 t/ha. L'engrais vert, *Vigna sinensis* cultivé en intersaison (août à novembre) fournit 30 à 40 t/ha de matière verte. La paille est restituée intégralement sur les parcelles E et F.

Tableau des rendements en paddy (kg) par parcelle de 16 m².

	1950	1951	1952	1953
A — Fumier de ferme	5,82	10,21	9,71	9,01
B — Fumier de ferme + phosphate	5,69	10,57	9,87	9,01
C — Engrais vert	6,25	8,67	9,16	9,02
D — Engrais vert + phosphate	5,72	9,13	10,03	9,21
E — Paille de riz... ..	4,62	8,42	9,53	9,22
F — Paille de riz + azote + phosphate	6,21	9,18	9,55	9,02
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 annuels moyens :
(en kg de paddy par parcelle de 16 m²)

A = 8,69.	E = 7,95.
B = 8,78.	F = 8,49.
C = 8,28.	G = 8,65.
D = 8,25.	T = 7,03.

Variance $\frac{\text{traitements}}{\text{erreur}} = 14,81$, seuil 1 % = 2,80.

Plus petite différence significative = 0,42.

B = A = G = F sont les quatre meilleurs fumures, viennent ensuite D = C = E; tous les traitements sont supérieurs au témoin. L'adjonction de phosphate au fumier de ferme et à l'engrais vert n'a jamais élevé significativement les rendements. Les engrais verts (C et D) et la paille de riz (E) mettent quatre ans pour égaler les autres traitements.

Contrôle biochimique.

Les corrélations observées sont les mêmes que pour l'essai précédent.

Analyse de terre.

Les fumures organiques élèvent les teneurs du sol en matière organique, azote et humus. Les teneurs en acide phosphorique assimilable ne sont pas influencées par les divers traitements. La chaux échangeable diminue partout sauf sur les enfouissements de paille. La potasse échangeable est en progression partout.

Microbiologie.

Les traitements A, D et E augmentent le nombre de *Clostridium*. Les germes cellulolytiques sont accrus par les traitements B, C, D et G.

Le fumier de ferme reste la meilleure fumure organique. L'adjonction d'azote et de phosphate aux enfouissements de paille de riz peut l'égaliser.

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

- 1 t/ha par an pour le fumier de ferme.
- 1 t/ha par an pour la fumure minérale N-P-K.
- 0,930 t/ha par an pour la paille + N-P.
- 0,730 t/ha par an pour l'engrais vert.

3. — Les fumures minérales et mixtes ont été expérimentées suivant la méthode de blocs.

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

N = 300 kg/ha sulfate d'ammoniaque;

P = 350 kg/ha phosphate bicalcique;

K = 200 kg/ha chlorure de potasse;

Fumier de ferme = 30 t/ha;

Fumier de parc = 20 t/ha.

Rendements (kg) de paddy par parcelle de 25 m².

	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

En 1951. Les traitements :

N

N-P

Fumier de ferme + N-P-K

Fumier de ferme + N-P

Fumier de parc + N-P-K

} sont supérieurs au témoin à la probabilité 1 %.

N-P-K Fumier de parc + N-P N-K	}	sont supérieurs au témoin à la probabilité 5 %.
Fumier de parc + P P-K		

En 1952. Les traitements :

Fumier de parc + N-P-K Fumier de parc + N-P Fumier de ferme + N-P Fumier de ferme + N-P-K N-P Fumier de ferme + P	}	sont supérieurs au témoin à la probabilité 1 %.
--	---	---

N N-K Fumier de parc + P	}	sont supérieurs au témoin à la probabilité 5 %.
--------------------------------	---	---

P-K n'est pas supérieur au témoin.

En 1953. Tous les traitements ont augmenté significativement les rendements en paddy par rapport au témoin. Il n'y a pas de différence significative entre eux.

Sur les alluvions fluviales latéritiques on peut conseiller les fumures N-P, N, ou fumure organique + N-P.

L'apport de potasse ne paraît pas nécessaire.

Contrôle biochimique.

