

INSTITUT DE RECHERCHES
AGRONOMIQUES TROPICALES
ET DES CULTURES VIVRIERES

IRAT



**BILAN DES TRAVAUX DE RECHERCHES
SUR RIZ FLUVIAL
1960 à 1980**

TOME 2

- 6 - Production et Contrôle des semences
- 7 - Alimentation hydrique
- 8 - Lutte contre l'enherbement
- 9 - Nutrition minérale et fertilisation
- 10 - Systèmes de culture

**6- PRODUCTION et CONTRÔLE
DES SEMENCES**

INSTITUT DE RECHERCHES
AGRONOMIQUES TROPICALES
ET DES CULTURES VIVRIERES



BILAN DES TRAVAUX DE RECHERCHE

SUR RIZ PLUVIAL

1960 à 1980

PRODUCTION

ET CONTROLE DES SEMENCES

Octobre 1980

SOMMAIRE

	Pages
1 - L'ORGANISATION DE LA PRODUCTION ET DU CONTRÔLE DES SEMENCES DE RIZ EN CÔTE D'IVOIRE, HAUTE-VOLTA ET SENEGAL.....	2
1.1 - Production et contrôle des semences en Côte d'Ivoire.....	2
1.11 - Schéma d'organisation.....	2
1.111 - Les semences de base.....	3
1.112 - Les semences certifiées.....	3
1.12 - Evolution de la production.....	6
1.121 - Les variétés multipliées.....	6
1.122 - Les quantités produites.....	6
1.123 - Evolution de la qualité des semences.....	8
1.13 - Conclusion.....	10
1.2 - Production et contrôle des semences au Sénégal.....	10
1.21 - Schéma d'organisation.....	10
1.22 - Evolution de la production.....	11
1.23 - Conclusion.....	11
1.3 - Production de semences améliorées en Haute-Volta.....	12
1.4 - Autres pays.....	15
2 - LES NORMES DE PRODUCTION.....	15
2.1 - Les normes de production en Côte d'Ivoire.....	15
2.11 - Normes de culture.....	15
2.12 - Normes de certification.....	16
2.2 - Les normes de production au Sénégal.....	17
2.21 - Normes de culture.....	18
2.22 - Normes de certification.....	19
2.3 - Les normes de production en Haute-Volta.....	20
3 - LE CONTRÔLE DES SEMENCES.....	20
3.1 - Modalités de contrôle des semences de base et des semences R1...	20
3.2 - Modalités de contrôle des semences R2.....	22

AVANT-PROPOS

Dès sa création en 1960, l'IRAT s'est intéressé à la culture du riz pluvial en raison de son importance dans la production de riz de certaines régions tropicales d'Afrique et d'autres continents, en raison aussi de son développement possible dans des systèmes de culture utilisant des moyens modernes comme la mécanisation, la fertilisation minérale, les herbicides.

Ce passage d'un système de culture traditionnel à de nouveaux systèmes de culture nécessite des recherches dans de très nombreux domaines, pour le choix de sites favorables à la culture, pour la création de variétés adaptées, pour la mise au point des techniques optimales de culture.

Après vingt années d'activités de l'IRAT, des bilans sont souhaitables. Reprenant sous une forme condensée les questions qui se sont posées à la recherche et les réponses qui ont pu être jusqu'ici obtenues, ces bilans devraient intéresser en particulier les chercheurs et les sociétés de développement.

Le présent bilan traite de la PRODUCTION ET DU CONTROLE DES SEMENCES.

Il a été conçu et rédigé par B. PERRIER, sous la conduite de M. JACQUOT, avec l'aide des chercheurs de l'IRAT spécialisés dans ce domaine : M. BONO, C. POISSON et R. VANDEVENNE, d'après l'ensemble des travaux de l'IRAT sur le sujet.

	Pages
3.21 - Contrôle au champ.....	22
3.22 - Contrôle en laboratoire.....	24
3.3 - Techniques d'analyse de laboratoire.....	25
4 - CONCLUSION.....	27
ANNEXE I : Déclaration de culture en Côte d'Ivoire.....	29
ANNEXE II : Rapport de visite de parcelles de multiplication de semences R2 en Côte d'Ivoire.....	30
BIBLIOGRAPHIE.....	31

Un système bien organisé de production semencière permet à la fois la diffusion rapide des nouvelles variétés améliorées et l'utilisation de semences de bonne qualité ; ces deux facteurs garantissent non seulement l'augmentation des rendements mais encore l'amélioration de la qualité du produit fini, plus homogène (1).

Le riz est une plante autogame dont on cultive des lignées pures. Le système de production des semences de riz est basé sur la multiplication généalogique à partir de lignées de départ, conduisant en trois ou quatre générations à la semence de base. La multiplication de celle-ci donne la semence certifiée destinée à l'utilisateur final (2).

La qualité des semences est définie d'après un certain nombre de critères, dont les plus importants sont :

- la pureté variétale,
- la pureté spécifique,
- la faculté germinative,
- l'état sanitaire,
- le taux d'humidité.

Ces différents critères doivent être assujettis à des normes indiquant le niveau limite admis pour chacun ; un contrôle du respect de ces normes est nécessaire à tous les stades de la production, au champ et au laboratoire.

La production de semences en quantité suffisante implique plusieurs stades de multiplication successifs.

Semences de base :

Pour chaque variété, il est procédé annuellement au semis d'un certain nombre de panicules cultivées en lignées (méthode "panicule à la ligne") qui constituent la G0 (= génération 0). Au moment de la récolte et selon une méthode bien précise, un certain nombre de panicules sont prélevées sur certaines lignes pour la reconduction de cette culture G0 le cycle suivant. La culture en lignées permet un contrôle efficace du maintien des caractéristiques variétales de chaque variété. La semence G1, multipliée, donne la G2 ; à partir du stade G1 la multiplication ne s'effectue plus en lignées mais en mélange. La G2 après multiplication donne la G3 qui peut éventuellement être utilisée en tant que semence de base. Plus généralement le produit de multiplication de la G3 fournit la G4 qui constitue normalement la semence de base, les autres stades étant définis comme semence de pré-base.

Semences certifiées :

Elles sont issues directement de la culture des semences de base et sont alors appelées semences certifiées de première reproduction R1, ou issues de la culture de cette semence R1 et appelées alors semences certifiées de deuxième reproduction R2. Il faut remarquer qu'entre les semences de base et les semences certifiées, il n'existe qu'une différence de normes et que leur mode de production est le même.

Les semences certifiées destinées aux utilisateurs finaux sont soit les R1, soit les R2 en fonction de la quantité de semences nécessaire.

Certains pays d'Afrique de l'Ouest ont pris conscience de l'importance de la production de semences de bonne qualité pour le développement agricole il y a un peu plus d'une dizaine d'années et ont décidé de se doter d'une organisation rationnelle de production de semences améliorées.

C'est notamment le cas de la Côte d'Ivoire, de la Haute-Volta et du Sénégal ; ces pays ont fait appel à l'IRAT pour participer à la mise sur pied de la production de semences améliorées de cultures vivrières, parmi lesquelles le riz tient une place importante.

Les schémas de production et de contrôle des semences sont très voisins pour le riz pluvial et le riz aquatique. Nous aurons tendance, dans ce bilan, à nous en tenir aux réalisations concernant le riz pluvial, sauf dans les cas où les documents consultés ne différencient pas les types de riziculture.

1 - L'ORGANISATION DE LA PRODUCTION ET DU CONTROLE DES SEMENCES DE RIZ EN COTE D'IVOIRE, HAUTE-VOLTA ET SENEGAL

1.1 - PRODUCTION ET CONTROLE DES SEMENCES EN COTE D'IVOIRE

1.11 - Schéma d'organisation

La production de semences de riz a été organisée en Côte d'Ivoire au cours des dix dernières années et l'IRAT y contribue pour une large part.

En 1971-1972 l'IRAT assure la production d'environ 7,5 tonnes de semences de riz (variétés pluviales et non pluviales) (3).

Dès 1972, l'IRAT prend en charge la ferme semencière de Dékokaha et le laboratoire de contrôle des semences de Bouaké, alors en cours d'installation. En 1973, une convention financée par le Fonds Européen de Développement (FED) est signée entre la Société pour le Développement de la Riziculture (SODERIZ) et l'IRAT et officialise la participation de l'IRAT à l'organisation générale de la production de semences de riz sélectionnées et de qualité contrôlée (1)

C'est à partir de ce moment là que la production de semences certifiées de riz s'est développée de façon notable.

En 1978, la SODERIZ a été dissoute et le programme semencier a été pris en charge par une autre Société de Développement, la Compagnie Ivoirienne pour le Développement des Textiles (CIDT).

Selon l'époque, nous citerons donc soit la SODERIZ, soit la CIDT, en tant que Société Ivoirienne de Développement chargée du programme semencier et à laquelle l'IRAT est lié par convention.

1.111 - Les semences de base

L'introduction de variétés nouvelles en multiplication résulte des propositions faites par la Division d'Amélioration des Plantes de l'IRAT en Côte d'Ivoire et de l'agrément donné par les services techniques de la SODERIZ ou de la CIDT.

Les lignées de départ G0 des nouvelles variétés introduites en multiplication sont fournies par la Division d'Amélioration des Plantes de l'IRAT en Côte d'Ivoire qui fait partie du Département des Cultures Vivrières de l'IDESSA.

Jusqu'en 1972, les semences de base et de prébase étaient produites par l'IRAT sur les stations régionales de Man, Ferkessedougou et Gagnoa, ainsi que sur la station centrale de Bouaké (5).

A partir de 1973, de nouvelles dispositions ont été prises (5) :

- la production des semences de prébase G1, G2 est faite à la station de Gagnoa ;
- la semence de base G3 est produite à la ferme semencière de Dekokaha, située au nord de Ferkessedougou (6) (7) (8) (9).

A partir de 1976, la semence de base G3 est produite sur un périmètre de 20 hectares situé près de Yamoussoukro (9) (10).

1.112 - Les semences certifiées

Les semences certifiées de première reproduction R1 sont produites sur la ferme semencière de Dekokaha, sous le contrôle de la SODERIZ (1) puis de la CIDT (10).

Les semences certifiées de deuxième reproduction R2 sont produites selon trois modalités (1) :

- en régie par les soins de la SODERIZ puis de la CIDT ;

- par des paysans multiplicateurs encadrés par la SODERIZ puis la CIDT ou d'autres Sociétés de Développement ;

- par des Sociétés d'Etat ou des Sociétés Privées (par exemple la Société pour le Développement des Fruits et Légumes (SODEFEL), la Société d'Aménagement du M'bé (SOCIABE) et la Société de Développement des Productions animales (SODEPRA)).

La Côte d'Ivoire dispose actuellement de trois centres de conditionnement des semences, à Korhogo, à Bouaké et à Man et d'un laboratoire central d'analyse et de contrôle des semences situé à Bouaké, dont l'IRAT a la responsabilité.

Les semences R2 sont acheminées dans le centre de conditionnement de la zone correspondante de culture ; le chef du centre de conditionnement procède à l'échantillonnage du lot (1) et expédie l'échantillon de semences au laboratoire de contrôle de Bouaké.

Si le lot est agréé par le laboratoire de contrôle, la semence R2 est nettoyée, triée, désinfectée, ensachée au centre de conditionnement puis commercialisée et distribuée.

Les chefs des centres de conditionnement sont également responsables, sous la supervision du chef de laboratoire de contrôle, de l'établissement des déclarations de culture (1) : la déclaration de culture constitue la "fiche signalétique" d'un champ semencier ensémené avec une seule variété et cultivé de façon homogène (cf. annexe n° 1) ; un exemplaire est envoyé au laboratoire de contrôle dès la mise en place de la culture, un autre accompagne le lot au centre de conditionnement puis l'échantillon tiré de ce lot est adressé au laboratoire de contrôle des semences.

Le chef du centre de conditionnement doit également effectuer les visites de contrôle au champ, des contre-visites étant faites en plus par le service du laboratoire de contrôle ; ces visites de contrôle font l'objet de l'établissement d'un rapport de visite (annexe n° 2).

La production et le contrôle des semences de base et des semences R1 suivent un schéma plus simple du fait qu'elles sont produites directement par l'IRAT ou la Société de Développement (SODERIZ puis CIDT).

TABLEAU I : Organisation générale de la production des semences de riz en Côte d'Ivoire - D'après VANDEVENNE R. (1) -

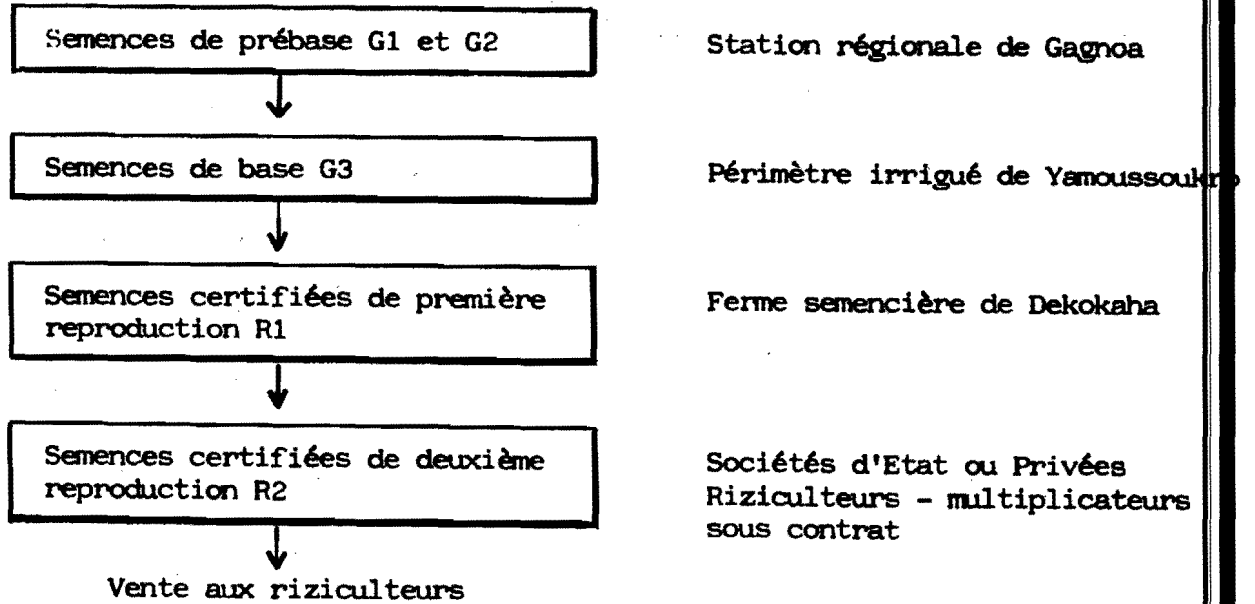
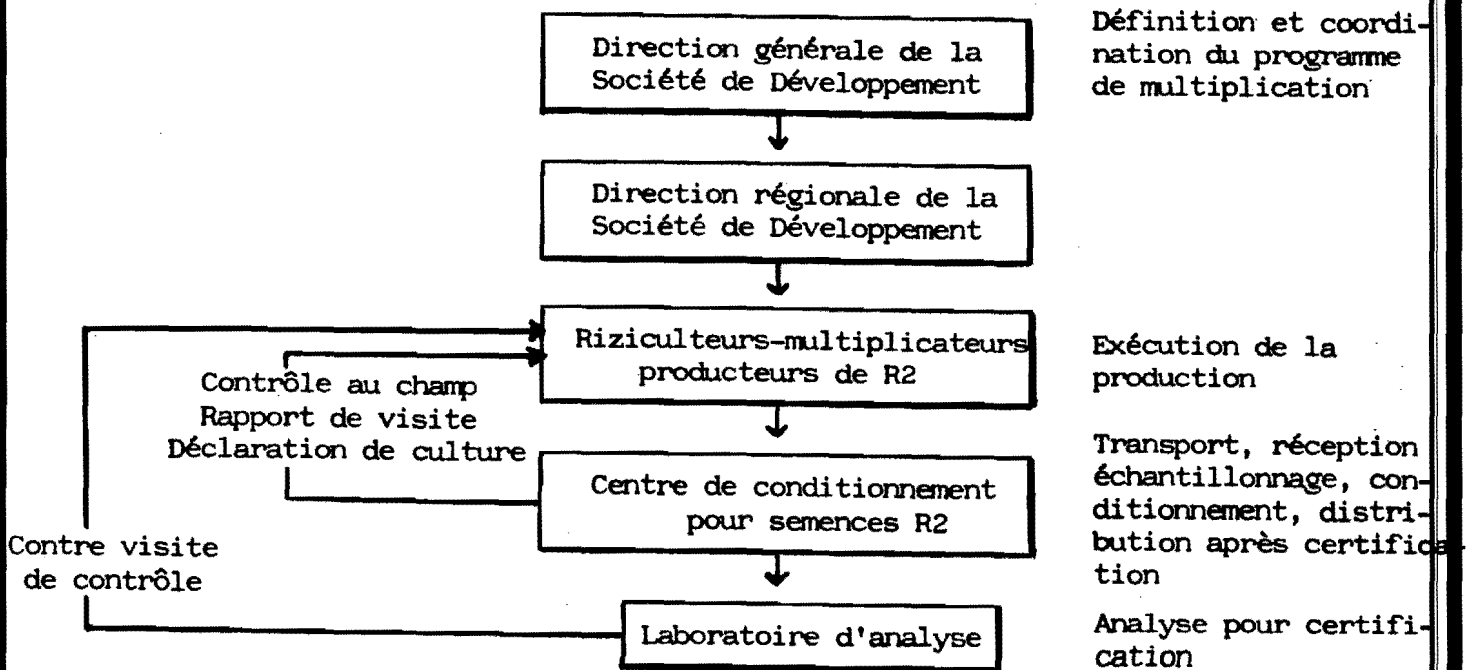


TABLEAU II : Répartition des tâches entre les différentes instances pour la production des semences certifiées R2 en Côte d'Ivoire - D'après VANDEVENNE R. (1) -



1.12 - Evolution de la production

1.121 - Les variétés multipliées

Jusqu'en 1973, les variétés pluviales multipliées étaient OS 6, Paté Blanc, Moroberekan et Iguape Cateto (5).

A partir de 1973 (5), OS 6 et Paté Blanc sont retirées de la multiplication et ne sont plus proposées à la vulgarisation. Il n'y a donc en 1973 (6) que deux variétés vulgarisées : Moroberekan et Iguape Cateto. En 1974 (7) une variété est introduite en multiplication : Dourado Précoce puis en 1975-1976 (8) trois obtentions nouvelles de l'IRAT, IRAT 8, IRAT 10 et IRAT 13, ont également été multipliées ; toutefois IRAT 8 et IRAT 10 ont été retirées de multiplication en 1979 (11).

L'obtention des semences R2 à partir de la GO demande 5 ans ; ce délai entre la décision de multiplication d'une variété et l'obtention effective des semences R2 s'avère parfois trop long, aussi est-on amené à conduire parallèlement à la multiplication généalogique normale une multiplication accélérée qui permet d'obtenir en 2 ou 3 ans, à partir d'un bulk fourni par la recherche, des semences de qualité bien que n'ayant pas droit à l'appellation "semences certifiées". Ces semences dites de "multiplication sauvage" (9) sont progressivement remplacées par des semences issues de multiplication généalogique normale.

On a actuellement, en 1980, en multiplication et issues de la voie généalogique normale, les variétés Moroberekan, Iguape Cateto, Dourado Précoce, IRAT 13.

1.122 - Les quantités produites

La production de semences de base et de semences certifiées des variétés de riz pluvial est globalement en augmentation depuis 1972, année de début d'un système complet de production et de contrôle des semences. Cependant la production des semences R2 est en diminution depuis la campagne 1976-1977 et il a fallu, pour compenser, trouver comme nous le verrons plus loin une solution temporaire.

**TABLEAU III : Production de semences certifiées issues de multiplication
généalogique (en tonnes)**

Campagne	Semences G1	Semences G2	Semences G3	Semences R1	Semences R2
1972-73					469
1973-74	0,0097	0,071	1,077	44,0	1464
1974-75	0,022	0,210	2,42	143,8	1738
1975-76	0,030	0,481	6,84	161,3	2065
1976-77	0,040	0,530	14,00	64,4	1386
1977-78	0,065	0,890	6,94	84,7	1195
1978-79	0,0749	3,092	10,789	164,8	565

On note une augmentation régulière de la production pour les stades G1 et G2, alors que les résultats sont plus variables pour les stades G3, R1 et R2.

La chute de production des G3 observée pour la campagne 1977-1978 résulte d'une mauvaise maîtrise de l'irrigation à la ferme semencière (10). La chute de la production des R1 en 1976-1977 et en 1977-1978 résulte des mauvaises conditions climatiques.

La CIDT (autrefois la SODERIZ) établit chaque année les besoins prévisionnels des différentes catégories de semences ; on était arrivé en 1975-1976 à un équilibre satisfaisant pour les semences R2 (9).

**TABLEAU IV : Besoins prévisionnels et production de semences R2 en 1976
(en tonnes) - D'après VANDEVENNE R. (9) -**

	Besoins prévisionnels	Production R2 en 1976
Moroberekan.....	603	826
Iguape Cateto.....	405	416
Dourado Précoce.....	195	137

La situation est devenue moins favorable les années suivantes pour les raisons évoquées plus haut et il a fallu :

- utiliser les semences R2 pour la reconduite des multiplications,
- récupérer certains champs de production de paddy pour servir de semence d'appoint (12).

Dans les deux cas, la semence obtenue ne porte pas le label "semence R2" mais est simplement appelée "bon à semer" ou "semence d'appoint niveau R2" suivant son origine (13).

Cependant ce procédé doit être exceptionnel et peut être évité par un programme bien établi et bien suivi. Un goulot d'étranglement se situe actuellement au niveau R1 ; à partir de 1978, une partie de la multiplication des R1 est réalisée dans la plaine du Bou à Sirasso (10), site plus favorable que la ferme de Dekokaha.

1.123 - Evolution de la qualité des semences

Le pourcentage de la production de R2 refusée après contrôle varie suivant les années et les variétés :

TABEAU V : Pourcentages de R2 refusés

	: 1973-74	: 1974-75	: 1975-76	: 1976-77	: 1977-78	: 1978-79
(Moroberekan	: 6,55	: 13,17	: 36,80	: 22,80	: 7,50	: 25,30
(Iguape Cateto	: 55,08	: 3,19	: 10,20	: 19,70	: 13,30	: 61,40

On arrive en 1977-1978 à un résultat très satisfaisant puisque 9 % seulement de la production de semences R2 de riz pluvial est refusé (10).

Cependant la campagne 1978-1979 a été beaucoup moins bonne et le pourcentage de semences R2 déclassé a atteint 41,8 % pour les variétés pluviales.

La qualité des semences R2 produites est elle aussi en amélioration depuis 1972.

La pureté variétale est passée de la campagne 1971-1972 à la campagne 1974-1975 :

- de 912 pour mille à 997 pour mille pour la variété Moroberekan,

- de 993 pour mille à 998 pour mille pour la variété Iguape Cateto (1).

En 1977-1978 et 1978-1979, la pureté variétale moyenne des semences R2 a également été très bonne :

- Moroberekan : 998,8 pour mille en 1977-1978 (10),
998,4 à 999 pour mille en 1978-1979 (11) ;
- Iguape Cateto : 998,9 pour mille en 1977-1978 (10),
997,7 à 998 pour mille en 1978-1979 (11) ;
- Dourado Précoce : 999 pour mille en 1977-1978 (10),
997,3 à 998,9 pour mille en 1978-1979 (11) ;
- IRAT 13 : 996 pour mille en 1977-1978 (10),
999 pour mille en 1978-1979 (11).

De même on note une amélioration nette pour la teneur en grains rouges : de la campagne 1971-1972 à la campagne 1974-1975 cette teneur est passée, dans les lots contaminés et pour 500 grammes de semences :

- de 55 grains à 12 grains pour Moroberekan,
- de 36 grains à 0 grain pour Iguape Cateto (1).

Dans le même temps, la proportion du tonnage contaminé par rapport au total produit pour ces variétés passe :

- de 90 % à 3 % pour Moroberekan,
- de 25 % à 0 % pour Iguape Cateto.

En 1977-1978 (10), aucun lot de riz pluvial n'est refusé à cause de la présence de grains rouges ; en 1978-1979, le pourcentage déclassé pour présence de grains rouges représente seulement 2 % des déclassements.

La teneur en graines de Rottboellia exaltata s'est, elle aussi, améliorée de 1975 à 1977 (10) ; c'est surtout en zone de savane que ce problème se rencontre (11).

La pureté spécifique des semences est généralement bonne, sauf exceptions (6) (7) (8) (9) (10) (11).

La faculté germinative est aussi le plus souvent satisfaisante sauf accidents dus aux mauvaises conditions de stockage (7)(8) ; cependant, pour la campagne 1978-1979, la faculté germinative est souvent défectueuse et constitue la principale cause de déclassement.

1.13 - Conclusion

On peut admettre que l'expérience semencière de la Côte d'Ivoire en matière de riz pluvial est une réussite, malgré le problème de "bon à semer" ces deux dernières années.

L'IRAT a largement contribué à ce succès :

- sur le plan de l'organisation pratique, du choix des normes, du contrôle..., etc ;
- sur le plan de la formation d'agents spécialisés dans la production et le contrôle des semences.

La Côte d'Ivoire prévoit d'ailleurs d'exporter des semences certifiées de riz dans un proche avenir et de se doter d'un complexe agro-industriel pouvant produire 10 000 tonnes de semences par an (14).

1.2 - PRODUCTION ET CONTROLE DES SEMENCES AU SENEGAL

1.21 - Schéma d'organisation

La production de semences sélectionnées d'espèces vivrières (dont le riz pluvial) a débuté au Sénégal en 1973 (15) dans le cadre d'un projet financé par le Fonds Européen de Développement (FED).

Il y avait cependant, avant 1972, une petite production de semences appelées "élites", réalisée par l'IRAT (16) (17) (18) dans différentes stations (Séfa, principalement pour le riz pluvial) et analysée au laboratoire de Bambey. Cette production était d'environ 50 tonnes de semences par an (toutes espèces confondues) (19).

Le projet FED prévoit qu'un service semencier national, dépendant du Ministère de l'Agriculture, programme, organise, règlemente et contrôle cette production.

L'IRAT participe à ce projet de façon directe en produisant les souches de départ et les semences de base (multiplication réalisée par la recherche) et de façon indirecte en tant que conseiller technique du service semencier (15)

Les semences certifiées de première génération sont produites en régie par des fermes et des périmètres semenciers ; il existe actuellement trois fermes semencières, spécialisées dans la production de semences de riz (15).

Les semences certifiées de deuxième génération sont produites par des multiplicateurs sous contrat dans des villages semenciers encadrés.

L'implantation et la conduite des cultures de multiplication sont contrôlées par les services de la recherche ou par les organismes d'intervention ou, en l'absence de ces organismes, par les services de vulgarisation (19).

L'ONCAD (Office National de Coopération pour l'Aide au Développement) est chargé de la logistique c'est-à-dire des transports et distributions diverses (semences, produits, récoltes), de la collecte des productions et de son financement.

Le contrôle des semences est effectué au laboratoire de contrôle du service semencier à Dakar (15) qui a défini les normes de contrôle.

Le conditionnement (nettoyage, triage, désinfection, ensachage) est assuré par deux stations de conditionnement situées à Diourbel (récolte des régions de Thies, Diourbel, Sine-Saloum) et à Tambacounda (récolte du Sénégal Oriental et de la Haute-Casamance).

Initialement, il avait été prévu l'implantation de deux autres centres, l'un dans la région du fleuve Sénégal, l'autre en Casamance, essentiellement pour le traitement et le stockage du riz (20).

1.22 - Evolution de la production

Les variétés de riz pluvial multipliées par l'IRAT entre 1970 et 1974 sont essentiellement I Kong Pao, 63-83 et TS 123 (17).

En 1974 (18) on retrouve les mêmes variétés auxquelles s'ajoutent SE 302 G, SE 319 G et Dourado Précoce.

A partir de la mise en oeuvre du projet FED en 1973-1974, la production de semences améliorées a fortement augmenté. On est passé d'environ 50 tonnes de semences (19) à 529 tonnes en 1973-1974 (dont 220 pour le riz, variétés pluviales et non pluviales) et à 2 078 tonnes en 1974-1975 (dont 614 pour le riz, variétés pluviales et non pluviales) (15).

1.23 - Conclusion

La production de semences certifiées au Sénégal est actuellement une réalité et le service semencier a pour objectif de parvenir à couvrir la moitié des besoins du pays en semences sous forme de semences certifiées, dont 3 500 tonnes de riz, mais le "régime de croisière" n'est pas encore atteint.

1.3 - PRODUCTION DE SEMENCES AMELIOREES EN HAUTE-VOLTA

La production de semences de variétés améliorées de riz a débuté il y a plus de dix ans en Haute-Volta. Dans les premières années, elle ne concerne que la station IRAT de Kamboinsé (située à 13 km de Ouagadougou) qui multiplie essentiellement des variétés irriguées ; la production annuelle entre 1968 et 1970 varie entre 20 et 40 tonnes (21) ; elle n'est pas soumise au contrôle et n'est donc pas d'une qualité garantie.

Entre 1971 et 1974, la production des semences pour diverses cultures s'organise et s'amplifie. Une première multiplication de ces semences de base est faite à l'IRAT à Kamboinsé. Le dernier stade de multiplication est assuré par des riziculteurs-multiplicateurs choisis sous la responsabilité des Offices Régionaux de Développement (ORD) à Mogtédou et à Banfora, par le CERCIC à Kamboinsé et dans la vallée du Kou. En 1974, la production de semences de riz atteint 150 tonnes (dont 87 % effectivement livré aux ORD).

A partir de 1974, l'IRAT détache un agent au Centre d'Expérimentation du Riz et des Cultures Irriguées (CERCIC), nouvellement créé. Cette année-là, les Centres de Mogtédou, de Kamboinsé et de Banfora sont équipés du matériel nécessaire au conditionnement des semences et d'un matériel simple de contrôle ; le CERCIC à Farako-Ba est équipé d'un laboratoire de contrôle de semences permettant l'examen complet des échantillons de riz.

Toujours en 1974, l'USAID et la FAO élaborent, en accord avec le gouvernement voltaïque, un projet de production de semences certifiées (22). Ce projet débute en juin 1975 pour une durée de 5 ans.

Ce projet prévoit :

- l'établissement d'un Service National pour les semences dépendant du Ministère du Développement Rural ; il sera responsable en fin de projet de l'administration des services techniques, du contrôle de la qualité des semences et de la formation, et devra également coordonner les organismes de recherche et de production, avec l'aide d'un Comité Consultatif pour les semences ;
- les semences de base seront encore produites par la recherche ;
- la première multiplication des semences de base sera effectuée par 4 centres de multiplication (pour le riz : Kamboinsé et Vallée du Kou) qui seront en outre équipés pour le traitement et le stockage des semences ; la station de Farako-Ba assurera également l'obtention des R1 sous la responsabilité de l'IRAT ;
- la dernière multiplication sera assurée par les paysans multiplicateurs de 4 Offices Régionaux de Développement (ORD) (Fada-N'Gourma, Ouagadougou, Banfora et Bobo-Dioulasso).

