

CARACTERISATION DE L'ENRACINEMENT DU RIZ PLUVIAL IN SITU AVEC LE PHOSPHORE-32

F.N. REYNIERS, Binh TRUONG,
J.F. BOIS*, E. BONNIN*, G. THOMIN
Institut de recherches agronomiques
tropicales,
Institut des savanes,
Bouaké, Côte-d'Ivoire

Abstract-Résumé

IN-SITU STUDY OF UPLAND RICE ROOT GROWTH USING PHOSPHORUS-32.

A technique for applying ^{32}P to the soil has been developed for in situ determination of the rooting depth of upland rice, for characterization of the vertical and lateral root profiles and for studying the relationship between, on the one hand, the absorption of ^{32}P and, on the other hand, the root density and the hydric potential of the soil. This technique has made it possible to describe the root distribution fairly accurately. The correlation between ^{32}P uptake and root density is weak and variable, being stronger with variations in hydric potential. These results are discussed from the point of view of selection for drought resistance.

CARACTERISATION DE L'ENRACINEMENT DU RIZ PLUVIAL IN SITU AVEC LE PHOSPHORE-32.

Une technique de placement du ^{32}P dans le sol a été mise au point pour la détermination in situ de la profondeur d'enracinement du riz pluvial, la caractérisation du profil racinaire, vertical et latéral, et l'étude des relations entre l'absorption du ^{32}P d'une part, la densité racinaire et le potentiel hydrique du sol d'autre part. Cette technique a permis de décrire assez finement la distribution racinaire. La corrélation entre l'absorption du ^{32}P et la densité racinaire est faible et variable, elle est plus forte avec les variations du potentiel hydrique. Ces résultats sont discutés dans l'optique de la sélection pour la tolérance à la sécheresse.

INTRODUCTION

La profondeur d'enracinement des variétés d'une même espèce conditionne en partie leur tolérance à la sécheresse.

Ainsi, pour le riz, les variétés pluviales sélectionnées naturellement dans les régions à pluviosité irrégulière ont une masse racinaire en profondeur plus importante que les variétés irriguées [1]. Bien que les deux types de riz diffèrent

* Office de la recherche scientifique et technique Outre-mer, Adiopodoumé, Côte-d'Ivoire.

par de nombreux caractères, l'enracinement profond en cas de sécheresse modérée explique en bonne partie le meilleur rendement du riz pluvial par rapport au riz irrigué [2].

En vue de la sélection variétale dans les régions où la riziculture pluviale est importante, il est nécessaire de disposer d'un outil simple pour évaluer l'enracinement.

La technique de placement d'un traceur radioactif semble la moins perturbatrice et la plus adaptée pour cribler un grand nombre de variétés in situ. Boggie et al. [3] ont décrit le système racinaire de différentes espèces en plaçant du ^{32}P à différentes profondeurs du sol et en mesurant la radioactivité des parties aériennes.

Pour le riz pluvial, après une mise au point méthodologique [4], cette technique a été appliquée in situ à 50 variétés pour déterminer la présence ou l'absence de racines à 1 m de profondeur [5]. Cette étude a révélé d'autres perspectives:

— Un grand nombre de variétés ont une réponse positive à cette profondeur, d'où la nécessité de mieux caractériser le profil racinaire pour obtenir un classement plus sélectif.

— Les quantités de ^{32}P absorbées sont très différentes entre variétés. Ainsi s'ouvre une possibilité de comparaison quantitative et d'établissement de liaisons avec d'autres paramètres comme la masse racinaire ou les variations du potentiel hydrique du sol, pour mieux appréhender la signification de cette absorption en particulier dans l'optique de la tolérance à la sécheresse.

Cette note concerne ces différents aspects.

1. MATERIEL ET METHODES D'ETUDE

1.1. Généralités

Sol: Le sol de la station de Bouaké où sont réalisés les essais est très hétérogène, classé comme sol ferrallitique désaturé, remanié, gravillonnaire. Les moyennes des principales caractéristiques figurent au tableau I.