On observe toujours les mêmes corrélations.

Analyse de terre.

Les augmentations sont surtout sensibles pour les teneurs du sol en matière organique, humus et azote. Les fumures mixtes donnent au sol les teneurs les plus élevées en acide phosphorique assimilable et en potasse échangeable.

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

Fertilisation du riz sur sol de marais.

Les sols de marais du lac Alaotra ont après drainage une évolution rapide (5).

Profil typique :

0 à 30 cm : horizon humifère limoneux noir; au-dessous de 30 cm : horizon argileux gris imperméable.

Huit fumures minérales ont été comparées à un témoin au cours des campagnes 1952-1953. Méthode des blocs.

Témoin :

P- K	}	N = 150 kg/ha sulfate d'ammoniaque.	
N- K			
N- P			2N = 300 kg/ha » »
N- P- K			P = 200 kg/ha phosphate bicalcique.
2N- P- K			2P = 400 kg/ha » »
N-2P- K			K = 100 kg/ha chlorure de potasse.
N- P- 2K			2K = 200 kg/ha » »
2N-2P- K			

La variété repiquée est le Makalioka 34.

En 1952. On a obtenu les rendements suivants en kg de paddy par parcelle élémentaire de 25 m².

2N- P- K = 9,66	}	Traitements significatifs.
2N-2P- K = 9,63		
N-2P- K = 8,83		
N- P- K = 8,20		
N- P- 2K = 7,63		
<hr/>		
N- P = 6,26	}	Non significatifs.
P- K = 6,03		
N- K = 5,43		
<hr/>		
Témoin = 5,36		

Variance $\frac{\text{traitements}}{\text{erreur}}$ 28,4, seuil 1 % = 3,17.

Plus petite différence significative = 0,973.

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

En 1953. 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.

Contrôle biochimique.

Tableau des corrélations entre les teneurs en N, P, K et Ca dans les feuilles et les rendements en paddy.

Corrélation	Coefficient de corrélation			
	Calculé	Théorique		
		5 %	1 %	
Teneur en N/rendement en paddy... ..	+0,672	0,273	0,321	Hautement significatif à 1 %
Teneur en P/rendement en paddy... ..	+0,183			Non significatif
Teneur en K/rendement en paddy... ..	-0,021			»
Teneur en Ca/rendement en paddy... ..	+0,260			»
Teneur en N/teneur en P	+0,308			Significatif à 5 %
Teneur en N/teneur en K	+0,250			Non significatif
Teneur en N/teneur en Ca	-0,186			»
Teneur en P/teneur en K	+0,007			»
Teneur en P/teneur en Ca	-0,316			Corrélation négative à 5 %
Teneur en K/teneur en Ca	-0,296			Corrélation négative

Analyses de sols.

	Témoin	P-K	N-K	N-P	N-P-K	2N-P-K	N-2P-K	N-P-2K	2N-2P-K
Matière organique (%)	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	0,303	0,462	0,597
Chaux échangeable (%)	0,78	0,92	0,95	1,08	1,08	1,15	1,19	0,86	0,98

L'apport simultané d'azote et de phosphate est nécessaire pour augmenter nettement les réserves du sol en azote total. On a déjà observé que l'apport de phosphate élève les teneurs des feuilles en azote (corrélacion positive N-P).

Les teneurs en acide phosphorique assimilable sont augmentées par tous les traitements (sauf N-K). Les teneurs en potasse échangeable sont fortement élevées par rapport au témoin.

Sur sol de marais il est indispensable d'apporter des fumures équilibrées N-P-K. On peut insister sur les apports d'azote et de phosphate.

En 1953, la formule de fumure 2N-2P-K a apporté un supplément de rendement en paddy de 2,080t/ha. La formule N-P-K donne un supplément de 1,245 t/ha.

Résultats généraux des analyses foliaires sur riz en 1953.

1) Sur alluvions fluviales récentes (variété utilisée Makalioka 823). Le tableau I donne les moyennes des teneurs dans les feuilles exprimées en % de la matière sèche, classées en fonction des rendements en paddy en tonne/ha. Les moyennes sont affectées de leur écart type. Les calculs ont été faits en groupant tous les essais réalisés sur ce type de sol.