Dans le cadre de ce projet, un laboratoire de contrôle central a été construit pour le Service Semencier.

Dans les premières phases du projet, il s'agit simplement de produire des semences de variétés améliorées ; on n'envisage pas une certification rigoureuse. De plus, il est prévu de renouveler la semence chez l'agriculteur après quatre cycles de culture et non pas à chaque cycle (22).

Le schéma de production est à peu près en fonctionnement en 1977-1978 (centres de multiplication et ORD) (23), mais des problèmes se posent quant à la commercialisation des semences obtenues et les organismes de multiplication connaissent certaines difficultés financières.

Les résultats de production pour 1977-1978 en riz pluvial sont les suivants :

- IRAT et CERC, Farako-Ba.....	6,5 tonnes	(semences R1),
- ORD, Banfora.....	13,4 tonnes	(semences R2),
- Association pour le développement de la région de Yenga.....	25,0 tonnes	(semences non triées de niveau R2).

Ceci correspond, par rapport aux prévisions, à une réalisation de 65 % (Farako-Ba) ou 89 % (ORD) ; ces pourcentages sont supérieurs au pourcentage de réussite global du projet.

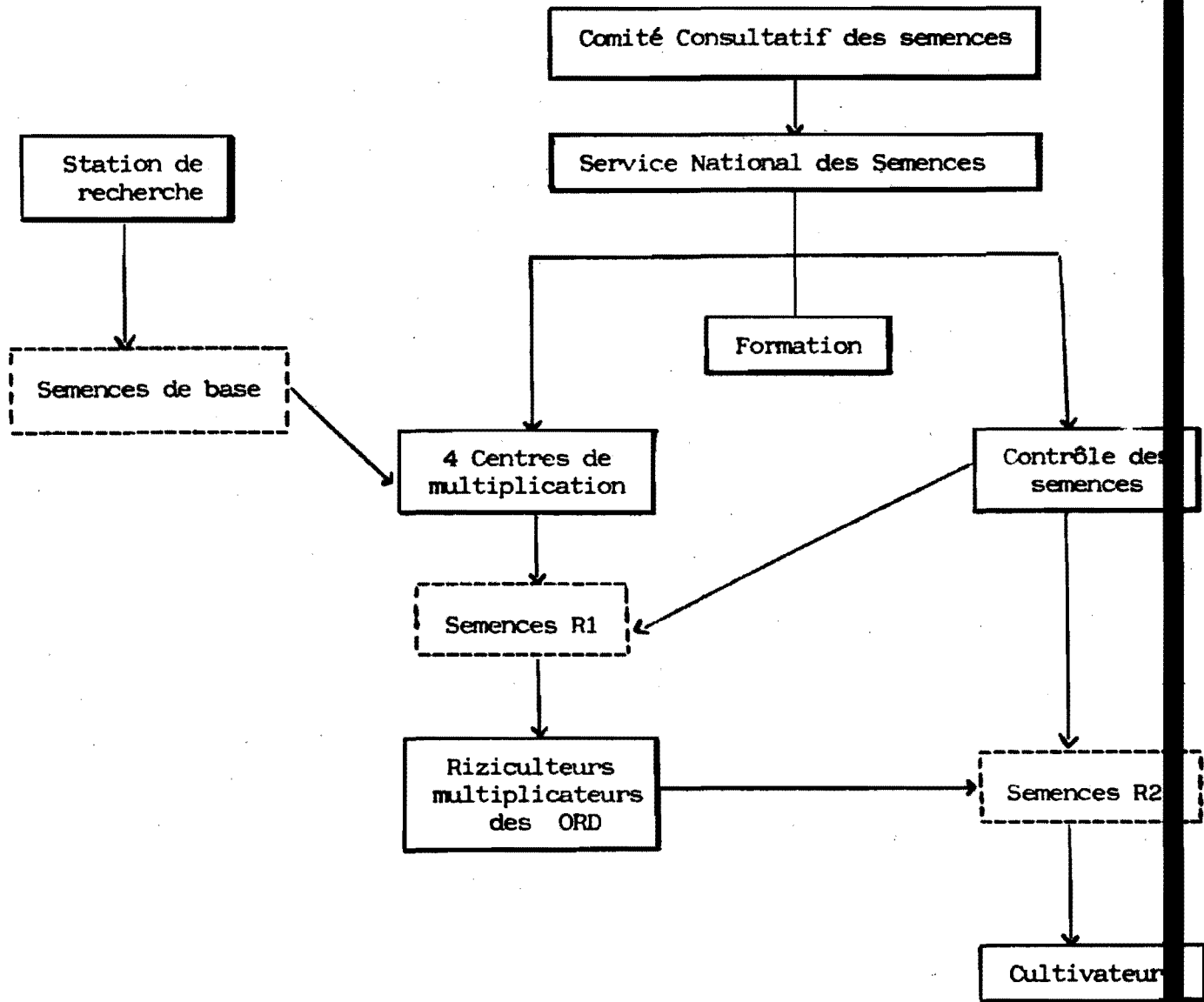
Pour ce qui concerne l'IRAT (production de semences de base et de semences R1 à Farako-Ba), les variétés pluviales multipliées sont :

- de 1972 à 1977..... Dourado Précoce (24) (25) (26) (27)
- à partir de 1978..... Dourado Précoce (27) (28) (29),
IRAT 10.

Le contrôle et la certification des semences réalisés par le CERC à partir de 1974 a été repris par le Service National Semencier basé à Ouagadougou à partir de 1977.

La commercialisation et la diffusion des semences améliorées posent un problème en Haute-Volta, de même qu'au Sénégal et en Côte d'Ivoire.

TABLEAU VI : Organigramme de la production des semences en Haute-Volta
- D'après FAO (22) -



1.4 - AUTRES PAYS

Les autres pays d'Afrique de l'Ouest, contrairement à la Côte d'Ivoire, au Sénégal et à la Haute-Volta, ne possèdent pas encore une organisation nationale de production de semences de riz pluvial ; il faut cependant rappeler que dans beaucoup de pays l'IRAT effectue de petites multiplications de semences de qualité pour répondre aux besoins de la recherche ou de certains projets de développement.

2 - LES NORMES DE PRODUCTION

Pour toutes les caractéristiques qui conditionnent la qualité de la semence (30) (pureté variétale, pureté spécifique, faculté germinative, état sanitaire, taux d'humidité de la semence), des normes ont été établies, variables suivant les pays. D'autres normes concernent également les conditions de culture, dont découle en partie la qualité finale de la semence.

La Côte d'Ivoire (2), la Haute-Volta (22) et le Sénégal (30) ne possédant pas encore de réglementation propre dans le domaine de la production de semences certifiées, on a également adopté une réglementation existant par ailleurs en l'adaptant aux conditions locales.

2.1 - LES NORMES DE PRODUCTION EN COTE D'IVOIRE

Elles sont adaptées des normes en vigueur en France (1) (2).

2.11 - Normes de culture

Le tableau VII précise les normes d'isolement de la culture.

Une autre disposition des cultures est envisageable pour les semences de base ; elle consiste à placer la culture de la GO au centre d'une parcelle ensemencée en G1 de la même variété ; cette culture de G1 peut de la même façon être entourée par une culture de G2 de la même variété (large d'au

moins 10 mètres) qui peut être entourée par une culture de G3 (même variété, bande d'au moins 10 mètres), elle-même entourée par une culture de G4 (même variété, bande d'au moins 10 mètres). Ce dispositif de parcelles "gigogne" est celui qui est actuellement utilisé en Côte d'Ivoire, pour la G1 et la G2.

TABLEAU VII : Normes d'isolement en Côte d'Ivoire : distances minimales recommandées - D'après VANDEVENNE R. (2) -

Stade de multiplication	semis	semis	semis	semis	semis	semis
	G0	G1	G2	G3	G4	R1
Cultures voisines	récolte	récolte	récolte	récolte	récolte	récolte
	G1	G2	G3	G4	R1	R2
même espèce						
autre variété	30 m	30 m	20 m	10 m	5 m	1 m
même variété	30 m	10 m	10 m	10 m	1 m	-

La pureté variétale est l'objet d'observations lors des contrôles au champ. On admet à ce stade une certaine souplesse (31). Ainsi le seuil de refus dans un champ de production de R2 est de 980 pour mille, alors qu'il sera de 990 pour mille dans l'examen au laboratoire (cf. tableau VIII).

Bon nombre de critères d'élimination ne sont pas normalisés pour le contrôle au champ ; c'est le cas notamment de la pureté spécifique et de l'aspect sanitaire. Ceci est dû à la politique d'encouragement des multiplicateurs ; le refus d'un champ après contrôle est rare (31) et des normes strictes seraient contraires à cette politique.

2.12 - Normes de certification

Elles concernent la pureté variétale, la pureté spécifique (norme générale et normes particulières pour le taux de graines de Rottboellia exaltata, adventice et pour le taux de grains rouges provenant des espèces Oryza glaberrima), la faculté germinative et le taux d'humidité de la semence (tableau VIII).

Ces normes ivoiriennes se distinguent des normes françaises :

- par le taux d'humidité admis plus faible qu'en France (ceci est à relier aux conditions de conservation en milieu tropical),
- par la norme concernant les graines de Rottboellia exaltata, adventice de la riziculture pluviale en Côte d'Ivoire dont les graines sont difficiles à éliminer lors du conditionnement,
- par la sévérité plus grande de la norme concernant la présence de riz rouge ; en fait on a conservé en Côte d'Ivoire la norme en vigueur en France en 1967.

TABLEAU VIII : Normes en Côte d'Ivoire pour le classement des semences de riz - D'après VANDEVENNE R. (2) -

Critères	Semences de base	Semences certifiées R1	Semences certifiées R2
Pureté variétale (min) (pour mille grains)	999	997	990
Grains de riz rouges (max) (pour 500 g)	1	2	2
Pureté spécifique (min) (en pourcentage du poids)	98	98	98
Graines de <u>Rottboellia</u> (max) (pour 400 g)	0	6	6
Faculté germinative (min) (en pourcentage)	80	80	80
Humidité (max) (en pourcentage)	14	14	14

2.2 - LES NORMES DE PRODUCTION AU SENEGAL

Au Sénégal, les normes de production ont été adaptées du règlement en

vigueur en Inde, qui sont directement dérivées, moyennant quelques adaptations, de la réglementation internationale. Ce choix résulte du fait que l'Inde est, comme le Sénégal, un pays en voie de développement et que les conditions écologiques y sont voisines (30).

2.21 - Normes de culture

Précédent cultural : la même espèce est interdite sauf s'il s'agit de la même variété.

Isolément de la culture : les distances minimales sont données dans le tableau IX.

TABLEAU IX : Normes d'isolement au Sénégal (distances minimales à respecter) - D'après BONO M. (30) -

Stade de multiplication Cultures voisines	Semences de base	Semences certifiées
	G1 à G4	R1 et R2
même espèce autre variété.....	3 m	3 m
même variété.....	3 m	3 m

En plus de l'isolement et du précédent cultural, les normes indiennes en culture concernent le nombre de hors-types (pureté variétale), la présence de plantes d'espèces différentes, cultivées ou adventices (pureté spécifique) et la présence de plantes malades (qualité sanitaire).

TABLEAU X : Normes en culture au Sénégal - D'après BONO M. (30) -

Critères	Semences de base	Semences certifiées
Nombre de hors-types (panicule pour 1 000)	0,5	3
Plantes d'autres espèces cultivées difficiles à séparer (plantes pour 1 000)	0,1	0,5
Adventices inacceptables (plantes pour 1 000)	0,1	0,2
Panicules atteintes de maladies transmises par les semences (panicules pour 1 000)	1	5

On remarque par rapport à la Côte d'Ivoire une sévérité moins grande en ce qui concerne l'isolement de la culture.

2.22 - Normes de certification

TABLEAU XI : Normes sénégalaises pour les semences certifiées - D'après BONO M. (30) -

Critères	Semences de base	Semences certifiées
Pureté spécifique (min) (en % du poids)	98	98
Matières inertes (max) (% poids)	2	2
Graines d'autres espèces cultivées (max)	10 par kg	0,10 % du poids
Nombre total graines d'adventices (max)	10 par kg	0,10 % du poids
Graines d'adventices dangereuses (riz rouges + sauvages)	2 par kg	5 par kg
Faculté germinative (min) (en %)	80	80
Humidité (max) (en %)	12	12

Il est prévu d'accéder progressivement à la rigueur des normes fixées en limitant de plus en plus les dérogations (30).

2.3 - LES NORMES DE PRODUCTION EN HAUTE-VOLTA

Elles ne sont pas encore établies de façon définitive (22) et la production de semences améliorées en Haute-Volta, qui n'a débuté réellement que vers 1974, n'est pas encore soumise à une certification rigoureuse.

3 - LE CONTROLE DES SEMENCES

Le contrôle des semences a pour but de vérifier si les normes de culture ou de qualité du produit fini sont bien respectées ; la certification consiste en l'apposition d'un label précisant certaines caractéristiques révélées par l'analyse de l'échantillon et donnant toutes indications permettant l'identification du produit livré à la commercialisation dans un emballage inviolable, scellé (30) ; c'est une garantie de qualité.

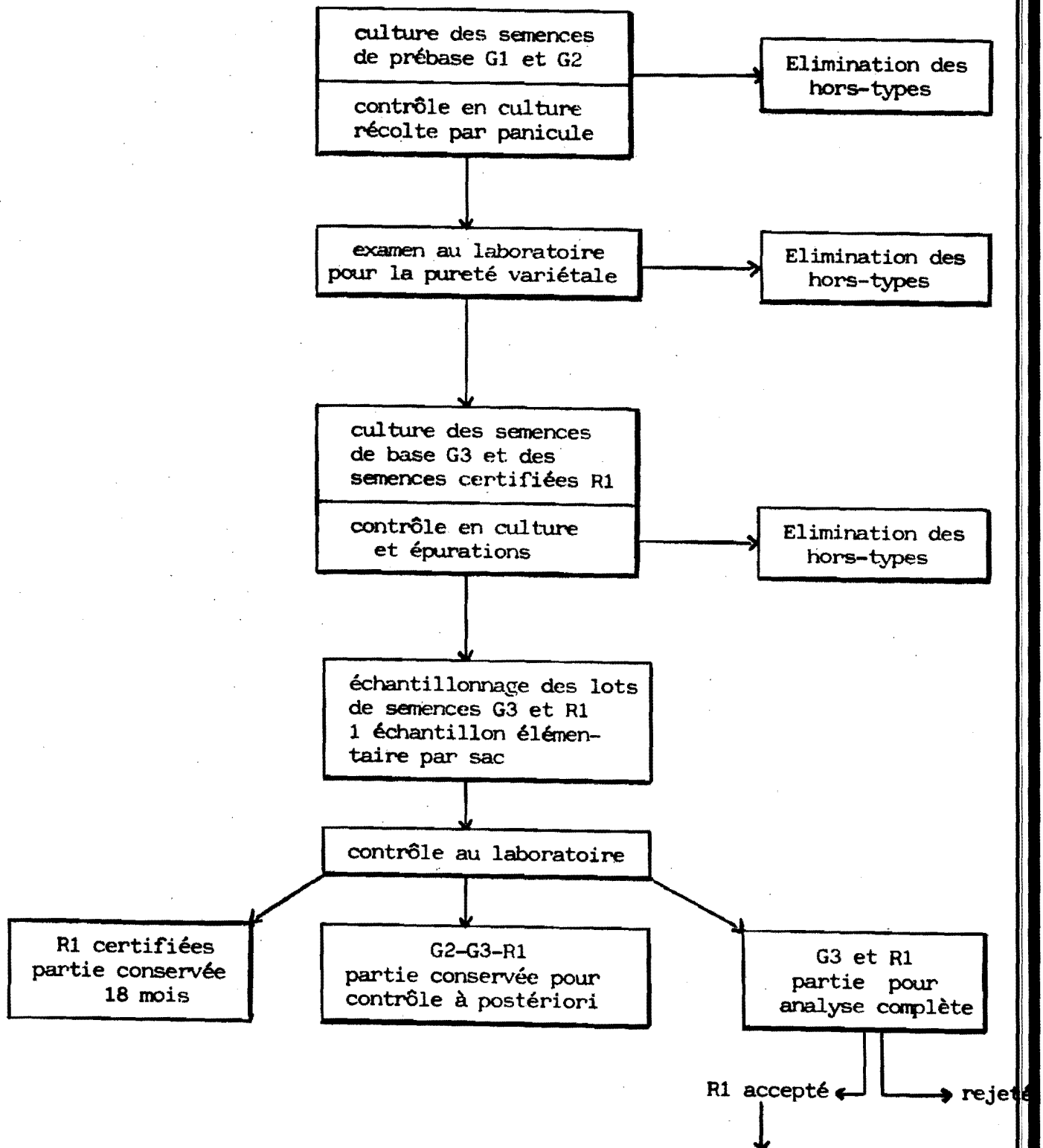
Le contrôle s'exerce sur la culture au champ et sur les semences au laboratoire. Des contrôles a posteriori peuvent également être faits : ils consistent dans la mise en culture des semences après certification et sont intéressants surtout pour la pureté variétale ; ils permettent de corriger certaines erreurs éventuellement constatées.

En raison de l'organisation de la production et de la répartition des tâches et également parce que les superficies et le tonnage des semences produites sont d'autant plus importants que le stade de multiplication est avancé, le contrôle s'effectue différemment pour les semences de base et les semences R1 et pour les semences R2.

3.1 - MODALITES DE CONTROLE DES SEMENCES DE BASE ET DES SEMENCES R1

En Côte d'Ivoire (4), le contrôle de semences de prébase, le base et des semences certifiées de première reproduction est appliqué de façon stricte (tableau XII).

TABLEAU XII : Modalités de contrôle des semences en Côte d'Ivoire
- D'après VANDEVENNE R. (4) -



(Suite tableau XV, p. 26)

Pour les semences de prébase G1 et G2 :

- pendant la culture : on effectue un contrôle systématique de toute la culture et on procède à toutes les épurations nécessaires. La récolte est faite panicule par panicule ;
- après la récolte : toutes les panicules sont examinées une à une et on élimine toutes les panicules étrangères ou douteuses.

Pour les semences de base G3 et les semences certifiées de première génération R1 :

- pendant la culture : on effectue un contrôle systématique de toutes les cultures et on procède à toutes les épurations nécessaires ;
- après la récolte : tous les sacs de chaque lot sont sondés et les grains ainsi recueillis sont mélangés pour former l'échantillon global destiné aux analyses de laboratoire.

3.2 - MODALITES DE CONTROLE DES SEMENCES R2

3.21 - Contrôle au champ

Les contrôles au champ peuvent être effectués à différents stades de végétation ; les facteurs contrôlés ne sont évidemment pas les mêmes suivant les stades.

Pour le riz, au Sénégal (30), le nombre minimum de contrôles au champ est de 2, à effectuer entre la floraison et la récolte ; en Côte d'Ivoire (2), il y a un contrôle obligatoire entre l'épiaison et la récolte et on recommande d'en faire deux.

Sont contrôlés non seulement les facteurs normalisés, mais aussi l'origine de la semence utilisée pour emblaver le champ.

En Côte d'Ivoire (2), l'échantillonnage du champ se fait suivant une diagonale, en progressant alternativement dans le sens des lignes et en travers de celles-ci (progression en "marches d'escalier") ; chaque comptage est effectué sur une portion de ligne de 1 mètre, soit environ 250 panicules ou, dans le cas des semis à la volée, sur une surface de 1 m x 0,20 m ; le nombre des comptages varie avec la superficie du champ (tableau XIII).

C'est essentiellement la pureté variétale qui est évaluée de cette façon.

TABLEAU XIII : Normes de comptages de contrôle au champ en Côte d'Ivoire.
- D'après VANDEVENNE R. (31) -

Superficie du champ		Nombre de comptages
Inférieure à.....	1 ha	3
Jusqu'à.....	4 ha	5
Jusqu'à.....	6 ha	6
Jusqu'à.....	8 ha	7
Jusqu'à.....	10 ha	8
Par tranche de.....	10 ha	1 comptage
en plus		en plus

Au Sénégal (30), il est recommandé de procéder à un certain nombre de séries de 10 comptages, chaque comptage comprenant 100 panicules ; le nombre de séries de comptages est fonction de la superficie du champ contrôlé : jusqu'à 2 hectares, on procède à 5 séries de comptages et on ajoute ensuite une série par tranche de 2 hectares ; chaque série de comptages sert en fait à contrôler une fraction du champ.

Aussi bien en Côte d'Ivoire qu'au Sénégal, chaque visite de contrôle fait l'objet de l'établissement d'une fiche de contrôle comprenant des indications d'ordre général sur la parcelle ainsi que :

- pour la Côte d'Ivoire (2), des observations sur l'aspect général de la parcelle (dont l'isolement), la pureté variétale et l'aspect sanitaire de la culture,
- pour le Sénégal (30), le résultat précis des comptages pour tous les critères normalisés

On peut remarquer que le contrôle au champ est beaucoup moins poussé en Côte d'Ivoire qu'au Sénégal.

En Côte d'Ivoire, il est rare qu'un champ soit refusé à la suite d'un contrôle au champ, lequel a en fait surtout pour buts d'apporter un complément d'information au laboratoire pour faciliter ses examens de pureté variétale en particulier pour les variétés difficiles à identifier, d'éviter la collecte de lots de semences n'ayant aucune chance d'être agréés, provenant de champs semenciers particulièrement mal conduits, d'informer les multiplicateurs de la présence de hors-types ou de plantes indésirables et de faire les recommandations d'élimination nécessaires ainsi que de contrôler si les éliminations recommandées ont bien été faites.

Cependant cette situation est en évolution (31) en raison de la diffusion de nouvelles variétés dont les graines sont morphologiquement voisines.

Le contrôle de la pureté variétale au laboratoire est rendu plus difficile et il est nécessaire d'avoir en plus un contrôle au champ, où les différences variétales sont plus nettes.

Au Sénégal, le contrôle au champ est plus décisif du maintien ou du refus d'un champ : lorsqu'une série de comptage ne répond pas à la norme, la série est reprise pour un nouveau décompte, sauf si le premier résultat dépasse le double de la norme ; dans ce dernier cas, le refus est immédiat.

Les modalités précises du contrôle au champ sont définies de façon très détaillées pour les deux pays dans des documents établis à l'intention des contrôleurs (30) (31).

3.22 - Contrôle au laboratoire

Chaque lot de semence soumis à l'échantillonnage pour analyses ne doit pas dépasser 20 tonnes, aussi bien au Sénégal (30) qu'en Côte d'Ivoire (2). Chaque lot doit être de préférence le produit d'un seul champ semencier.

L'échantillonnage de chaque lot se fait par échantillons élémentaires prélevés en différents endroits à l'aide de sondes.

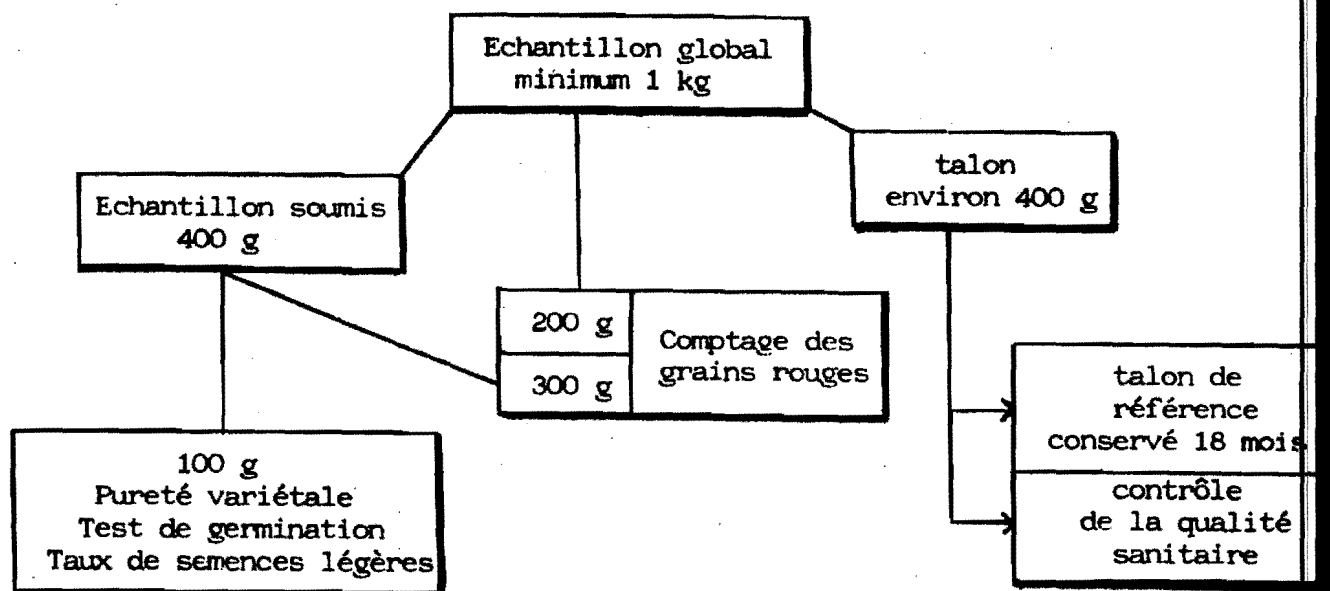
Le nombre d'échantillons élémentaires minimum à prélever est fonction de la taille du lot (2) (30).

Les échantillons élémentaires sont regroupés et mélangés pour former l'échantillon global. Cet échantillon global est ensuite séparé en sous-échantillons soumis au laboratoire pour analyses.

Au Sénégal (30), l'échantillon soumis pour analyse doit être de 400 g minimum.

En Côte d'Ivoire (4), l'échantillon global est au minimum de 1 kg : cet échantillon est séparé en trois sous-échantillons (400 g + 400 g + 200 g) un des sous-échantillons de 400 g est destiné aux tests de qualité sanitaire et sert de talon de référence ; l'autre sous-échantillon de 400 g sert à la mesure de l'humidité et de la pureté spécifique et une partie de ce sous-échantillon (100 g) est utilisée pour la détermination de la pureté variétale et du taux de semences légères ; le reste de ce sous-échantillon soit 300 g, est mélangé au sous échantillon de 200 g et on procède sur ces 500 g au comptage des grains rouges après décorticage.

TABLEAU XIV : Echantillonnage des lots d'analyse de laboratoire en Côte d'Ivoire - D'après VANDEVENNE R. (4) -



3.3 - TECHNIQUES D'ANALYSE DE LABORATOIRE

Le contrôle de la pureté variétale et de la pureté spécifique et le dénombrement des graines d'adventices et, après décorticage, de grains rouges est effectué manuellement.

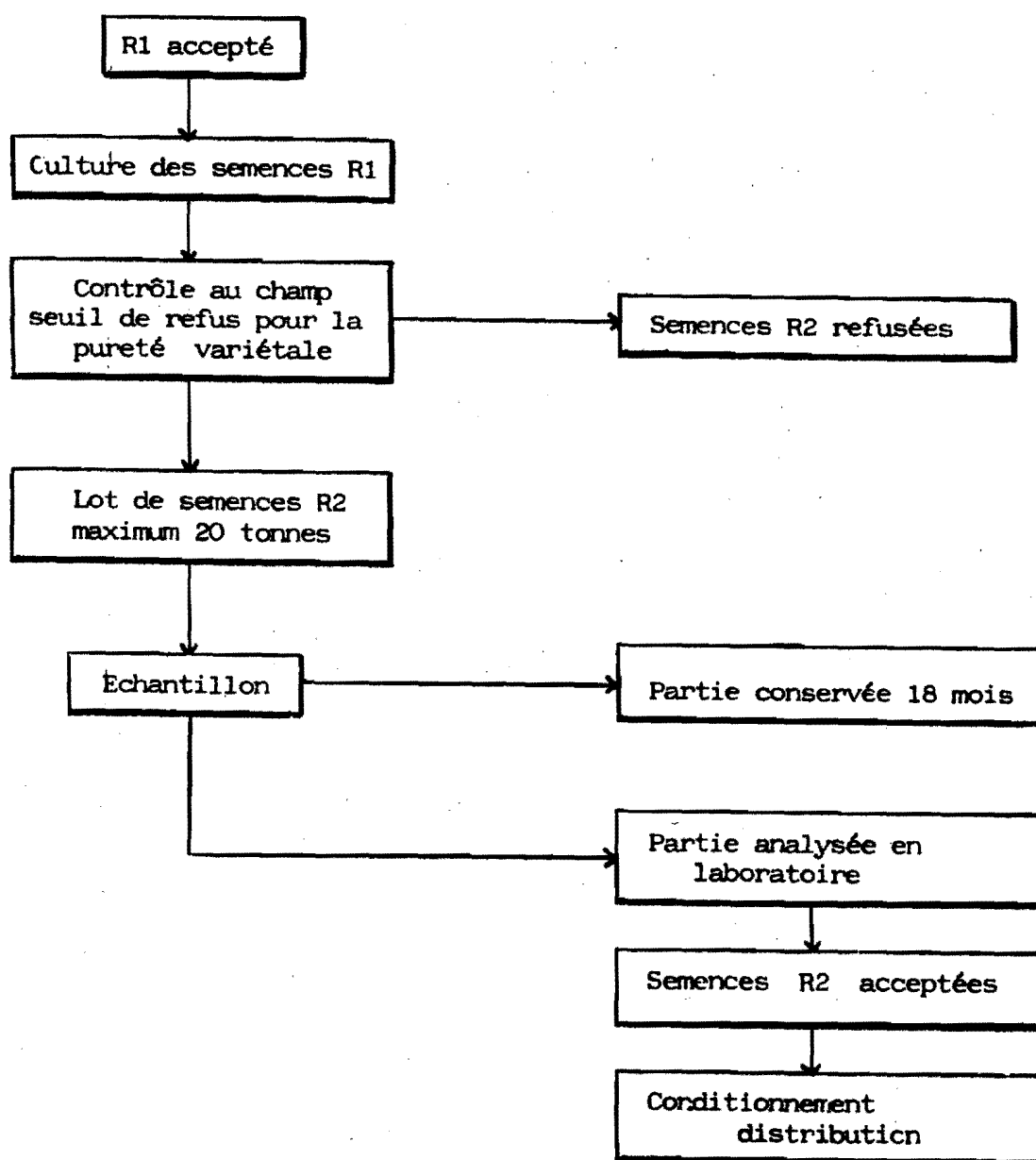
La teneur en eau est mesurée à l'aide d'un humidimètre (2).

Pour l'évaluation du pouvoir germinatif, l'International Seed Testing Association (ISTA) recommande deux méthodes : germination en enceinte sur papier humidifié ou entre deux épaisseurs de papier humidifié. La première méthode est utilisée en Côte d'Ivoire et porte pour chaque échantillon sur trois répétitions de 100 graines chacune ; les germes normaux sont comptés tous les jours du 3e au 8e jour après la mise en germination, cette fréquence de comptages étant une adaptation des normes ISTA pour pays tempérés aux conditions tropicales.

Des traitements sont prévus en cas de dormance des graines.

L'état sanitaire des semences est également contrôlé en Côte d'Ivoire (2), bien qu'il n'existe actuellement pas de normes pour ce critère ; la méthode adoptée est celle de l'examen des semences après 8 jours d'incubation ; l'aspect sanitaire (pyriculariose et helminthosporiose uniquement) est noté par une échelle à 5 classes.