Etant donné la nature du traceur utilisé, le comportement du phosphore dans le sol a été étudié plus en détail. D'abord, par autoradiographie on a pu observer qu'il ne migre pratiquement pas quelle que soit l'humidité du sol. D'autre part l'étude de sa fixation par le sol et de sa réversibilité a montré que si le traceur est placé avec de l'entraîneur, sa disponibilité est comparable dans les différents horizons du profil.

Dans tous les essais, le riz est semé en poquets (15 × 30 cm) dans des parcelles élémentaires de 5,5 × 2,5 m, ayant reçu une fumure N-P-K (80-35-66 kg/ha) avec fractionnement de l'apport d'azote au tallage et à la montaison.

TABLEAU I. PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DU SOL

Caractéristiques	Horizon (cm)		
	0-20	20-80	80-100
Eléments grossiers (%)	20	80	30
Sable grossier (%)	45,6	41,6	63,2
Sable fin (%)	14,8	14,4	16,9
Sable très fin (%)	3,8	4,3	6,0
Limon (%)	7,7	5,5	5,2
Argile (%)	21,1	34,2	9,1
pH de l'eau	5,5	5,3	5,1
Capacité d'échange des cations (méq/100 g)	18,8	9,1	4,4
Saturation en cations (%)	50	24	30
P total (ppm)	260	119	68
Capacité maximale de fixation de P (ppm)	280	429	548
P fixé mais resté labile (%)	54	68	71
P disponible sur un apport de 800 ppm	698	690	660

Le dispositif expérimental en blocs de Fisher comprend en général six répétitions. Dans les parcelles élémentaires chaque profondeur est testée en six emplacements choisis au hasard et distants au minimum de 75 cm pour éviter les interférences.

1.2. Placement du ^{32}P et mesure de son absorption

Deux types d'appareil sont utilisés pour les marquage du sol correspondant aux deux phases de l'opération. Le premier est une tige d'acier de 14 mm de diamètre, terminée par une pointe ou par une mèche suivant qu'elle est enfoncée par percussion ou au moyen d'une perceuse électrique. L'autre appareil, dit de placement, est composé d'un conduit souple en Tygon terminé par une aiguille hypodermique maintenu dans un tube en cuivre donnant une rigidité à l'ensemble. L'autre extrémité du tube plastique est reliée par un robinet de sécurité à une pipette automatique contenant la solution de traceur. Celle-ci contient $30 \mu\text{Ci}\cdot\text{ml}^{-1}$ de ^{32}P sous forme d'acide phosphorique et $1 \text{ mg}\cdot\text{ml}^{-1}$ de ^{31}P sous

forme de phosphate monopotassique (KH_2PO_4) comme entraîneur. La première phase du placement consiste à percer un trou jusqu'à la profondeur à tester, la seconde à enfoncer le tube de cuivre au fond du trou et à injecter 2 ml de traceur, puis à reboucher le trou avec de la terre avoisinante. Un contrôle par autoradiographie montre qu'une sphère de sol d'environ 4 cm de diamètre est ainsi marquée. Cinq placements répartis régulièrement à 5 cm autour d'une plante sont effectués par emplacement à tester, ce qui représente un volume de sol marqué d'environ 170 ml.

Après 14 jours, l'ensemble tiges et feuilles, ou 50 graines échantillonnées sur toutes les panicules suivant le stade de croissance de la plante, sont récoltés. Feuilles et tiges sont séchées à l'étuve et broyées; le comptage est effectué sur 500 mg de poudre, qui sont représentatifs de l'ensemble. Pour les graines, le comptage peut être fait soit sur 5 échantillons de 10 graines entières, compte tenu de la dimension de la coupelle de comptage, soit sur 500 mg de broyat. Il existe une bonne corrélation entre les mesures sur graines et sur paille et la radioactivité totale de la plante. Les mesures de radioactivité sont faites avec un tube de Geiger-Müller à fenêtre de mica relié à une échelle de comptage, et ramenées au temps t_0 , jour du placement, pour tous les essais.

