Effets comparés de l'application de perlurée et de supergranules d'urée sur riz inondé à Madagascar

G. d'Onofrio, J. Dupuy, Rémi Gaudin, P. Ravohitrarivo

▶ **To cite this version:**

G. d'Onofrio, J. Dupuy, Rémi Gaudin, P. Ravohitrarivo. Effets comparés de l'application de perlurée et de supergranules d'urée sur riz inondé à Madagascar. 1985. ird-00849306

HAL Id: ird-00849306
https://ird.hal.science/ird-00849306

Submitted on 30 Jul 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

REPUBLIQUE DEMOCRATIQUE MALGACHE
TANINDRAZANA - TOLOM-PIAVOTANA - FAHAFAHANA

MINISTERE DE LA PRODUCTION AGRICOLE
ET DE LA REFORME AGRAIRE

PROGRAMME ENGRAIS MALGACHE

F. A. O. *

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

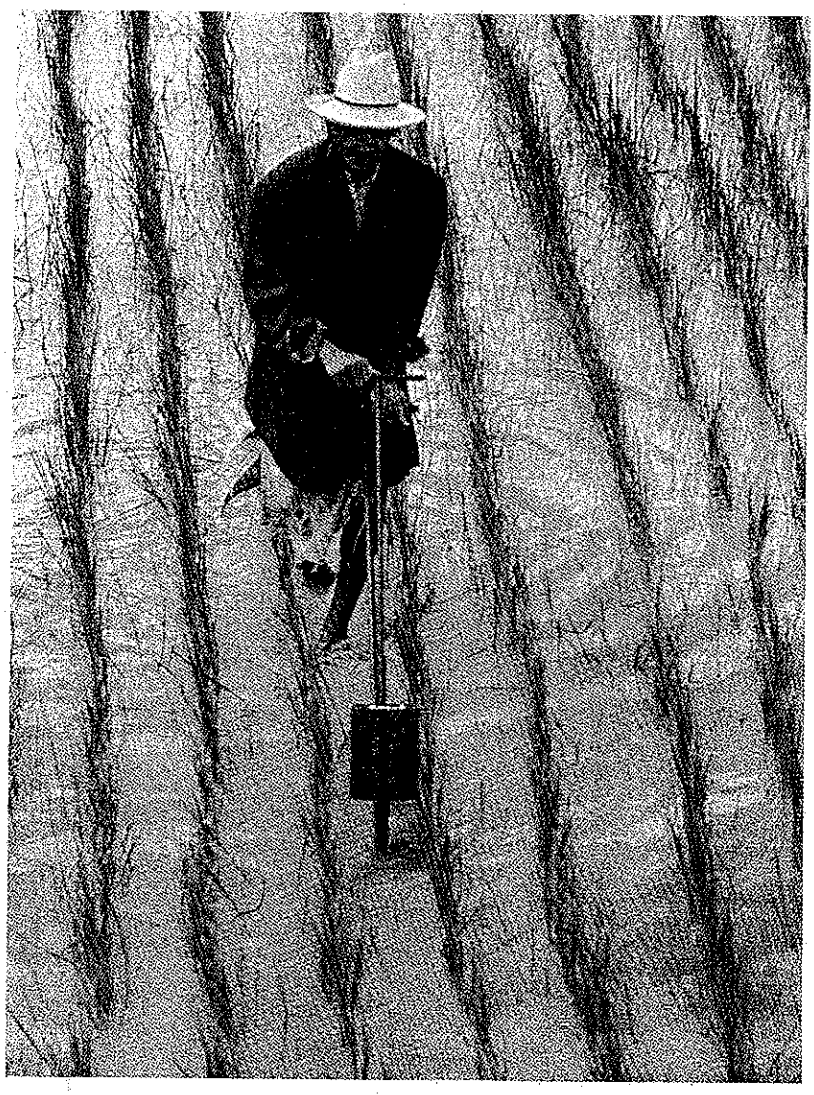
UNIVERSITE DE MADAGASCAR

LABORATOIRE DES RADIO ISOTOPES **

MINISTERE DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET DE LA TECHNOLOGIE
POUR LE DEVELOPPEMENT

FO. FI. FA. ***

EFFETS COMPARES DE L'APPLICATION DE PERLUREE ET DE SUPERGRANULES D'UREE SUR RIZ INONDE A MADAGASCAR



* G. D'ONOFRIO
** J. DUPUY - R. GAUDIN
*** P. RAVOHITRARIVO

JUIN 1985

EFFETS COMPARÉS DE L'APPLICATION DE PERLURÉE ET DE SUPERGRANULES D'URÉE SUR RIZ INONDÉ À MADAGASCAR

D'ONOFRIO (G)* - DUPUY (J)** - GAUDIN (R)** - RAVOHITRARIVO (P)***

Résumé

Sur riz inondé, l'apport d'urée sous forme de supergranules, placés à 10 cm de profondeur 3 semaines après le repiquage, s'accompagne d'augmentations de rendements de 17, 23, 22, 16 % par rapport à la perlurée aux doses de 27, 54, 81 et 108 unités d'azote à l'hectare.

L'emploi d'azote 15 permet de déterminer des coefficients réels d'utilisation de l'azote par les parties aériennes du végétal. Très faibles pour la perlurée, compris entre 4 et 9 %, ils dépassent 25 et 38 % pour les supergranules pour les sites étudiés. L'effet forme d'engrais est plus important que le facteur dose.

Les résultats sont discutés en terme de coefficients apparents d'utilisation, rentabilité économique et mécanisme en jeu.

INTRODUCTION

A Madagascar l'augmentation de la production rizicole dépend, pour une large part, du niveau de fertilisation azotée car les faibles tallages observés sur les rizières des hauts plateaux sont principalement liés à un déficit en azote. Les engrais importés ont un prix de revient particulièrement élevé dû tant à la distance aux pays producteurs qu'aux difficultés d'acheminement dans l'île. L'amélioration de l'efficacité des fumures est un objectif prioritaire.

* PEM-FAO - Direction de la Vulgarisation MPARA - Antananarivo

** L R I Radioagronomie - B. P. 3383 Antananarivo

*** FOFIFA - B. P. 1690 Antananarivo

Diverses solutions ont été proposées pour limiter les pertes en azote. Les plus simples consistent à fractionner les apports [11-16-18-21-29]. D'autres, plus efficaces, font appel à des conditionnements composites destinés à provoquer une libération progressive de l'azote dans le sol [5-7-9-10-28-29-30-42-45-46]. Enfin, certaines s'appuient sur l'association d'inhibiteurs de la nitrification aux engrais azotés [10-28-30-35-42-47]. Cependant, les résultats positifs obtenus risquent d'être contrebalancés par les surcoûts de production. Parmi les méthodes les plus économiques, nous pouvons citer la présentation d'urée sous forme de boulettes conditionnées avec des substances diverses (nem-cake, mud-ball) ou plus simplement de granules (S G U) d'un poids compris entre 1 et 3 grammes [3-4-5-7-8-14-15-22-40-41-43-44]. L'efficience de ces différentes présentations peut être renforcée par le mode et la date de placement.

Plusieurs essais ont été conduits afin de comparer l'effet de la perlurée et des supergranules, et de déterminer les coefficients d'utilisation de l'azote par les parties aériennes du riz inondé dans deux expériences réalisées en présence d'azote 15.

Ces essais ont été exécutés en collaboration avec le FOFIFA et l'A.I.E.A.

MATERIEL ET METHODES

Sept essais, dont deux marqués à l'azote 15, ont été mis en place en divers sites mais les inondations et les maladies ont causé la perte de deux essais et les cinq restants se répartissent ainsi :

- MAHITSY* (FOFIFA) : Sol hydromorphe à pseudo-gley de surface
- ARIVONIMAMO* (paysan) : Sol hydromorphe minéral à pseudo-gley de surface
- FIANARANTSOA (paysan) : Sol hydromorphe à gley de surface
- ALAOTRA (S P R A) : Apport alluvial hydromorphe à pseudo-gley
- AMBATONDRAZAKA (SOMALAC) : Alluvions lacustres à tourbes

* : azote 15

Le dispositif expérimental est en bloc randomisé comprenant 14 traitements dont deux principaux (supergranules X perlurée), 4 répétitions soit 56 parcelles de 10 m^2 (10 lignes de 5 mètres). L'irrigation et le drainage se font par bloc.

La variété de riz retenue est le 1632 (*chianan 8*) repiqué à 2 brins à une équidistance de 20 cm avec des plants âgés de 30 à 40 jours.

A côté d'un témoin absolu, les autres parcelles reçoivent une fumure de fond de 90 unités en P_2O_5 (super-triple) et 90 unités en K_2O (KCl), appliquée après planage.