TABLEAU XV : Le contrôle des semences certifiées R2 en Côte d'Ivoire
- D'après VANDEVENNE R. (4) - (Suite du tableau XII)



4 - CONCLUSION

Bien que la mise en place d'un système semencier soit possible -les exemples de Haute-Volta, du Sénégal et de Côte d'Ivoire en sont la preuve- les difficultés rencontrées pour la réalisation d'un tel projet ne doivent pas être minimisées.

Du point de vue technique, les principales difficultés sont (32) :

- la définition des objectifs quantitatifs et des étapes de réalisation, ce qui implique l'estimation correcte des besoins et la planification de la production ;
- la répartition des tâches et des moyens entre les différents organismes de production ;
- l'établissement d'une réglementation adaptée au pays ;
- la formation de personnel spécialisé.

Du point de vue économique, l'un des problèmes les plus difficiles à résoudre est celui du coût des semences sélectionnées, qui est à considérer sous deux aspects (20) :

- prix de revient à la fabrication,
- prix de cession à la vulgarisation.

Le prix de revient à la fabrication n'est pas aisé à calculer, surtout quand le système de production fait intervenir des riziculteurs-multiplieurs sous contrat ; cependant une étude estimative réalisée en Côte d'Ivoire, en Haute-Volta et au Sénégal (20) montre que le prix de revient de la semence sélectionnée de paddy est à peu près le même pour les trois pays (entre 125 et 130 F CFA par kg en 1975), c'est-à-dire deux à trois fois plus que celui du paddy destiné à l'usine.

Compte-teru de ce coût élevé des semences, du moins dans les premiers temps d'un système semencier, l'Etat, par l'intermédiaire de sa politique agricole, doit intervenir dans la fixation d'un prix de cession acceptable par les utilisateurs.

Il s'avère que le cultivateur est plutôt réceptif à l'emploi de semences sélectionnées et conditionnées de riz, contrairement à ce qui se passe pour beaucoup d'autres espèces vivrières. Ceci laisse bien augurer du développement des opérations semencières concernant le riz en Afrique.

ANNEXES

ANNEXE I : Déclaration de culture en Côte d'Ivoire.

ANNEXE II : Rapport de visite de parcelles de multiplication
de semences R2 en Côte d'Ivoire.

MULTIPLICATION DE SEMENCES DE RIZ

Imprimerie 360 Csi de 25x1 1-76

SODERIZ

ZONE

SECTEUR

BLOC

DECLARATION DE CULTURE N°

ANNEE

Variété

Catégorie à produire

Surface

MULTIPLICATEUR

Mr.

Village

Nom de l'Encadreur responsable

Origine de la semence-mère

N° du lot d'origine de la semence-mère

Catégorie de la semence

Date de semis

ou de

Repiquage

Mode et densité de semis

Précédent cultural (espèce et variété)

Sarclages

ENGRAIS N P K -

N -

Mode et date de récolte

Mode et lieu de stockage

CONTROLE EN CULTURE

— Date

— Isolement

— Réussite

— Propreté

— Impuretés Variétales

— Aspect sanitaire

— Observations

— Proposition du
contrôleur

Culture

Refusée | Acceptée

ANALYSES

Date

N° du lot

— Poids du lot

— Pureté spécifique

— Pureté variétale

— Aspect sanitaire

— Grains rouges

— T. P. G.

CLASSEMENT DE LA PRODUCTION

EXEMPLAIRE DESTINE A : Accompagner le lot lors de son expédition au centre de conditionnement

[] [] [] []

DIRECTION REGIONALE

RAPPORT DE VISITE DE PARCELLES DE MULTIPLICATIONS SEMENCES

2

1971 année 25 X 5 - 1 - 76

Variété multipliée

Date de semis :

Surface semée ou repiquée ha

Surface correctement levée ha

Surface probable de récolte ha

La surface est divisée en parcelles

Date probable de récolte :

Précédent cultural :

Variété s'il s'agit de riz)

Déclaration de culture N°

Nom du riziculteur ou producteur :

Zone :

Village :

Nom du chef de zone :

Responsable :

Nom de l'assistant :

Nom de l'encadreur

OBSERVATIONS :

Aspect général de la parcelle :

Stade végétatif au moment de la visite

Densité de semis ou repiquage

Homogénéité de la levée ou reprise

protection contre les animaux

protection contre l'inondation

Isolement

Irrigation de la culture

Evaluation de la réussite

Exécution des sarclages

Bon	Mauvais	Remarques

Pureté variétale de la culture :

Présence de hors-type OUI NON

Epuration faite en cours à faire

Densité m2 :

Nature :

Aspect sanitaire des plants :

Nécessite le déplacement d'un spécialiste : OUI NON

		Maladies	Insectes	Carences	Remarques et divers
Panicules	collet.. grain..				
Fouilles					
Tiges					

Signature du chef de zone

Signature Secs Semences

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

- (1) VANDEVENNE (R.) - 1977 - Production et contrôle des semences de riz en Côte d'Ivoire - Agronomie Tropicale, vol. XXXII, n° 4, octobre-décembre 1977, pp 377-385.
- (2) VANDEVENNE (R.) - 1977 - Les règles et méthodes pour le contrôle de la production des semences de riz - Les applications pratiques en Côte d'Ivoire - Rapport IRAT/IDESSA, Bouaké, décembre 1977, 46 p.
- (3) IRAT/COTE D'IVOIRE - 1971 - Section amélioration variétale riz - Rapport analytique 1971 - Tome 1, 9 p.
- (4) VANDEVENNE (R.) - 1976 - Rice seed production and control in Ivory Coast - Second séminaire ADRAO "Rice breeding and varietal Improvement", Monrovia, septembre 1976, édité par l'ADRAO, janvier 1979, pp 386-417.
- (5) IRAT/COTE D'IVOIRE - 1972- Section contrôle semences de riz - Rapport annuel 1972 - Rapport IRAT, 17 p.
- (6) IRAT/COTE D'IVOIRE - 1973 - Rapport analytique 1973 - Contrôle des semences - Rapport IRAT, 28 p.
- (7) IRAT/COTE D'IVOIRE - 1974 - Rapport analytique 1974 - Contrôle des semences - Rapport IRAT, 56 p.
- (8) VANDEVENNE (R.) - 1976 - Rapport analytique 1975-76 - Service contrôle semences, IRAT/SODERIZ- Rapport IRAT, 70 p. + annexes.
- (9) VANDEVENNE (R.) - 1976 - Rapport annuel 1976 - IRAT/SODERIZ - Laboratoire de contrôle des semences, 52 p.
- (10) VANDEVENNE (R.) - 1977 - Rapport annuel 1977 - CIDT/IRAT - Laboratoire de contrôle des semences - Production de la semence de base, 85 p.
- (11) VANDEVENNE (R.) - 1979 - Rapport annuel 1978 - Laboratoire de contrôle des semences de riz - Production de la semence de base - Rapport IRAT/CIDT, Bouaké, Octobre 1979, 72 p.
- (12) VANDEVENNE (R.) - 1977 - Note sur la situation de la production semencière de riz en Côte d'Ivoire à l'issue de la campagne 1977 - Laboratoire de contrôle des semences, décembre 1977, 7 p.

- (13) IRAT/CIDT - 1977 - Note sur la classification des semences de substitution (réf. note RV/1504 du 1/06/78 à D.G. (CIDT) - In VANDEVENNE Rapport annuel 1977, CIDT/IRAT -Laboratoire de contrôle des semences de base, pp 76-78, Document n° 2.
- (14) CIDT - 1979 - Projet agro-industriel d'organisation et d'investissement pour la production annuelle de 10 000 tonnes de semences paddy - Rapport CIDT, Bouaké, février 1979, 20 p (document confidentiel).
- (15) BONO (M.), LAM (M.) - 1976 - La production de semences sélectionnées d'espèces vivrières au Sénégal - Agronomie Tropicale, vol. XXXI, n° 2, avril-juin 1976, pp 170-178.
- (16) IRAT/SENEGAL - 1971 - Rapport d'activité 1969 - Division d'Amélioration des Plantes - Section semences - Rapport IRAT/CNRA, Bambey, février 1971, 4 p.
- (17) IRAT/SENEGAL - 1972 - Rapport d'activité 1970 - Division d'Amélioration des Plantes - Service des semences de base - Rapport IRAT/CNRA, Bambey, septembre 1972, 16 p.
- (18) IRAT/SENEGAL - 1975 - Rapport d'activité 1974 - Division d'Amélioration des Plantes - Section des semences de base - Rapport IRAT/CNRA, Bambey, septembre 1975.
- (19) BONO (M.), LAM (M.) - 1975 - La production de semences sélectionnées d'espèces vivrières au Sénégal - Colloque AAASA, Dakar, 24-28 mars 1975, 11 p.
- (20) BONO (M.), d'ARONIEL DE HAYES (J.), VANDEVENNE (R.) - 1978 - Le coût des semences sélectionnées et conditionnées d'espèces vivrières : mil pennisetum, sorgho, maïs, riz, niébé (Vigna unguiculata)- Agronomie Tropicale, vol. XXXIII, n° 2, avril-juin 1978, pp 155-173.
- (21) MARCHIOMESCHI (V.) - 1971 - Proposition pour un projet de production et distribution de semences sélectionnées de paddy en Haute-Volta - Rapport FAO, 8 p.
- (22) FAO - 1976 - Programme de développement de l'industrie des semences (SIDP), Haute-Volta, Rapport FAO, Rome, 17 p.
- (23) SERVICE NATIONAL DES SEMENCES - 1978 - Haute-Volta - Rapport annuel sur la multiplication des semences - Campagne 1977-1978 - Rapport du Ministère du Développement rural, Haute-Volta, 9 p.
- (24) POISSON (C.) - 1972 - Rapport annuel 1972 - Riziculture - Bilan 1971-1972 - Rapport IRAT/Haute-Volta, 114 p.
- (25) IRAT/HAUTE-VOLTA - 1973 - Rapport annuel 1973 - Amélioration de la riziculture - Rapport IRAT, 37 p.

- (26) IRAT/HAUTE-VOLTA - 1975 - Rapport de synthèse 1975 - Rapport IRAT/ Haute-Volta, 95 p.
- (27) POISSON (C.) - 1977 - Amélioration de la riziculture en Haute-Volta - Travaux de 1974 à 1977 - Rapport IRAT/CERCI, 176 p.
- (28) IRAT/HAUTE-VOLTA - 1978 - Station IRAT de Farako-Ba - Projet USAID de multiplication de semences - Rapport de campagne 1977-1978, 15 p.
- (29) IRAT/HAUTE-VOLTA - 1979 - Projet de multiplication de semences - Rapport de campagne 1978 - Rapport IRAT, 17 p.
- (30) BONO (M.) - 1974 - Informations, données pratiques et propositions en vue du contrôle de la production de semences sélectionnées de : maïs, mil pénicillaire, sorgho, riz, blé, arachide, niébé (Vigna unguiculata) - Agronomie Tropicale, vol. XXIX, n° 1, pp 1-60.
- (31) VANDEVENNE (R.) - 1979 - Manuel pour le contrôle au champ des cultures semencières de riz - Rapport IDESSA/IRAT, Bouaké, mars 1979, 35 p.
- (32) BONO (M.) - 1976 - Quelques réflexions et suggestions rapides pour l'implantation d'une production de semences à un niveau régional. Note interne IRAT, 3 p.

7- ALIMENTATION HYDRIQUE

INSTITUT DE RECHERCHES
AGRONOMIQUES TROPICALES
ET DES CULTURES VIVRIERES



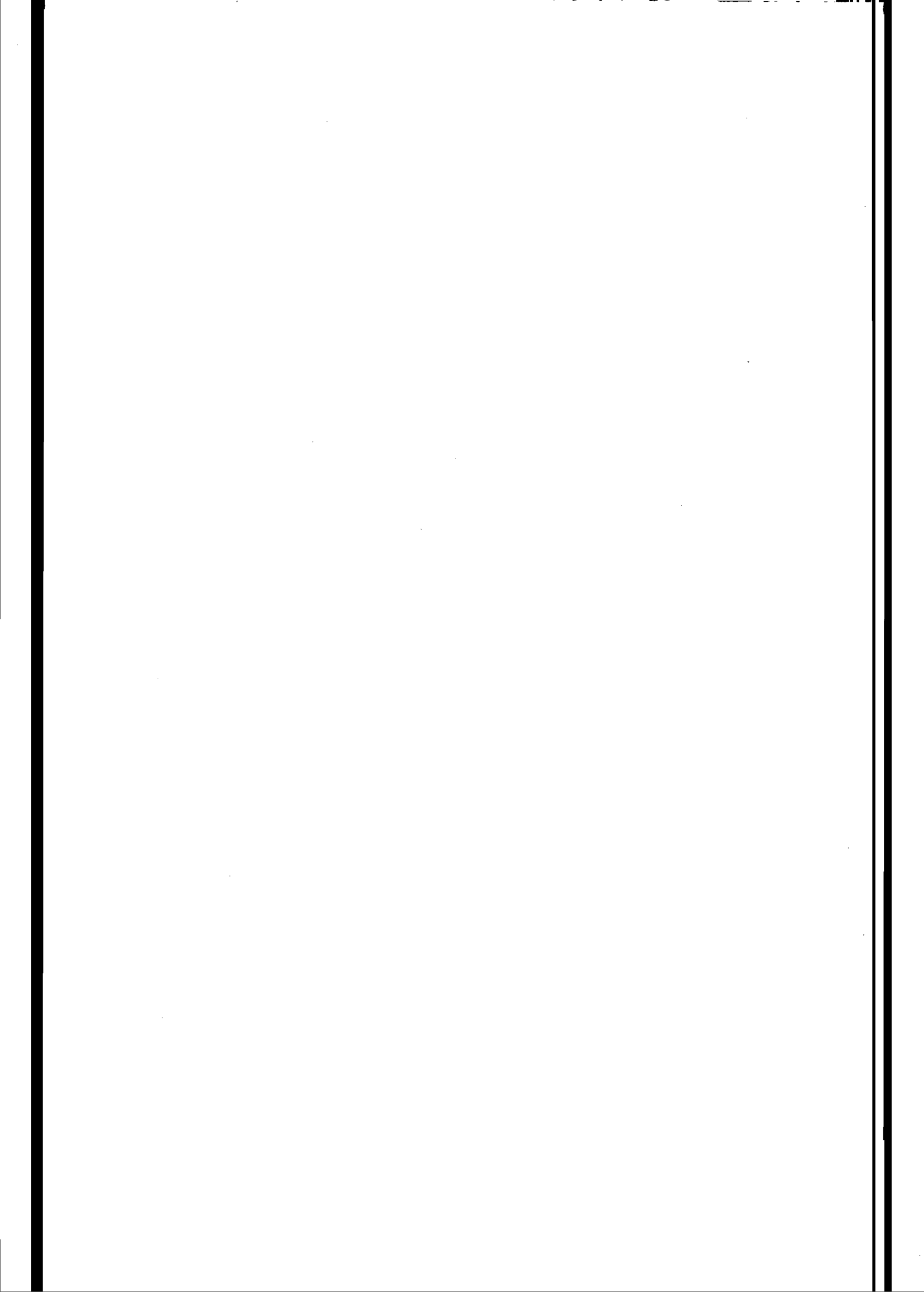
BILAN DES TRAVAUX DE RECHERCHE

SUR RIZ PLUVIAL

1960 à 1980

ALIMENTATION HYDRIQUE

Décembre 1980



AVANT-PROPOS

Dès sa création en 1960, l'IRAT s'est intéressé à la culture du riz pluvial, en raison de son importance dans la production de riz de certaines régions tropicales d'Afrique et d'autres continents, en raison aussi de son développement possible dans des systèmes de culture utilisant des moyens modernes comme la mécanisation, la fertilisation minérale, les herbicides.

Ce passage d'un système de culture traditionnel à de nouveaux systèmes de culture nécessite des recherches dans de très nombreux domaines, pour le choix de sites favorables à la culture, pour la création de variétés adaptées, pour la mise au point des techniques optimales de culture.

Après vingt années d'activités de l'IRAT, des bilans sont souhaitables. Reprenant sous une forme condensée les questions qui se sont posées à la recherche et les réponses qui ont pu être jusqu'ici obtenues, ces bilans devraient intéresser en particulier les chercheurs et les Sociétés de Développement.

Le présent bilan traite de l'ALIMENTATION HYDRIQUE.

Il a été conçu et rédigé par B. PERRIER, sous la conduite de M. JACQUOT, avec l'aide des chercheurs de l'IRAT spécialisés dans ce domaine : C. DANCETTE, F. FOREST, M. GIGOU, L. JACQUINOT, J. M. KALMS, R. NICOU, J. PICHOT, F. N. REYNIERS, TRUONG BINH, d'après l'ensemble des travaux de l'IRAT sur le sujet.

SOMMAIRE

	Page
1 - LE CHOIX DES SITES DE CULTURE.....	2
1.1 - Besoins en eau du riz pluvial.....	2
1.11 - Besoins globaux.....	2
1.12 - Périodes de sensibilité à la sécheresse.....	6
1.13 - Relation entre besoins en eau du riz et demande climatique : les coefficients culturaux.....	7
1.14 - Mesure de la consommation réelle du riz pluvial.....	11
1.2 - Analyse du comportement du riz en fonction de son alimentation hydrique.....	11
1.21 - Action d'un déficit hydrique à différents stades de développe- ment.....	11
1.22 - Analyse des rendements du riz en fonction de la pluviosité.....	12
1.3 - Choix des sites de culture d'après des critères climatiques.....	17
1.31 - Caractéristiques pluviométriques des zones de culture.....	17
1.32 - Raisonnement par analogie avec des zones connues.....	19
1.33 - Raisonnement par l'analyse de l'offre (facteurs climatiques) et de la demande en eau (besoins du riz).....	21
1.4 - Choix des sites de culture d'après des critères pédologiques....	23
1.5 - Choix des sites de culture en associant les critères pédologi- ques et pluviométriques = modélisation du bilan hydrique.....	24
1.6 - Conclusion.....	26
2 - LE CHOIX DES VARIETES.....	27
2.1 - Mise en évidence de différences variétales de tolérance à la sécheresse.....	28
2.11 - Exploitation des résultats obtenus en collection.....	28
2.12 - Test au champ de la tolérance globale à la sécheresse.....	30
2.13 - Test en serre de la tolérance à la sécheresse.....	35
2.14 - Conclusion.....	35
2.2 - Variabilité des effets de la sécheresse selon les variétés.....	36
2.21 - Effets sur la croissance végétative des organes aériens.....	36
2.211 - Hauteur de plante.....	37
2.212 - Tallage.....	38
2.213 - Paramètres des feuilles et des tiges.....	38
2.22 - Effets sur la croissance racinaire.....	38
2.23 - Effets sur les composantes du rendement.....	39
2.231 - Nombre de panicules par unité de surface.....	39
2.232 - Nombre de grains par panicule.....	39
2.233 - Pourcentage de grains stériles.....	39
2.234 - Pourcentage de grains légers et poids de 1 000 grains.....	40

2.24 - Effets sur le poids total de matière sèche des organes aériens..	40
2.25 - Effets sur certains paramètres physiologiques.....	41
2.251 - Consommation et efficacité de l'eau.....	41
2.252 - Durée des phases de développement.....	42
2.253 - Hydratation des feuilles.....	42
2.254 - Activité racinaire.....	42
2.26 - Conclusion.....	43
2.3 - Facteurs de tolérance à la sécheresse.....	43
2.31 - Facteurs d'esquive.....	44
2.311 - Adaptation de la durée du cycle.....	44
2.312 - Adaptation de la "croissance au départ" et conséquences pour l'installation du système racinaire et du couvert végétal.....	44
2.313 - Adaptation du système racinaire.....	45
2.3131 - Mise en évidence de différences variétales du système racinaire.....	45
2.3132 - Relations entre enracinement et tolérance à la sécheresse.....	47
2.3133 - Criblages variétaux pour l'enracinement.....	48
2.314 - Adaptation des mécanismes de régulation de la consommation d'eau.....	48
2.3141 - Régulation stomatique.....	48
2.3142 - Transpiration cuticulaire.....	50
2.32 - Facteurs de résistance à la déshydratation.....	50
2.321 - Faculté de récupération après un stress.....	50
2.322 - Régulation croissance/développement et migration des photo- synthats.....	51
2.4 - Les voies d'amélioration possibles - Conclusion.....	52
3 - LE CHOIX DES TECHNIQUES CULTURALES.....	52
3.1 - Le travail du sol.....	53
3.11 - Action sur le ruissellement.....	53
3.12 - Action sur les caractéristiques physiques du sol.....	53
3.13 - Action sur le développement du système racinaire.....	54
3.14 - Action sur le profil hydrique.....	56
3.15 - Autres actions.....	56
3.16 - Conclusion.....	57
3.2 - La fertilisation.....	58
3.21 - Action sur le système racinaire.....	58
3.22 - Action sur les organes aériens.....	59
3.3 - Les modalités de semis.....	59
3.31 - Densité de semis.....	59
3.32 - Date de semis.....	60
3.4 - La modélisation du calendrier agricole.....	61
4 - CONCLUSION.....	63
BIBLIOGRAPHIE.....	64

Dans les cultures pluviales, une alimentation hydrique déficitaire constitue très souvent le facteur limitant le plus important. Ceci est également vérifié pour le riz cultivé en conditions pluviales qui représente une part non négligeable de la production mondiale de riz (1). Pour un pays donné, les rendements moyens en riz pluvial sont comparables aux rendements moyens des autres céréales et reflètent certainement plus un niveau moyen de technicité qu'une caractéristique de la plante (tableau I) (1) (on ne dispose pas pour le riz pluvial de statistiques plus récentes que celles citées ici).

Tableau I : Superficies en milliers d'hectares et rendements de quelques céréales en culture pluviale en zone intertropicale (q/ha)
- D'après LE BUANEC B., 1975 (1) (Données FAO sauf pour riz, 1964)

Pays	Céréales	Surface	Rendements
Japon (1964)	blé	508	24,5
	orge	479	25,1
	maïs	36	23,3
	riz	160	23,1
Inde (1964)	blé	13 496	7,3
	orge	2 775	7,3
	maïs	4 591	9,9
	riz	4 500	8,7
Brésil (1964)	blé	734	8,8
	maïs	8 106	11,6
	riz	2 000	13,0
Côte d'Ivoire (1963)	maïs	248	6,8
	riz	244	9,0

Pour assurer à la culture un bilan hydrique satisfaisant, on peut agir à plusieurs niveaux :

- choix des sites de culture présentant une offre en eau suffisante ;
- choix des variétés présentant une demande adaptée à l'offre ;
- choix des techniques culturales permettant d'ajuster au mieux l'offre du milieu à la demande de la variété.

L'IRAT a effectué des recherches dans ces trois directions et obtenu des résultats intéressants, étapes indispensables pour arriver à la régularité de rendement en riziculture pluviale.

1 - LE CHOIX DES SITES DE CULTURE

Le choix des sites favorables à la riziculture pluviale est un problème complexe, faisant intervenir les relations entre le milieu physique -sol et climat- et la plante.

Ce choix ne peut se faire de façon raisonnée que si l'on connaît de façon précise les besoins en eau du riz.

1.1 - BESOINS EN EAU DU RIZ PLUVIAL

Les besoins en eau du riz pluvial ont été mesurés par l'IRAT essentiellement au Sénégal (Casamance) (3) et en Côte d'Ivoire (4) ; les mesures ont été faites sur une culture à niveau de technicité assez élevé (niveaux de fertilisation préconisés par le développement, travail du sol et traitements sanitaires corrects, variétés sélectionnées vulgarisables) ; on estime que les besoins en eau déterminés dans ces conditions sont supérieurs à ceux d'une culture moins intensive (3).

1.11 - Besoins globaux

Au Sénégal, les besoins en eau du riz pluvial ont été mesurés, à partir de 1972, dans la station de Djibélor (3) (5) (35) avec deux types d'évapotranspiromètres, l'un à nappe permanente et l'autre à drainage maximal : quelques mesures ont également été faites à Kolda en 1970. En Côte d'Ivoire, on a utilisé des évapotranspiromètres à Bouaké (4) et un humidimètre à neutrons à Tombokro (6).

Ces essais ont permis de mesurer, pour chaque site, l'évapotranspiration réelle maximale de la culture (ETM ou ETRM).

Tableau II : Evapotranspiration maximum du riz pluvial pendant un cycle de culture -
- D'après (4) (5) (6) (7) (85) (91) -

Station	Année	Variété	Cycle (jours)	ETM en mm	EV cycle
<u>SENEGAL</u>					
Djibelor	1972	63-83	105	580	
	1973	I Kong Pao	91	336	
	1973	Dourado Précoce	86	320	
	1974	63-83	105	395	
	1974	I Kong Pao	105	397	
	1975	Se 302 G	95	327*-379*	
	1976	144 B 9	110	467*-491*	
<u>Séfa⁺</u>					
		63-83 et			
		I Kong Pao	105	505	463
		Dourado Précoce	85	430	385
		Se 302 G	95	413	401
	144 B 9	110	545	487	
<u>Nioro du Rip⁺</u>					
		63-83 et			
		I Kong Pao	105	605	555
		Dourado Précoce	85	542	452
		Se 302 G	95	516	501
	144 B 9	110	652	582	
<u>Kolda</u>					
	1970	63-83	113	570	
		I Kong Pao	103	460	
<u>COTE D'IVOIRE</u>					
Bouaké	1975	Se 349 D	122	440	
	1975	Moroberekan	145	537,5	
	1976	IRAT 13	128	494,5	
<u>Tombokro</u>					
		Moroberekan	140	540	

*Résultats obtenus avec les différents types d'évapotranspiromètre.

⁺Pour Nioro du Rip et Séfa, l'ETM est évaluée à partir des coefficients culturaux ETM/EV obtenus à Djibelor et de l'évaporation bac EV.

Le facteur de variation le plus important semble la durée du cycle (91) : on peut constater sur la figure 1 le bon ajustement linéaire de ETM en fonction de la durée du cycle ; seules les mesures réalisées en 1970 et 1972 au Sénégal sont aberrantes, mais elles seraient notablement surestimées (DANCETTE, communication orale, août 1979) du fait d'une trop forte advection.

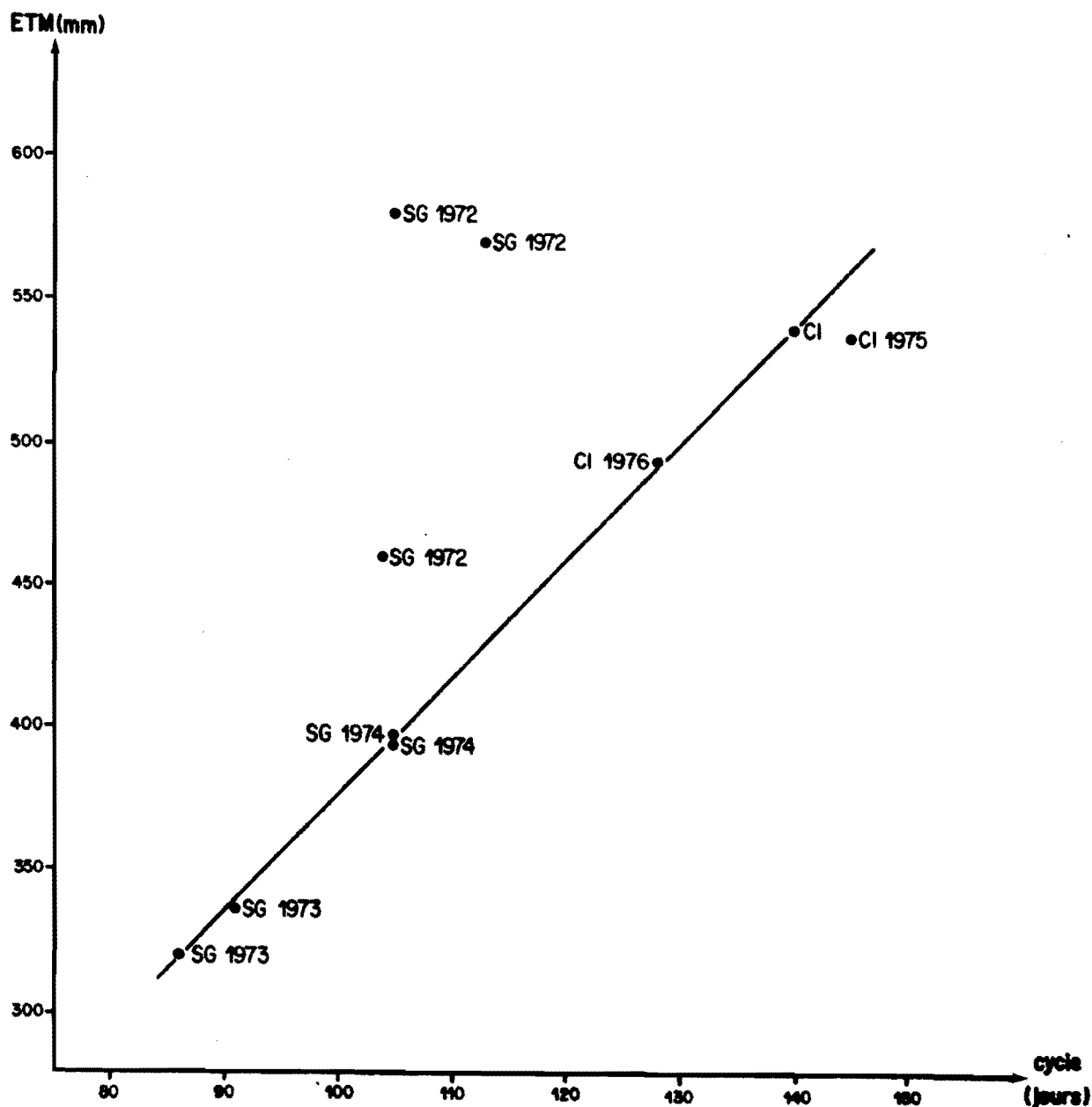
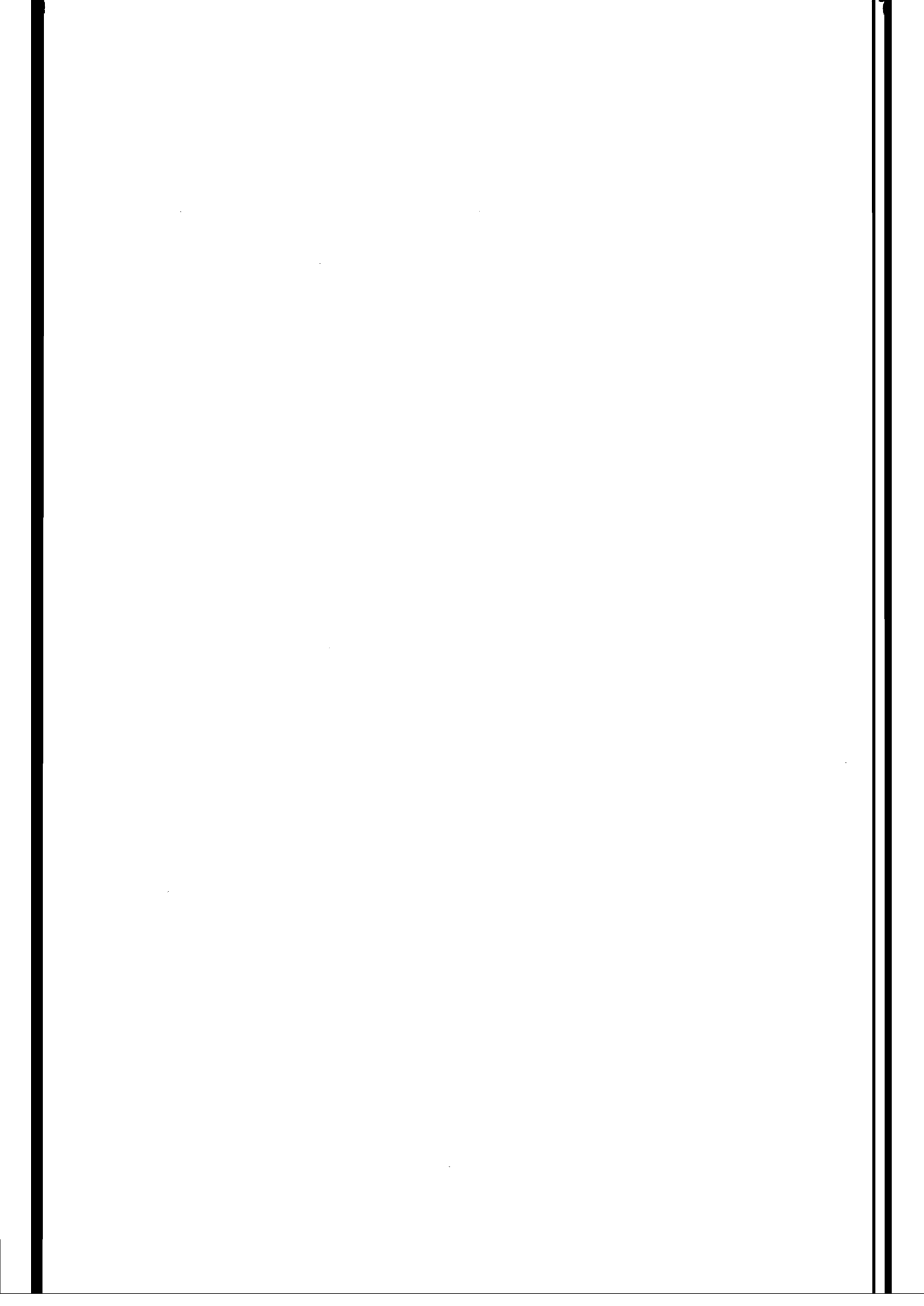


FIGURE 1 : Evapotranspiration maximum en fonction de la durée du cycle
D'après KALMS JM. 1980(91).