1.3. Comparaison des variétés

L'essai comprend 10 variétés, semées de façon échelonnée pour atteindre simultanément le stade de remplissage des grains. Deux plantes sont testées par parcelle aux profondeurs de 60 et 95 cm. L'absorption du ^{32}P est estimée par comptage sur les graines entières de la plante entourée par les placements.

1.4. Caractérisation du profil racinaire

Elle est réalisée sur deux variétés au stade du tallage, 6 semaines après le semis. Les profondeurs testées sont 10, 20 et 40 cm. Pour chaque emplacement marqué les plantes sont prélevées en trois sites: la plante au centre des placements, les deux plantes à 15 cm et les quatre plantes à 30 cm de la première; au-delà l'absorption est négligeable [6]. Les quantités de ^{32}P absorbées sont calculées en tenant compte du poids des parties aériennes. Leur variation suivant les sites indiquent la distribution latérale, et suivant les profondeurs la distribution verticale. La somme par profondeur correspond à la totalité du ^{32}P absorbé par les racines présentes dans la zone marquée.

1.5. Relation entre absorption du ^{32}P et densité racinaire

Pour les comparer aux quantités de ^{32}P absorbé, les densités racinaires sont mesurées dans les couches 5–15 cm, 15–25 cm et 35–45 cm correspondant aux

placements à 10, 20 et 40 cm de profondeur. Après les parties aériennes, les racines sont prélevées par quatre sondages verticaux (sondes de 6 cm de diamètre et 10 cm de longueur), un sous le pied central et trois autour; ces sondages sont regroupés en un échantillon de 1100 ml. Les racines sont ensuite déterrées, lavées, séchées et pesées [7].

1.6. Relation entre absorption du ^{32}P et variation du potentiel hydrique du sol

Les deux mesures sont effectuées sur trois variétés, Irat 13, Irat 9 et 63—83, au stade du remplissage du grain, et pour trois profondeurs, 40, 60 et 80 cm; elles sont répétées sur deux parcelles. L'absorption du ^{32}P est mesurée sur les graines des plantes centrales. Les variations de potentiel hydrique du sol sont suivies avec deux tensiomètres à mercure par profondeur, variété et répétition et sur un témoin «sol nu». Elles sont calculées par différence entre le potentiel hydrique du sol le jour du prélèvement et celui du jour du placement du traceur. Les parcelles ne sont pas arrosées pendant cette période.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Transformation des données d'absorption du ^{32}P

La variabilité des mesures est très différente suivant le niveau d'activité. La figure 1 montre que moyenne et écart-type sont proportionnels. On a donc effectué une transformation logarithmique [8] afin de respecter l'hypothèse d'égalité des variances nécessaire pour comparer les variétés par l'analyse de variance (tableau II).

Cette transformation se justifie d'autre part par la distribution très dissymétrique des activités avec quelques valeurs extrêmement fortes, ressemblant à une distribution log normal. La moyenne géométrique, qui est l'exponentielle de la moyenne des logarithmes, est dans un tel cas un paramètre beaucoup plus stable que la moyenne arithmétique, qui est fortement influencée par ces valeurs extrêmes; elle est utilisée dans le texte.

2.2. Comparaison des variétés

Les résultats des mesures de radioactivité sont analysés par le test de Duncan pour comparer les moyennes des 10 variétés (tableau III). Les différences variétales existent mais sont difficiles à mettre en évidence étant donné les variations très élevées entre pieds de la même variété.

Les classements des variétés à 60 et 95 cm ne sont pas identiques, quoique assez proches dans l'ensemble; il est probable que les variétés n'ont pas le même