Les doses d'azote sont de : 0-27-54-81-108 unités par hectare. La taille des supergranules est de 1-2-3 grammes ; ils sont enfouis, à l'aide d'un bâton, à 8-10 cm de profondeur. Leur disposition est la suivante :

27 unités par hectare	=	1 granule de 1 g pour 4 touffes
54 - " -	=	1 granule de 1 g pour 2 touffes
- " -	=	1 granule de 2 g pour 4 touffes
- " -	=	2 granules de 1 g pour 4 touffes
81 - " -	=	1 granule de 3 g pour 4 touffes
108 - " -	=	1 granule de 1 g pour 1 touffe
- " -	=	1 granule de 2 g pour 2 touffes

La perlurée est placée au fond d'un sillon de même profondeur. Les apports d'azote se font à la reprise des plants soit 3 semaines après le repiquage.

Avec une teneur isotopique en excès de 1 %, l'azote 15 est apporté sur une surface de 0,96 m^2 (2 lignes de 5 plants) dans deux des essais : Arivonimamo et Mahitsy. Pour la dose de 54 unités d'azote par hectare les supergranules marqués de 1 g sont placés soit à raison de 1 granule pour 2 touffes (54 G_1) soit de 2 granules pour 4 touffes (54 G_2). Les supergranules marqués sont confectionnés en emballant fermement l'urée enrichie dans un double enveloppe de papier de soie.

A la récolte, après séchage à l'étuve, les pailles et les grains, sous-échantillonnés, sont broyés puis l'azote est dosé après minéralisation kjeldahl et distillation sous courant de vapeur. Les dosages d'azote et les excès isotopiques, trop faibles pour être déterminés par spectrométrie d'émission optique, sont mesurés par spectrométrie de masse par l'A.I.E.A.

RESULTATS ET DISCUSSION

1. Ensemble des essais

L'analyse statistique utilisée est la méthode de DUNCAN-D.M.R.T. (Duncan's multiple range test).

Les courbes de la Figure 1 montrent une bonne réponse à l'azote avec un effet marqué de la forme des engrais. Les supergranules ont une efficacité supérieure à celle de la perlurée et la différence entre les deux traitements est particulièrement sensible aux doses moyennes. Pour la perlurée et les supergranules, les pourcentages d'augmentation de rendement sont respectivement de 64 % et de 102 %, de 81 % et de 122 % aux doses 54 unités et 81 unités (Tableau 1).

Le mode de placement des granules ainsi que leur taille ne modifient pas sensiblement les résultats obtenus.

2. Essais azote 15

Résultats globaux

- Facteur dose

Pour l'ensemble des paramètres mesurés, les écarts entre les traitements perlurée recevant 54 et 81 unités d'azote à l'hectare sont très faibles et non significatifs. Ils sont un peu plus marqués et parfois significatifs dans le cas des traitements supergranules (Tableau 2 ; Figures 2-3-4-5).

- Facteur forme

Evalués en termes d'écarts relatifs ($ER = \frac{G - U}{U}$, G : supergranule, U : perlurée), les principaux effets sont les suivants :

. Rendements : une meilleure efficacité des supergranules se traduit par des écarts relatifs de 20 % pour les pailles et 40 % pour les grains.

. Azote exporté : un même type de comportement est enregistré, les résultats des pailles sont cependant plus proches de ceux des grains.

RESULTATS ET DISCUSSION

1. Ensemble des essais

L'analyse statistique utilisée est la méthode de DUNCAN-D.M.R.T. (Duncan's multiple range test).

Les courbes de la Figure 1 montrent une bonne réponse à l'azote avec un effet marqué de la forme des engrais. Les supergranules ont une efficacité supérieure à celle de la perlurée et la différence entre les deux traitements est particulièrement sensible aux doses moyennes. Pour la perlurée et les supergranules, les pourcentages d'augmentation de rendement sont respectivement de 64 % et de 102 %, de 81 % et de 122 % aux doses 54 unités et 81 unités (Tableau 1).

Le mode de placement des granules ainsi que leur taille ne modifient pas sensiblement les résultats obtenus.

2. Essais azote 15

Résultats globaux

- Facteur dose

Pour l'ensemble des paramètres mesurés, les écarts entre les traitements perlurée recevant 54 et 81 unités d'azote à l'hectare sont très faibles et non significatifs. Ils sont un peu plus marqués et parfois significatifs dans le cas des traitements supergranules (Tableau 2 ; Figures 2-3-4-5).

- Facteur forme

Evalués en termes d'écarts relatifs ($ER = \frac{G - U}{U}$, G : supergranule, U : perlurée), les principaux effets sont les suivants :

. Rendements : une meilleure efficacité des supergranules se traduit par des écarts relatifs de 20 % pour les pailles et 40 % pour les grains.

. Azote exporté : un même type de comportement est enregistré, les résultats des pailles sont cependant plus proches de ceux des grains.

. N d f f : les pourcentages de contribution de l'engrais "nitrogen derived from fertilizer" des auteurs anglosaxons, définis comme le rapport de l'excès isotopique du végétal à celui de l'engrais, varient peu d'une partie du végétal à l'autre. Par contre, les écarts relatifs entre supergranules et perlurée sont supérieurs à 200 %.

Si le taux d'engrais reste constant avec la dose ou la partie du végétal, la disponibilité de l'engrais est renforcée quand l'azote est placée en profondeur.

. C R U : aussi bien pour les pailles que pour les grains, les écarts relatifs entre les coefficients réels d'utilisation de l'azote sont considérables.

Le placement des supergranules est responsable d'une meilleure utilisation de l'engrais qu'un apport de perlurée.

Il existe cependant des différences sensibles entre les deux points d'essais pour chaque traitement et entre traitements pour la plupart des paramètres analysés.

Comparaison des résultats entre traitements, entre sites

- Rendements (Tableau 2)

Pour les traitements perlurée, les poids de paille sont voisins à Mahitsy et Arivonimamo.

Le traitement supergranule, par contre, s'accompagne d'une augmentation très sensible de la récolte en paille à Arivonimamo (écarts relatifs : 36 %) mais négligeable à Mahitsy (6 %).

Pour les poids de grains, les écarts se creusent pour les traitements perlurée et surtout supergranules. Les écarts relatifs, qui ne sont que de 21 % à Mahitsy, dépassent 55 % à Arivonimamo.

La meilleure efficacité du traitement supergranule, notée au niveau des pailles, est largement confirmée pour les grains.

La croissance du végétal, plus faible à Mahitsy qu'à Arivonimamo, est améliorée par le placement en profondeur de l'engrais. Cet effet a toutefois tendance à accentuer les écarts entre sites.

- Azote exporté (Figures 4, 5)

Comme les teneurs en azote sont plus grandes à Mahitsy qu'a Arivonimamo les quantités d'azote exportées connaissent des écarts plus

réduits que les variations de poids quelle que soit la forme sous laquelle est apporté l'engrais. Les quantités d'azote des pailles sont un peu plus fortes à Mahitsy qu'à Arivonimamo contrairement aux observations faites sur les poids secs. Les écarts relatifs entre traitements sont voisins à Arivonimamo (33 %) et Mahitsy (39 %).

Cette exportation d'azote plus grande à Mahitsy qu'à Arivonimamo ne se retrouve pas au niveau des grains, des comportements similaires à ceux notés pour les rendements sont enregistrés.

L'écart relatif lié aux supergranules est de 51 % à Arivonimamo (55 % en terme de poids sec) et 33 % à Mahitsy (36 % pour les poids).

En terme de quantités totales d'azote exportées les écarts entre Mahitsy et Arivonimamo sont plus faibles qu'en terme de rendements, ceci est dû à la meilleure performance notée pour les pailles à Mahitsy.

Au bilan, une croissance plus faible à Mahitsy qu'à Arivonimamo doit se maintenir voire s'accentuer au cours du cycle.

- Ndff (Figures 2, 3)

Si, comme indiqués plus haut, les Ndff des pailles et des grains sont proches, indice d'une disponibilité constante de l'engrais, ils varient avec les traitements et entre sites.

Pour la perlurée ils sont près de deux fois plus grands à Arivonimamo (10,6 %) qu'à Mahitsy (5,6 %). Bien que beaucoup plus élevés pour les traitements supergranules (29,8 et 22,6 % respectivement) l'amplitude des écarts augmente peu. De ce fait, l'écart relatif dû aux supergranules est plus fort à Mahitsy (300 %) qu'à Arivonimamo (180 %).

- CRU (Figures 2,3)

Quels que soient les traitements les plus grandes exportations d'azote par les pailles ne compensent pas les plus faibles taux d'interventions de l'azote et les CRU sont plus bas à Mahitsy.

Pour les grains, comme les exportations d'azote et les Ndff sont plus réduits à Mahitsy qu'à Arivonimamo les écarts entre CRU s'accroissent.

Pour les traitements supergranules si les CRU des grains n'atteignent pas 14 % à Mahitsy, ils dépassent 25 % à Arivonimamo. Toutefois les variations relatives sont plus importantes à Mahitsy (460 %) qu'à Arivonimamo (350 %).

A partir de performances plus basses, l'effet supergranule au sens strict est plus marqué à Mahitsy qu'à Arivonimamo.