TABLEAU I

Rendements (t/ha)	N	P	K	Ca	Mg
de 3,0 à 3,5	2,49±0,06	0,249±0,011	0,729±0,020	0,268±0,087	0,118±0,027
de 3,5 à 4,0	2,62±0,15	0,244±0,016	0,751±0,094	0,293±0,044	0,156±0,031
de 4,0 à 4,5	2,67±0,056	0,235±0,016	0,745±0,072	0,297±0,040	0,134±0,030
de 4,5 à 5,0	2,79±0,15	0,234±0,020	0,725±0,075	0,287±0,040	0,125±0,021
de 5,0 à 5,5	2,80±0,12	0,229±0,017	0,703±0,060	0,306±0,042	0,130±0,031
de 5,5 à 6	2,88±0,18	0,225±0,011	0,739±0,057	0,302±0,038	0,152±0,016
de 6 à 6,5	2,81±0,11	0,222±0,015	0,724±0,081	0,292±0,046	0,140±0,038

Corrélation	Coefficient de Corrélation	Coefficient théorique		Observations
		P = 0,05	P = 0,01	
N ~ Rendement en paddy	+0,3228	0,2000	0,2540	Significatif P = 0,01
P ~ Rendement en paddy	-0,3528			Significatif P = 0,01
N ~ P... ..	-0,249			Significatif P = 0,05

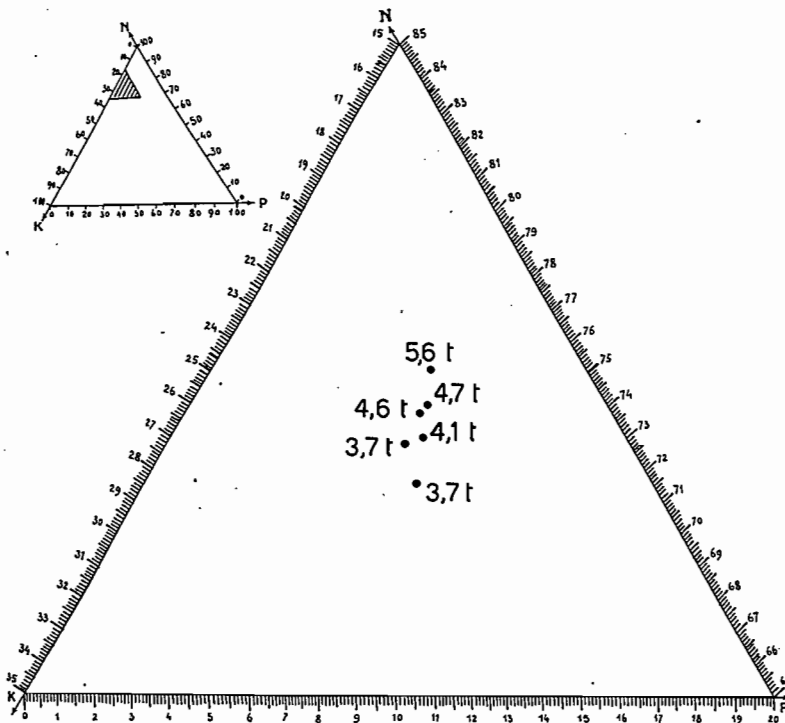
Afin de déterminer l'équilibre nutritif N-P-K correspondant aux rendements les meilleurs on calcule :

$$\text{Alimentation globale } S = N \% + P \% + K \%;$$

$$\frac{N \%}{S} \times 100; \quad \frac{K \%}{S} \times 100; \quad \frac{P \%}{S} \times 100;$$

et on porte sur des coordonnées trilineaires (figure 1).

Figure 1.