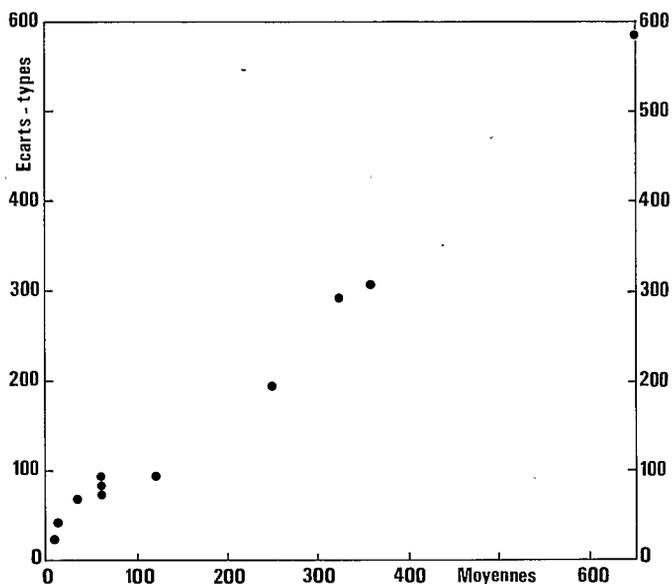


FIG. 1. Relation entre moyennes et écarts-types des mesures de radioactivité.

TABLEAU II. EFFET DE LA TRANSFORMATION EN LOG NORMAL SUR LA VARIATION DES ECARTS-TYPES, ET RADIOACTIVITE DES GRAINES DE 10 VARIETES (coups/100 s)

Variété	Sans transformation		Transformation en log normal	
	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type
IRAT 13	658	681	6,49	1,60
Pratao	358	301	5,68	1,53
63-83	327	290	5,79	2,64
Lac 23	254	188	5,54	1,48
Moroberekan	66	97	4,19	2,41
Chianan 8	65	77	4,17	1,31
IRAT 9	63	88	4,14	1,57
IRAT 10	32	68	3,46	2,33
IAC 1246	11	43	2,38	2,43
Chun 139-12	8	24	2,06	2,34

TABLEAU III. CLASSEMENT DES VARIETES SUIVANT LEUR ABSORPTION DE ^{32}P A 60 ET 95 cm DE PROFONDEUR

Placement du traceur à 60 cm		Placement du traceur à 95 cm	
Variété	^{32}P absorbé (coups/100 s pour 10 graines)	Variété	^{32}P absorbé (coups/100 s pour 10 graines)
IRAT 13	658	Lac 23	121
Pratao	358	Pratao	86
63-83	327	63-83	29
Lac 23	254	IRAT 9	18
Moroberekan	66	IRAT 13	17
Chianan 8	65	Chun 139-12	12
IRAT 9	63	Moroberekan	10
IRAT 10	32	Chianan 8	9
IAC 1246	11	IAC 1246	2
Chun 139-12	8	IRAT 10	2

Les variétés reliées par un trait vertical ne sont pas significativement différentes (test de Duncan).

profil racinaire (certains plongeants et d'autres étalés). Il apparaît donc nécessaire de mieux caractériser chaque variété, ce qui est possible en tenant compte de l'absorption du ^{32}P par les plantes autour de la plante centrale, et en augmentant le nombre de répétitions.

2.3. Caractérisation du profil racinaire

Le profil racinaire des deux variétés est similaire (fig.2). La seule différence significative se situe à 10 cm de profondeur sur la totalité du ^{32}P absorbé (tableau IV). Les caractéristiques générales du profil sont une absorption importante dans les 20 premiers cm du sol. Latéralement, l'absorption diminue graduellement en s'éloignant du pied central et devient très faible à 30 cm.

A une même profondeur, les variations entre répétitions sont plus importantes pour chaque site (0, 15, 30 cm) que pour leur somme, comme s'il existait un effet de compensation dans l'absorption du traceur. Ainsi les coefficients de variation pour les sites varient de 63 à 175%, et pour l'absorption totale de 41 à 73%, suivant les traitements. Pour ce dernier mode d'évaluation et des essais similaires, le nombre d'emplacements nécessaires à tester est de 42 ou 11 pour mettre en évidence des différences entre moyennes de 25 ou 50% respectivement.