Pour les grains, des coefficients apparents d'utilisation (CAU), déterminés en rapportant l'écart entre la quantité d'azote exportée et celle du traitement sans azote à la quantité d'azote engrais apportée, permettent les observations suivantes (Figure 6) :

. ils sont plus élevés à Arivonimamo qu'à Mahitsy quels que soient les traitements et doses appliqués ;
. ils sont plus forts pour les traitements supergranules que pour la perlurée ;
. l'effet dose n'est nettement sensible que pour la perlurée à Arivonimamo, les C A U pour 54 unités d'azote à l'hectare étant plus grands que pour 81 unités ;
. ils sont toujours très supérieurs aux C R U et conduisent donc à une surestimation de la participation de l'engrais qui doit correspondre à un effet de stimulation du prélèvement de l'azote du sol par la plante induite par l'apport d'engrais.

L'écart entre les quantités apparentes et les quantités réelles d'azote provenant de l'engrais permet de chiffrer cet effet de stimulation.

A Arivonimamo, il passe de 12,1 et 7,8 à 13,6 et 21,4 kg de N à l'hectare des traitements perlurée aux traitements supergranules pour les doses 54 et 81 unités.

Les différences, plus faibles à Mahitsy, sont de 1,6 et 4,3 kg pour la perlurée contre 5 et 3,5 kg de N à l'hectare pour les supergranules.

A Arivonimamo l'exportation d'azote due à l'effet de stimulation est plus de deux fois plus grande que le prélèvement d'azote de l'engrais pour la perlurée, alors qu'elle est du même ordre de grandeur pour les supergranules.

A Mahitsy la situation est différente puisque pour la perlurée l'effet de stimulation est du même ordre de grandeur que le prélèvement d'azote engrais. Le phénomène est inversé pour les supergranules, l'azote provenant de l'engrais ayant une importance plus grande que le surcroît de prélèvement d'azote par effet de stimulation.

3. Bilan économique et perspectives

En termes de rentabilité économique (Figure 7 ; Tableau 1), le rendement maximum correspond à 196 kg par hectare de perlurée, il n'est plus que de 104 kg par hectare pour les supergranules soit un gain appréciable de 92 kg d'azote.

L'optimum de rendement est obtenu pour 162 kg par hectare de perlurée contre 94 kg par hectare de supergranules.

Le surcoût de fabrication des supergranules doit rester inférieur aux économies d'engrais réalisables. Par contre le mode de placement des granules, en profondeur après repiquage, entraîne une augmentation du travail nécessaire. S'il ne peut être sensiblement réduit par la mise au point de machines simples, il faut noter que, dans des exploitations où le travail manuel est de règle, les économies de fertilisants peuvent primer les économies de main-d'oeuvre. Des essais comparatifs conduits par ailleurs montrent que l'application d'un granule tous les 30 cm à raison d'un interligne sur deux demande 40 à 45 heures/homme/hectare avec un applicateur IRRI et 50 à 60 heures/homme/hectare par enfouissement manuel.

De placer manuellement un ou deux supergranules pour 4 touffes revient à accroître de 25 % le travail de repiquage. Cette augmentation reste raisonnable compte tenu des augmentations de récolte obtenues et de l'importance relative de cette étape par rapport aux autres (labour, mise en boue, planage, affinage, épandage d'engrais, sarclages, récolte, battage).

4. Conclusion

Quel que soit le critère retenu, taux d'engrais, coefficient apparent ou réel d'utilisation, l'effet forme d'engrais dépasse l'effet dose.

L'augmentation des pourcentages de contribution de l'engrais peut avoir pour origine une limitation des pertes d'azote dont les causes principales sont : la volatilisation, la nitrification-dénitrification, l'immobilisation et enfin la lixiviation ou l'entraînement par les eaux de pluie. L'importance de ces facteurs diffère selon les sols, les formes d'engrais, leur mode de placement.

Dans le cas de la perlurée apportée en surface, la formation d'ammonium par hydrolyse s'accompagne de pertes importantes par volatilisation d'ammoniaque [1-12-17-19-20-38-48-50-51-54]. Son amplitude varie avec la concentration en ammonium, le pH de l'eau de submersion, l'équilibre du système carbonate-bicarbonate-CO_2, lui-même contrôlé par l'activité biochimique des organismes vivant dans le milieu (photosynthèse-respiration) et enfin avec divers facteurs de l'environnement (éclairement, température, vent). Ces phénomènes sont des phénomènes de surface que le placement en profondeur permet de réduire ou d'éliminer. Il faut souligner que l'apport de perlurée au fond d'un sillon rempli d'eau s'accompagne, à la fermeture du sillon, d'une délocalisation de l'engrais qui rend possible la diffusion de l'ammonium jusqu'à l'interface sol-eau.

De manière analogue, les processus de nitrification-dénitrification seront atténués par une localisation de l'azote en profondeur car l'oxydation de l'ammonium en nitrate est moindre dans la couche réduite située quelques centimètres en dessous du niveau du sol [23-26-31-33-34-53].

Les faibles niveaux soit de nitrate en profondeur, soit d'ammonium en surface, diminueront l'importance probable des pertes par lixiviation ou entraînement [25].

Un dernier mérite du placement en profondeur est d'éviter l'inhibition de la croissance des algues bleu-vert et la fixation symbiotique d'azote associée [36].

Les avantages précédents sont accrus par la présentation de l'urée sous forme de supergranules.

D'après SAVANR et col. [40], elle doit s'accompagner localement d'un très fort gradient de concentration en ammonium dans la zone de réaction sol-urée. En début de croissance, les racines du végétal vont éviter cette zone, et, à une période où les besoins de la plante sont encore faibles, l'azote sera puisé dans les réserves du sol. Ultérieurement, avec la décroissance de ce gradient, les racines pourront proliférer dans la zone de réaction et bénéficier ainsi pendant un temps plus long de l'azote de l'engrais. Ce phénomène sera accentué par un apport tardif. Cette hypothèse est confirmée par une bonne utilisation de l'azote engrais au niveau des grains qui n'avait pas été mise en évidence dans des expériences où les supergranules étaient apportés au repiquage [43-31].

Au bilan, trois facteurs prépondérants sont à l'origine de l'efficacité des supergranules. Le premier réside dans le placement en profondeur, le second dans la présentation sous forme de granules d'un poids au moins égal à 1 gramme, le troisième enfin dans l'application tardive.

Afin de localiser l'engrais dans la zone réduite, de l'y maintenir et de créer des conditions propices à la persistance d'un fort gradient en ammonium, le respect de ces trois éléments est indispensable.

Au plan pratique, si la confection des supergranules ne doit pas poser de problème, il n'en va pas de même de leur application. Quelle soit réalisée manuellement ou mécaniquement, la localisation doit être précise et non perturbée au moins pendant les premières semaines suivant l'apport d'azote. Ce dernier impératif implique, entre autres, une bonne maîtrise de l'eau. En fait, si l'application doit avoir lieu environ 3 semaines après le repiquage du riz (au moment du tallage), il faut considérer qu'à une telle époque la pluviométrie est déjà abondante, sauf sécheresse, les rizières sont complètement inondées et difficilement drainables. Or, pour que l'application des supergranules se réalise dans des conditions optimales, il est nécessaire d'assécher la rizière, ou tout au moins de réduire la lame d'eau à 2 ou 3 cm, les mouvements d'une lame d'eau plus épaisse provoquent la remontée du supergranule qui connaîtra dans ce cas le même sort que la perlurée. L'amplitude de ce phénomène varie avec les différents types de sols. Les sols argileux (collants) sont mieux adaptés à l'application des supergranules que les sols organiques à structure grumeleuse.

Toutefois, si les traitements supergranules s'accompagnent d'une amélioration très nette de taux d'intervention de l'engrais d' autres facteurs limitants vont affecter d'une part l'utilisation de l'azote engrais et d'autre part l'effet de stimulation du prélèvement de l'azote du sol par la plante. Ce dernier facteur, qui peut être très important, dépendra essentiellement des conditions générales de la nutrition du végétal. En particulier pour des sols pauvres en phosphore, ou à très fort pouvoir fixateur, comme c'est souvent le cas à Madagascar, les hauts niveaux de fumures apportées seront quand même insuffisants pour assurer un développement correct du riz.

Enfin d'autres éléments plus difficiles à évaluer peuvent intervenir (carences en oligoéléments, perméabilité, etc...). Elément majeur de la production rizicole, l'amélioration de l'efficacité des engrais azoté ne peut cependant à elle seule, résoudre tous les problèmes.

Afin de mieux cerner l'incidence de ces divers points, des travaux complémentaires en présence d'indicateurs nucléaires sont à développer. Ils pourraient porter sur l'analyse de l'enracinement du riz et les cinétiques de prélèvement de l'azote selon les modalités de placement (forme-date-profondeur- régime hydrique). Des expériences conduites en présence d'azote à forte teneur permettraient de suivre le devenir des différentes formes d'azote dans le sol et de déterminer les arrières effets éventuels.