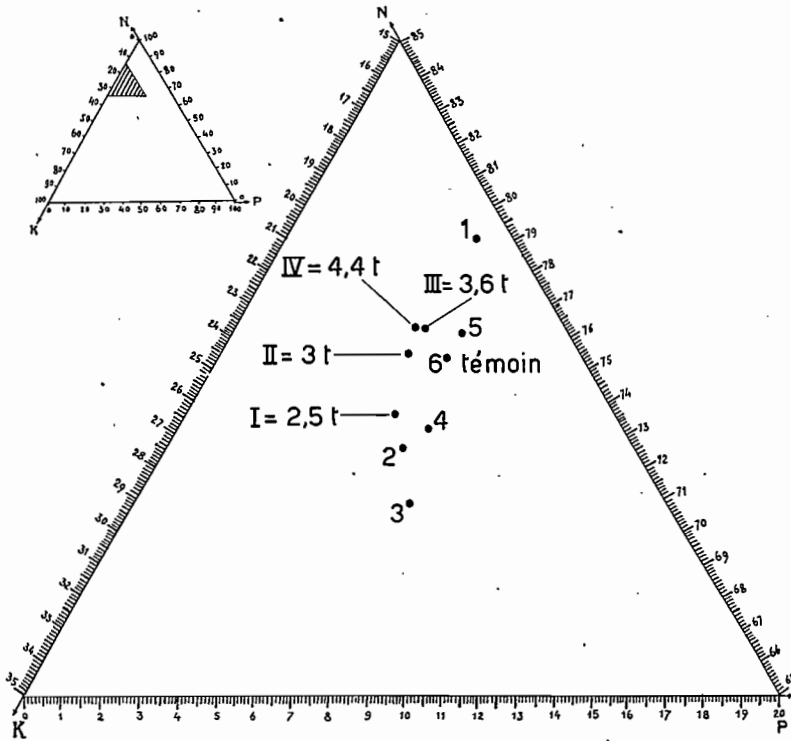


La direction générale donnée par les rendements croissants en paddy tend vers le sommet N. L'apport de phosphate en rizière accroît les rendements en faisant augmenter la teneur des feuilles et des sols en azote.

2) Sur sols de marais. (Variété utilisée Makalioka 34).

Le tableau II donne les teneurs moyennes en N, P, K, Ca et Mg dans les feuilles en fonction des rendements en paddy (en tonnes/ha).

Figure 2.



I. Témoin et P-K; II. N-K, N-P, 2N-P-K; III. N-P-K, N-2P-K, N-P-2K;
IV. 2N-2P-K.

1. Parcelle ayant reçu : 200 kg phosphate tricalcique Reno ($150 \text{ kg SO}_4\text{HN}_4$)
2. Parcelle ayant reçu : 400 kg phosphate tricalcique Reno.
3. Parcelle ayant reçu : 200 kg phosphate tricalcique Reno.
4. Parcelle ayant reçu : Fumier de parc + cendres.
5. Parcelle ayant reçu : Fumure 7-13-20 en 1950.
6. Parcelle Témoin.

TABLEAU II

Rendements (t/ha)	N	P	K	Ca	Mg
2 à 2,5	3,61±0,29	0,244±0,021	0,982±0,057	0,266±0,028	0,084±0,007
2,5 à 3	3,84±0,23	0,256±0,022	0,983±0,091	0,282±0,023	0,086±0,016
3 à 3,5	3,84±0,15	0,258±0,013	0,959±0,032	0,277±0,018	0,084±0,019
3,5 à 4	4,03±0,14	0,261±0,023	0,988±0,098	0,287±0,058	0,090±0,016
4	4,01±0,19	0,257±0,019	0,993±0,067	0,289±0,019	0,084±0,012

Pour l'équilibre nutritif, la représentation trilinéaire indique que l'optimum semble être compris entre :

75,8 et 76,5 % d'azote;
4,5 et 5,0 % de phosphore;
18,5 et 19,5 % de potassium.

Un certain nombre de prélèvements effectués chez des particuliers sur des parcelles différemment fumées ont confirmé cette hypothèse. Ce sont les prélèvements numérotés 1 à 6 (figure 2).