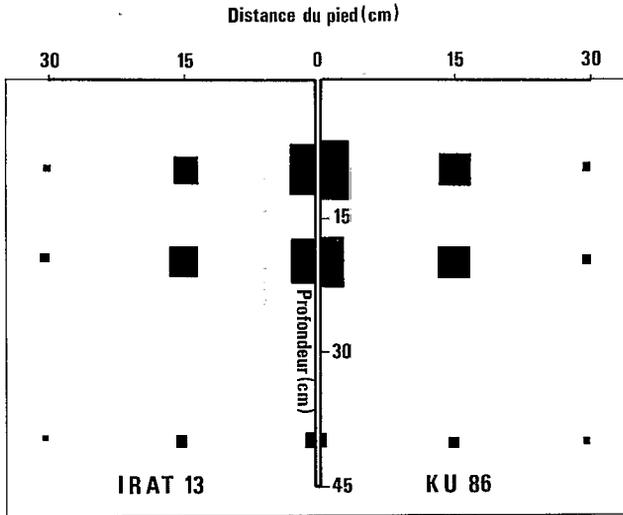


FIG.2. Répartition de l'enracinement d'un pied de riz in situ estimée par l'absorption du phosphore-32 pour deux variétés. La surface des carrés est proportionnelle aux quantités de phosphore-32 absorbées.

La similitude des profils des deux variétés pourrait provenir de leur stade précoce au moment des mesures et du fait que ce sont deux variétés pluviales. Elle ne signifie pas que la méthode ne permet pas de les mettre en évidence s'ils existent, comme les résultats sur les variétés le laissent supposer.

2.4. Relation entre absorption du ^{32}P et densité racinaire

Les deux paramètres d'évaluation racinaire n'évoluent pas de la même façon avec la profondeur (fig.3). L'absorption du ^{32}P donne une importance relative plus grande aux racines à 20 et 40 cm par rapport à l'horizon de surface.

Les coefficients de corrélation entre les logarithmes de l'absorption du ^{32}P et ceux de la densité racinaire sont significatifs pour chaque variété, toutes profondeurs confondues, mais ils sont variables par variété et par profondeur, et ne sont significatifs que pour Ku 86 à 10 et 20 cm (tableau V).

Une comparaison détaillée en fonction des profondeurs et des variétés laisse apparaître certaines divergences (tableaux IV et VI):

- Les différences entre profondeurs sont significatives entre 10, 20 et 40 cm pour la densité racinaire et seulement à 40 cm pour l'absorption du ^{32}P .
- Les différences entre variétés sont significatives à 40 cm pour la densité racinaire et à 10 cm pour l'absorption du ^{32}P .

TABLEAU IV. CARACTERISATION DU PROFIL RACINAIRE DE DEUX VARIETES, EN FONCTION DU ^{32}P ABSORBE

Coordonnées des placements (cm)		^{32}P absorbé (10^3 coups/40 s par plante) Variété		Différence entre variétés
Profondeur	Distance latérale	IRAT 13	Ku 86	
10	0	318	408	non significatif
	15	153	248	non significatif
	30	13	22	non significatif
	Total	574	830	significatif à 5%
20	0	263	283	non significatif
	10	164	207	non significatif
	30	20	25	non significatif
	Total	530	640	non significatif
40	0	38	33	non significatif
	15	24	24	non significatif
	30	8,3	11	non significatif
	Total	98	90	non significatif
Différence entre profondeurs		significatif à 1% pour 40 cm	significatif à 1% pour 40 cm	

La liaison entre les deux paramètres existe donc, mais elle n'est pas générale.

Pour répondre à notre objectif, la question est de savoir quel est le paramètre le mieux relié à la tolérance à la sécheresse. On peut se demander, à la suite de Maertens [9], si la densité racinaire est le meilleur critère pour caractériser l'activité racinaire, et d'autre part, étant donné la simplicité de la technique de placement du traceur, il était intéressant d'essayer d'établir une liaison entre l'absorption du ^{32}P et un paramètre lié à l'utilisation de l'eau du sol.