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

1. BOUWMEESTER (RJB), VLEK (PLG). 1981
   Rate control of amonia volatilization from rice paddies.
   Atmos. Environ. 15, 131-140

2. BROADBENT (FE), MIKKELSEN (DS). 1968
   Influence of placement on uptake of tagged nitrogen by rice.
   Agron. J. 60, 674-677

3. BYRNES (BH), VLEK (PLG), CRASWELL (ET). 1979
   The promises and problems of urea supergranules for rice production.
   Final INPUTS Review Meeting p. 75-83. East West Center, Honolulu, Hawaï

4. CRASWELL (ET), DE DATTA (SK). 1980
   Recent developments in research on nitrogen fertilizers for rice.
   IRRI Research Paper Series 49, 11 pp.

5. CRASWELL (ET), VLEK (PLG). 1979
   Greenhouse evaluation of nitrogen fertilizers for rice.
   Soil Sci. Am. J. 43, 1184-1188

6. CRASWELL (ET), VLEK (PLG). 1979
   Fate of fertilizer nitrogen applied to wetland rice.
   "Nitrogen and rice" p. 175 IRRI Los Banos, Laguna, Philippines

7. CRASWELL (ET), VLEK (PLG). 1978
   Fertilizers for deep placement and slow release of nitrogen for rice.
   Trans. 11th Soil Sci. Congr. Edmonton p. 236

8. DE DATTA (SK), NAGNAYE (CP), MOOMAN (JC). 1968
   Efficiency of fertilizer nitrogen (^{15}N labelled) for flooded rice.
   Trans. 9th Int. Congr. Soil Sci. 4, 67-76

9. ENGELSTAD (OP), GETSINGER (JG), STANGER (PJ). 1972
   Tailoring of fertilizers for rice.
   Final Report AID/NFDC, TVA Bull. Y 52

10. HAMAMOTO (M), WATANABE (T). 1975
    Use of control release fertilizers and nitrification inhibitors-
    prospects and problems. In Fertilizer Association of India.
    Proc. FAI/FAO Seminar p. 139-152 New Delhi

11. HALL (VL), RALLEY (RM). 1964
    Timing nitrogen fertilization of rice with the morphological
    development of the rice plant.
    Rice J. 67, 6-8

12. HARGROVE (WL), KISSEL (DE). 1979
    Amonia volatilization from surface applications of urea
    in the field and laboratory.
    Soil Sci. Soc. Am. J. 43, 359-363

13. A I E A. 1978
Isotope studies on rice fertilization.
Tech. Rep. Series No. 181 Vienna, Austria

14. A I E A. 1979
Flooded rice. Upland rice. 583-647
in "Isotope and Radiation in research on soil-plant relationships".
Vienna, Austria

15. I R R I. 1978
Summary report on the first and second international trials on nitrogen fertilizer efficiency in rice (1975-1977), revised.
Summary report Los Banos Laguna Philippines

16. KOYAMA (T), NIAMSRICHAND (M). 1973
Soil plant nutrition studies on tropical rice : VI The effects of different level of nitrogenous fertilizer application on plant growth, grainyield, and nitrogen utilization by rice plants.
Soil Sci. Plant Nutri. 19, 265-274

17. KISSEL (DE), BREWER (HL), ARKIN (GK). 1977
Design and test of a field sampler for amonia volatilization.
Soil Sci. Soc. Am. J. 41, 1133-1138

18. KHIND (CS), DATTA (NP). 1975
Effect of method and timing of nitrogen application on yield and fertilizer nitrogen utilization by low-land rice.
J. Indian Soc. Soil Sci. 23, 442-446

19. MAC RAE (IC), ANCAJAS (R). 1970
Volatilization of amonia from submerged tropical soils.
Plant and Soil 33, 97-103

20. MIKKELSEN (DS), DE DATTA (SK), OBCEMEA (WN). 1978
Amonia volatilization losses from flooded rice soils.
Soil Sci. Soc. Am. J. 42, 725

21. MUHAMMAD, SHAH, UNG JU, KIM, KIKUOKUMALAKUA. 1974
The uptake, distribution and accumulation of ^{15}N labelled amonium and nitrate nitrogen top-dresses at different growth stages of rice.
Soil Sci. Plant Nutr. 20, 279-286

22. PARISH (DH), DE DATTA (SK). 1977
Rice fertilization for optimum yield.
FAI/IFDC Fertilizer seminar New Delhi AGR II, 11

23. PATRICK (WH), REDDY (KR). 1976
Nitrification Denitrification reactions in flooded soils and water bottoms : dependence on oxygen supply and amonium diffusion.
J. Environ. Qual. 5, 469-472

24. PATRICK (WH), REDDY (KR). 1976
Fate of fertilizer nitrogen in a flooded rice soil.
Soil Sci. Soc. Am. J. 40, 678-681

25. PRAKASA RAO (EVS), PRASAD (R). 1980
Nitrogen leaching losses from conventional and new nitrogenous fertilizer in low land rice culture.
Plant and Soil 57, 383-392

26. PRASAD (R), DE DATTA (SK). 1978
Increasing fertilizers nitrogen efficiency.
Proc. Symp. "Nitrogen for rice " IRRI

27. PRASAD (R), REDDY (KR). 1977
Nitrification retarders and slow release of fertilizers.
Adv. Agron. 23, 337-383

28. PRASAD (R), REDDY (KR). 1977
Effects of sulpha drugs on nitrification of urea in soil.
Plant and Soil 48, 11-16

29. PRASAD (R), DE DATTA (SK). 1979
Increasing fertilizer nitrogen efficiency in wetland rice.
"Nitrogen and Rice" IRRI

30. RAJALE (GB), PRASAD (R). 1974
Relative efficiency of urea, nitrification inhibitor treated urea, and slow release nitrogen fertilizers of rice.
J. Agric. Sci. Camb. 83, 303-307

31. REDDY (KR), PATRICK (JR). 1974
Uptake of fertilizer nitrogen and oil nitrogen by rice using ^{15}N labelled nitrogen fertilizer.
Plant and Soil 57, 375-381

32. REDDY (KR), PATRICK (WH). 1977
Effect of placement and concentration of applied $^{15}NH_4^+$-N on nitrogen loss from flooded soil.
Soil Science 123, 142-147

33. REDDY (KR), PATRICK (WH), PHILLIPS (RE). 1980
Evaluation of selected process controlling nitrogen loss in a flooded soil.
Soil Sci. Soc. Am. J. 44, 1241

34. REDDY (RNS), PATRICK (WH), PHILLIPS (RE). 1978
The role of diffusion in determining the order and rate of denitrification in submerged soils. I. Experimental results.
Soil Sci. Soc. Am. J. 42; 268-272

35. REDDY (RNS), PRASAD (R). 1975
Studies on the mineralization of urea and nitrification inhibitor treated urea in soil.
J. Soil Sci. 26, 304-312

36. ROGER (PA), KULASOOIYA (SA), TIROL (AC), CRASWELL (ET). 1980
Deep placement : a method of nitrogen fertilizer application compatible with algal nitrogen fixation in wetland rice soils.
Plant and Soil 57, 137-142

37. SAHRAWAT (KL). 1980
Kinetics of urea hydrolysis in soils.
Fertilizer News 25, 12-13

38. SAHRAWAT (KL). 1980
Control of urea hydrolysis and nitrification in soil by chemicals - Prospects and problems.
Plant and Soil 57, 335-352

39. SAHRAWAT (KL). 1979
Nitrogen losses in rice soils.
Fertilizer News 24, 38-48

40. SAVANT (NK), DE DATTA (SK). 1980
Movement and distribution of ammonium-N following deep placement of urea in a wetland rice soil.
Soil Sci. Soc. Am. J. 44, 559-565

41. SAVANT (NK), DE DATTA (SK), CRASWELL (ET). 1980
Distribution patterns of NH_4^+- and ^{15}N. Uptake by rice after placement of supergranuls of urea in wetland soils as influenced by placement depth and transplanting geometry.
Am. Soc. of Agronomy meeting Detroit

42. SHARMA (SN), PRASAD (R). 1980
Effect of rates of nitrogen and relative efficiency of sulphur coated urea and nitrapyrin-treated urea in dry matter production and nitrogen uptake by rice.
Plant and Soil 55, 389-396

43. SHIGA (H), VENTURA (WB), YOSHIDA (T). 1977
Effect of deep placement of ball type fertilizer at different growth stages on yield and yield components of the rice plant in the Philippines.
Plant and Soil 47, 351-361

44. SHINDE (JE). 1980
Nitrogen fertilization to flooded rice through mud balls.
Madras Agricultural Journal 67, 517-523

45. TASLIM (H), VERSTRAETEN (LMJ). 1977
Effect of slow-release nitrogen fertilizers on the growth and yield of flooded rice.
Proc. Symp. IAEA, FAO and Agrochimica, 349-357

46. TEJEDA (HR), HONG (CW), VLEK (PLG). 1980
Comparison of modified urea fertilizers and estimation of their availability coefficient using quadratic models.
Soil Sci. Soc. Am. J. 44, 1256