On peut noter que pour la variété 63-83 à Djibélor et la variété Moroberekan à Tombokro, la consommation d'eau journalière moyenne sur le cycle est sensiblement la même (3,76 et 3,86 mm par jour) (6).

A Bouaké en 1979 (11), on admet comme valeur moyenne de l'ETM du riz pluvial 475 mm répartis de la façon suivante au cours du cycle :

- 0- 20 jours après semis (installation)	=	50 mm
- 20- 70 jours après semis (tallage)	=	140 mm
- 70-120 jours après semis (phase reproductrice)	=	250 mm
- 120-130 jours après semis (maturation)	=	35 mm

La consommation journalière en eau du riz n'est pas uniforme pour tout le cycle : ainsi on a mesuré en Côte d'Ivoire l'ETM du riz à différents stades phénologiques (tableau III).

Tableau III : Evolution de l'ETM du riz pluvial (en mm/jour) au cours du cycle - D'après KALMS J. M. et MONTENY B. (4) -

Variété Moroberekan

(:	:	:	:)	
(	Phase phénologique	: 0-40 JAS	: 40-80 JAS	: 80-110 JAS	: 110-145 JAS)
(-----	-----	-----	-----	-----)
(	E T M (en mm)	: 3,1	: 3,2	: 4,5	: 4,3)
(-----	-----	-----	-----	-----)
(	JAS = jours après semis)

Variété IRAT 13

(:	:	:	:)	
(	Phase phénologique	: 0-40 JAS	: 40-80 JAS	: 80-110 JAS	: 110-145 JAS)
(-----	-----	-----	-----	-----)
(	E T M (en mm)	: 2,4	: 3,9	: 5,7	: 3,2)
(-----	-----	-----	-----	-----)
(	JAS = jours après semis)

On constate que les besoins en eau du riz augmentent progressivement au cours du cycle, passent par un maximum correspondant approximativement à la phase montaison-épiaison, puis s'abaissent à nouveau en fin de cycle.

Les besoins en eau globaux du riz pluvial ne sont pas spécialement élevés et sont inférieurs à la pluviosité annuelle totale des zones traditionnelles de culture.

Pluviosité totale et besoins en eau sur tout le cycle sont des paramètres nécessaires mais insuffisants pour comprendre les relations eau-sol-riz pluvial et pour choisir les sites de culture.

L'isohyète considérée comme minimale pour la culture du riz pluvial a d'ailleurs varié au cours de l'avancement des recherches. Il y a une quinzaine d'années on estimait que l'isohyète 1 300 mm était un minimum ; l'expérience a montré que des rendements satisfaisants pouvaient être obtenus dans les régions à 800 ou 900 mm (18) et on verra plus loin qu'une pluviosité encore plus faible, mais bien répartie, peut aussi donner de bons résultats. Une répartition monomodale des pluies est préférable à une distribution bimodale, où, malgré un total supérieur, la variabilité interannuelle est plus importante.

Certains auteurs (12) considèrent qu'il y a période de sécheresse si la pluviosité est :

- inférieure à la moitié de l'évapotranspiration potentielle (ETP) pendant une période de 12 jours au moins durant l'intervalle semis-initiation paniculaire ;
- inférieure à l'ETP pendant une période d'au moins 6 jours durant l'intervalle initiation paniculaire-maturité.

1.12 - Périodes de sensibilité à la sécheresse

Outre la détermination des besoins en eau du riz, l'IRAT a étudié le comportement du riz soumis à des sécheresses d'intensité donnée, à différentes phases du cycle.

Ces études ont été menées à la station de Bambey (Sénégal) pendant deux années de suite (1972 et 1973), sur deux variétés 63-83 et I Kong Pao (9) ; elles ont été réalisées en serre, en vase de végétation, sur sol rouge de plateau en 1972 (sol faiblement ferrallitique) et sur sol beige de pente en 1973 (sol ferrugineux tropical lessivé) dont les caractéristiques hydriques sont connues (9).

Le traitement témoin est placé en permanence à un niveau d'alimentation situé entre la capacité de rétention et la saturation (réajustement journalier).

Sept traitements sécheresse : les apports sont seulement la moitié de ceux du traitement témoin, pendant 15 jours : le premier traitement commence 8 jours après le semis, on obtient ainsi des périodes de sécheresse décalées de 15 en 15 jours :

traitement I : 7 - 21e jour,

traitement II	:	21 - 36e jour,
traitement III	:	36 - 52e jour,
traitement IV	:	52 - 66e jour,
traitement V	:	66 - 80e jour,
traitement VI	:	80 - 96e jour,
traitement VII	:	96 - 110e jour.

Un traitement de saturation qui consiste à maintenir une lame d'eau de 3 à 4 cm depuis le moment où les plantes ont environ 10 cm de haut jusqu'à la fin du cycle.

Cet essai a permis de mettre en évidence que le stade de plus grande sensibilité à la sécheresse c'est-à-dire celui pour lequel un déficit hydrique pénalise le plus le rendement se situe approximativement pour les deux variétés étudiées autour de l'épiaison ; la durée de cette phase de plus grande sensibilité apparaît variable suivant les variétés, elle est de 28 jours pour I Kong Pao et de 15 jours seulement pour 63-83.

Cette phase de plus grande sensibilité correspond également à la phase où les besoins en eau sont les plus élevés ; la satisfaction des besoins en eau du riz à ce stade nécessite donc une plus forte quantité d'eau qu'à d'autres moments du cycle et un déficit pénalise la culture au maximum.

Enfin un stress hydrique modéré (0,5 ETM) pendant les 15 derniers jours du cycle n'influence pas le rendement final ; il est donc possible de décaler la culture pour que la récolte coïncide avec la fin espérée des pluies, des pluies abondantes à la récolte pouvant être préjudiciables.

1.13 - Relation entre besoins en eau du riz et demande climatique : les coefficients culturaux

Une approche classique des besoins en eau des plantes consiste à établir, pour chaque stade de culture et chaque zone climatique, des coefficients culturaux K avec

$$K = \frac{E T M}{E T P}$$

De nombreuses études de bioclimatologie ont été réalisées par l'IRAT, principalement au Sénégal (3) (21), pour estimer la demande évaporative ; d'autres organismes (ORSTOM, FAO, IITA) ont beaucoup travaillé cette question (3) dans l'ensemble de l'Afrique tropicale de l'Ouest.

L'estimation de la demande évaporative (ETP) peut se faire de différentes façons (3) :

- estimation par le calcul à l'aide de la formule de Penman ou à l'aide de formules empiriques (Turc, Makking...etc.) ; ces formules empiriques, souvent très valables dans leur zone climatique d'origine, le sont moins dans

d'autres zones et doivent être étalonnées ; de plus, les données météorologiques nécessaires au calcul ne sont pas toujours disponibles, ceci est encore plus flagrant avec la formule de Penman qui demande des données climatiques plus nombreuses et plus complexes ; on peut avoir cependant une estimation assez précise de l'ETP Penman soit à partir d'une mesure de rayonnement global corrigée par les coefficients de Priestley et Taylor étalonnés pour la région, soit par l'estimation simultanée des termes radiatifs (par le rayonnement global) et advectif (par l'évaporomètre Piche) (91) ;

- estimation de la demande évaporatrice par des bacs d'évaporation ; cette mesure est d'exécution très facile ; il importe que le type de bac et les modalités de mesure soient normalisées de façon stricte si l'on veut valablement comparer les données entre elles.

C'est ce dernier type d'estimation qui s'est généralisé à l'heure actuelle à l'IRAT bien que par le passé de nombreuses mesures d'ETP-gazon aient été effectuées dans différentes stations (22) (Tombokro, Bouaké et Ferkessédougou en Côte d'Ivoire ; Séfa au Sénégal ; Mon Caprice à la Réunion).

La généralisation du bac d'évaporation résulte de plusieurs faits :

- facilité d'exécution de la mesure, donc fiabilité et possibilité d'avoir un réseau dense de mesures ;
- des études réalisées au Sénégal (21) ont montré l'existence de relations étroites entre ETP-gazon et évaporation mesurée avec un bac normalisé classe A ; en région Centre en Côte d'Ivoire, il y a une bonne liaison entre ETP Penman et EV bac A pendant la période de culture du riz : $ETP\ Penman = 1,1\ EV\ bac\ A$;
- un réseau dense de mesures d'évaporation bac existe déjà en Afrique anglophone.

Le type de bac adopté est le bac normalisé de classe A.

On peut, de la même façon qu'on a établi des coefficients culturaux $K = \frac{ETM}{ETP}$ établir des coefficients culturaux $K' = \frac{ETM}{EV\ bac}$; le passage des uns aux autres est possible grâce aux relations établies entre évaporation bac et ETP (21).

Une première approche donne au Sénégal (6) (Djibélor - Basse Casamance) pour ces coefficients/bac :

- $K' = 0,35$ à $0,50$ en début de cycle,
- $K' = 1,5$ pendant la phase des besoins maximum,
- $K' = 1,1$ en moyenne sur tout le cycle.

En début de cycle, les besoins en eau et les coefficients K' sont très variables d'une année sur l'autre en fonction de l'installation des pluies qui conditionne l'évaporation au niveau du sol ($0,4$ à $1,32$ dans les essais de Djibélor) ; la variabilité des coefficients K' dans les phases ultérieures

du cycle, bien que moins importante qu'en début de cycle, est cependant non négligeable (figure 3).

Les variations de coefficients culturaux calculés à partir des ETM mesurées à Bouaké pour Moroberekan, Se 349 D et IRAT 13, par rapport à ETP Penman ou EV bac A, semblent moins importantes que dans le cas précédent (91) (figure 2).

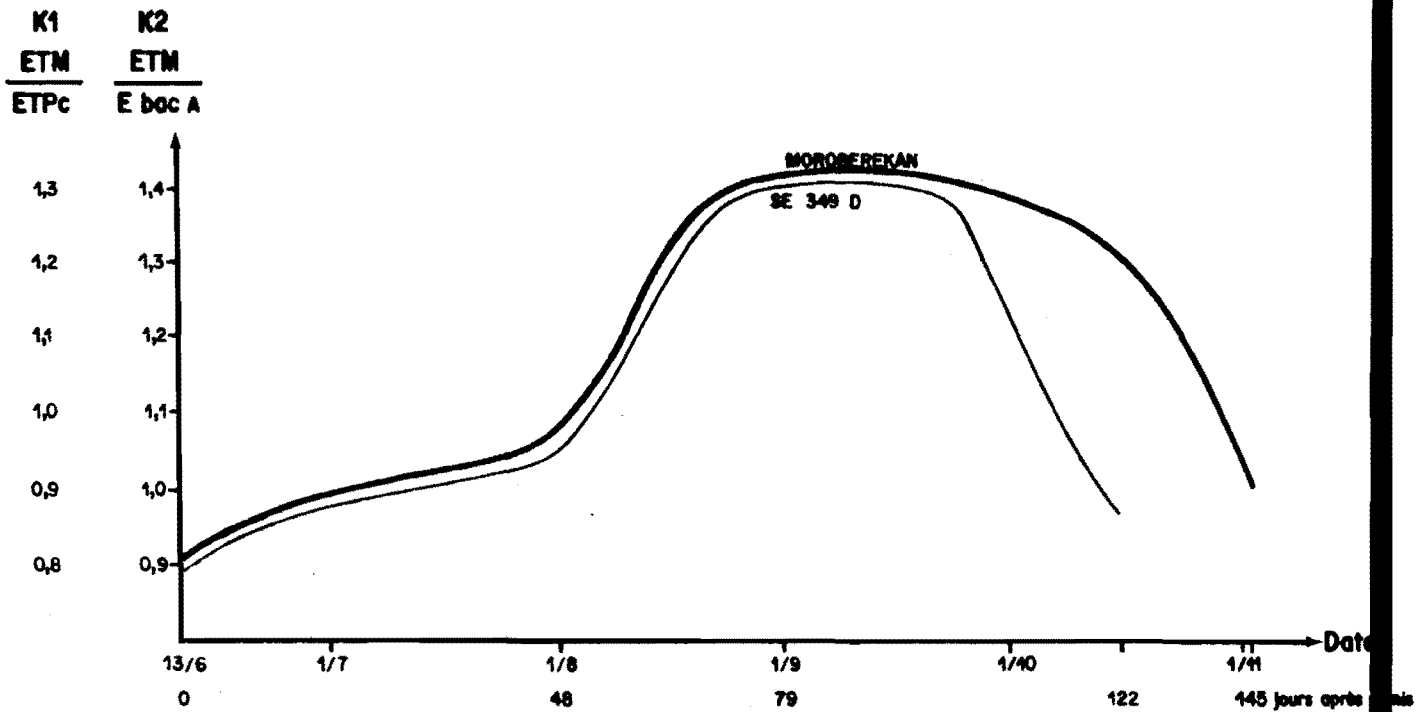
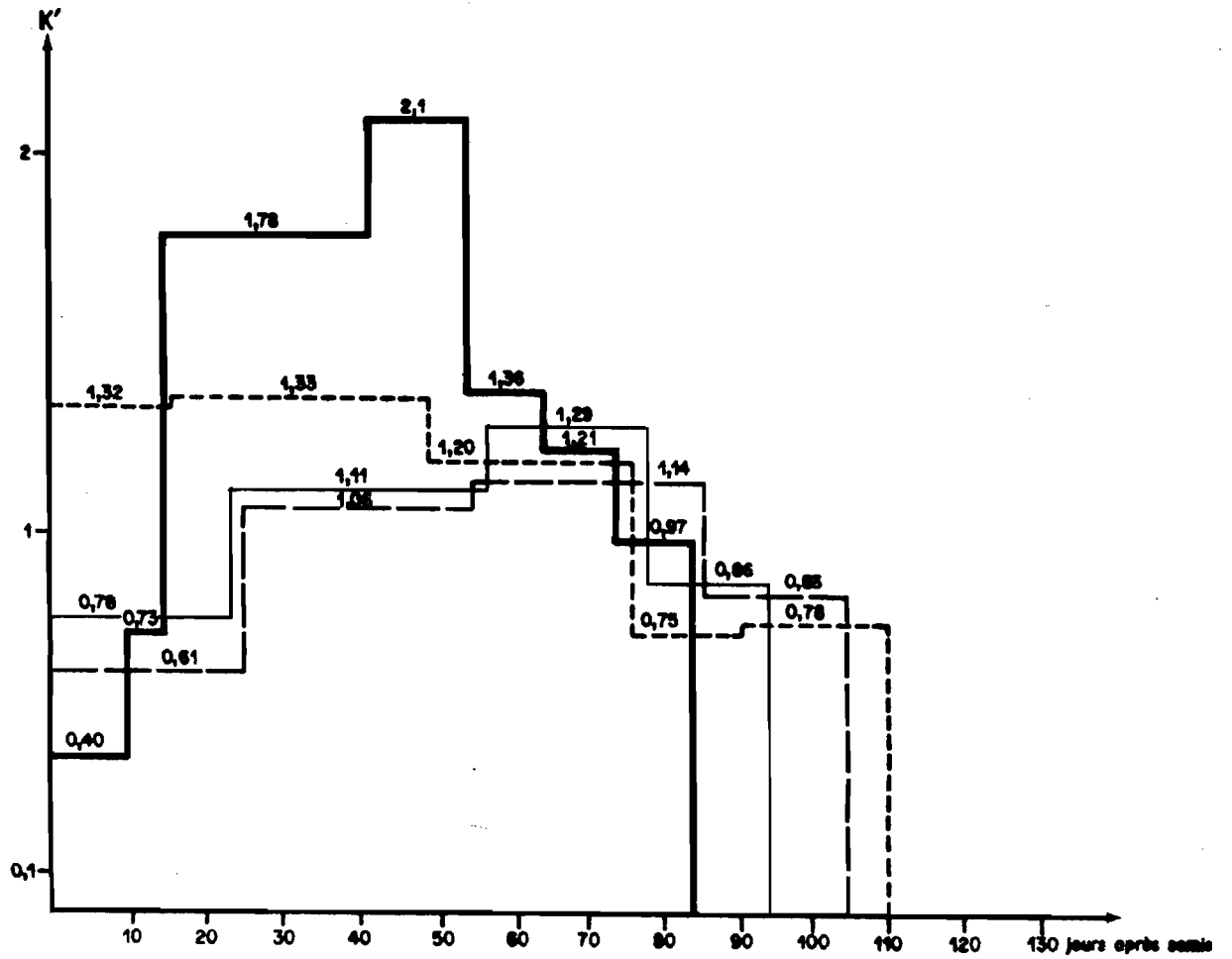


FIGURE 2 : Coefficient cultural ETM de deux variétés de riz pluvial en 1975 à BOUAKÉ, exprimée par rapport à l'évaporation du bac classe A et l'ETPc Penman. D'après KALMS JM. 1980 (91).



- Dourado précoce 1973
- - - 63. 63 et I Kong Pao 1974
- Se 302 G 1975
- - - 144 B9 1976

FIGURE 3 : Evolution des coefficients culturaux/bac du riz pluvial - DJIBÉLOR 1973-1976
D'après DANCETTE C. 1979 (85).

Enfin, on peut signaler qu'en Côte d'Ivoire (Bouaké) on a utilisé un terme de référence climatique autre que l'ETP ou l'évaporation (4) : il s'agit du rayonnement global solaire, G, qui correspond à la quantité d'énergie fournie à la culture ; on établit de la même façon qu'avec l'ETP des coefficients culturaux ETM/G, à partir desquels on peut, connaissant G, déterminer ETM pour une zone donnée (en fait le rayonnement global induit la presque totalité de la variation du terme advectif de la formule de Perman qui explique lui-même les 2/3 de l'ETP Perman).

1.14 - Mesure de la consommation réelle du riz pluvial

La méthode classique de mesure au champ de l'ETR du riz pluvial est celle des cases lysimétriques : une méthode moins destructrice et moins lourde à mettre en oeuvre, permettant de mesurer les taux d'extraction racinaire, a été mise au point en Côte d'Ivoire (26) (82) (83) ; elle est basée sur l'utilisation couplée d'une sonde à neutrons et d'une série de tensiomètres placés à différentes profondeurs ; cette méthode permet en outre d'étudier la variabilité spatiale du sol et de la culture (82).

1.2 - ANALYSE DU COMPORTEMENT DU RIZ EN FONCTION DE SON ALIMENTATION HYDRIQUE

1.21 - Action d'un déficit hydrique à différents stades de développement

L'essai réalisé à Bambey (9) sur I Kong Pao et 63-83 a permis non seulement de connaître la phase de plus grande sensibilité du riz, mais aussi la répercussion des différents traitements sécheresse sur la croissance et le développement :

- la taille des plantes est affectée de façon notable par un déficit hydrique précoce (7 - 21e jour) (traitement I), mais ce retard de croissance est rattrapé assez rapidement ; les déficits hydriques situés entre 21 - 36e jour 36 - 52e jour (traitement II, III, IV) ont également une incidence sur la taille des plantes, compensée assez bien pour les traitements II et III, moins pour le traitement IV.

- le tallage est retardé par des déficits hydriques précoces (7 - 36e jour), la compensation ultérieure est meilleure chez I Kong Pao que chez 63-83.

- la production de matière sèche est affectée de façon importante par presque tous les traitements, sauf par un déficit hydrique précoce (7 - 21e jour) ou tardif (96 - 110e jour), la sécheresse au stade montaison (52 - 66e jour) est la plus pénalisante.

- l'épiaison est retardée pour tous les traitements-sécheresse qui la précèdent ; ce retard se traduisant par le nombre de panicules final est mieux compensé chez I Kong Pao que chez 63-83.

- le nombre d'épillets total (épillets vides et pleins) varie comme le nombre de panicules final ; il est diminué chez la variété 63-83 par les traitements-sécheresse du 21e au 80e jour.

- le remplissage des épillets est très affecté chez I Kong Pao pour des stress hydriques intervenant entre le 52e et le 80e jour ; il l'est également mais dans une moindre mesure, par des sécheresses plus précoces (21 - 36e jour) ; le taux de remplissage semble moins diminué chez 63-83.

La diminution de rendement observée à la suite de déficits hydriques peut donc résulter de différents phénomènes : réduction du nombre final d'épillets ou mauvais remplissage des épillets.

L'incidence d'un déficit hydrique sur le riz pluvial a également été étudiée, dans des conditions différentes de l'essai précédent, à Tombokro (Côte d'Ivoire), sur deux variétés, IR5 et Moroberekan, cultivées en champ et soumises à plusieurs périodes de sécheresse de courte durée (stades tallage, latence et montaison) (10). On compare simplement un traitement "sécheresse" à un traitement "témoin irrigué". On retrouve également une action du traitement "sécheresse" sur la hauteur de plante et sur le tallage pour les deux variétés testées et sur la date d'épiaison et le rendement en grain (diminution du nombre d'épillets par panicule et du taux de remplissage des épillets) pour la variété IR 5 (10).

Enfin, de nombreuses observations ont été réalisées entre 1973 et 1977 en Côte d'Ivoire (13) (14) (15) (16) sur de nombreuses variétés soumises à une sécheresse située généralement vers la période de plus grande sensibilité (montaison-épiaison) ; ces essais sont réalisés en champ pendant la saison sèche, l'alimentation hydrique étant assurée par irrigation par aspersion. On retrouve globalement les mêmes effets de la sécheresse sur les plantes qu'au Sénégal.

1.22 - Analyse des rendements du riz en fonction de la pluviosité

Cette analyse est évidemment très complexe puisque de nombreux facteurs interviennent dans l'élaboration du rendement. L'approche la plus simple consiste à établir la courbe des rendements en fonction de la pluviosité ; dans le cas des sols hardés du Nord Cameroun (sols très perméables) (86), une liaison simple existe entre pluviométrie totale et rendement du riz (figure 4).

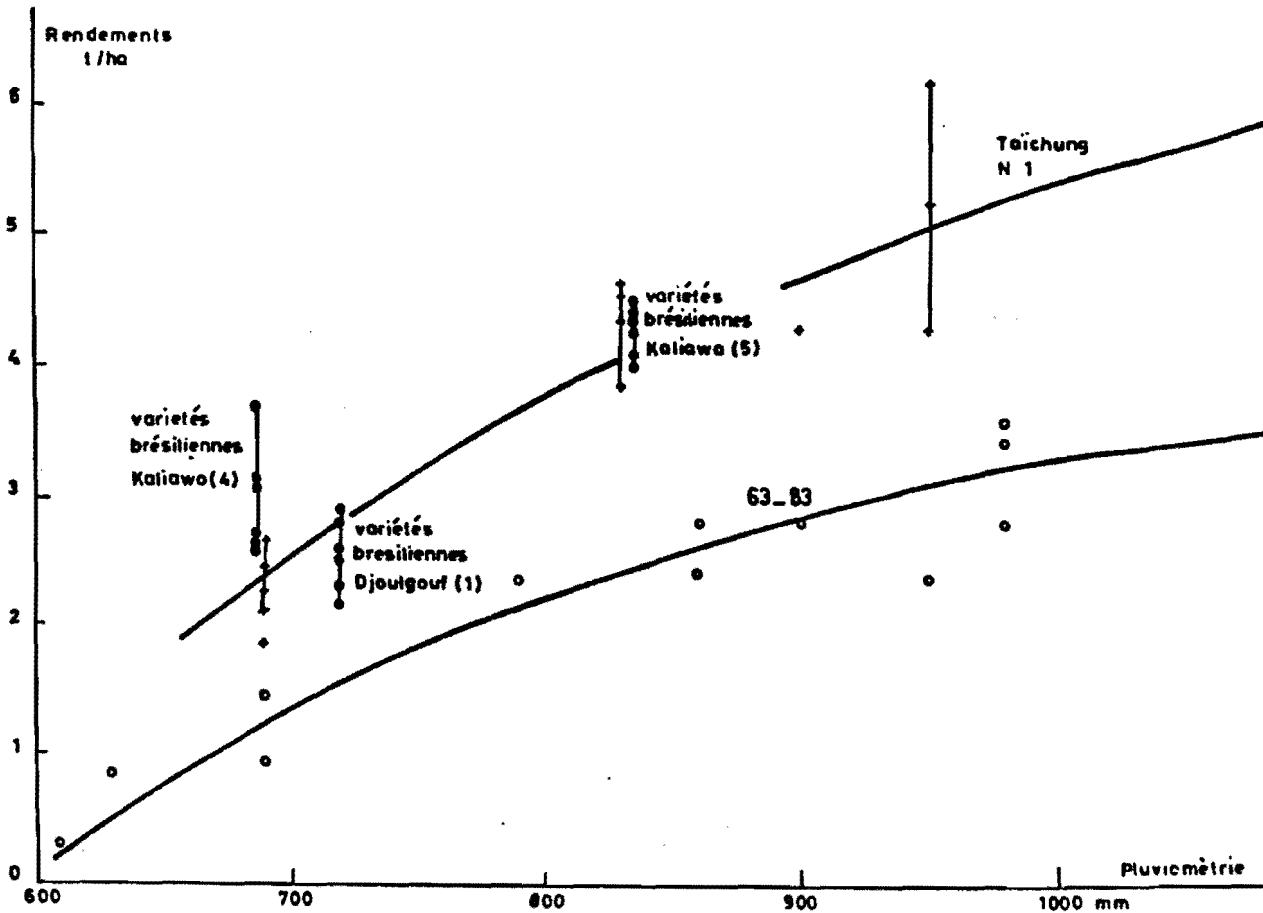


Figure 4 : Rendements de diverses variétés en fonction de la pluviométrie sur sol hardé au Nord-Cameroun.
- D'après GUI S R., 1976 (86) -

Par contre en sols drainants, tels les sols ferralitiques gravillonnaires de Côte d'Ivoire, aucune liaison simple n'apparaît en raison des pertes importantes et aléatoires (40 à 60 %) par drainage (11) bien que la variation pluriannuelle très forte des rendements (0 à 3,5 t/ha sur 12 ans d'expérimentation de 1967 à 1978) soit essentiellement fonction de la pluviométrie.

C'est pourquoi on a eu recours dans ce cas là, qui constitue la situation normale en riziculture pluviale, à une analyse plus fine mettant en relation la pluviométrie et le rendement pour les principales phases du cycle ; on a pu ainsi définir pour chacune d'elle un seuil de satisfaction des besoins en dessous duquel le rendement paraît diminuer sensiblement :

- installation 0 - 20 JAS $\frac{P \text{ cumulée}}{ETM} = 1$
- tallage 20 - 27 JAS $\frac{P \text{ cumulée}}{ETM} = 0,7 \text{ et } 1$

- phase reproductive	70 - 120 JAS	$\frac{P \text{ cumulée}}{ETM} = 1$
- phase de maturation	120 - 130 JAS	$\frac{P \text{ cumulée}}{ETM} = 0,5$

(JAS = Jours Après Semis)

Dans les conditions de Bouaké, on constate que l'installation de la culture se fait généralement avec un statut hydrique satisfaisant (1 an sur 11 inférieur au seuil seulement) alors que pour les trois autres phases, le seuil n'est pas atteint 5 ou 6 années sur 11. Enfin, c'est surtout le cumul des périodes de sécheresse qui fait chuter le rendement. Il faut cependant remarquer que certaines années, comme 1968 et 1971 qui présentent une pluviométrie suffisante et même parfois excédentaire pour les quatre périodes du cycle définies plus haut, n'en ont pas pour autant les meilleurs rendements. C'est l'année 1974, où il n'y a ni déficit ni excès, qui donne le meilleur rendement ; ce phénomène semble d'ailleurs assez général et se vérifie sur d'autres cultures pluviales (arachide, mil, niébé au Sénégal).