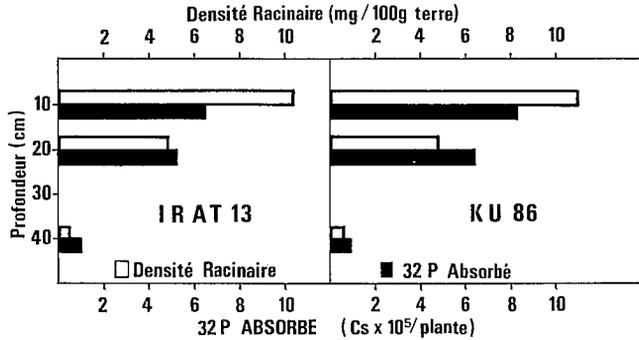


FIG.3. Diagramme comparatif du phosphore-32 absorbé et des densités racinaires pour deux variétés.

TABLEAU V. COEFFICIENTS DE CORRELATION ENTRE LE LOG NORMAL DE L'ABSORPTION DU ³²P ET LE LOG NORMAL DE LA DENSITE RACINAIRE

Variété	Profondeur (cm)	
	IRAT 13	Ku 86
10	0,276 non significatif	0,430 significatif
20	0,171 non significatif	0,472 significatif
40	0,200 non significatif	0,187 non significatif
Toutes profondeurs confondues	0,774 hautement significatif	0,435 significatif

TABLEAU VI. COMPARAISON DES DENSITES RACINAIRES EN FONCTION DES PROFONDEURS ET DES VARIETES

Variété	Densité racinaire (mg/100 g de terre)		
	IRAT 13	Ku 86	Différence entre variétés
10	10,53	11,12	non significatif
20	5,01	5,17	non significatif
40	0,49	0,75	significatif à 5%
Différence entre profondeurs	significatif à 1%	significatif à 1%	

TABLEAU VII. RELATION ENTRE L'ABSORPTION DU ^{32}P ET LES VARIATIONS DU POTENTIEL HYDRIQUE DU SOL

Variété	Profondeur du placement (cm)	^{32}P absorbé (coups/100 s pour 10 graines)	Potentiel hydrique (mbar)		
			Jour du placement du ^{32}P	Jour du prélèvement des plantes	Variation
63-83	40	762	95	601	506
	60	464	157	297	140
	80	21	172	246	74
IRAT 13	40	453	357	580	223
	60	149	316	410	94
	80	86	254	320	66
IRAT 9	40	104	92	219	127
	60	98	108	190	82
	80	28	132	184	52
Sol nu	40	—	99	171	72
	60	—	118	178	60
	80	—	133	193	60

2.5. Relation entre absorption du ^{32}P et potentiel hydrique du sol

Les moyennes des mesures sont rassemblées dans le tableau VII. Ces résultats appellent deux remarques:

— Les variations de potentiel hydrique du sol nu sont relativement faibles et du même ordre de grandeur dans les trois horizons.

— Les variations dans les parcelles cultivées ne donnent qu'une indication partielle de l'eau absorbée. En effet la relation entre le potentiel et la teneur en eau du sol dépend des caractéristiques physiques et hydrodynamiques du sol, et d'autre part le potentiel est une résultante de l'absorption de l'eau et des mouvements consécutifs dans le sol. Par conséquent ces variations de potentiel ne peuvent pas être assimilées à des quantités d'eau absorbée.

Compte tenu de ces réserves on considérera les résultats suivants comme un simple indice.

La corrélation totale, pour les trois variétés et les trois profondeurs, entre l'absorption du ^{32}P et les variations du potentiel hydrique du sol est hautement significative: $r = 0,91$ avec $P = 0,01$. Kafkafi et al. [10] ont aussi trouvé une relation étroite entre l'absorption du ^{32}P et l'absorption de l'eau.

Par contre, les coefficients de corrélation par variété et par profondeur sont variables:

<i>Par variété</i>		<i>Par profondeur</i>	
63-83	$r = 0,565$	40 cm	$r = 0,732$
Irat 13	0,515	60 cm	0,817
Irat 9	0,126	80 cm	0,050

Le seuil de signification à $P = 0,05$ est de 0,811.

Il semble que la liaison à 40 et 60 cm est due aux effets des variétés et donc que l'absorption du traceur traduit l'activité des racines vis-à-vis de l'eau dans ces horizons.