47. TOWNSEND (LR), MAC RAE (KB). 1980
The effect of the nitrification inhibitor nitrapyrin on yield and on nitrogen fractions in soil and tissue of corn (ZEA mays L.) grown in the Annapolis valley of Nova Scotia.
Can. J. Plant Science 60, 337-347

48. VENTURA (WB), YOSHIDA (T). 1977
Amonia volatilization from a flooded tropical soil.
Plant and Soil 46, 521-531

49. VLEK (PLG), BYRNES (BH), CRASWELL (ET). 1980
Effect of urea placement on leaching losses of nitrogen from flooded rice soils.
Plant and Soil 54, 441-449

50. VLEK (PLG), CRASWELL (ET). 1979
Effect of nitrogen source and management on amonia volatilization losses from flooded rice soil-system.
Soil Sci. Soc. Am. J. 43, 352-358

51. VLEK (PLG), STUMPE (JM). 1978
Effect of solution chemistry and environmental conditions on amonia volatilization losses from aquaeous systems.
Soil Sci. and Plant Nutr. 27, 373-382

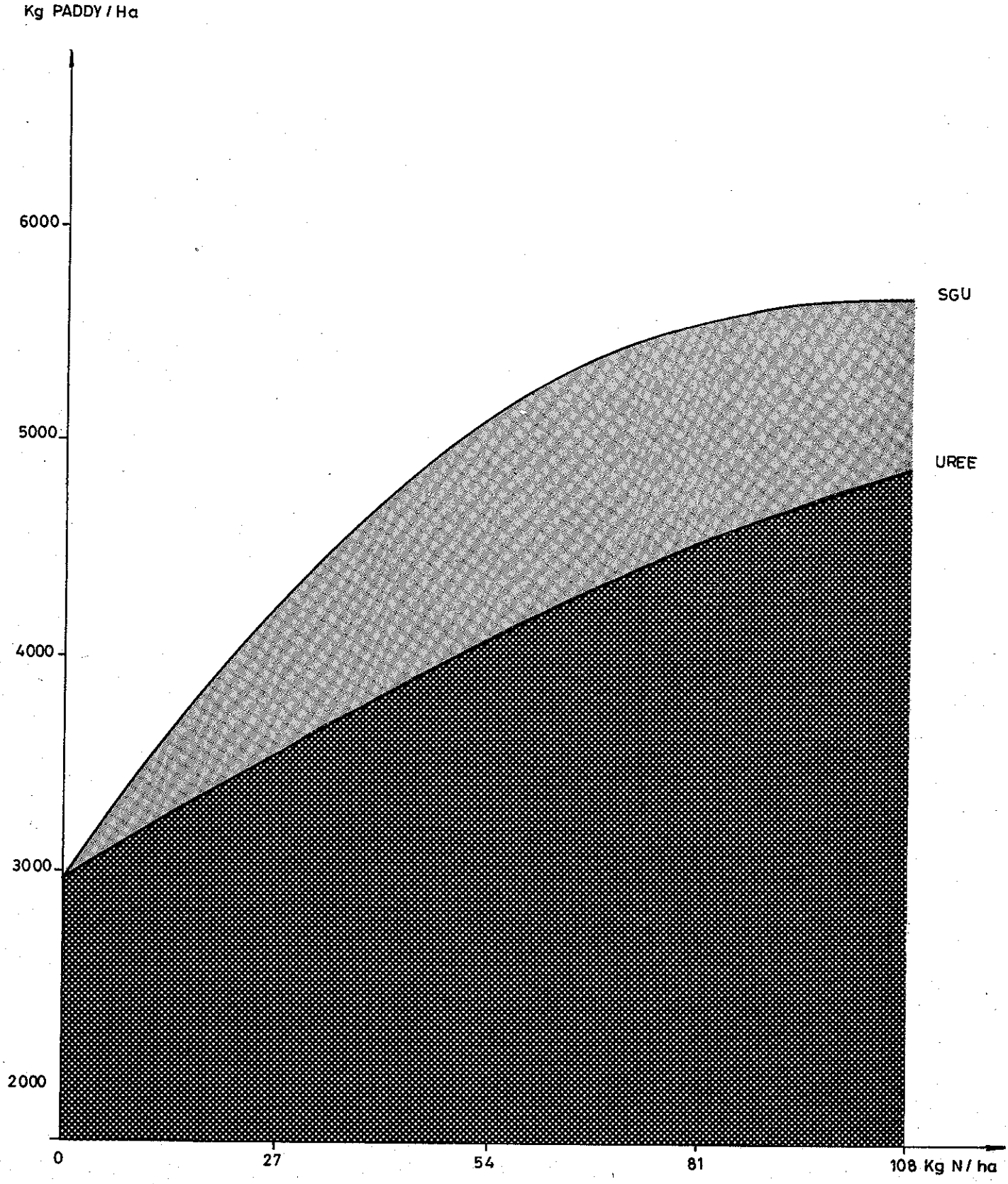
52. WATANABE (I), PADRE (BC), SANTIAGO (ST). 1981
Quantitative study on nitrification in flooded rice soil.
Soil Sci. and Plant Nutr. 27, 373-382

53. WETSELAAR (R), SHAW (T), FIRTH (P), OUPATHUM (J), THITIPOCA (H). 1977
Amonia volatilization from variously placed amonium sulfate under low land rice field conditions in central Thailand.
Proc. Int. Seminar SEFMIA Oct. 1977 Tokyo Japan

54. YAMADA (Y), JUANG (TC), GUNASENA (HPM), AHMED (S). 1978
Nitrogen efficiency under flooded paddy conditions :
a review of inputs trial I.
Proc. Second Review Meeting INPUTS. Project, Honolulu, Hawaii

MOYENNE DE L'ENSEMBLE DES ESSAIS RECOLTES

COURBE DE REPONSE



$$Y\ UREE = 2964 + 25,156\,x - 0,064\,x^2 \quad [\ r^2 = 0,998\ ]$$
$$Y\ SGU = 2968 + 53,562\,x - 0,2584\,x^2 \quad [\ r^2 = 0,998\ ]$$

Figure 1

Tableau 1 - MOYENNE DE L'ENSEMBLE DES ESSAIS RECOLTES - RENTABILITE ECONOMIQUE

Traitements	R D T (kg/ha	Augmentation de rendement	% d'augmentation de rendement	Bénéfice brut (FMG)	Coût des engrais (FMG)	Bénéfice net (FMG)	Productivité	R. V. C.
0 - 0 - 0	2 526	-	-	-	-	-	-	-
0 - 90 - 90	2 963	437	17	30 590	48 060	- 17 470	2.43	0.64
27 - 90 - 90 (UREE)	3 596	1 070	42	74 900	56 268	18 632	5.17	1.33
27 - 90 - 90 (S G)	4 226	1 700	67	119 000	57 078	61 922	8.21	2.08
54 - 90 - 90 (UREE)	4 135	1 609	64	112 630	64 476	48 154	6.88	1.75
54 - 90 - 90 (S G)	5 107	2 581	102	180 670	66 096	114 574	11.03	2.73
81 - 90 - 90 (UREE)	4 581	2 055	81	143 850	72 684	71 166	7.87	1.98
81 - 90 - 90 (S G)	5 612	3 086	122	216 020	75 114	140 906	11.82	2.88
108 - 90 - 90 (UREE)	4 934	2 408	95	168 560	80 892	87 668	8.36	2.08
108 - 90 - 90 (S G)	5 740	3 215	127	224 980	84 132	140 848	11.16	2.67