Tableau IV : Comparaison entre la pluviométrie "P" et les besoins en eau du riz "ETM" aux différentes phases du cycle du riz de 1967 à 1978 - D'après KALMS J.M. (11) -

(	: 0-20	: 20-70	: 70-120	: 120-130	: Total	: Pluie	: Rendement				
(	: JAS	: JAS	: JAS	: JAS	: pluie	: utile	: men				
(	: P	: P/	: P	: P/	: (mm)	: (mm)	: q/ha				
(	: (mm)	: ETM	: (mm)	: ETM	: (mm)	: (mm)	: q/ha				
(	: (mm)	: ETM	: (mm)	: ETM	: (mm)	: ETM	: (mm)				
(1974	: 80	: 1,6	: 230	: 1,64	: 290	: 1,16	: 20	: 0,6	: 620	: 460	: 34,5
(1970	: 56	: 1,1	: 125	: 0,89	: 538	: 2,15	: 7	: 0,2	: 725	: 420	: 25,0
(1975	: 111	: 2,2	: 140	: 1,00	: 272	: 1,09	: 4	: 0,1	: 525	: 415	: 24,5
(1977	: 50	: 1,0	: 75	: 0,54	: 517	: 2,07	: 70	: 2,1	: 710	: 400	: 23,2
(1968	: 243	: 4,9	: 340	: 2,43	: 258	: 1,03	: 125	: 3,8	: 965	: 475	: 22,0
(1971	: 130	: 2,6	: 150	: 1,07	: 407	: 1,63	: 60	: 1,8	: 745	: 475	: 17,5
(1976	: 92	: 1,8	: 80	: 0,57	: 203	: 0,81	: 37	: 1,1	: 410	: 365	: 15,5
(1978	: 89	: 1,7	: 48	: 0,34	: 187	: 0,75	: 26	: 0,74	: 350	: 310	: 10,5
(1972	: 106	: 2,1	: 48	: 0,34	: 206	: 0,82	: 9	: 0,25	: 370	: 310	: 6,2
(1969	: 40	: 0,8	: 93	: 0,66	: 236	: 0,94	: 0	: 0	: 370	: 350	: 1,0
(1967	: 134	: 2,7	: 63	: 0,45	: 305	: 1,22	: 15	: 0,4	: 515	: 370	: 1,0
(: -----	: -----	: -----	: -----	: -----	: -----	: -----	: -----	: -----	: -----	: -----
(Moyenne sur	: 103	: 2,6	: 127	: 0,90	: 311	: 1,24	: 34	: 1,0	: 575	: 460	: 16,5
(11 ans	: :	: :	: :	: :	: :	: :	: :	: :	: :	: :	: :
(: -----	: -----	: -----	: -----	: -----	: -----	: -----	: -----	: -----	: -----	: -----
(ETM	: 50	: 140	: 250	: 35	: 475	: :	: :	: :	: :	: :	: :
((mm)	: :	: :	: :	: :	: :	: :	: :	: :	: :	: :	: :
(: -----	: -----	: -----	: -----	: -----	: -----	: -----	: -----	: -----	: -----	: -----
(seuils	: 1,0	: 0,7 et 1,0	: 1,0	: 0,5	: :	: :	: :	: :	: :	: :	: :
(: :	: :	: :	: :	: :	: :	: :	: :	: :	: :	: :

JAS = Jours Après Semis.

Cette étude a été poursuivie (81) en utilisant un modèle de simulation du bilan hydrique qui a permis d'établir une courbe de réponse au déficit hydrique c'est-à-dire la courbe des rendements obtenus en fonction de la satisfaction des besoins en eau (rapport $\frac{ETR}{ETM}$) pendant la période fin tallage-initiation paniculaire (figures 5 et 6), période qui correspond 13 années sur 19 à un déficit hydrique, du à la répartition bimodale des pluies à Bouaké.

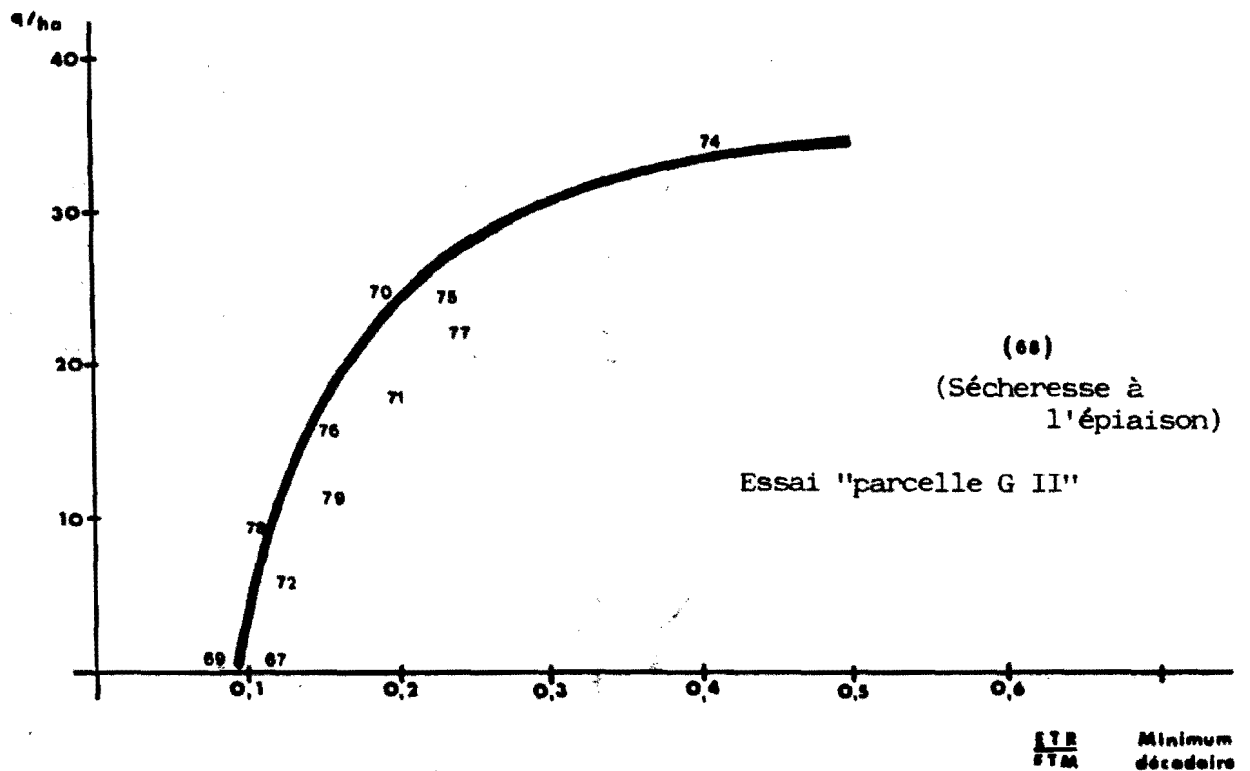


Figure 5 : Production de riz pluvial en fonction de la pluviométrie pendant une période de 15 jours : fin tallage et initiation paniculaire. Essai dit "Parcelle G II" - fumure forte.
- D'après FOREST F. et KALMS J.M., 1980 (81) -

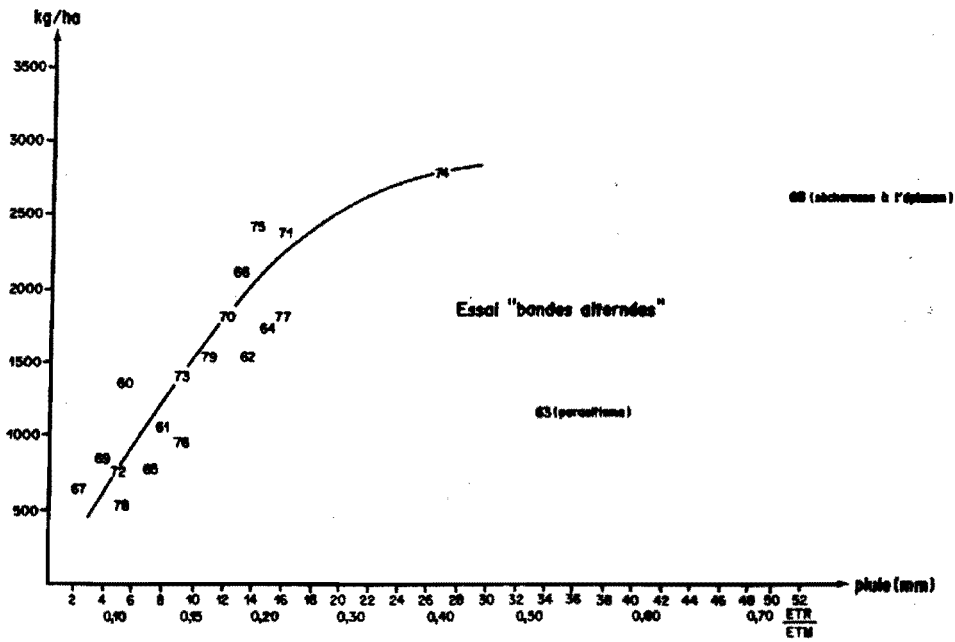


FIGURE 6 : Production de riz pluvial en fonction de la satisfaction des besoins en eau pendant une période de 15 jours : fin tallage et initiation paniculaire. Essai dit "Bandes alternées". D'après FOREST F. et KALMS JM. 1980(81).

On remarque d'après ces courbes de réponse que même les rendements les plus élevés, supérieurs à 3 000 kg/ha, sont atteints malgré un déficit de 60 % à l'initiation paniculaire ; en dessous d'un déficit de 80 %, la chute des rendements est très rapide.

L'analyse des rendements de riz suivant la pluviosité a été réalisée aussi par l'étude des corrélations entre le rendement et la quantité de pluie reçue pendant des intervalles de temps plus ou moins longs, mais toujours compris entre 40 jours avant l'épiaison et 30 jours après (période approximative de sensibilité) (17) ; cette étude a porté sur 21 variétés, cultivées en collection 6 années au moins et 9 au plus. En fait ces corrélations sont rarement significatives et sont très variables, pour un même intervalle et pour les diverses variétés ; elles sont souvent négatives pour les périodes postérieures à l'épiaison.

1.3 - CHOIX DES SITES DE CULTURE D'APRES DES CRITERES CLIMATIQUES

Pour effectuer ce choix, deux méthodes ont été utilisées par l'IRAT :

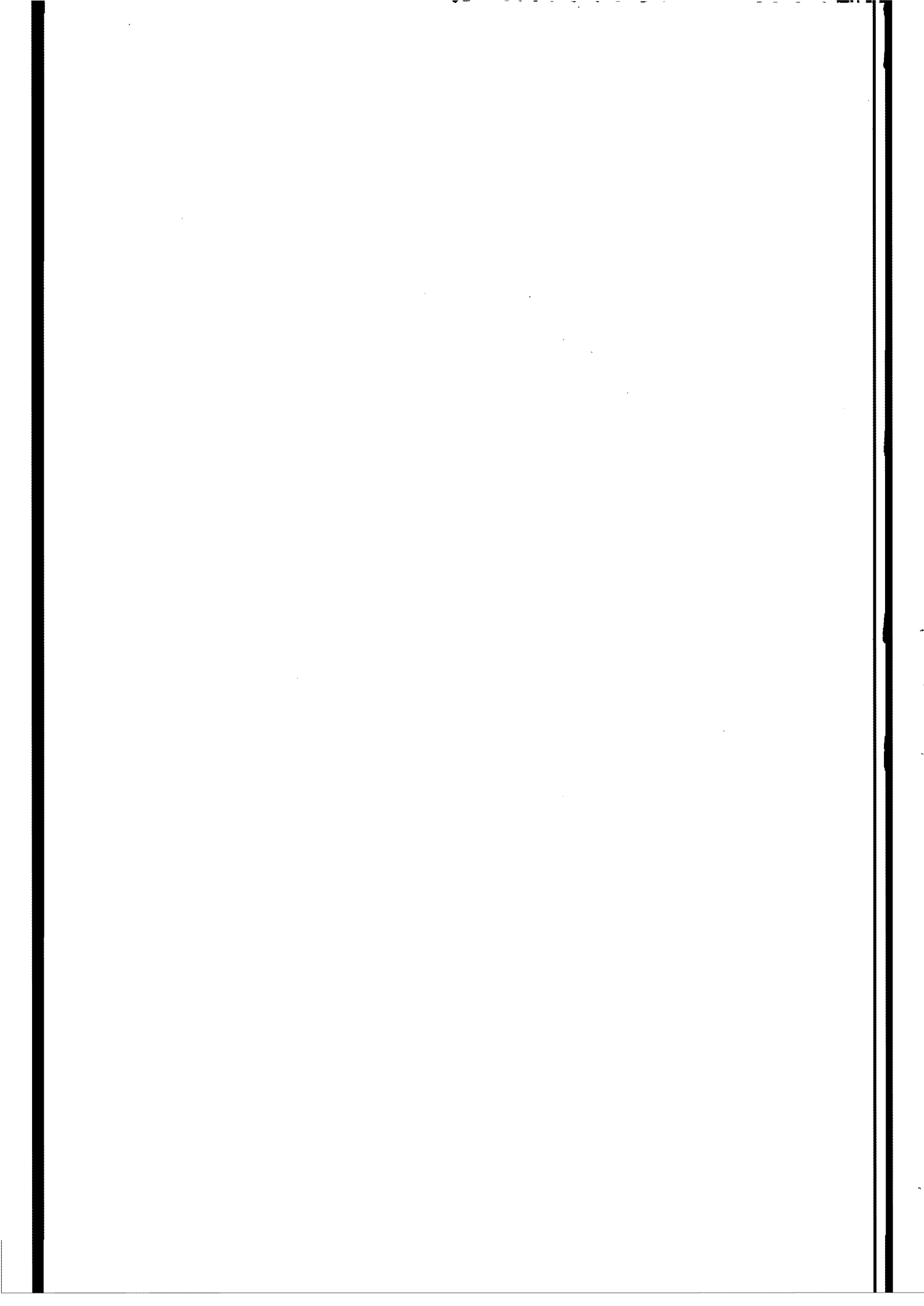
- détermination des caractéristiques climatiques communes des zones où l'on sait par expérience que les rendements en riz pluvial sont élevés et extrapolation aux zones climatiques similaires ;
- mise en correspondance des besoins en eau estimés ou théoriques du riz pluvial avec les disponibilités climatiques de la zone étudiée.

1.31 - Caractéristiques pluviométriques des zones de culture

La pluviosité des zones de riziculture pluviale se présente sous un éventail assez large (1) (tableau V).

On note toutefois que la pluviosité totale n'est pas inférieure à 1 000 mm par an ; certains auteurs (24) considèrent la riziculture pluviale comme submarginale en dessous de 1 000 mm/an, marginale entre 1 000 et 1 300 mm/an et moyenne entre 1 300 et 1 600 mm/an ; au dessus de 1 600 mm, la quantité de précipitation cesserait d'être un facteur contraignant.

Il semble cependant hasardeux d'avancer une limite impérative, la régularité des pluies étant un facteur non moins important que leur quantité totale.



1.32 - Raisonnement par analogie avec des zones connues

Cette méthode a été utilisée pour déterminer, au niveau mondial, les régions tropicales isoclimatiques de certaines stations africaines où la culture du riz pluvial est pratiquée avec succès (19).

Les stations de référence choisies sont :

- Dschang (Cameroun) pour les zones à deux cycles culturels par an ; les critères climatiques retenus sont une pluviométrie annuelle supérieure à 1 600 mm avec 7-8 mois présentant une pluviométrie supérieure à 100 mm et une température moyenne supérieure à 20° C ;
- Bobo Dioulasso (Haute-Volta) et Ziguinchor (Sénégal) pour les zones à un cycle de culture ; les critères climatiques retenus sont une pluviométrie totale de 1 100 à 1 500 mm avec 4-5 mois présentant une pluviométrie supérieure à 100 mm et une température moyenne supérieure à 20° C. On a ensuite défini les grandes zones où la riziculture pluviale est envisageable (carte 1).

Ce type d'étude a été également menée par la SATEC*, mais uniquement pour l'Afrique tropicale (20) et dans le but de déterminer des régions à haut potentiel de rendement en riz pluvial, similaires à celle de l'Ouest Cameroun où de bons rendements ont été obtenus en expérimentation.

La comparaison des caractéristiques pluviométriques de 3 points d'essais de cette région à deux cycles culturels possibles (Nyombé, Santchou et Béfang), ou à un cycle culturel possible (Balikoumbat, Fombot et Dschang) a permis d'établir les critères suivants :

- zones à double culture : 6 mois consécutifs avec une pluviométrie supérieure à 200 mm, précédés ou suivis d'un mois avec 150 mm et d'un mois avec 100 mm ;
- zones à 1 cycle : 4 mois consécutifs avec une pluviométrie supérieure à 200 mm.

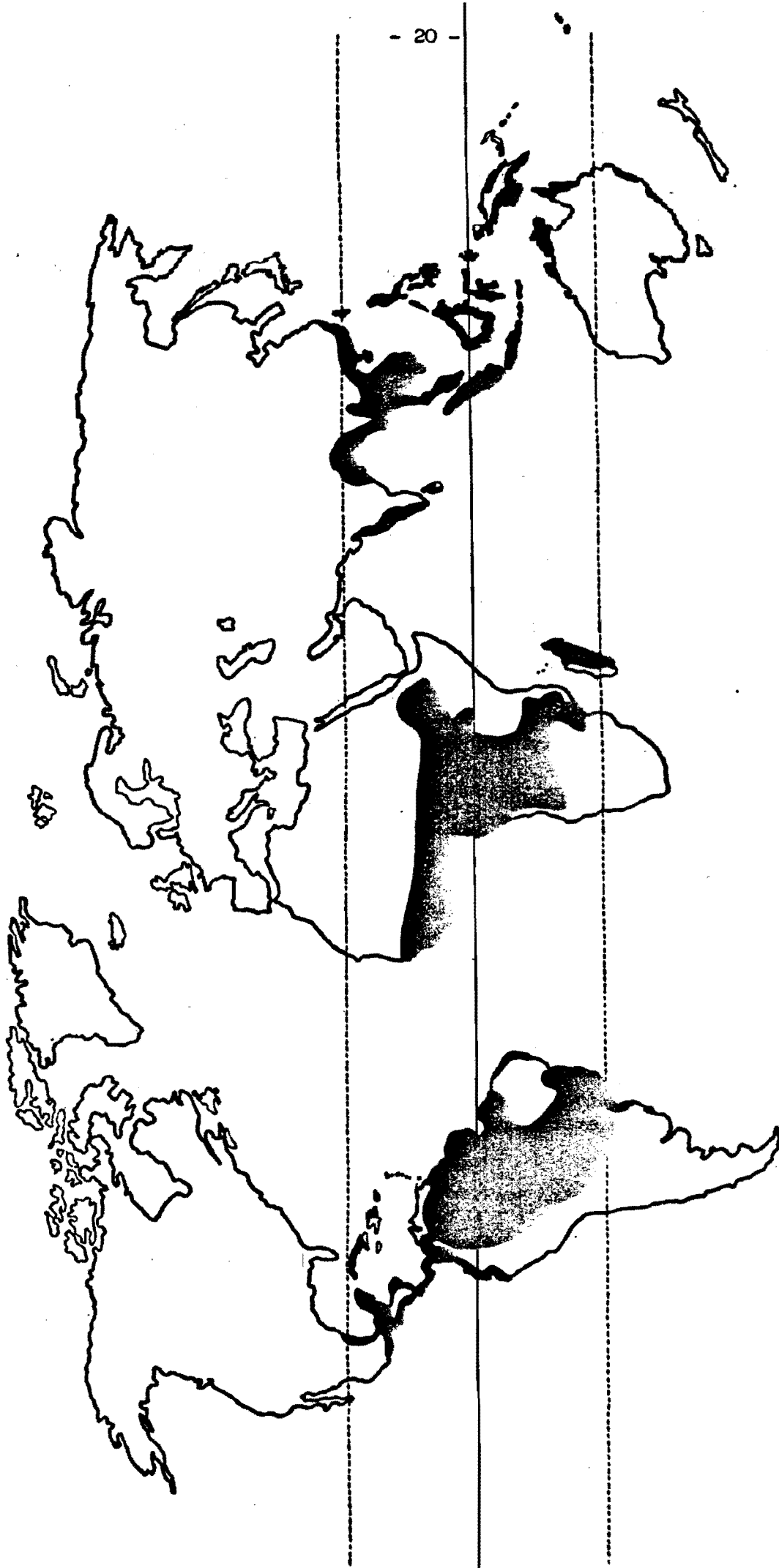
De plus, les précipitations doivent présenter une certaine régularité : le nombre minimum de jours de pluie mensuel doit être de 10 pendant tout le cycle (maturation exclue) et de 13 pendant les 2 mois encadrant la floraison.

Les températures minima moyennes doivent être supérieures à 18° C et l'insolation globale supérieure à 500 heures pour un cycle de 4 mois.

La confrontation de ces critères avec les données météorologiques disponibles a permis d'établir un zonage pour les pays d'Afrique, concrétisé par des cartes ; ont été distinguées :

- les zones où 2 cycles sont envisageables,
- les zones très favorables pour 1 cycle,
- les zones où 1 cycle est envisageable en année moyenne.

*SATEC : Société d'Aide Technique et de Coopération.



CARTE 1 : AIRE POSSIBLES DE CULTURE DU RIZ FLUVIAL

- D'après IRAT (19) -

Ce raisonnement par analogie ne peut s'appliquer qu'à un zonage relativement grossier, au niveau mondial ou régional ; les auteurs de ces études précisent d'ailleurs qu'elles doivent être complétées au niveau local par des observations plus fines permettant par exemple de prendre en compte la régularité des pluies.

1.33 - Raisonnement par analyse de l'offre (facteurs climatiques) et de la demande en eau (besoins du riz)

On considère généralement les principales phases du cycle où les besoins en eau journaliers sont différents.

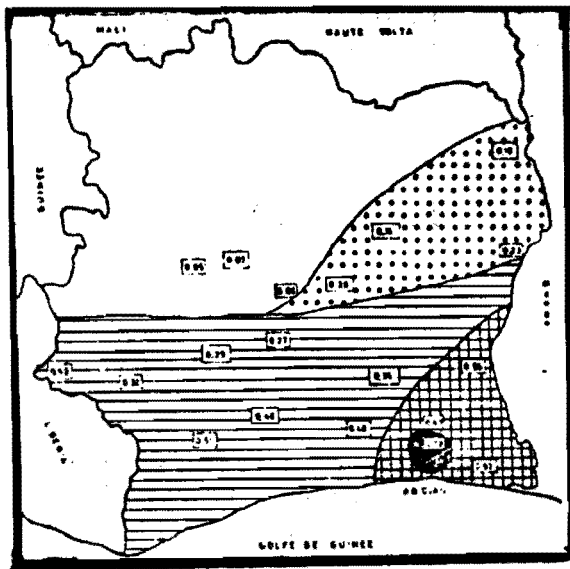
Pour le zonage de l'Afrique tropicale (20) l'analyse de l'offre et de la demande a été faite en parallèle avec l'étude par analogie ; on a distingué 4 phases : semis, tallage, floraison, maturité pour lesquelles les coefficients culturaux : $\frac{ETM}{ETP}$ sont respectivement de 0,5, 1, 1,2 et 0 ; on obtient les besoins en eau en prenant pour ETP une estimation par excès ; pour diminuer les risques, on a finalement majoré les hauteurs d'eau mensuelles nécessaires et prolongé la période pluvieuse de part et d'autre du cycle (on peut noter pour mémoire que les critères ainsi obtenus sont moins sévères que ceux obtenus par analogie).

Pour des études de zonage au niveau d'un pays, le découpage doit être plus fin ; c'est généralement des périodes de 6 jours qui sont adoptées car on admet couramment qu'une sécheresse est pénalisante à partir de cette durée de plus, en raison de la grande variabilité interannuelle des pluies en zone tropicale, il semble assez illusoire de comparer simplement les hauteurs pluviométriques moyennes aux besoins et on a été amené à raisonner en probabilité de pluies, ce qui a conduit aux études fréquentielles des pluies.

Des études conduites au Sénégal sur le mil ont abouti à l'établissement de lignes d'équi-probabilité pour que les conditions hydriques soient favorables à la culture (3) ; cette cartographie pourrait être appliquée à d'autres régions, pour la culture du riz pluvial. L'IITA prévoit d'effectuer la zonation agroécologique de l'Afrique à partir d'une étude fréquentielle des pluies (2).

Une étude fréquentielle a été effectuée pour la riziculture pluviale en Côte d'Ivoire (23), sur des périodes de 6 ou 12 jours glissant de 3 en 3 jours ; pour chaque période, la probabilité de la hauteur de pluies peut être ajustée à une loi gamma incomplète (ou loi de Pearson III), dont on calcule les paramètres à partir des données pluviométriques journalières recueillies sur un minimum de trente années ; on calcule ensuite des indices correspondant aux produits des probabilités de recevoir plus de 20 mm de pluie sur plusieurs périodes de 12 jours consécutives.

On arrive ainsi à définir un indice global pour chaque poste pluviométrique pour différentes dates de semis et des variétés à cycle court ou à cycle moyen. Les régions dont l'indice global est compris entre 0,5 et 1 sont considérées comme très favorables ou favorables à la riziculture pluviale ; des cartes ont ainsi été établies, pour les cultures de premier et de deuxième cycle (figures 7 et 8).



LEGENDE

0,10	Meilleure valeur de Tt pour une variété à cycle court
	0,75 Tt 1 région très favorable
	0,50 Tt 0,75 région favorable
	0,25 Tt 0,50 région marginale
	0,10 Tt 0,25 région extrêmement marginale
	0 Tt 0,10 région impropre

Figure 7 : Carte d'aptitude climatique à la riziculture pluviale - Premier cycle -
- D'après GIGOU J., 1973 (23) -

LEGENDE

Meilleure valeur de Tt pour une variété
 0,12 .à cycle court (105 jours)
 0,18 .à cycle moyen (130 jours)

	0,75 Tt 1 région très favorable
	0,50 Tt 0,75 région favorable
	0,25 Tt 0,50 région marginale
	0,10 Tt 0,25 région extrêmement marginale
	0 Tt 0,10 région impropre

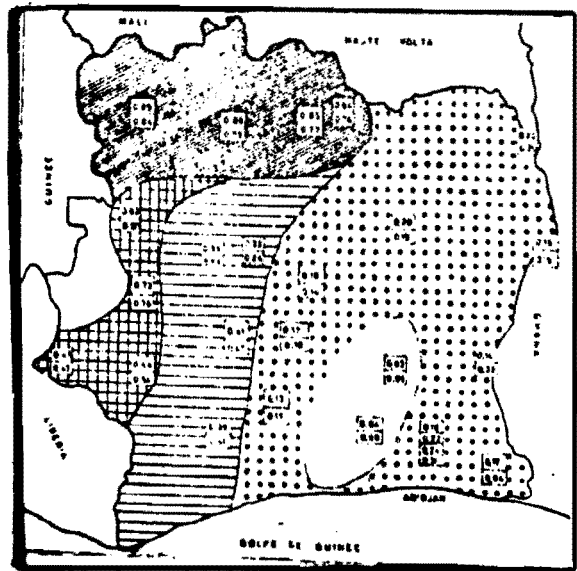


Figure 8 : Carte d'aptitude climatique à la riziculture pluviale - Cycle unique ou deuxième cycle -
- D'après GIGOU J., 1973 (23) -

Cette méthode est bien sûr adaptable à d'autres pays, pour peu qu'on possède les données météorologiques suffisantes.

1.4 - CHOIX DES SITES DE CULTURE D'APRES DES CRITERES PEDOLOGIQUES

Les critères de choix des sols aptes à assurer une alimentation hydrique correcte au riz sont essentiellement la profondeur exploitable par les racines et la réserve en eau utile.

Dans beaucoup de situations de l'Afrique de l'Ouest, la réserve utile est faible, elle est généralement comprise entre 50 et 80 mm (84) (25) ou même moins (1) ; cette faiblesse de la réserve utile résulte de la présence fréquente d'un horizon gravillonnaire ou d'un horizon d'induration limitant la profondeur d'enracinement à 60 ou 80 cm, alors que les sols profonds sont exploités jusqu'à 100 cm (84). Outre la compacité des horizons, leur fertilité chimique semble aussi intervenir sur l'enracinement ; c'est ce qui a été mis en évidence à Bouaké sur la variété OS 6 (28). Enfin la nature des argiles (essentiellement kaolinite) et le fort pourcentage d'éléments grossiers limite souvent la capacité de rétention des sols (1).

Une classification des sols d'après des critères reflétant la réserve utile a été établie (84), l'IRAT s'oriente actuellement vers une cartographie quantitative des sols comportant la réserve hydrique comme critère principal (27) ; la réserve en eau utile sur 100 cm de sol varie de 50 mm pour les sols médiocres (classe 3) à 150 mm pour les sols profonds à texture argilo-sableuse (classe 1). L'importance du facteur réserve hydrique du sol apparaît dans le tableau VI où sont comparés pour deux types de sol les rendements de 2 variétés ; la diminution de rendement en sol médiocre est relativement plus élevée pour une variété améliorée (IRAT 13) que pour une variété traditionnelle (Moroberekan).

Pour le riz pluvial, on admet généralement que la réserve en eau facilement utilisable n'est que le quart ou le tiers de la réserve utile des sols en raison du faible pouvoir d'extraction des racines du riz qui est fonction de la tension de l'eau dans le sol. L'alimentation hydrique du riz pluvial est optimale quand la tension de l'eau, de 0 à 20 cm de profondeur, est inférieure à 150 millibars (1) ; à Tombokro (Côte d'Ivoire) (25), on observe que le flétrissement commence lorsque la tension dans le sol atteint 500 millibars à 20 cm de profondeur ; l'extraction de l'eau du sol chute de façon brutale lorsque la tension avoisine 1 bar.

Le riz a été parfois utilisé avec succès pour la mise en valeur de sols réputés improductifs, à régime hydrique défavorable aux autres espèces cultivées : c'est le cas des sols hardé du Nord Cameroun (86), dont la riziculture améliore leur régime hydrique au point de les rendre cultivables par diverses espèces de culture sèche ; c'est aussi le cas des sols gris de Casamance (87).