Sur sol de marais il est nécessaire d'apporter une fumure équilibrée contenant les trois éléments N-P-K.

RÉFÉRENCES

- VELLY, J. — Compte rendu 1953, Recherche agronomique de Madagascar, N° 2.
- GOARIN, S. et VELLY, J. — Compte rendu 1952, Recherche agronomique de Madagascar N° 1.
- DOMMARGUES. — *Mém. I.R.S.M.*, Série D, IV, 2 (1952).
- ROCHE, P. — *Agron. trop.*, VII, 1, p. 43-62 (1952).

RÉSUMÉ. — Divers essais de fertilisation du riz ont été réalisés sur les deux principaux types de sol du lac Alaotra, Madagascar :

1° Alluvions fluviales d'origine latéritique.

Sur alluvions d'origine latéritique l'action fertilisante de la paille de riz se fait sentir de façon significative à partir de la troisième année d'enfouissement. L'apport d'azote et de phosphate est à conseiller.

La comparaison de diverses fumures organiques, fumier de ferme, engrais vert, paille de riz, avec adjonction de compléments minéraux

phosphatés, a prouvé que le fumier de ferme reste la meilleure fumure organique. L'adjonction d'azote et de phosphate sur enfouissement de paille de riz peut l'égaliser.

La fumure minérale la plus efficace est l'azote (sulfate d'ammoniaque) ou le mélange (azote + acide phosphorique). Il n'est pas nécessaire sur ce type de sol d'apporter une fumure complète N-P-K.

2° Sur sols de marais humifère.

Il est indispensable d'apporter des fumures équilibrées N-P-K. On peut insister sur les apports d'azote et de phosphate. La formule de fumure 2N-2P-K a donné les meilleurs rendements.

Les analyses foliaires ont été réalisées sur toutes les parcelles. On a cherché à établir l'équilibre nutritif optimum du riz sur les deux types de sols.

Optimum nutritif dans les feuilles.

	Alluvions d'origine latéritique (%)	Sol de marais humifère (%)
Azote... ..	74,5 à 75	75,8 à 76,5
Phosphore	6 à 6,5	4,5 à 5
Potassium	19,5	18,5 à 19,5

Les parcelles ont été suivies au point de vue teneurs en éléments fertilisants dans les sols et au point de vue vie microbienne.

SUMMARY. — Different fertilizer experiments with rice have been conducted on the two principal soil types of the Lake Alaotra region, Madagascar :

1° Fluvial alluvial soil of lateritic origin.

The fertilizing effect of rice straw in these alluvial soils is visible from the 3rd year after it is worked in. Nitrogen and phosphate dressings are recommended.

The comparison of several organic fertilizers (farm manure, green manure, rice straw) with addition of mineral phosphate complements, substantiated the fact that farm manure still is the best organic dressing. Adjunction of nitrogen and phosphate after the rice straw is worked in may be equal to it.

The most efficient mineral fertilizer is nitrogen (ammoniac sulphate) or a mixture (nitrogen + phosphoric acid). On this soil type complete N-P-K fertilizers are not necessary.

2° Humiferous swamp soils.

Application of balanced N-P-K fertilizers is strictly necessary. One may insist on the nitrogen and phosphate dressings. The fertilizer formula 2N-2P-K gave the best results.

Foliar diagnosis has been undertaken on all plots, in order to find the best nutritive balance for rice on these two types of soils.

Nutrient optimum in the leaves.

	Alluvial soils of lateritic origin (%)	Humiferous swamp soils (%)
Nitrogen	74,5 to 75	75,8 to 76,5
Phosphor... ..	6 to 6,5	4,5 to 5
Potassium	19,5	18,5 to 19,5

The plots were analyzed for the content in fertilizing elements of the soils and for the bacterial activity.

Roche Pierre, Velly Jacques, Joliet B.

Fertilisation des sols de rizière dans la région du lac Alaotra
(Madagascar).

In : Cinquième congrès de Léopoldville. sl : sn, 1954, p. 1-15.
Congrès de Léopoldville, 5., Léopoldville (ZAR), 1954/08.