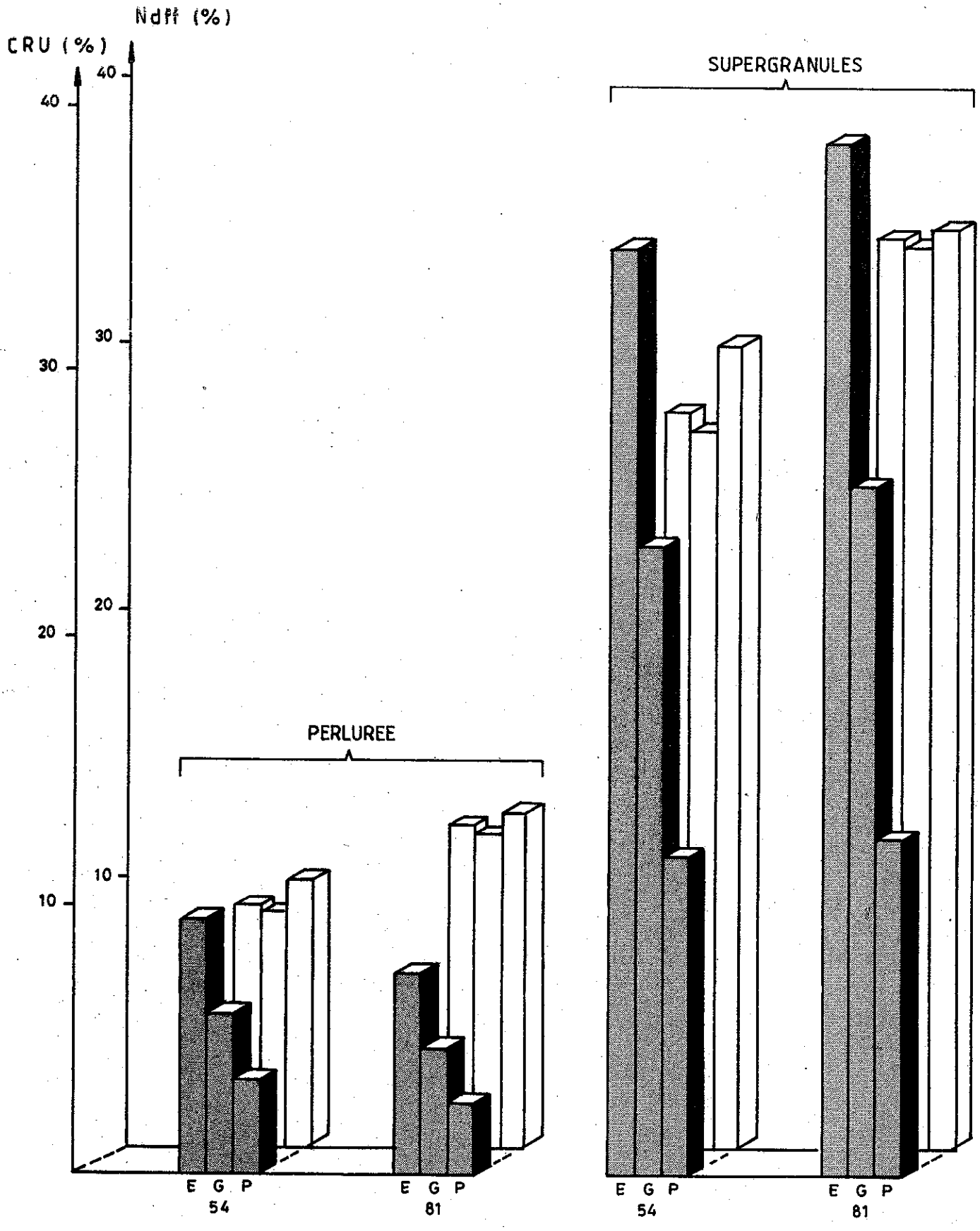
- Le prix des supergranules a été majoré de 10 % par rapport au coût de l'urée (coût supplémentaire de fabrication)
- N : Urée = 304 Fmg/kg - N Supergranule = 334 Fmg/kg - P_2O_5 = 304 Fmg/kg - KCl = 230 Fmg/kg
- Paddy = 70 Fmg/kg
- R. V. C. : Rapport entre la valeur du supplément de récolte et le coût de l'engrais

Tableau 2 - RESULTATS DES ESSAIS ^{15}N.

		ARIVONIMAMO			MAHITSY		
		Poids ($kg.ha^{-1}$)	N (%)	E (%)	Poids ($kg.ha^{-1}$)	N (%)	E (%)
54 U	Pa	4 007	0,52	0,101	4 040	0,58	0,050
	Gr	4 341	0,92	0,088	2 584	1,17	0,040
	En	8 349	0,72	0,091	6 624	0,81	0,044
81 U	Pa	3 953	0,49	0,125	4 040	0,58	0,068
	Gr	4 001	0,90	0,118	2 630	1,24	0,068
	En	7 954	0,70	0,121	6 670	0,84	0,068
54 G_1	Pa	5 281	0,47	0,309	4 040	0,68	0,211
	Gr	6 271	0,84	0,258	3 437	1,24	0,176
	En	11 552	0,67	0,275	7 477	0,94	0,188
54 G_2	Pa	4 552	0,48	0,289	4 299	0,76	0,212
	Gr	6 029	0,84	0,277	2 948	1,25	0,203
	En	10 581	0,68	0,280	7 247	0,96	0,206
81 G	Pa	6 406	0,51	0,342	4 560	0,85	0,295
	Gr	7 134	0,95	0,337	3 112	1,37	0,273
	En	13 540	0,75	0,339	7 672	1,06	0,282

54 U = Perlurée 54 kg N ha^{-1}
81 U = Perlurée 81 kg N ha^{-1}
54 G_1 = Supergranules, 54 kg N ha^{-1}
54 G_2 = Supergranules, 54 kg N ha^{-1}
81 G = Supergranules, 81 kg N ha^{-1}

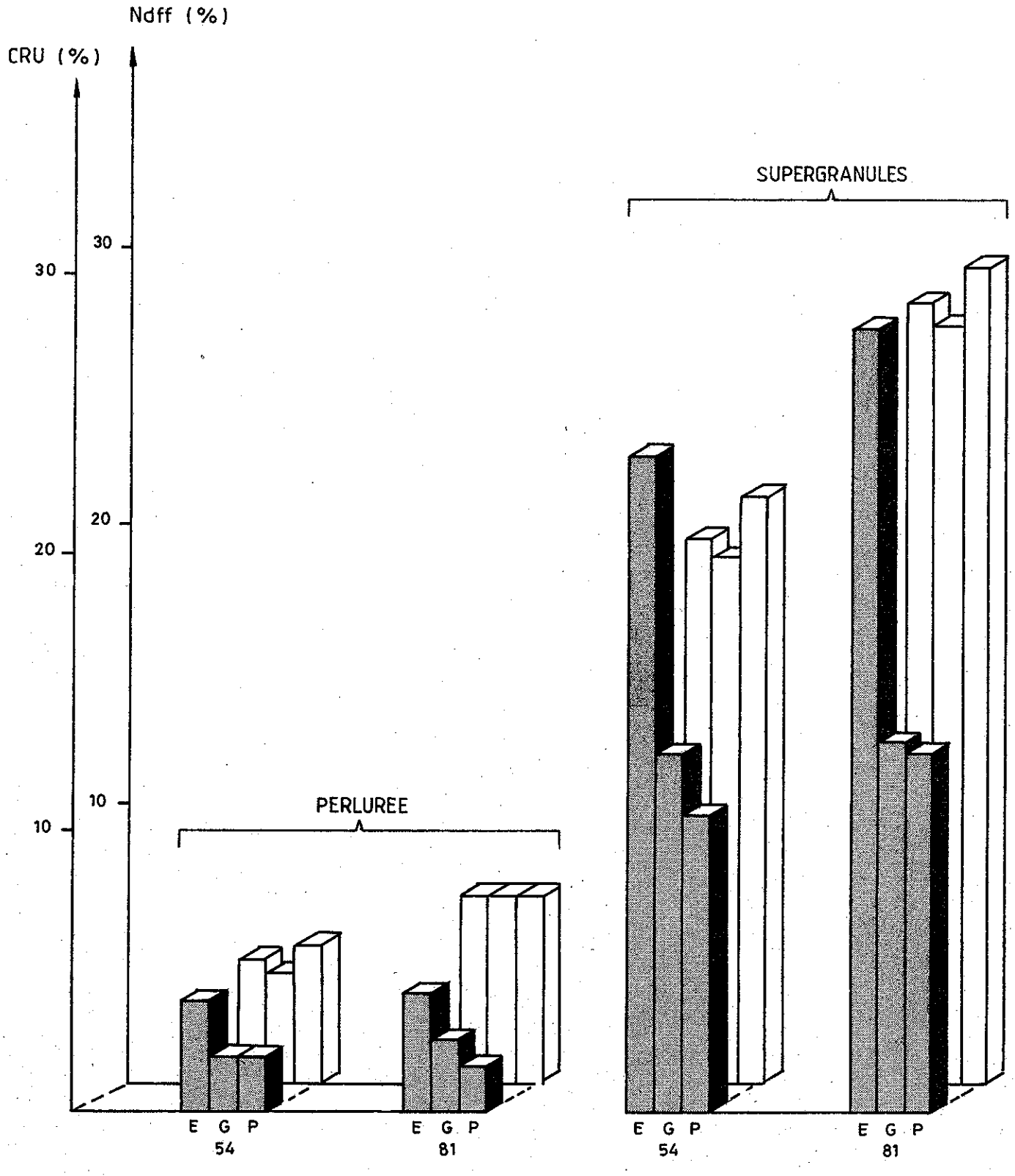
Poids de récolte en $kg.ha^{-1}$
N (%) = Proportion d'azote
E (%) = Excès isotopique
Pa = Pailles
Gr = Grains
En = Ensemble des parties aériennes



E = Ensemble des parties aeriennes
G = Grains
P = Pailles
54 = 54 unités d'azote à l'ha
81 = 81 unités d'azote à l'ha

Figure 2 : Coefficient réel d'utilisation (CRU ▩) et pourcentage de contribution de l'engrais (Ndff □)