Tableau VI : Effet de la réserve en eau utile sur les rendements du riz pluvial - D'après KALMS J. M. (84) -

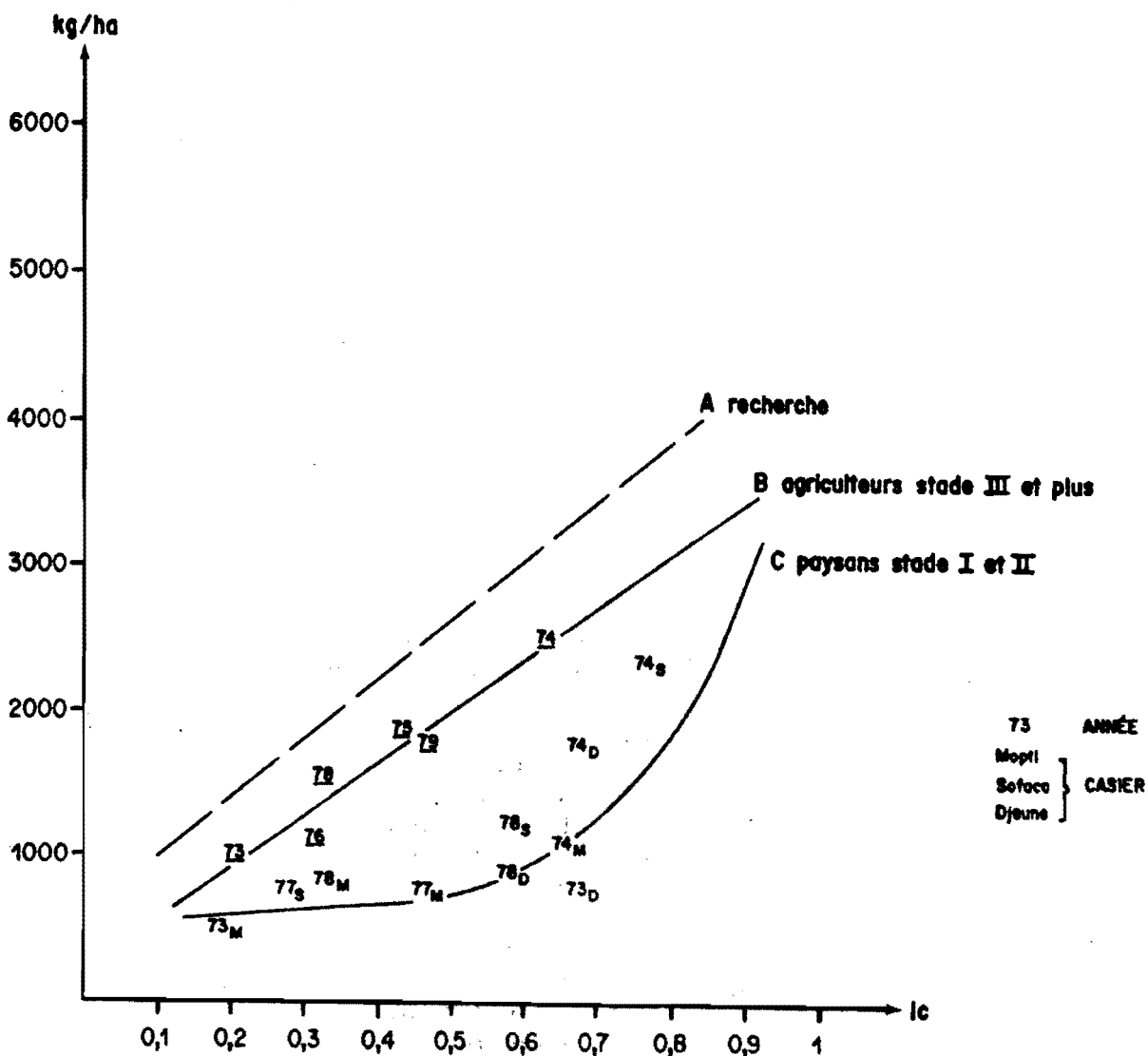
Variété	Année	Sol classe 1 Réserve utile : 150 mm	Sol classe 3 Réserve utile : 60 mm	Pluviométrie du cycle (mm)
		qx/ha:	qx/ha:	
Moroberekan	1976	-	13	490
	1977	22	19	800
	1978	12	8	380
Moyenne		17	13	
		qx/ha:	qx/ha:	
IRAT 13	1976	34	18	490
	1977	50	38	800
	1978	24	10	380
Moyenne		36	22	

1.5 - CHOIX DES SITES DE CULTURE EN ASSOCIANT LES CRITERES PEDOLOGIQUES ET PLUVIOMETRIQUES = MODELISATION DU BILAN HYDRIQUE

Le choix des sites en associant les critères pédologiques et pluviométriques peut être fait par les études fréquentielles de pluviométrie prenant aussi en compte la réserve utile du sol (29) ; connaissant l'évapotranspiration réelle de la culture pour une zone climatique et un stade phénologique donné, et connaissant la réserve hydrique du sol, on peut calculer la probabilité de satisfaction des besoins en eau sur une période donnée (généralement de 10 jours en 10 jours) à partir de l'étude fréquentielle de la pluviométrie sur une séquence de relevés pluviométriques d'au moins trente ans. On peut ainsi définir la probabilité de réussite de la culture et se fixer un seuil de risque.

Cette méthode fondée sur la modélisation des termes du bilan hydrique fonctionnelle pour les cultures pluviales de la zone soudano-sahélienne. Elle est évidemment applicable à la riziculture pluviale, et devrait pouvoir être étendue à d'autres régions climatiques où des séries de relevés pluviométriques d'au moins 30 ans sont disponibles.

Là où des séries de rendements de longue durée sont disponibles, la modélisation peut être étendue à l'analyse du déterminisme du rendement : des



$I_c = \frac{ETR}{ETM}$: indice de satisfaction des besoins en eau au cours de la phase pluviale avant la submersion par l'onde de crue. (Modèle de bilan hydrique, F. FOREST, I.R.A.T. 1980).

$$E < I_c < 0,99$$

Figure 9 : INFLUENCE DU DÉFICIT D'ALIMENTATION HYDRIQUE SUR LA PRODUCTION DU RIZ AU COURS DE SA PHASE PLUVIALE

courbes de réponses au stress hydrique (c'est-à-dire des courbes de rendement en fonction du déficit hydrique $\frac{ETR}{ETM}$ pendant la période du cycle au cours de laquelle un stress hydrique est le plus à craindre) ont été ainsi obtenues à Bouaké sur riz pluvial strict (figures 5 et 6) et à Ibetemi pour la phase pluviale du riz flottant (figure 9). Ces courbes permettent de prévoir le rendement du riz en fonction des conditions climatiques à partir du 20 août, donc assez précocement (81).

On remarque également d'après ces courbes qu'en région Centre de Côte d'Ivoire, les sols gravillonnaires à réserve utile de 40 mm portent une année sur deux de très mauvais rendements et sont inaptes à la riziculture.

1.6 - CONCLUSION

D'autres critères que ceux relatifs à l'alimentation hydrique doivent aussi rentrer en ligne de compte dans le choix des sites pour la riziculture pluviale ; ainsi en zone forestière la forte nébulosité peut être un facteur limitant si on vise des niveaux très élevés de rendement (30) ; la pente et le modelé du terrain peuvent également restreindre les surfaces cultivables en riz pluvial (ou d'ailleurs en n'importe quelle autre culture annuelle laissant le sol nu une partie de l'année) (1), ceci de façon d'autant plus marquée que la culture est intensifiée. Les basses températures sont parfois limitantes dans les zones d'altitude.

Au niveau local, il faut souligner le rôle important que peut jouer la topographie sur le micro climat : à Djibelor, on a observé entre rizières traditionnelles encaissées dans d'étroites vallées bordées d'arbres, rizières en clairière de plateau et rizières de grande surface peu protégées des différences de demande évaporatrice de 25 % (85).

Enfin des contraintes d'ordre socio-économiques peuvent également se rencontrer.

Le choix des sites de culture, bien que toujours et largement conditionné par des considérations sur l'alimentation hydrique, est donc parfois aussi sous la dépendance d'autres facteurs ; la prospection de nouvelles zones de culture doit autant que possible intégrer tous ces facteurs.

Une telle approche a été tentée dans l'étude agroclimatique de la région de Touba (Ouest de la Côte d'Ivoire) où l'on propose les espèces cultivées possibles (dont le riz pluvial) et les techniques culturales associées en fonction des différentes contraintes du milieu physique (31).

2 - LE CHOIX DES VARIETES

La tolérance à la sécheresse constitue l'un des objectifs prioritaires de l'amélioration variétale du riz pluvial à l'IRAT ; de nombreuses recherches ont été effectuées à ce sujet, spécialement depuis 1972 en Côte d'Ivoire. Les principaux axes de recherches sont :

- la mise en évidence de différences variétales de tolérance à la sécheresse ;
- l'étude d'un déficit hydrique sur les plantes et des différences variétales de ces effets et la décomposition de la tolérance variétale globale en facteurs physiomorphologiques ;
- la mise au point de tests rapides de sélection à partir de certains de ces facteurs ;
- la connaissance des mécanismes de la tolérance variétale pour orienter le choix des géniteurs.

Très souvent, les expérimentations ont comme base de départ la comparaison entre les variétés pluviales traditionnelles et les variétés de riz irrigué bien que la distinction entre ces deux types de variétés soit parfois délicate pour les cas intermédiaires (1) ; les principales différences entre variété pluviale traditionnelle et variété irriguée couramment admises sont (1) :

- différences morphologiques : les variétés pluviales traditionnelles ont une taille élevée (1,20 à 1,80 m), un tallage modéré, des tiges épaisses, des feuilles larges, assez longues, alors que les variétés irriguées sont de petite taille (0,80 m), à tallage abondant, tiges fines, feuilles étroites et courtes ; ces différences morphologiques peuvent résulter du fait que les variétés irriguées ont été beaucoup améliorées, contrairement aux variétés pluviales traditionnelles ; le système racinaire des variétés irriguées est plus fin, plus superficiel et le nombre de racines plus élevé que chez les variétés pluviales ;
- différences physiologiques : les critères physiologiques de différenciation entre variétés pluviales et irriguées sont souvent controversés et des résultats opposés ont parfois été trouvés ; on peut tout de même citer la vigueur de croissance au départ, l'hydratation des tissus et la résistance cuticulaire, le rythme d'émission racinaire, auxquels l'IRAT s'est intéressé (1) (34) (35) et d'autres facteurs comme le pouvoir d'absorption de l'eau par les graines, la germination aux températures faibles, la pression osmotique dans les cellules des racines, l'index de stabilité de la chlorophylle, la nature des sucres dans le végétal et la séquence de floraison. Plusieurs auteurs s'accordent pour trouver des besoins en eau à peu près identiques chez riz irrigué et riz pluvial, ou parfois même légèrement supérieur chez ce dernier (1).

Cependant, même si la différenciation précise des variétés pluviales et irriguées n'est pas toujours aisée, les très nombreux essais multiloaux réalisés par l'IRAT depuis de nombreuses années montrent indéniablement la meilleure adaptation de certaines variétés -variétés pluviales traditionnelles et variétés améliorées en vue de la riziculture pluviale notamment- aux conditions de culture en sec, donc une meilleure tolérance à la sécheresse de ces variétés par rapport aux variétés irriguées.

L'effort de ces dernières années a porté essentiellement sur la sélection des meilleures variétés d'origine pluviale.

2.1 - MISE EN EVIDENCE DE DIFFERENCES VARIETALES DE TOLERANCE A LA SECHERESSE

La tolérance à la sécheresse peut être définie comme la capacité d'une variété à produire une récolte honorable même si elle est soumise à des périodes de déficit hydrique au cours de son développement.

Plusieurs démarches ont été adoptées pour l'étude de cette tolérance.

2.11 - Exploitation des résultats obtenus en collection

Pour 21 variétés pluviales cultivées en collection pendant au moins 6 ans à Bouaké (Côte d'Ivoire) (tableau VII), présentant des rendements moyens intéressants assez résistantes aux maladies et semées à la même date chaque année, on a établi les corrélations entre rendement et pluviométrie pendant une certaine partie du cycle (17).

Cette étude fait apparaître de grandes différences entre les variétés pour leurs réactions à l'égard des quantités d'eau reçues, donc l'existence d'une variabilité génétique ; certaines variétés peuvent être qualifiées de "sensibles", les corrélations pluie-rendement étant assez fortes pour toutes les périodes considérées, et significatives pour la période critique (autour de l'épiaison) ; d'autres "tamponnent" mieux les aléas climatiques et les corrélations rendement-pluviométrie sont alors généralement faibles.

Une réserve doit cependant être apportée en raison du petit nombre d'années d'étude (6 à 9 ans).

Tableau VII: Liste des variétés en collection retenues pour l'étude des liaisons rendement-pluviométrie -
- D'après ARRAUDEAU M. (17) -

N° collection	Nom	Origine	Cycle semis-épi.		Nombre d'années
			jours		
4	902 toni	Zaïre	104	+ 9	8
8	OS 10 V	Zaïre	103	+ 10	6
11	R 13	Zaïre	102	+ 10	7
12	R 19	Zaïre	103	+ 10	7
14	R 21	Zaïre	104	+ 7	8
16	R 21 S6	Zaïre	103	+ 9	7
17	R 23	Zaïre	102	+ 8	7
22	R 53-157	Zaïre	103	+ 8	8
29	R 75	Zaïre	100	+ 7	9
31	RE 107	Zaïre	99	+ 7	8
35	RT 1031-69	Zaïre	103	+ 8	9
44	RT 1077-111 A	Zaïre	104	+ 10	8
89	Iguape Cateto	Brésil	107	+ 7	9
109	Makouta	Guinée	108	+ 10	8
120	Moroberekan	Côte d'Ivoire	118	+ 7	9
184	63-104	Sénégal	103	+ 8	9
193	OS 10 G 1	Zaïre	105	+ 10	6
195	RE 19 A	Zaïre	104	+ 8	6
196	RE 19 M	Zaïre	99	+ 8	6
1170	RE 352 V	Zaïre	104	+ 11	7
1171	62-441	Sénégal	106	+ 10	7

Ce même type d'étude a été repris en 1978 sur un nombre plus important de variétés (214 variétés en collection) (81) présentant tout l'éventail possible de cycles (variétés très précoces à très tardives) les résultats obtenus doivent être considérés comme hypothèses de travail en raison du faible nombre d'années observées et de la petitesse des parcelles d'expérimentation ; ils n'en sont pas moins intéressants et certains sont même inattendus :

- variétés très précoces (cycle semis-épiaison 80 à 89 jours), variétés précoces (cycle semis-épiaison 90 à 99 jours) et variétés peu précoces (cycle semis-épiaison 100 à 109 jours) : leur rendement ne semble lié ni à la pluviosité pendant le cycle semis-épiaison, ni à la pluviosité de la période s'étendant de 15 jours avant l'épiaison à 10 jours après (période dite -15, +10) ;

- variétés peu tardives (cycle semis-épiaison 110 à 119 jours), tardives (cycle semis-épiaison 120 à 129 jours) et très tardives (cycle semis-épiaison 130 à 139 jours) : le rendement semble lié à la pluviosité pendant le cycle semis-épiaison ; aucune tendance nette ne se dégage pour la période (-15, +10).

Pour toutes les variétés, lorsque la pluviosité semis-épiaison diminue, le cycle semis-épiaison est allongé ; il existe également une liaison entre la pluviosité pendant le cycle semis-épiaison et la hauteur de plante.

Un résultat assez remarquable est l'absence de liaison directe et nette entre le rendement et la pluviosité de la période critique du cycle (-15, +10).

Des études complémentaires seraient nécessaires pour préciser ces questions en associant la fréquence des pluies aux paramètres déjà mis en cause (pluviosité totale, cycle et rendement).

On a également, en Côte d'Ivoire (12), mis en évidence une variabilité génétique pour la tolérance à la sécheresse par l'étude des rendements de 7 variétés en fonction du nombre de jours de sécheresse subis au cours du cycle (figure 10).

2.12 - Test au champ de la tolérance globale à la sécheresse

A partir de 1973, (13) (14) (15) (16), on a comparé en Côte d'Ivoire (Bouaké) la tolérance globale à la sécheresse de nombreuses variétés par un dispositif expérimental simple (blocs) (tableau VIII) ; la culture, pratiquée à cheval sur la saison sèche, peut subir à volonté des périodes de déficit hydrique ; un système d'irrigation permet une alimentation hydrique correcte le reste du temps ; les semis, à partir de 1974 (14), sont échelonnés suivant le cycle des variétés pour que la période de déficit se situe à peu près aux mêmes stades phénologiques pour toutes les variétés testées.

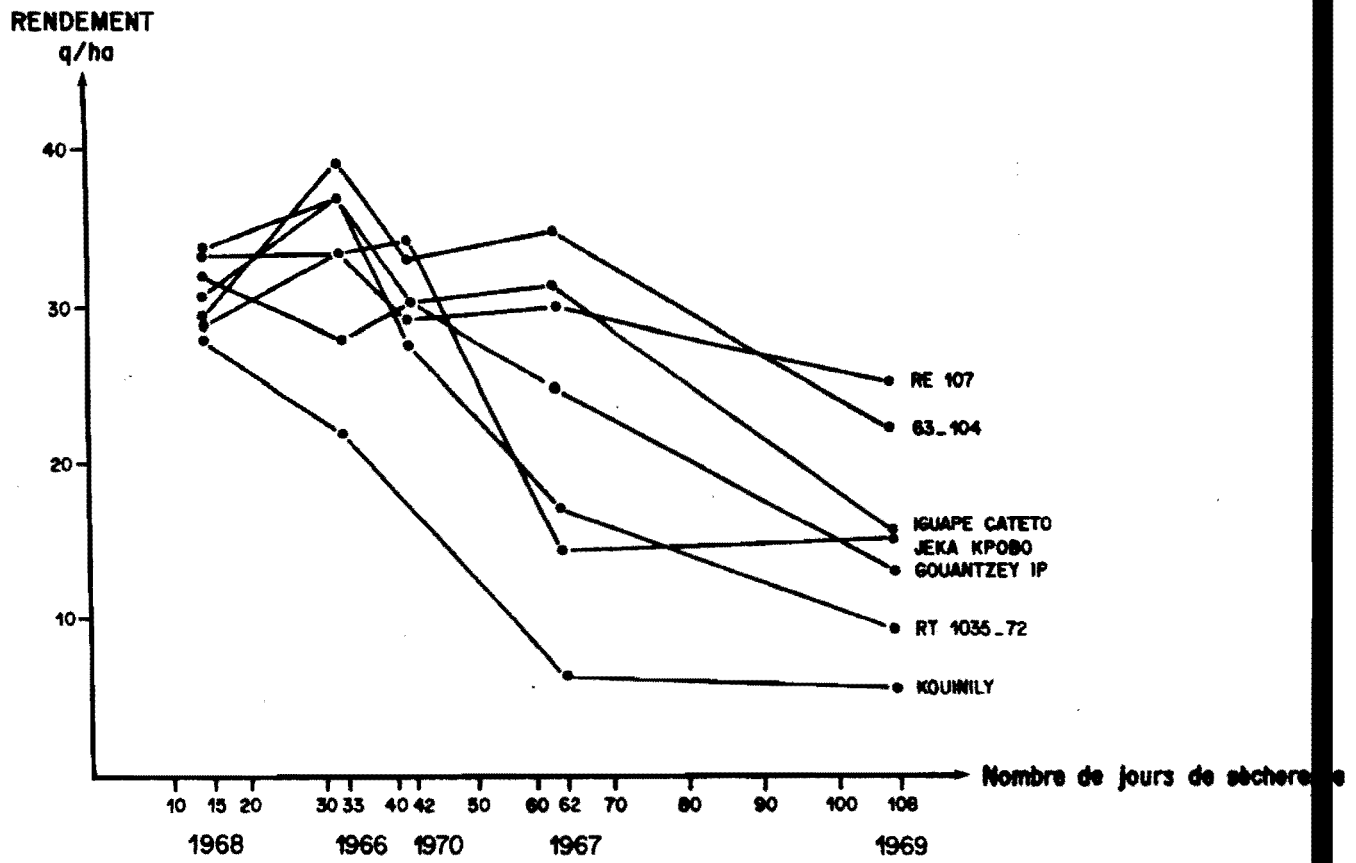


FIGURE 10 : Variations du rendement de 7 variétés de riz en fonction du nombre de jours de sécheresse au cours du cycle.
D'après I.R.A.T./COTE D'IVOIRE (12).

Tableau VIII - Rendements en t/ha des variétés testées pour la tolérance globale à la sécheresse à différents stades de développement.
- D'après (13) (14) (15) (16) -

Stades*	1				2					3					4				5
Année	75	73	74	75	73	74	75	76	77	74	75	76	77	75					
Moroberekan	1,08	1,64	1,98	1,53			1,58	0,21	0,72 1,07		2,08	0,58	0,92 1,36						
63-83				2,29	2,05		1,56	0,43	1,13	1,88	2,13	0,81		2,55					
IRAT 13				2,36			2,24	0,38	1,10 1,32	2,72	2,27	1,23	1,09 1,60	3,63					
IRAT 10								0,35	1,11 1,35			0,88	0,69 1,31						
IRAT 9		1,91		1,29			1,90	0,79	1,06	1,65	1,51	0,97	0,63	2,54					
IRAT 8				1,97			2,10				2,23			3,05					
Palawan	1,82	3,74	3,04	1,86			1,33	0,41			2,00	0,45							
I Kong Pao					1,97					0,61									
Dourado Précoce				1,62			1,60	0,23			1,02	0,29		2,44					
Iguape Cateto				1,91	1,60		1,96	0,39			2,11	0,65		3,03					
63-104					1,88														
OS 10 G1					1,76														
Fossa			3,11																
R 67								0,12				0,86							
Gbante								0,30				0,55	0,87						
IAC 1246									1,03				0,96						
Pratao									0,95				0,90						
IAC 23									0,98				0,78						
IR 5	1,69		1,63	1,79															
IR 442		1,55																	
IR 480					2,20														
Chianan 8				1,93			2,56	0,55				0,95							
IRRI 116								0,37				0,43							

Tableau VIII (Suite)

M 45						0,14				0,51	
Mac Fay Deng								0,91			0,71
Chun 139/2								0,66			0,36
Mutant 50/4			2,29			2,30				2,40	2,96
349 D			0,85			1,96				1,25	1,60
114B 1/9/6			1,58			2,25				1,66	3,33
97B 4/5			2,14			2,08				1,09	1,98
M 65 3/3/1							0,33				0,52
13 a 5							0,33				0,50
Mut. Moroberekan 28/4/2											1,65
Mut. Moroberekan E 51/4											1,59
IRAT 13 x Moro 2303/4								1,15			1,51
IRAT 109								1,41			1,48
IRAT 104								1,42			1,46
IRAT 13 x Moro 2303/7								0,86			1,34
Line 13 d x Moro 2043/9											1,11
IRAT 13 x IRAT 10 211/9								1,11			1,10
IRAT 13 x IRAT 10 304/6											1,04
Yancaoussa							0,22				0,38
Pate Blanc MN1							0,33				0,38
Makouta							0,58				0,37
M 327 A 2/2/1							0,51				0,37
Blue Bonnet							0,45				0,36
Murungakayan							0,44				0,14

*Stade 1 = Pré-initiation paniculaire
 Stade 2 = Initiation paniculaire
 Stade 3 = Montaison

Stade 4 = Epiaison - Floraison
 Stade 5 = Post-floraison

Le déficit hydrique imposé au cours de la période de sécheresse est d'environ 100 mm (14) ; deux pluies parasites en 1975 ont obligé à allonger la période de sécheresse pour arriver au même déficit hydrique que les années précédentes (14), d'où une moins bonne précision du stade phénologique au moment du déficit.

Les résultats de 1973 sont difficilement interprétables étant donné que le déficit hydrique n'a été provoqué que pour un stade phénologique pour chaque variété. Le dispositif est resté presque le même au cours des 6 années d'expérimentation, mis à part le fait qu'à partir de 1976, le témoin (parcelle de chacune des variétés testées cultivée sans déficit hydrique) a été supprimé.

Les variétés sont classées suivant leur tolérance globale à la sécheresse définie par le rendement en condition de sécheresse. Ces tests au champ montrent que la tolérance globale des variétés est fortement dépendante du stade phénologique auquel se produit le déficit ; les variétés qui présentent effectivement un niveau de tolérance global intéressant ne se classent pas de la même façon suivant le stade phénologique où se situe le déficit :

- IRAT 13 présente un bon niveau de tolérance globale dans tous les essais (14) (15) (16), pour les sécheresses se produisant à l'épiaison-floraison et pendant le remplissage du grain (15) ;
- Palawan s'est montrée tolérante à la sécheresse au stade initiation paniculaire (14) (essais de 1974 et 1975) ;
- IRAT 10 semble assez tolérante au stade épiaison-floraison en 1976 (15) et au stade montaison en 1977 (16) ;
- IRAT 9 montre également, dans les essais de 1976 (15) une assez bonne tolérance au stade épiaison-floraison et au stade montaison (15) ; cependant dans les essais précédents et suivants, cette variété ne montre pas de tolérance particulière ;
- Chianan 8 se montre assez tolérante dans les essais de 1976 (15) aux stades montaison et épiaison-floraison, ce qui confirme les résultats intéressants obtenus en 1975 (14) ;
- les variétés traditionnelles, Moroberekan et 63-83, présentent des niveaux de tolérance honorables ;
- de nouvelles lignées sélectionnées par l'IRAT, IRAT 104 et IRAT 109, semblent présenter une bonne tolérance au stade montaison en 1977 et 1978 (16) (32).

Il faut signaler que les rendements obtenus dans la plupart des essais de tolérance globale sont faibles surtout à partir de 1976 (15) (16) (32) ; il semblerait que cette chute de rendement ne résulte pas de conditions climatiques particulières (15) ; on a soupçonné une prolifération de nématodes due à la culture continue du riz pendant 3 ans sur la même parcelle (15).

2.13 - Test en serre de la tolérance à la sécheresse

Ces tests ont été réalisés d'après le protocole établi par ROBELIN (INRA-France) (33), au Sénégal sur les variétés 63-83 et I Kong Pao (9) et en Côte d'Ivoire (14) sur les variétés 63-83, I Kong Pao, Moroberekan, IR 5, IRAT 13, IRAT 10 et Palawan.

Les plantes sont cultivées en pots, sous serre ; chaque traitement sécheresse dure 14 jours pendant lesquels on apporte une quantité d'eau égale à la moitié de la consommation du témoin, placé constamment à la capacité de rétention. La période de déficit hydrique est décalée dans le temps pour chaque traitement (stades phénologiques différents).

Au Sénégal (9), la variété 63-83 présente une période critique beaucoup plus courte que la variété I Kong Pao ou en d'autres termes elle est plus tolérante à la sécheresse à certains stades que I Kong Pao ; cette moindre sensibilité à la sécheresse concerne la période comprise entre l'initiation paniculaire, l'épiaison et la fin de l'épiaison. I Kong Pao apprécie la saturation du sol et donne de meilleurs rendements en présence d'une lame d'eau ; c'est le contraire pour 63-83, variété pluviale traditionnelle.

En Côte d'Ivoire (14), en 1974, l'interaction entre traitements et variétés n'est pas significatif, ce qui revient à dire que pour des périodes de sécheresse s'étalant jusqu'à la fin montaison, les variétés 63-83, I Kong Pao, Moroberekan et IR 5 ont à peu près le même niveau de tolérance ; par contre en 1975, l'interaction variétés-traitements est hautement significative ; les variétés présentent donc des niveaux de tolérance différents selon la période où se produit le stress hydrique ; IRAT 13 et 63-83 ont un meilleur niveau de tolérance que IRAT 10 et Palawan au stade pré-épiaison. IRAT 13, IRAT 10 et Palawan sont plus résistants que 63-83 au stade post-épiaison. Palawan présente un niveau de résistance intéressant autour de l'initiation paniculaire.

2.14 - Conclusion

La variabilité de la tolérance à la sécheresse a été mise en évidence à l'intérieur même du groupe des variétés reconnues comme pluviales ; les variétés testées jusqu'à maintenant présentent des niveaux de tolérance variable suivant la période du cycle où se place le déficit hydrique, aucune de ces variétés ne présentent un bon niveau de tolérance pour tous les stades de la période critique.

Le test au champ de la tolérance globale à la sécheresse n'est pas entièrement satisfaisant à la fois pour le criblage des variétés en sélection et pour l'explication du phénomène tolérance à la sécheresse : c'est un test relativement lourd à mettre en place, beaucoup de facteurs autres que la sécheresse peuvent influencer sur le rendement. Il reste cependant in fine la meilleure preuve de l'intérêt d'une variété à vulgariser pour les situations à risque de sécheresse.

Pour progresser à la fois dans la compréhension des mécanismes de tolérance et dans la mise au point de tests simples, fiables et légers, les chercheurs de l'IRAT ont étudié les effets de la sécheresse sur les variétés et certains facteurs possibles de tolérance.

2.2 - VARIABILITE DES EFFETS DE LA SECHERESSE SELON LES VARIETES

Les effets de la sécheresse selon les variétés ont été étudiés lors de plusieurs expérimentations ayant des protocoles et des dispositifs différents :

- les tests au champ de la tolérance globale à la sécheresse ont servi à des observations détaillées sur les effets de la sécheresse sur différents paramètres (13) (14) (15) (16), de même que les tests en serres d'après le dispositif de Robelin (9) (14) ;
- un essai comparatif entre une variété traditionnelle pluviale (Moroberekan) et une variété irriguée intensive (IR 5) effectué en Côte d'Ivoire (Tombokro) (10) a permis l'étude des effets de la sécheresse sur ces deux variétés ; dans cet essai, les variétés ont été soumises à plusieurs déficits hydriques d'intensité et de durée modérées au cours du cycle (périodes déficitaires au stade tallage, latence et montaison) alors que dans les tests au champ et les tests Robelin, une seule période de déficit est infligée aux variétés, à un stade phénologique donné. Un test comparatif similaire a aussi été réalisé avec IRAT 9 et 63-83 (15).

2.21 - Effets sur la croissance végétative des organes aériens

Les études ont porté, selon l'expérimentation, sur la hauteur des plantes, le tallage, l'indice foliaire, les composantes du rendement ou encore d'autres caractères. La figure 11 compare les effets de la sécheresse sur la croissance de IR 5 et Moroberekan.

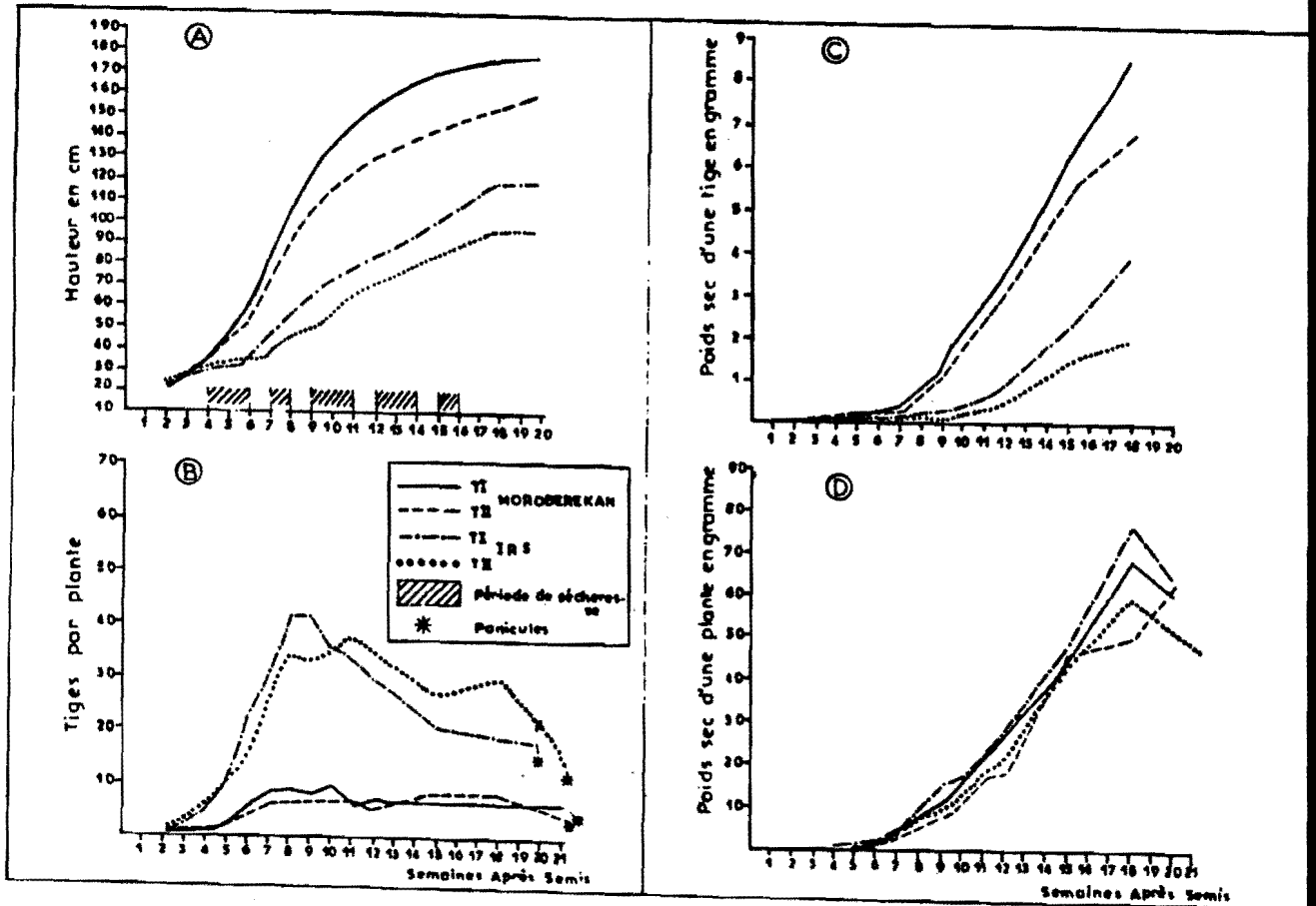


Figure 11 : Comparaison de la croissance des variétés IR 5 et Moroberekan en fonction des traitements TI et TII - Croissance [A] en hauteur, [B] en tiges par plante, [C] en poids sec d'une tige et [D] en poids sec d'une plante.