La faible liaison à 80 cm peut être expliquée par les niveaux très bas d'absorption du ^{32}P et des variations de potentiel hydrique équivalentes à celles du témoin non cultivé. Ce résultat incite à ne pas descendre à une telle profondeur pour cribler les variétés.

CONCLUSION

La technique du placement du ^{32}P dans le sol permet de décrire, de façon assez détaillée, le profil racinaire du riz in situ; cette précision vient en partie du marquage ponctuel avec un volume réduit de solution de traceur. D'autre part, grâce à la simplicité des moyens mis en œuvre, on peut envisager de comparer assez finement un grand nombre de variétés.

Le degré de liaison entre l'absorption du ^{32}P et la densité racinaire est en général faible et varie avec les variétés et les profondeurs. Il semble donc qu'avec cette méthode on ne puisse pas évaluer les densités racinaires.

Par contre la corrélation est plus forte entre l'absorption du ^{32}P et la variation du potentiel hydrique du sol. Ce résultat encourageant incite à entreprendre des études complémentaires en vue de dégager un critère de sélection plus spécifique de la tolérance à la sécheresse.

REFERENCES

- [1] CHANG, T.T., LORESTO, C.C., TAGUMPAY, O., Agronomic and growth characteristics of upland and lowland rice varieties, in Rice Breeding, Int. Rice Research Institute, Los Baños, Philippines (1972) 645.

- [2] REYNIERS, F.N., KALMS, J.M., RIDDERS, J., Différences de comportement d'un riz pluvial et d'un riz irrigué en condition d'alimentation hydrique déficitaire, *Agron. Trop. (Paris)* 31 2 (1976) 179.
- [3] BOGGIE, R., HUNTER, R.F., KNIGHT, A.H., Studies of the root development of plants in the field using radioactive tracers, *J. Ecol.* 46 (1958) 621.
- [4] TRUONG, Binh, Utilisation de traceurs radioactifs pour l'étude de l'enracinement du riz pluvial en Côte-d'Ivoire, Rapport AIEA (Assistance technique) n° 1205 (1977).
- [5] REYNIERS, F.N., TRUONG, Binh, «Screening rainfed rice varieties for rooting depth by a ³²P absorption technique», *Rice in Africa* (BUDDENHAGEN and PERSLEY, Eds), Academic Press, London (1978).
- [6] HAINNAUX, G., BONNEN, E., BOIS, J.F., REYNIERS, F.N., Essai d'utilisation de techniques radioisotopiques dans la détermination quantitative de masses racinaires sur le riz, Rapport interne IRAT-ORSTOM (1977).
- [7] BONZON, B., PICARD, D., Matériel et méthodes pour l'étude de la croissance et du développement en pleine terre des systèmes racinaires, *Cah. ORSTOM, Sér. Biol.* 9 (1969) 3.
- [8] QUENOUILLE, M.H., in *Introductory Statistics*, Pergamon Press, London (1966) 164.
- [9] MAERTENS, C., Influence des conditions du milieu sur l'absorption de l'eau et des éléments minéraux par les systèmes radiculaires de quelques graminées cultivées, Thèse de Doctorat ès Sciences, Toulouse (1970).
- [10] KAFKAFI, U., KARHI, Z., ALBASAL, N., ROODICK, J., «Root activity of dryland sorghum as measured by radiophosphorus uptake and water consumption», *Isotopes and Radiation in Soil-Plant Nutrition Studies (Proc. Symp. Ankara, 1965)*, IAEA, Vienna (1965) 481.

DISCUSSION

K. SIVAPALAN: Since rice is a hollow-stemmed plant, Rennie's injection technique could also be used here. Does the technique you have described offer particular advantages over Rennie's method?

F.N. REYNIERS: The placement method has technical advantages, for example its simplicity and speed make it better for sorting varieties. It is also more reliable with respect to root activity.

Reprint from

“ISOTOPES AND RADIATION
IN RESEARCH ON
SOIL-PLANT RELATIONSHIPS”

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY
VIENNA, 1979

22 SEP. 1980

O. R. S. T. O. M.

Collection de Référence

n° 10.092 Agr.