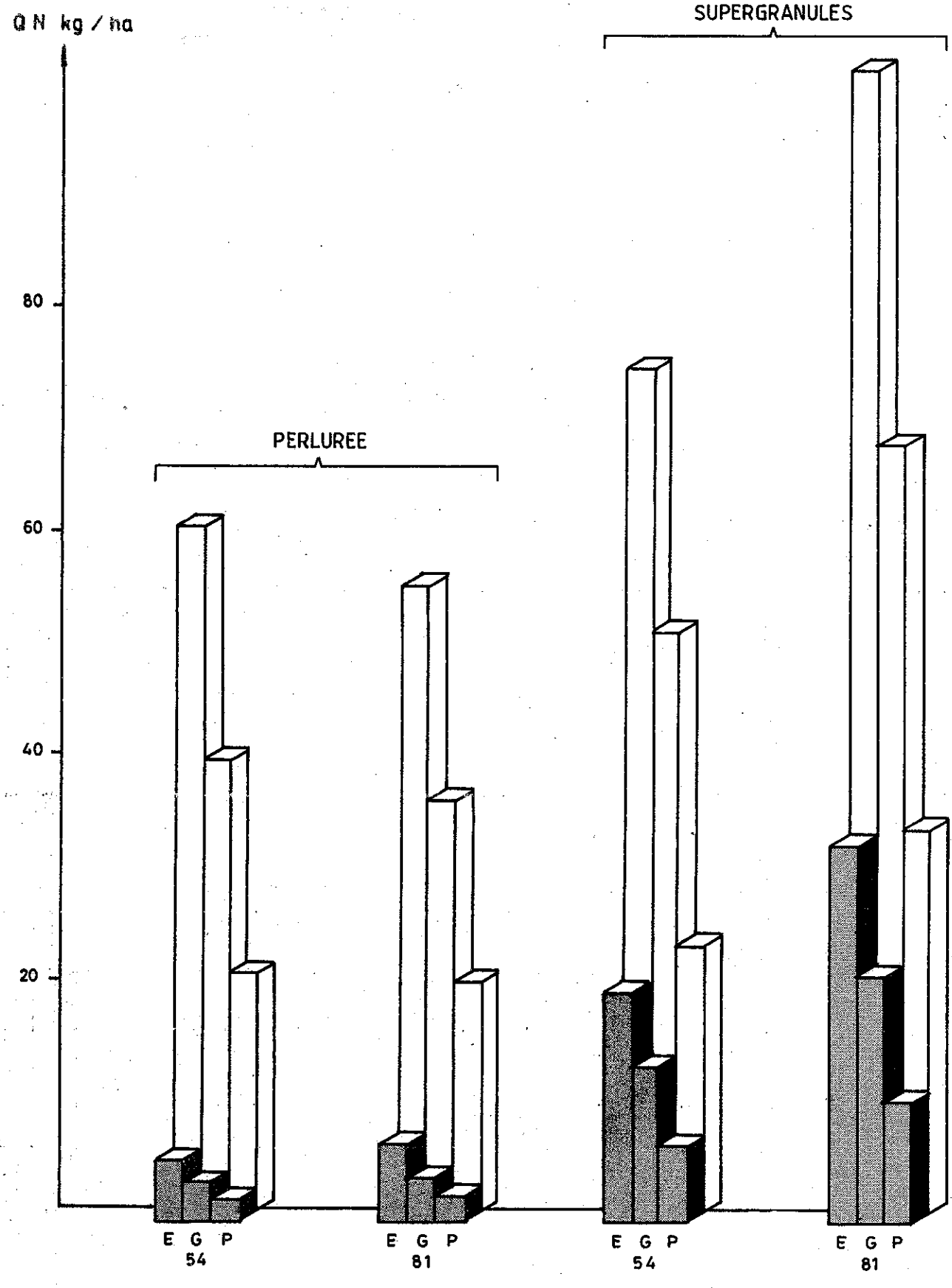
Essai : ARIVONIMAMO



E = Ensemble des parties aeriennes
G = Grains
P = Pailles
54 = 54 unités d'azote à l'ha
81 = 81 unités d'azote à l'ha

Figure 3 : Coefficient réel d'utilisation (CRU ▩) et pourcentage de contribution de l'engrais (Ndff □)

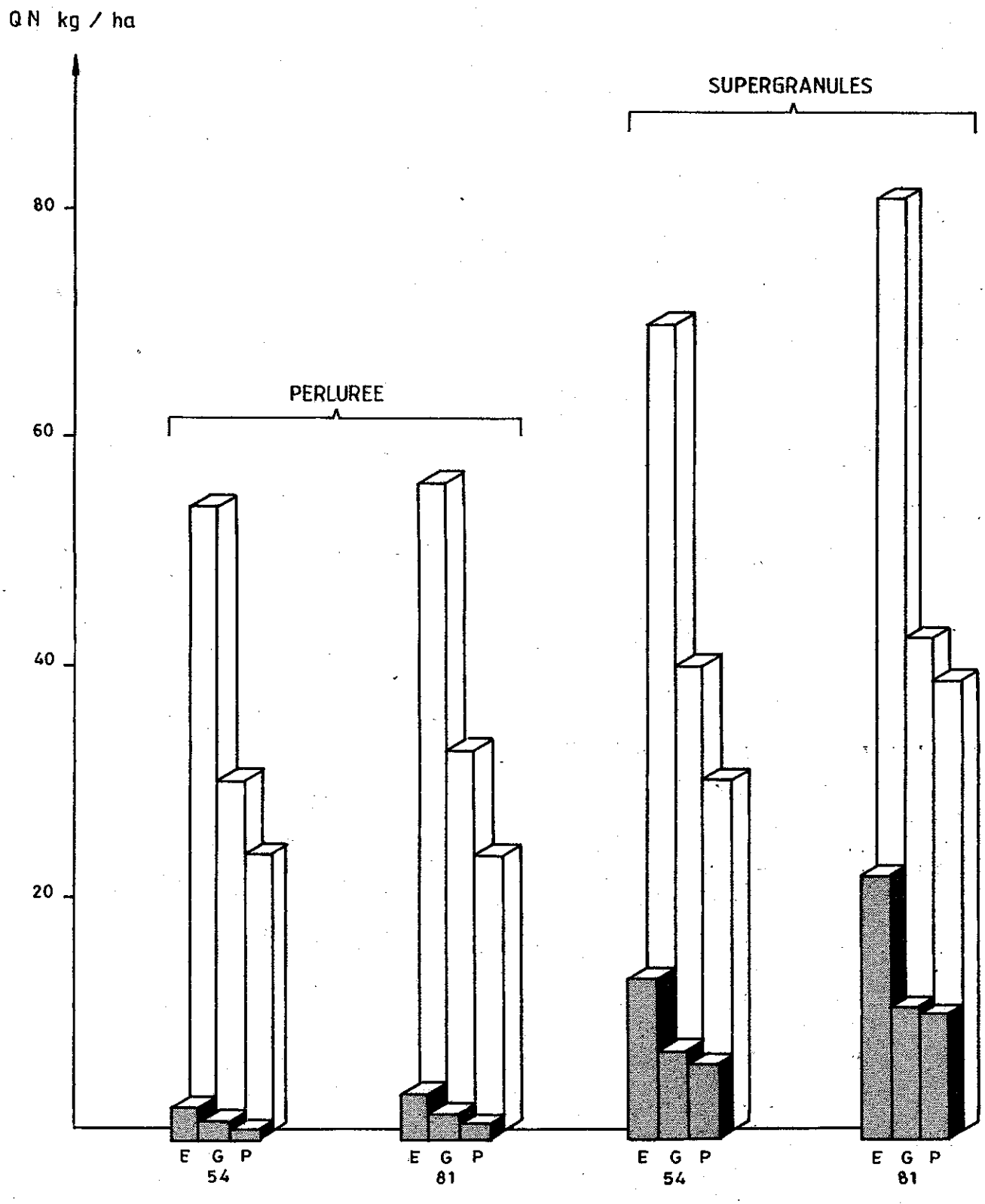
Essai : MAHITSY



E = Ensembles des parties aeriennes
G = Grains
P = Pailles
54 = 54 unités d' azote à l' ha
81 = 81 unités d' azote à l' ha

Figure 4 : Quantité totale d'azote exporté (□) et
Quantité d'azote provenant de l'engrais (▩)