- D'après REYNIERS F.N., KALMS J. M., RIDDERS J., 1976 (10) -

2.211 - Hauteur de plante

L'effet de la sécheresse va toujours dans le sens d'une diminution de la hauteur de plante. Cet effet est le plus fort si la sécheresse se produit au stade montaison (9) (13). Dans certains cas, on observe des différences de comportement selon les variétés (15).

2.212 - Tallage

L'effet de la sécheresse varie selon le type variétal (9) (10) (15). Il faut distinguer :

- les variétés à tallage modéré (caractéristique des riz pluviaux) ; chez ces variétés (Moroberekan, 63-83), la sécheresse ralentit le tallage et peut provoquer la mort de talles ; après sécheresse, il y a faible compensation et en général la plante a, à maturité, un nombre de talles plus faible que le témoin sans sécheresse ;
- les variétés à tallage fort (caractéristique des riz aquatiques) ; chez ces variétés (IR 5, IRAT 9, I Kong Pao) la sécheresse ralentit aussi le tallage et peut provoquer la mort de talles, mais après sécheresse il y a souvent plus que compensation, ce qui aboutit à maturité à des plantes à nombre de talles plus élevé que chez le témoin sans sécheresse.

2.213 - Paramètres des feuilles et des tiges

Des observations ont montré des effets de la sécheresse sur :

- l'indice foliaire (10),
- la longueur des feuilles, en particulier de la plus jeune (13),
- la surface spécifique des feuilles (10) (15),
- l'épaisseur des tiges (13).

La sécheresse a un effet souvent négatif sur ces paramètres. Là encore, on peut observer des différences variétales (15).

2.22 - Effets sur la croissance racinaire

Plusieurs périodes de stress hydriques au cours du cycle réduisent fortement le poids de matière sèche des racines chez IR 5 et Moroberekan (10), cette réduction est moins forte chez Moroberekan que chez IR 5 ; chez IRAT 9, la croissance racinaire est peu affectée et chez 63-83, elle est au contraire favorisée (15) ; ces différences de comportement peuvent s'expliquer soit par des différences entre traitements sécheresse (stress aux stades tallage, latence et montaison pour IR 5 et Moroberekan, et aux stades début de tallage, tallage, initiation paniculaire, épiaison - floraison pour 63-83 et IRAT 9) soit par des différences variétales effectives.

Par les tests Robelin, on a mis en évidence en Côte d'Ivoire (14) qu'un stress hydrique se produisant juste avant l'épiaison provoque une croissance

accélérée des racines et on obtient à la récolte un gain de matière sèche de 50 % par rapport au témoin sans stress, pour certaines variétés pluviales (I Kong Pao, 63-83, Moroberekan, IRAT 10, IRAT 13, Palawan). Les tests Robelin effectués au Sénégal (9) montrent un phénomène similaire chez I Kong Pao (croissance racinaire plus importante en cours de stress hydrique au stade montaison-épiaison) mais pas chez 63-83. Les tests Robelin réalisés en pots sont sujets à caution pour la mise en évidence des variations de masse racinaire (19).

2.23 - Effets sur les composantes du rendement

2.231 - Nombre de panicules par unité de surface

Il peut être très affecté par des sécheresses à la montaison (15) (16). Certaines variétés apparaissent moins affectées que d'autres, telles IRAT Chianan 8, Palawan (16). Les variétés à fort tallage ont en général tendance à diminuer leur taux de tallage fertile. Dans l'essai comparant IR 5 à Moroberekan (10), la diminution du nombre de panicules par m² est plus importante chez IR 5 que chez Moroberekan mais la différence n'est pas significative. Dans les tests Robelin au Sénégal (9), le nombre de panicule par pot est plus affecté chez 63-83 que chez I Kong Pao.

2.232 - Nombre de grains par panicule

Il est lui aussi plus affecté chez IR 5 que chez Moroberekan dans le même essai (10).

Dans les essais au champ en Côte d'Ivoire, en 1973 (13) les variétés pluviales 63-83, 63-104, Iguape Cateto et OS 10 G1 ayant subi un stress à la montaison ont un nombre de grains par panicule plus faible que leurs témoins, cette diminution est moins forte chez les variétés I Kong Pao et IR 480 ; chez les variétés ayant subi un stress hydrique à l'initiation paniculaire, Moroberekan est plus affectée pour ce critère que Palawan.

Dans les tests Robelin du Sénégal (9), la diminution du nombre d'épillets par panicule varie dans le même sens que celle du nombre de panicules, I Kong Pao est moins affectée que 63-83.

2.233 - Pourcentage de grains stériles

Dans les essais au champ de Côte d'Ivoire en 1973 (13), il est élevé chez les variétés I Kong Pao et IR 480 (sécheresse au stade montaison) ; cependant certaines parcelles témoins de ces variétés présentent aussi un pourcentage élevé de stérilité qui serait dû à la sécheresse de l'air au momen

de la floraison : il est élevé aussi chez la variété IR 422 (sécheresse au stade initiation paniculaire). Ce pourcentage est affecté, mais à un degré moindre, chez les variétés pluviales 63-83, 63-104, Iguape Cateto, OS 10 G (sécheresse à la montaison) et Moroberekan (sécheresse à l'initiation paniculaire), et l'est très peu chez Palawan (sécheresse à l'initiation paniculaire).

La comparaison au champ de IR 5 et Moroberekan (10) montre la faible action de plusieurs stress hydriques au cours du cycle sur le pourcentage de grains stériles.

Dans les tests Robelin en Côte d'Ivoire (14), le pourcentage de grains stériles est augmenté par un stress hydrique situé autour de l'épiaison chez toutes les variétés testées (IRAT 10, IRAT 13, 63-83, Palawan).

2.234 - Pourcentage de grains légers et poids de 1 000 grains

Ce sont deux paramètres qui reflètent le taux de remplissage du grain. Les grains légers sont les grains dont la densité est inférieure à 1 (13). Dans les tests au champ de la résistance globale, en 1973 (13) un stress hydrique à la montaison provoque chez IR 480 et I Kong Pao une élévation du pourcentage de grains légers et une légère diminution du poids de 1 000 grains. Cependant on a observé cette année là, comme pour le pourcentage de grains stériles, un pourcentage élevé de grains légers chez certaines parcelles témoins de ces variétés, sans qu'on puisse attribuer ce phénomène à une cause précise ; Moroberekan (déficit à l'initiation paniculaire) est également affecté de façon importante pour ces deux paramètres, alors que Palawan l'est beaucoup moins.

En 1974 et 1975 (14) et en 1977 (16) les variétés sont affectées de façon différente selon le stade où se produit le stress hydrique.

La comparaison IR 5-Moroberekan (10) montre que le pourcentage de grains légers est plus affecté chez IR 5 que chez Moroberekan, le poids de 1 000 grains pleins par contre n'est pas du tout affecté, pour les deux variétés.

Dans le test Robelin du Sénégal (9), les variétés 63-83 et I Kong Pao ont des réactions différentes, le taux de remplissage des grains d'I Kong Pao est très affecté par des stress hydriques se produisant à la montaison et à l'épiaison ; il l'est également par un stress hydrique précoce, intervenant avant l'initiation paniculaire ; chez 63-83 cette diminution est beaucoup moins importante.

2.24 - Effets sur le poids total de matière sèche des organes aériens

Les effets de la sécheresse sur le poids total de matière sèche constituent en fait la synthèse des effets décrits plus haut.

Les effets d'un stress hydrique sur la croissance en matière sèche ont été mesurés dans les tests au champ de réssitance globale en Côte d'Ivoire (13) (14) (15) par pesée de plantes pendant et après le stress ; en 1976 (15) les deux traitements sécheresse (stress hydrique à la montaison ou à l'épiaison-floraison) arrêtent la croissance en matière sèche, sauf le traitement sécheresse à la montaison pour Moroberekan ; cette croissance ne reprend, après la phase de stress, que chez les variétés Iguape Cateto, 63-83 et IRAT 10.

L'action de la sécheresse sur la production de matière sèche a aussi été étudiée dans un essai comparatif variétal à Baouké (16) (36) portant sur un grand nombre de variétés cultivées en conditions normales de culture ; compte-tenu des conditions climatiques de l'année, ces variétés ont été soumises à plusieurs stress hydriques au cours de leur cycle :

- variétés précoces : stress aux stades germination, tallage et remplissage du grain ;
- variétés moyennes : stress aux stades levée, tallage et remplissage du grain ;
- variétés tardives : stress aux stades tallage, latence, floraison et remplissage du grain.

Les 15 meilleures variétés de chaque groupe (précoces, moyennes et tardives) pour le rendement en grain sont également meilleures pour le "rendement biologique" (= grains + paille) et pour "l'indice de récolte" (rapport grain/grain + paille).

2.25 - Effets sur certains paramètres physiologiques

2.251 - Consommation et efficience de l'eau

Une période de stress hydrique peut se répercuter différemment sur la consommation hydrique ultérieure de la plante selon les variétés ; cet effet a été mesuré dans les tests Robelin au Sénégal (9) sur les variétés 63-83 et I Kong Pao : pour un stress hydrique intervenant en tout début de cycle (7e au 21e jour), I Kong Pao retrouve plus rapidement un niveau de consommation similaire à celui de son témoin que 63-83 ; pour les autres traitements (stress étalés du 22e jour à la fin du cycle) les différences entre les 2 variétés sont faibles, avec toutefois un léger avantage à 63-83 pour des stress hydriques de milieu et fin de cycle.

L'efficience de l'eau a été comparée dans les tests Robelin réalisés en Côte d'Ivoire (14) pour les variétés IRAT 10, IRAT 13, 63-83 et Palawan ; l'efficience pour la production de matière sèche totale varie peu par rapport au témoin quel que soit le traitement sécheresse ; par contre il existe de grandes variations d'efficience pour la production de grain ; les moins bonnes efficacités sont observées pour les stress hydriques entre le 82e et 112e jour après semis, à cause de la forte diminution du poids de grain.

2.252 - Durée des phases de développement

On observe de façon générale un allongement de la durée du cycle chez les variétés soumises à un stress, l'initiation paniculaire et l'épiaison peuvent être retardées ; des différences variétales semblent exister aussi pour ce paramètre.

La comparaison IR5-Moroberekan (10) soumis à plusieurs stress hydriques fait apparaître une différence entre ces deux variétés, Moroberekan conserve les mêmes durées semis-initiation paniculaire et semis-épiaison alors qu'IR 5 a un retard à l'initiation paniculaire d'une semaine et à l'épiaison de 10 jours.

Dans les tests au champ de la résistance globale, on a également constaté en 1973 (13) un allongement de la durée semis-épiaison pour toutes les variétés (stress hydrique intervenant à l'initiation paniculaire ou avant) sauf pour la variété Zakpalé pour laquelle le stress hydrique n'a commencé que quelques jours avant l'épiaison.

En 1974-1975 (14), on signale encore ce phénomène qui est particulièrement marqué chez la variété Palawan ; cette caractéristique de Palawan est d'ailleurs confirmée par les essais Robelin de Côte d'Ivoire, une période de sécheresse 15 jours avant ou 15 jours après l'initiation retarde respectivement l'épiaison de 19 et 16 jours pour Palawan, ce retard n'étant que de 8 à 9 jours pour les autres variétés.

L'allongement de la période semis-épiaison résulte à la fois d'un retard de sortie des premières panicules et d'un étalement de l'épiaison.

2.253 - Hydratation des feuilles

Quelques observations ont été faites en Côte d'Ivoire sur la vitesse de déshydratation des feuilles (ce qui correspond au phénomène visuel de flétrissement dans des essais variétaux) (12) et dans les tests au champ de résistance globale. Le flétrissement varie beaucoup en fonction de la demande évaporative pour une intensité de stress donnée (14).

Des différences variétales ont toutefois été observées pour ce facteur (13), le flétrissement se produit plus ou moins rapidement. A la fin de la période de stress, certaines variétés (Zakpalé, Moroberekan, IR 442, Iguape Cateto, 63-104) montrent une chute brutale d'hydratation relative dans la partie apicale des feuilles, d'autres variétés (IR 8, H 1716, I Kong Pao, IR 480 et 63-83) maintiennent une hydratation relative assez élevée. Par ailleurs, on remarque dans certains cas (14) que les variétés de type IR 5 sont les dernières à flétrir.

2.254 - Activité racinaire

L'effet d'un stress hydrique sur l'activité racinaire a été évaluée dans

l'essai de comparaison entre IR 5 et Moroberekan. soumises à plusieurs stress hydriques (10) ; l'activité racinaire n'est pas mesurée directement, on assimile ses variations aux variations de succion du sol dans la zone racinaire. On observe des différences entre les deux variétés pour le traitement sécheresse, pendant les périodes de stress ; dans les horizons superficiels (0-15 cm), l'augmentation de la succion du sol est plus rapide sous IR 5 que sous Moroberekan ; dans les horizons plus profonds (30-60 cm) c'est le contraire, tout au moins à partir d'un certain moment (12e ou 13e semaine du cycle). Ces différences variétales n'apparaissent pas chez le témoin, chez qui la succion a toujours été inférieure à 100 mb à 15 cm de profondeur.

2.26 - Conclusion

L'étude des effets de la sécheresse sur les variétés a permis une meilleure connaissance des réactions des variétés soumises à des stress hydriques ; contrairement à ce que l'on espérait, il n'a pas été possible de mettre en évidence un paramètre affecté par un stress hydrique de façon variable selon les variétés, en corrélation avec le niveau de tolérance globale et dont la mesure, plus simple et moins sujette à fluctuations que le rendement, aurait servi de test de résistance ; les effets de la sécheresse sont effectivement très variables non seulement suivant les variétés mais aussi suivant la période où se produit le déficit, l'intensité, le nombre de stress, etc..., d'autres facteurs interviennent sans doute également.

La différenciation entre variétés irriguées et variétés pluviales n'est pas toujours évidente, elle apparaît mieux quand les variétés sont soumises à plusieurs stress hydriques, d'intensité et de durée modérée ; dans les essais à stress hydriques plus graves, comme les tests au champ de la résistance globale, l'avantage des variétés dites pluviales sur les variétés irriguées semble disparaître (40) (10).

2.3 - FACTEURS DE TOLERANCE A LA SECHERESSE

Les facteurs de tolérance à la sécheresse peuvent se classer en deux catégories :

- les facteurs d'esquive qui permettent à la plante d'éviter par un moyen ou un autre de subir des stress hydriques ;
- les facteurs de tolérance à la déshydratation qui permettent à la plante de supporter sans trop de dommages une période de déshydratation partielle (encore appelée stress hydrique).

L'étude de ces facteurs comprend un aspect physiologique ; effet sur le comportement de la plante et un aspect génétique : variations en fonction des variétés.

Les travaux de l'IRAT ont porté sur l'étude de certains de ces facteurs chez le riz sous les deux aspects.

2.31 - Facteurs d'esquive

2.311 - Adaptation de la durée du cycle

L'adaptation de la durée du cycle peut être une adaptation globale à la période de pluies : les variétés précoces ont besoin de pluies pendant une période plus courte du fait de la réduction de la durée de leur cycle.

Le retard de l'initiation paniculaire et de l'épiaison très net chez Palawan (13) (14) permettrait à la plante d'attendre des conditions plus favorables du point de vue alimentation hydrique pour continuer son développement et pourrait constituer un facteur de résistance. Palawan a été utilisée en croisement avec une variété ne possédant pas ce caractère.

2.312 - Adaptation de la "croissance au départ" et conséquences pour l'installation du système racinaire et du couvert végétal.

La "croissance au départ" des plantules serait aussi un facteur d'esquive de la sécheresse, la vigueur de la culture lors de son installation conditionnent en partie la réussite du semis.

La "vigueur au départ" est assez variable selon les types de riz : les variétés pluviales traditionnelles présentent apparemment un mécanisme de couverture du sol plus lent que les riz africains *O. glaberrima* (78) et que les variétés du type *indica* ; il semblerait en fait qu'on ne peut à cet égard parler de différence d'intensité de vigueur au départ, mais plutôt de voies différentes pour aboutir à une bonne installation du couvert végétal : *O. glaberrima* talle rapidement alors que les variétés pluviales d'*O. sativa* se développent plus en hauteur.

On essaye actuellement de relier la vigueur au départ à des caractéristiques morphologiques plus facilement mesurables (35).

Un effort de précision du concept de "vigueur au départ" ainsi que la mise au point de méthodes d'évaluation seraient nécessaires pour l'introduction de cet objectif dans les schémas de sélection du riz pluvial.

2.313 - Adaptation du système racinaire

Le rôle du système racinaire dans l'adaptation à la sécheresse chez le riz pluvial est soupçonné depuis longtemps déjà ; le système racinaire constitue en effet l'intermédiaire indispensable entre l'eau et la plante et peut par ses caractéristiques, par exemple le volume de sol exploré, modifier les conditions d'alimentation hydrique.

Les premières observations ont été effectuées en 1970 au Sénégal (37), des corrélations positives ont été trouvées entre rendement en grain et certaines caractéristiques du système racinaire (particulièrement avec la surface diamétrale des racines au stade grain laiteux) ; les recherches ont ensuite porté sur deux points :

- meilleure caractérisation du système racinaire en particulier en relation avec l'alimentation hydrique,
- mise au point de tests de criblage.

2.3131 - Mise en évidence de différences variétales du système racinaire

Différences morphologiques observées in situ :

Les différences variétales du système racinaire ont d'abord été mises en évidence à l'occasion d'expérimentations sur le travail du sol menées au Sénégal (37) (38), en conditions normales de culture (pas de stress hydrique provoqué). Les variétés étudiées étaient 63-83, Iguape Cateto, Taichung Native 1 et IR 8.

La densité d'occupation (g de racine par dm³ de sol) dans la tranche de sol 0-30 cm est variable en fonction des variétés, Iguape Cateto aurait un enracinement en poids plus important que les trois autres variétés.

Les prélèvements globaux, jusqu'à une profondeur de 40 cm, montrent aussi la supériorité pondérale de Iguape Cateto sur les autres variétés ; des différences variétales apparaissent également pour la longueur des racines principales complètes : Iguape Cateto et 63-83 ont les racines les plus longues. Le diamètre des racines et le degré de ramification des racines principales varient aussi selon les variétés :

- 63-83 a des racines principales assez grosses, assez peu ramifiées ; il n'y a pas de ramifications très fines et les poils absorbants semblent peu nombreux ;
- Iguape Cateto a une racine principale et des ramifications primaires de gros diamètre, mais les secondaires et les tertiaires sont plus minces et il existe un chevelu très fin ; les poils absorbants semblent peu nombreux ;
- Taichung Native 1 a l'enracinement le plus fin, et présente très peu de ramifications secondaires et tertiaires, le chevelu racinaire très fin part directement de la racine principale, les poils absorbants sont très nombreux et longs ;

IR 8 a l'enracinement le plus ramifié, le plus archevêtré et le plus fin ; la densité des poils absorbants est très importante.

Enfin, la surface racinaire, qui intervient dans les échanges sol-plante puisqu'elle représente la surface de contact, est la plus importante chez IR 8 et la plus faible chez 63-83, elle est intermédiaire et équivalente pour Iguape Cateto et Taichung Native 1.

Un essai réalisé en collaboration avec l'ORSTOM en Côte d'Ivoire en 1974 (14) a porté sur quatre variétés : Moroberekan, IRAT 13, IRAT 9 et "Mutant 65", en conditions normales de culture ; on a mesuré sur une profondeur de 60 cm la surface des racines et leur poids sec par unité de volume de sol ; le classement de ces quatre variétés est le même selon ces deux critères, hormis pour IRAT 9 et M 65 dans les horizons de surface (IRAT 9 a une surface racinaire plus forte et M 65 un poids par unité de volume supérieur).

Différences de rythme de croissance :

Des études ont porté sur le rythme d'émission des racines nodales de trois variétés : IR 5, Moroberekan et 2243 (34), en conditions d'alimentation hydrique non limitantes ; l'émission des racines commence chez Moroberekan et IR 5 au début du tallage et atteint son maximum d'intensité entre l'arrêt du tallage et l'initiation paniculaire ; chez 2243 au contraire l'émission est plus tardive et ne commence qu'après l'arrêt du tallage pour atteindre son maximum après l'initiation paniculaire ; le nombre de racines par plante est plus élevé pour IR 5, mais le nombre de racines par tige est plus fort chez Moroberekan, en raison de son tallage modéré ; de même la vitesse de croissance des racines nodales est plus rapide chez Moroberekan.

Des différences variétales importantes existent au niveau du système racinaire, même en conditions d'alimentation hydrique non limitante ; l'évolution de certains paramètres, sans doute favorables à la résistance à la sécheresse, a été étudiée quand les variétés sont placées en conditions d'alimentation hydrique déficitaire.

Effets des conditions d'alimentation hydrique déficitaire sur l'enracinement :

On rejoint ici ce qui a déjà été dit à propos des effets de la sécheresse sur la croissance et sur l'activité racinaire : deux faits principaux se dégagent :

- la croissance racinaire des variétés pluviales peut être favorisée par des conditions d'alimentation hydrique déficitaire à certains stades de développement (9) (14) (15), ou tout au moins affectée de façon moins grave (10) que chez les variétés irriguées ;

- l'activité racinaire en profondeur est plus importante en cas de stress hydrique chez les variétés pluviales que chez les variétés irriguées (10) ; cette différence d'activité racinaire en profondeur a aussi été mise en évidence entre deux variétés pluviales, IRAT 13 et Moroberekan (26) (84) Moroberekan prélevant l'eau sur une profondeur supérieure en moyenne de 20 cm par rapport à IRAT 13 dans les sols à faible réserve hydrique ; dans les sols

à forte réserve en eau, les deux variétés exploitent l'eau sur une même profondeur ; ceci semble lié à la morphologie du système racinaire plus ramifié chez IRAT 13 d'où une résistance moyenne entre racines plus faible (84).

Les variétés IFAT 10 et IRAT 13 ont été comparées avec la même méthode (82), les consommations globales des 2 variétés mesurées sur une période de 10 jours sont similaires, mais IRAT 10 extrait plus d'eau en profondeur et moins en surface qu'IRAT 13 et semble donc mieux adaptée à la sécheresse.

2.3132 - Relations entre enracinement et tolérance à la sécheresse

La profondeur d'enracinement ne semble pas un critère de sélection suffisant pour la résistance à la sécheresse : dans les essais au champ de résistance globale en Côte d'Ivoire en 1976 (15), des variétés pluviales à profondeurs d'enracinement différentes ont été testées, les variétés à enracinement profond n'ont pas montré une meilleure tolérance globale (rendement) que d'autres variétés à enracinement moins profond.

Il semble qu'à partir d'une certaine valeur limite, la profondeur d'enracinement n'ait plus d'effet sur le rendement pour les variétés testées ; il est donc nécessaire d'améliorer l'enracinement de variétés ayant un bon potentiel de rendement.

Une expérimentation conduite au Sénégal en 1974 (41) sur la variété I Kong Pao en cuves lysimétriques, consistait à comparer la consommation d'eau des plantes dans cinq traitements différents :

- sécheresse sur 8 cm,
- sécheresse sur 25 cm,
- sécheresse sur 45 cm,
- sécheresse sur 70 cm (c'est-à-dire sur tout le profil),
- pas de sécheresse (témoin).

Les couches profondes des trois premiers traitements sont bien alimentées en eau.

Cette expérimentation a montré que c'est la masse totale de racines profonde et non pas la profondeur maximale atteinte qui est importante pour la résistance à la sécheresse, une masse importante de racines fonctionnelles est nécessaire pour assurer le débit d'eau correspondant à la demande des organes végétatifs : plus de 50 % de la masse racinaire doit se trouver dans une couche de sol maintenue constamment humide.

Ce résultat indique que l'enracinement des variétés ne peut être comparé que de façon quantitative, la présence des racines n'est pas une indication suffisante.

Enfin, l'activité racinaire en profondeur présente également des différences variétales (10) (21) et semble reliée à la résistance à la sécheresse. Il faut cependant noter que l'activité racinaire n'est pas mesurée en tant que telle, mais estimée par le biais d'autres grandeurs : par exemple le potentiel hydrique du sol ou la consommation en eau.

A la suite de ces résultats, on considère que la tolérance de ces variétés dépend en partie du volume de sol exploité par les racines ; on a été aussi amené à rechercher un test pour classer les variétés en fonction de leur enracinement.

2.3133 - Criblages variétaux pour l'enracinement

Etant donné la lourdeur des méthodes d'études traditionnelles du système racinaire, la mise au point d'un test de sélection plus rapide s'est imposée et l'utilisation de traceurs radioactifs a été étudiée à partir de 1976 (42) (43) (44) (45) (46) (80).

La technique de placement du phosphore 32 (46) permet d'obtenir un profil d'absorption in situ pour cet élément. Les différences d'absorption sont expliquées en partie par les variations de la masse racinaire.

Pour un criblage variétal on peut envisager de tester les variétés à 40 cm de profondeur car à cette profondeur l'activité de la variété témoin représente encore 20 % de l'activité dans l'horizon 0-10 cm. D'autres profondeurs peuvent servir de référence suivant le sol utilisé.

Une fois un premier tri effectué, les meilleures variétés pourraient être testées à plusieurs profondeurs pour le choix définitif.

Les efforts se portent actuellement sur le perfectionnement de la méthode et l'étude des relations entre l'absorption du 32 P et l'absorption de l'eau mesurée par sonde à neutrons et tensionmètres (80). Il semblerait en fait que les deux phénomènes soient relativement indépendants.

D'autres voies d'étude sont aussi en cours d'exploration pour la mise au point d'un test de sélection rapide : la technique de culture aéronique sur brouillard nutritif (47) consiste à comparer le nombre et la longueur de racines émises au stade jeune (38 jours après le semis) sur des variétés cultivées en milieu totalement artificiel ; étant donné qu'il n'y a aucune contrainte à la pénétration, ce test doit pouvoir permettre d'éliminer les variétés à enracinement court en l'absence de toute contrainte, mais il est plus hasardeux de conclure que les variétés à racines longues en conditions aéroniques auront un bon enracinement au champ. Ce test de culture aéronique pourrait constituer un pré-test de sélection, permettant d'éliminer rapidement un certain nombre de variétés préalablement au test avec le phosphore 32 . Enfin, des études préliminaires ont démarré pour établir un test basé sur la capacité des variétés à s'implanter dans un sol compacté (89) : des différences variétales ont pu être mises en évidence pour le poids moyen de racines par plante.

2.314 - Adaptation des mécanismes de régulation de la consommation d'eau

2.3141 - Régulation stomatique

Si l'enracinement peut permettre à la plante d'esquiver la sécheresse en favorisant l'augmentation de l'offre en eau, les mécanismes de régulation

de la consommation d'eau ont aussi un effet d'esquive en réduisant la demande en eau de la plante.

Les paramètres mesurables qui peuvent intervenir dans la régulation de la consommation d'eau sont le potentiel hydrique de la feuille et la résistance épidermique (r_{ep}) à la diffusion de la vapeur d'eau, cette dernière étant en relation avec la résistance stomatique (r_{st}) et la résistance cuticulaire (r_{cu}) d'après la formule :

$$\frac{1}{r_{ep}} = \frac{1}{r_{st}} + \frac{1}{r_{cu}} \quad (\text{résistances en parallèle}).$$

Les premières expérimentations à ce sujet ont débuté en 1972 (12) mais n'ont pas abouti en raison de la trop grande variabilité du milieu. Elles ont été reprises en 1976 (15) après une mise au point pour l'utilisation du matériel (poromètre à diffusion) dans les conditions locales (48), sur le potentiel hydrique et la résistance stomatique ; il ressort de ces essais que des différences variétales semblent bien exister, elles seraient fonction des conditions du milieu.

Pour préciser ces expérimentations préliminaires et réaliser les essais en conditions plus contrôlées, le laboratoire de physiologie de Montpellier a repris ce thème de recherche en 1978 (49) et a étudié les relations entre potentiel hydrique et résistance épidermique chez 3 variétés ; IR 5 (variété irriguée), 63-83 et IRAT 13. Les premières observations que l'on peut tirer sont les suivantes :

- la résistance épidermique à la diffusion de la deuxième feuille varie plus en fonction du potentiel hydrique du sol qu'en fonction du potentiel hydrique de la feuille ;
- à des potentiels hydriques relativement bas (- 800 millibars pour le sol, - 18 bars pour la feuille) la résistance épidermique à la diffusion reste encore la moitié de celle mesurée la nuit ; on pourrait conclure que même sous une contrainte hydrique importante, la fermeture hydroactive des stomates est imparfaite chez les trois variétés ;
- à des potentiels hydriques bas (- 20 bars) il n'apparaît pas de différences nettes entre les résistances à la diffusion des trois variétés ;
- dans ces conditions, les différences de transpiration qui ont pu être observées peuvent provenir surtout des différences entre surfaces foliaires que l'on pouvait remarquer chez chaque variété ; ces surfaces n'ayant pas été mesurées, aucune conclusion ne peut être tirée de ces mesures de transpiration.

Les différences variétales n'ont donc pas pu être mises en évidence de façon nette par ces premières expérimentations et on a essayé à partir de 1979 de cultiver les variétés dans un même vase (70) : la comparaison de l'évaluation relative de variétés présentant des comportements très différents est possible par mesure de la résistance foliaire à la diffusion, mais on ne peut encore conclure en ce qui concerne les variétés à comportement peu différent.

2.3142 - Transpiration cuticulaire

Un facteur important des pertes d'eau est la transpiration cuticulaire.

Des études réalisées en Côte d'Ivoire (12), il ressort les points suivants

- chez le riz, la transpiration cuticulaire est relativement importante ; elle représente en moyenne sur les 18 variétés testées 30 % de la transpiration totale ; elle augmente avec le vieillissement des feuilles ;
- des différences variétales existent : ainsi Fossa et Moroberekan ont une transpiration cuticulaire moitié moindre que celle de Columbia ; les variétés de l'espèce glaberrima qui ont été testées ont des transpirations cuticulaires élevées ; IR 5, variété de type irrigué, a une transpiration cuticulaire inférieure à la moyenne des variétés testées ;
- la présence de taches de Pyricularia oryzae sur les feuilles augmente en général dans de très fortes proportions la transpiration cuticulaire, ce qui provoque en conditions de culture un dessèchement rapide des plantes.