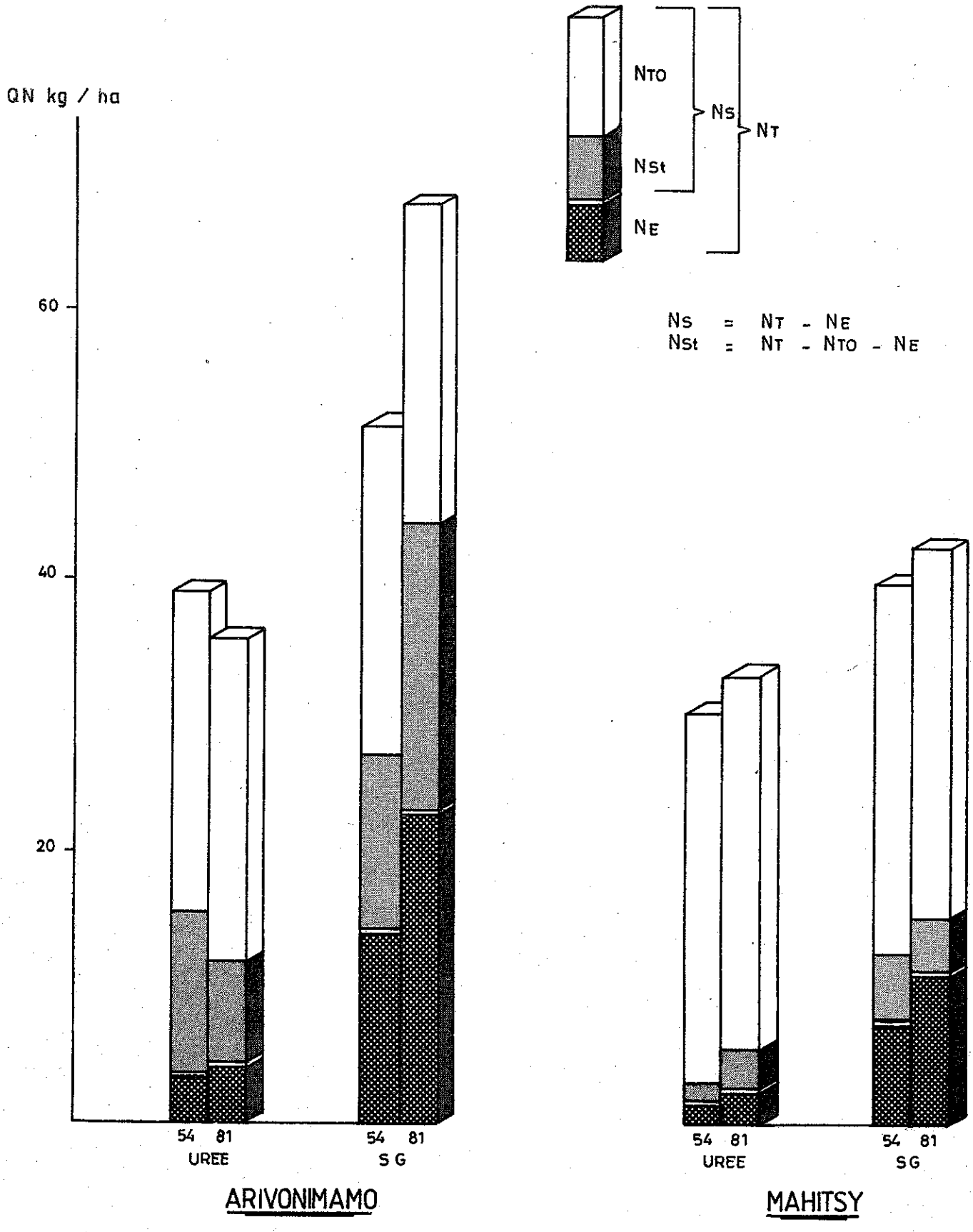
Essai : ARIVONIMAMO



E = Ensemble des parties aeriennes
G = Grains
P = Pailles
54 = 54 unités d'azote à l' ha
81 = 81 unités d'azote à l' ha

Figure 5 : Quantité totale d'azote exporté (□) et
Quantité d'azote provenant de l'engrais (▩)

Essai : MAHITSY

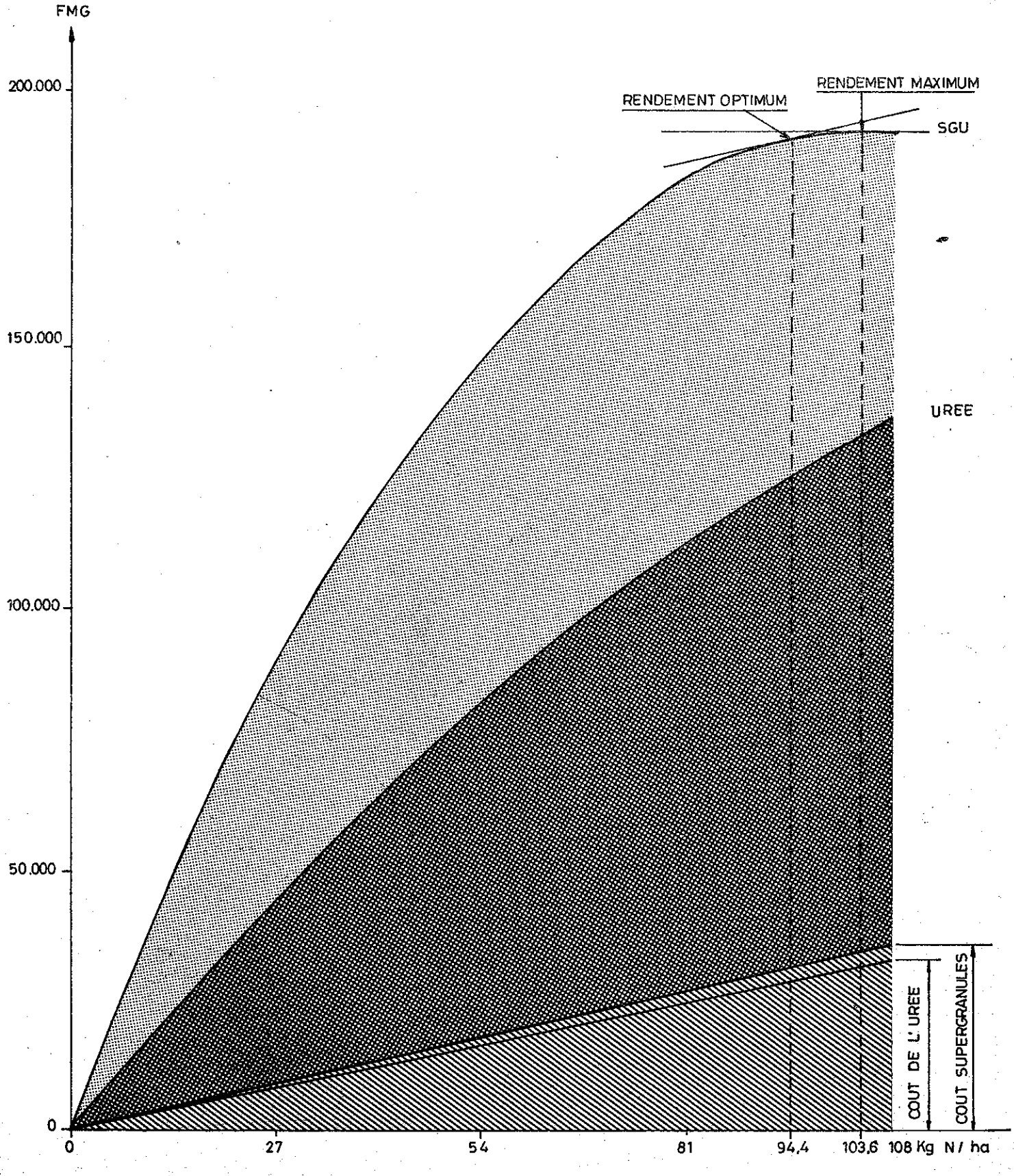


N TO = Azote exporté par le temoin
N T = Azote exporté par l'essai
N E = Azote provenant de l'engrais
Nst = Effet de stimulation de la prise d'azote du sol

Figure 6 : Bilan de l'azote exporté par les grains

MOYENNE DE L' ENSEMBLE DES ESSAIS RECOLTES

RENTABILITE ECONOMIQUE



UREE	RENDEMENT MAXIMUM :	196 Kg N / ha
	RENDEMENT OPTIMUM :	162 Kg N / ha
SGU	RENDEMENT MAXIMUM :	104 Kg N / ha
	RENDEMENT OPTIMUM :	94 Kg N / ha

Figure 7

- S I G L E S -

A. I. E. A.	:	Agence Internationale de l'Energie Atomique Vienne - AUTRICHE
C. E. A.	:	Commissariat à l'Energie Atomique (FRANCE)
F. A. O.	:	Food and Agricultural Organization of the United Nations
FO. FI. FA.	:	Foibem-pirenena momba ny Fikarohana Ampiharina amin'ny Fampandrosoana ny Ambanivohitra = CENRADERU (dénomination en français) Centre National de Recherche Appliquée au Développement Rural
P. E. M.	:	Programme Engrais Malgache
SO MA LAC	:	Société Malgache d'Aménagement du Lac Alaotra
S. P. R. A.	:	Station de Production et Reproduction du Lac Alaotra

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé dans le cadre du Programme Engrais Malgache et a bénéficié de l'appui financier de la F A O et du C E A.

Il n'aurait pu être mené à bien sans le concours technique de l'A I E A et les auteurs tiennent à remercier le Dr ESKEW pour sa précieuse collaboration.

Nos remerciements vont également à l'équipe technique du L R I et plus particulièrement RASOAVOLOLONOMENJANAHARY E., RASOARIVELO J., RANDRIANAIVO E., et à tous ceux qui ont participé à la réalisation de ces essais.