2.32 - Facteurs de résistance à la déshydratation

Les facteurs réels de résistance mis en évidence jusqu'à présent sont la stabilité enzymatique, sur laquelle l'IRAT n'a pas réalisé de recherches, la faculté de récupération après une période de sécheresse et les possibilités de régulation croissance/développement.

2.321 - Faculté de récupération après un stress

Cette faculté de reprise peut se signaler de différentes façons :

- vitesse de récupération d'un niveau de consommation en eau normal après un stress hydrique. Cette vitesse de récupération étudiée au Sénégal dans les tests Robelin (9) semble meilleure chez I Kong Pao pour un stress précoce (7e- 21e jours après semis) alors qu'un léger avantage revient à 63-83 pour les stress plus tardifs (52e à 96e jours après semis) incluant la période critique ;
- cinétique de récupération nocturne (remontée du potentiel hydrique pendant la nuit, quand les stomates sont fermés, après une journée de stress) (49) (70) ; on constate effectivement (IR 5, 63-83 et IRAT 13) une remontée rapide de la valeur du potentiel hydrique de la seconde feuille, en une heure environ, mais ensuite il y a des fluctuations de ce potentiel hydrique, assez inexplicables et une chute de ce potentiel.

Les données partielles dont on dispose sur ce sujet ne permettent pas de conclure ni de dégager un test de sélection.

2.322 - Régulation croissance/développement et migration des photosynthats

La mise en cause de ces facteurs de résistance à la sécheresse est relativement récente, puisque ce n'est qu'en 1976 que les premières observations ont été faites à ce sujet en Côte d'Ivoire (15).

L'attention des chercheurs a été attirée par le fait que deux variétés, 63-83 et IRAT 13 son mutant, presque identiques sauf pour la taille (IRAT 13 est plus courte que 63-83) présentent des niveaux de tolérance à la sécheresse différents, IRAT 13 étant souvent très supérieure à son parent, au stade remplissage du grain surtout. On a donc étudié comparativement la croissance de ces deux variétés en conditions d'alimentation hydrique satisfaisante ou déficitaire (15).

En conditions d'alimentation hydrique satisfaisante la croissance en matière sèche des talles primaires est plus forte pour 63-83 à partir de la floraison ; la croissance paniculaire d'IRAT 13 est par contre plus rapide pendant la première phase de remplissage, bien qu'à la récolte le poids des panicules des 2 variétés soit le même ; on observe juste après l'épiaison pour les deux variétés une phase d'arrêt d'accroissement de la matière sèche totale, alors que la croissance paniculaire continue, puis la croissance en matière sèche totale reprend très activement. En conditions hydriques déficitaires, IRAT 13 présente davantage de panicules et une meilleure croissance des panicules secondaires, ce qui expliquerait sa meilleure tolérance à la sécheresse.

Ces phénomènes peuvent s'expliquer par une différence dans la migration des photosynthats ; cette hypothèse a été testée en 1977 (16) en comparant IRAT 13, 63-83 et IRAT 9.

On observe effectivement en cas de sécheresse une migration apparente des tiges vers les panicules dont l'importance est estimée par la formule :

$$\frac{\text{Poids des pailles à la floraison} - \text{Poids des pailles à la récolte}}{\text{Poids des grains}} \times 100.$$

Cette migration apparente est plus importante chez IRAT 13 et même chez IRAT 9 que chez 63-83 ; ce sont les tiges des variétés et non pas les limbes qui subissent une diminution de poids. Un essai réalisé sur d'autres variétés (16) montre qu'il y a des différences variétales importantes pour cette migration des photosynthats, ce phénomène pourrait peut-être servir à un test de sélection. Il est envisagé de poursuivre l'étude de ce phénomène à l'aide d'un traceur radioactif (carbone 14) (74).

2.4 - LES VOIES D'AMELIORATION POSSIBLES - CONCLUSION

La complexité du problème de la résistance à la sécheresse explique le nombre important de voies de recherche explorées par l'IRAT ; ceci a permis la mise au point des modalités de criblage variétaux au champ et en laboratoire pour le système racinaire. A noter aussi le croisement réalisé en Côte d'Ivoire entre IRAT 13 et Palawan, deux variétés montrant des caractéristiques intéressantes et différentes de résistance à la sécheresse et dont les premières descendances fixées sont actuellement en observation.

Cependant, les acquis relatifs à une méthode de sélection des variétés tolérantes à la sécheresse sont insuffisants ; le problème est encore plus difficile à résoudre que pour d'autres objectifs de sélection, du fait de l'interférence qui paraît exister entre résistance à la sécheresse et potentiel de rendement : les variétés traditionnelles pluviales présentant généralement un assez bon niveau de résistance globale à la sécheresse ont également un potentiel de rendement assez bas ; cette liaison n'est pas absolue : il semble que chez la variété améliorée IRAT 13 on ait concilié bon potentiel de rendement et bonne tolérance à la sécheresse (2).

Les interactions stress hydrique-pyriculariose compliquent également ce problème (cf le document relatif à la lutte contre la pyriculariose) : des périodes de stress hydrique amoindrissent les facultés de résistance des variétés (fait d'observations nombreuses et expérimentations en Côte d'Ivoire en 1976) ; de même une épidémie de pyriculariose amplifie les effets de la sécheresse ; un bon niveau de tolérance à la sécheresse doit être obligatoirement combiné chez les variétés pluviales à un bon niveau de tolérance à la pyriculariose ; les relations éventuelles entre ces deux types de tolérance sont à l'étude.

3 - LE CHOIX DES TECHNIQUES CULTURALES

Les voies de recherche explorées par l'IRAT concernent surtout le travail du sol, les modalités de semis, les relations entre alimentation hydrique et fertilisation ; quelques essais ont aussi porté sur l'installation de brise-vent et l'utilisation d'irrigations complémentaires, à Séfa (Sénégal) (50), mais les faibles différences observées entre les rendements n'ont pas incité à poursuivre l'expérimentation. On peut également citer des essais de paillage et de culture en creux de billons (50) qui n'ont pas eu non plus de suite ; la culture du riz pluvial en culture intercalaire peut être aussi envisagée à condition que l'ombrage ne soit pas trop fort avant la floraison (30) (par exemple en association avec maïs, canne à sucre, café...).

3.1 - LE TRAVAIL DU SOL

Les premiers essais ont été réalisés au Sénégal (37) (38) (51) (52), la synthèse de ces essais a été réalisée en 1975 (58) ; d'autres essais ont suivi au Cameroun (plaine des Mbo) (93), puis en Côte d'Ivoire (53) (55) (84) (88). Le travail du sol peut agir sur l'alimentation hydrique du riz pluvial en réduisant la demande en eau, par exemple en améliorant le contrôle de l'enherbement, et en augmentant l'offre, par exemple en facilitant l'infiltration et en diminuant le ruissellement ou en augmentant le développement du système racinaire.

Dans ces essais, on s'est attaché à comparer les résultats obtenus avec un travail du sol profond (labour), un travail du sol superficiel ou le non travail du sol.

3.11 - Action sur le ruissellement

Ces études ont été menées au Sénégal (Séfa) (52) où on a comparé :

- un pulvérisage aux disques (profondeur de travail sur 5 à 10 cm) réalisé en début de saison de culture en humide ;
- un labour au soc (profondeur 25 à 30 cm) effectué à la fin de la saison de culture précédente, associé à une reprise en sec par scarifiage léger en début de cycle.

Ruissellement et érosion ont été comparés sur sol nu soumis à ces deux traitements, ainsi que sur sol cultivé (maïs ou riz pluvial suivant les années) dans ce dernier cas, les semis ont été réalisés plus précocement sur le traitement labour que sur le traitement façon superficielle, mais ce facteur ne semble pas avoir eu beaucoup d'influence. Le labour réduit dans tous les cas les pertes par ruissellement de façon notable (de 29 à 62 %) par rapport au travail superficiel et augmente ainsi l'offre en eau pour le riz pluvial.

3.12 - Action sur les caractéristiques physiques du sol

L'action du travail du sol sur ses caractéristiques physiques a été étudiée de façon détaillée pour les sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche, principalement au Sénégal, ceux qui nous intéressent sont essentiellement les sols beiges et rouges de Casamance ; les nombreux résultats relatifs à l'amélioration du profil cultural ont été exposés dans un article de synthèse (54).

Le principal résultat concernant l'alimentation hydrique est la modification quantitative et qualitative de porosité apportée par le labour ; l'augmentation de porosité est appréciée quantitativement par des mesures de densité apparente ; elle est dans certains essais (38) beaucoup moins marquée en surface (horizon 0 - 10 cm) qu'en profondeur (10 - 20 cm) ; l'augmentation de la porosité implique celle de la capacité de rétention et de la réserve utile du sol. Elle ne se retrouve cependant pas dans tous les essais (37) peut-être en raison de l'affaissement du labour.

Les mesures de pénétrométrie (38) (55) permettent de mettre en évidence des différences entre traitement qu'on ne peut plus observer au niveau de la porosité. Les modifications quantitatives de la porosité ne donnent pas une représentation complète du phénomène, des observations directes sur le système racinaire ont également été effectuées.

L'augmentation de la porosité par le labour a aussi été mentionnée pour des sols ferrallitiques en Côte d'Ivoire (55) et dans l'Ouest-Cameroun pour un sol hydromorphe minéral à pseudogley (93).

3.13 - Action sur le développement du système racinaire

L'action du sous-solage, testée en sol ferrallitique à Ferkessedougou, est apparue variable ; si le semis est effectué peu après le sous-solage, l'enracinement est favorisé ; si au contraire le semis est fait longtemps après le sous-solage, (1 cycle de culture entre le sous-solage et le semis), les effets sur l'enracinement sont variables : ils sont négligeables quand seule persiste la galerie formée par le corps de la sous-soleuse ; ils dépendent du travail de reprise en surface si une zone d'ameublissement en profondeur subsiste ; pour que l'enracinement soit favorisé, il faut alors que la couche travaillée en surface et la zone ameublie en profondeur se rejoignent.

L'action du travail du sol sur le système racinaire a été observée au Sénégal en Casamance (37) (38) (51), en Côte d'Ivoire (53) (55) (62) (88) et au Cameroun sur plusieurs variétés de riz pluvial :

- Sénégal : variétés 63-83, Iguape Cateto, Taichung Native 1, IR 8, I Kong Pao,
- Côte d'Ivoire : variétés IRAT 13, Moroberekan, OS 6,
- Cameroun : variété 63-83.

Les expérimentations du Sénégal portent généralement sur la comparaison labour dressé et fermé, d'une profondeur de 20 cm, avec un grattage très superficiel réalisé avec un outil traditionnel casamançais (daba) ; en Côte d'Ivoire, on a comparé labour (profondeur 30 cm), préparation au rotavator (profondeur 10 cm) et non travail du sol (55), ou façon superficielle traditionnelle à la daba, labour peu profond (15 cm) réalisé avec une traction animale et labour profond (25 cm) réalisé avec une traction motorisée (61)

Dans l'Ouest Cameroun, région à 2 cycles de culture par an, on a comparé les modalités suivantes :

- 1er cycle labour - 2e cycle labour,
- 1er cycle labour - 2e cycle offset,
- 1er cycle offset - 2e cycle offset,
- 1er cycle daba - 2e cycle daba.

La supériorité du labour du point de vue enracinement par rapport au non travail ou au travail superficiel apparaît très clairement dans tous les essais réalisés au Sénégal ; le labour modifie de nombreux paramètres de l'enracinement (90) :

- le nombre total de racines adventives primaires par pied est plus élevé sous labour mais il correspond en fait à un nombre de talles plus important le nombre de racines par talles est similaire (variété I Kong Pao) ou plus faible (variété 63-83 et Iguape Cateto) pour le labour que pour le non travail ;

- la profondeur d'enracinement est améliorée par le labour ;

- le poids total de matière sèche racinaire est augmenté par le labour, son évolution au cours du cycle diffère également en fonction du travail du sol le gain maximum de poids sec sous labour par rapport aux autres traitements est observé à la montaison chez I Kong Pao, à partir de la fin du tallage chez 63-83 et Iguape Cateto ;

- la densité racinaire (ou poids de matière sèche racinaire par volume de sol) observée dans l'horizon touché par le labour (0 - 30 cm) est améliorée par le labour surtout dans la tranche 10 - 30 cm ; les différences sont moindres dans la tranche superficielle 0 - 10 cm (37) (38) (51) ; l'écart entre les densités sous labour et sous traitement témoin semble augmenter de façon assez régulière entre les stades tallage (32e jour après semis) fin montaison (62 à 68e jour après semis) et grain laiteux (92e jour après semis) (37) (38) (51) ; dans les horizons plus profonds non directement touchés par le labour on observe également un accroissement de densité racinaire (53) ou du poids des racines (51) jusqu'à une profondeur de 60 cm au moins (on ne dispose pas d'observations plus profondes).

Beaucoup d'autres paramètres ont aussi fait l'objet d'étude (37) (51) : diamètre des racines principales, degré de ramification, surface racinaire, vitesse de croissance ; tous ces facteurs sont modifiés par le labour dans un sens qui favorise l'alimentation hydrique.

Les caractéristiques racinaires et la réponse du travail du sol dépendent des variétés : ainsi Iguape Cateto réagit en moyenne moins fortement que 63-83, Taichung Native 1 et surtout IR 8 (37).

Dans l'Ouest Cameroun (93), la densité racinaire de 63-83 est accrue par le labour, particulièrement dans l'horizon 10-20 cm, mais aussi dans les horizons 20 - 30 cm et 30 - 40 cm ; on observe un effet résiduel du labour du 1er cycle sur le 2e cycle, spécialement pour le traitement labour-offset et dans l'horizon 10 - 20 cm.

En Côte d'Ivoire, sur sols ferrallitiques gravillonnaires, les résultats sont moins nets : l'augmentation de densité racinaire est observée dans certains cas, mais pas de façon systématique :

- pour IRAT 13 (53), la densité racinaire est plus forte en fin de cycle avec les traitements non travail ou travail superficiel qu'avec le labour (40 à 50 % en plus au 120e jour après le semis) ; en milieu de cycle (65e jour après semis) labour et non travail sont équivalents, le traitement travail superficiel présente une densité racinaire inférieure de 30 % ;

- pour Moroberekan (53) la densité racinaire est plus forte en fin de cycle avec le labour qu'avec les autres traitements ; en milieu de cycle, Moroberekan se comporte comme IRAT 13.

Dans ces conditions pédoclimatiques, le travail du sol n'apporte qu'une plus value assez faible de rendement (+ 15 %) et uniquement pour les variétés de type amélioré.

3.14 - Action sur le profil hydrique

C'est finalement par l'étude du profil hydrique que l'on peut appréhender le plus directement l'influence du labour sur l'alimentation hydrique du riz.

On observe effectivement dans les essais du Sénégal (37) (51) que l'exploitation des réserves hydriques est plus poussée sur l'ensemble du profil, sur les parcelles labourées ; la différence est nette surtout pour les horizons profonds, les horizons superficiels sont bien exploités par les racines quel que soit le travail du sol. Contrairement aux caractéristiques racinaires, on n'observe que peu de différences variétales dans les profils hydriques. Les observations faites au Cameroun vont dans le même sens.

3.15 - Autres actions

Le travail du sol, et plus spécialement le labour, peut permettre, s'il est effectué en fin de cycle cultural pour le cycle suivant, un report des disponibilités en eau d'une année sur l'autre par la diminution de l'évapotranspiration résultant de la destruction des adventices et de l'évaporation du sol par la rupture des remontées capillaires. Cette possibilité de report des réserves hydriques d'une année sur l'autre a été étudiée au Sénégal (56) (57) en comparaison avec d'autres techniques d'économie de l'eau (mulch par exemple) c'est le labour qui donne les meilleurs résultats dans ce domaine.

Enfin, le contrôle des adventices est amélioré par le labour, la quantité d'eau consommée par les mauvaises herbes est alors plus faible.

3.16 - Conclusion

L'intérêt du labour profond a été largement démontré tout au moins pour les sols sableux et sablo-argileux du Sénégal (58) du point de vue alimentation hydrique et économie de l'eau, puisqu'il permet de réduire les pertes hydriques au niveau de la culture :

- par suppression ou réduction des adventices (donc réduction d'une certaine concurrence pour l'eau) ;
- en favorisant une meilleure infiltration des premières pluies (par contre les risques de percolation sont accrus) ;
- par réduction de l'évaporation du sol nu (ceci reste cependant à confirmer dans le cas d'un sol nu non travaillé, désherbé chimiquement, ou d'un sol sarclo-biné) ;
- en facilitant le stockage de l'eau et le report des réserves d'une campagne sur la suivante grâce essentiellement à la suppression de toutes les repousses (de la plante cultivée ou d'adventices) et par rupture des remontées capillaires (cet effet semble peu important en sol sableux auto-mulchant). Le labour qui favorise le développement des plantes augmente aussi leur consommation en eau ce qui peut être un inconvénient en cas de sécheresse prolongée.

Des recherches sont actuellement menées pour déterminer les meilleures modalités de vulgarisation, au Sénégal. On se heurte actuellement dans ce pays au problème de la puissance de traction nécessaire pour réaliser ces labours en sec, des études sont en cours pour permettre de les réaliser en saison sèche (en fin de saison humide la charge de travail est trop importante) en conservant par différentes techniques une humidité suffisante dans le sol (56) (57).

En Côte d'Ivoire, le travail profond du sol donne des résultats variables selon le type de sol auquel il est appliqué (88) : les rendements des variétés IRAT 13 et Moroberekan sont équivalents en présence ou absence de travail du sol dans le sol à texture argilo sableuse et forte réserve en eau utile ; par contre le rendement de IRAT 13 (mais pas celui de Moroberekan) est amélioré de 15 % par le travail du sol, profond ou superficiel, par rapport au non-travail, tout au moins en année où la pluviométrie est bien répartie et non limitante.

Au Nord-Cameroun (73), on signale aussi les effets bénéfiques du labour : limitation des pertes de ruissellement, drainage et évaporation, meilleure implantation de la culture, meilleur contrôle des adventices.

En Haute-Volta (75) le labour apporte une plus-value importante par rapport à la préparation manuelle du sol ; le labour tardif semble supérieur à celui réalisé dès la première pluie utile.

Au Mali (Sikasso), le labour de début de saison des pluies est bénéfique pour le riz pluvial (76). Au Brésil (77), pour les cultures de 1er ou 2e cycle ou de cycle unique, le labour est préférable aux techniques plus superficielles de travail du sol.

3.2 - LA FERTILISATION

Les relations entre alimentation hydrique et alimentation minérale sont complexes.

La fertilisation intervient de plusieurs façons dans l'alimentation hydrique du riz pluvial en favorisant la croissance racinaire et la croissance aérienne des plantes.

Inversement, l'état hydrique du sol influe sur l'absorption des éléments minéraux.

3.21 - Action sur le système racinaire

La croissance du système racinaire semble favorisée par la fertilisation azotée ; c'est ce qui ressort d'essai réalisé à Séfa (Sénégal) sur sols rouges en 1971 (variété I Kong Pao) (59) où l'azote apporté avant tallage à dose modérée (50 kg N/ha) favorise la croissance racinaire (mesure à 50 jours après semis) ; des doses plus fortes (75 ou 100 kg N/ha) n'apportent pas d'amélioration ; dans ce même essai, on a pu observer également qu'une fertilisation phospho-potassique épanchée après le labour à raison de 100 kg P₂O₅/ha et de 100 kg K₂O/ha, augmente au moins en début de cycle (mesures effectuées au 20e jours après semis) la densité racinaire dans la couche superficielle du sol (0 - 10 cm), mais pas dans les horizons plus profonds (58). Ceci vient d'ailleurs confirmer les résultats d'une expérimentation effectuée en Côte d'Ivoire (28), où on a observé, dans des "sols artificiels obtenus par superposition de tranches de caractéristiques variables, que les racines ne prospectent pratiquement pas les horizons pauvres et se multiplient au contraire dans les horizons plus riches.

Le placement des engrais en profondeur testé sur sorgho et mil au Sénégal (58), pourrait sans doute présenter un intérêt pour le riz pluvial, en favorisant son enracinement en profondeur ; on manque cependant de données à ce sujet et l'application pratique d'une telle technique pose des problèmes non étudiés actuellement.

3.22 - Action sur les organes aériens

La fertilisation azotée agit sur les organes aériens du riz en favorisant leur croissance ; en cas d'alimentation hydrique déficitaire, l'augmentation de croissance végétative peut être préjudiciable au rendement, la réserve en eau du sol s'épuise plus vite ; cet effet de l'azote a été observé en Côte d'Ivoire (60), l'échaudage résultant d'une période de sécheresse était d'autant plus important que la dose d'azote était forte ; l'augmentation de l'exubérance de végétation sous l'effet de l'azote ne se traduit pas par une augmentation du rendement en grain à cause de la sécheresse.

Il importe donc de moduler les apports d'engrais azotés en fonction des conditions hydriques du milieu, dans les régions où les déficits hydriques en cours de cycle sont possibles les doses doivent être plus faibles que dans des régions où l'eau n'est pas un facteur limitant possible : des apports trop importants risquent non seulement d'être mal valorisés, mais encore d'être néfastes pour le rendement (62).

3.3 - LES MODALITES DE SEMIS

3.31 - Densité de semis

Comme la fertilisation, la densité de semis influe sur le nombre de talles par hectare, et par conséquent sur l'alimentation hydrique de la culture ; on peut avoir dans le cas d'une densité de semis trop forte le même effet qu'avec une fumure azotée trop élevée (63).

Des essais de densité de semis ont été effectués en Côte d'Ivoire à partir de 1968 (64) ; les densités testées étaient de 125 000 plantes/ha (semis en poquets 20 x 40) à 8 000 000 plantes/ha (semis 20 x 0,625), sur la variété OS 6. Les mesures ont porté sur le tallage et le nombre de panicles, la date d'épiaison, la hauteur de plantes, le rendement et le poids de 1 000 grains.

D'après cet essai, la densité optimum, dans les conditions de l'année, est de 30 plantes au mètre carré, ce qui correspond à un semis théorique de 10 kg/ha environ, alors que la dose de semis recommandée à l'époque était de 50 kg/ha ; cependant le calcul de la dose théorique de 10 kg/ha on admet un taux de germination de 100 %, ce qui n'est généralement pas réalisé en conditions normales de culture. Il faut noter également que la date d'épiaison est d'autant plus précoce que la densité est forte.

Les essais se sont poursuivis en 1971, par la comparaison de deux densités de semis : densité de semis "normale" et semis "clair" réussi (obtenu par éclaircissage) sur les variétés Iguape Cateto et IRRI 1035 (65) ; cet essai a été implanté à Bouaké (premier et deuxième cycle). Les résultats obtenus sont selon les points d'essais non significatifs ou en faveur du traitement "éclaircissage".

Il semble donc que la dose de semis de 50 kg/ha puisse être diminuée avec profit, sans toutefois atteindre la dose minimum de 10 kg/ha, afin de prendre en compte la possibilité de levée irrégulière ; la densité de semis doit être modulée, de même que la dose d'engrais azotée, en fonction des conditions hydriques locales.

Au Brésil où l'eau est un facteur limitant, on recommande une densité de semis de 30 kg/ha et une fertilisation azotée de 20 à 30 kg/ha; parallèlement aux Philippines, où le facteur eau est peu limitant, on préconise une densité de semis de 80 kg/ha et une fertilisation azotée de 80 kg/ha (64).

Un essai densité de semis en relation avec la fertilisation azotée a été réalisé en Côte d'Ivoire (66) sur les variétés IRAT 9 et IRAT 13 avec des doses de semis variant de 63 kg/ha à 42 kg/ha et une fumure azotée de 60 unités/ha. Un semis clair semble d'après cet essai une méthode plus adaptée dans le cas de conditions aléatoires, une croissance plus lente permet à la culture de mieux supporter une période de sécheresse qu'une culture plus développée ; l'absorption de l'azote est plus lente sur les traitements à faible densité de semis par rapport aux densités plus fortes mais elle est continue et les quantités finales d'azote mobilisées sont similaires pour les différents traitements.

Enfin, on peut encore citer les expérimentations de Côte d'Ivoire sur les interactions densité de semis - nuisance des adventices - alimentation hydrique, détaillées dans le bilan relatif à la lutte contre l'enherbement en riziculture pluviale ; une densité de semis de 30 kg/ha semble là aussi suffisante, quel que soit le traitement de lutte contre les adventices (79).

Des essais complémentaires sur la densité de semis du riz pluvial, faisant intervenir plusieurs variétés, plusieurs dates de semis, des observations climatiques, phénologiques et racinaires, doivent être entrepris par l'IRAT en Côte d'Ivoire (63).

Il faut cependant noter que dans certaines écologies où l'on utilise des variétés à faible tallage (par exemple variétés IAC, Pratao ou Daniéla au Nord Cameroun) (73), on recommande au contraire de fortes densités de semis (100 - 140 kg de semence/ha) pour obtenir un nombre de panicules/ha suffisant.

3.32 - Date de semis

La date de semis revêt une importance toute particulière du point de vue de l'alimentation hydrique de la culture. Elle conditionne, en partie au

moins, la réussite du semis, qui doit s'effectuer dans des conditions d'humidité satisfaisante et elle conditionne également le "calage" du cycle du riz avec la période pluvieuse ; elle doit être déterminée en fonction de la durée du cycle de la variété, de façon à ce que la période critique du riz pluvial, située autour de l'épiaison, coïncide avec une période bien arrosée.

Au Sénégal, on a défini la notion de "pluie utile" qui permet de choisir la date de semis présentant un seuil de garantie déterminé pour la réussite du semis (3) : la première pluie utile est celle qui non seulement est suffisante pour une germination correcte, mais qui en plus est suivie d'autres pluies permettant le démarrage ou tout au moins la survie de la culture jusqu'à l'installation complète de la saison des pluies avec un seuil de risque choisi (seuil de 80 % de réussite généralement admis) ; la décision de semer peut donc être prise en connaissance de cause.

Le semis précoce est recommandé au Sénégal et dans le Nord-Cameroun (73) ; il paraît moins impératif en Côte d'Ivoire et dans l'Ouest-Cameroun. En Côte d'Ivoire, le critère retenu pour la date de semis dans l'étude fréquentielle des pluies aboutissant au zonage du pays (23) est que la pluviométrie soit comprise entre ETP/2 et ETP dans 50 % des cas, ce qui correspond à peu près au critère "première pluie utile".

La date de semis doit également être déterminée en prenant en compte le facteur sol, des sols à réserve utile importante admettant des dates de semis plus tardives que des sols à réserve plus faible (23).

La durée du cycle des variétés cultivées et la date de semis sont en relation étroite : pour une région donnée, la durée du cycle des variétés cultivables découle à la fois de la durée probable de la saison des pluies (d'où l'intérêt des variétés précoces dans les régions à pluviosité assez faible) et de la date de semis la plus précoce que l'on peut envisager ; pour une région où différents types de variétés peuvent être cultivées (cycle court, moyen ou long) les dates de semis sont différentes (plus précoces pour les variétés à cycle long).

En plus de ces quelques études spécifiques sur la date de semis en relation avec l'alimentation hydrique du riz pluvial, il faut mentionner tous les essais multilocaux, qui fournissent de nombreuses données sur les dates de semis les plus favorables selon les régions.

3.4 - LA MODELISATION DU CALENDRIER AGRICOLE

A partir des données bioclimatologiques et des résultats concernant les techniques culturales, un essai de modélisation du calendrier agricole a été tenté, pour les stations de Vélingara, Kolda et Sedhiou-Séfa en Casamance (68), et d'une façon plus générale, une autre étude a été réalisée pour une partie de l'Afrique de l'Ouest (69).

En Casamance (68) l'objectif a été de déterminer la saison des pluies utiles en tenant compte du fait qu'un labour doit être réalisé en fin de cycle donc que le sol conserve une certaine humidité après la récolte ; une étude fréquentielle des pluies a été réalisée dans ce sens, elle a permis de déterminer la durée du cycle théorique que devrait avoir les variétés cultivées dans les conditions culturales définies plus haut.

L'étude concernant les régions à une saison de culture de l'Afrique de l'Ouest n'intéresse la riziculture pluviale que pour une partie seulement (69) ; la démarche adoptée dans cette étude est évidemment différente de celle décrite plus haut étant donné l'échelle différente. Un découpage de l'année individualise des périodes climatiques (P = Moyenne journalière des pluies).

Période sèche chaude	$P = 0$
Période préparatoire	$\frac{ETP}{10} < P < \frac{ETP}{2}$
Période intermédiaire préhumide	$\frac{ETP}{2} < P < ETP$
Période humide	$ETP < P$
Période intermédiaire post-humide	$\frac{ETP}{2} < P < ETP$
Période de réserve en eau du sol	$P < \frac{ETP}{2}$
Période sèche fraîche	$P = 0$

Pour ces différentes périodes climatiques, on a calculé les termes du bilan hydrique, ce qui permet de définir les périodes pour lesquelles il y a d'effectives disponibilités en eau.

On a ensuite fait coïncider chaque période du calendrier agricole avec un épisode climatique ; on peut ainsi définir pour chaque événement agricole et pour chaque zone climatique la durée de la période propice, ainsi que la durée du cycle des variétés cultivables.

Ce découpage est évidemment assez grossier, compte-tenu de l'échelle de l'étude. On peut considérer la modélisation du calendrier agricole comme l'exploitation synthétique de toutes les données bioclimatiques, variétales et culturales pour une meilleure utilisation des ressources du milieu et plus spécialement du facteur eau, souvent limitant.

4 - CONCLUSION

Les recherches menées à l'IRAT sur l'alimentation hydrique du riz pluvial ont conduit à une somme de résultats assez importante, tant pour la connaissance des besoins en eau de la plante que pour la détermination des sites favorables de culture ; des variétés tolérant des périodes de stress ont été identifiées ou créées (IRAT 13) et des techniques d'économie de l'eau étudiées (labour).

Les efforts se poursuivent dans tous ces domaines, aussi bien en ce qui concerne la connaissance du milieu (bioclimatologie, pédologie "quantitative" essentiellement sous l'angle réserve en eau) que de la plante (recherche d'un test rapide de résistance à la sécheresse) ou des techniques.

La synthèse de toutes ces recherches pourrait consister en un découpage par zones d'aptitude en fonction du climat et des sols pour lesquelles les variétés pourraient être déterminées en combinant les connaissances sur la plante (période critique) et sur le climat (bilan hydrique par analyse fréquentielle des pluies), de même que les techniques culturales (modélisation du calendrier agricole).

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

- (1) LE BUANEC (B.) - 1975 - Notes et actualités : la riziculture pluviale en terrain drainé, situation, problèmes et perspectives - Agronomie Tropicale, vol. XXX, 4, 1975, pp 358-381.
- (2) REYNIERS (F.N.), JACQUOT (M.) - 1978 - Démarche pour l'obtention de la résistance variétale à la sécheresse - Cas du riz pluvial - Agronomie Tropicale, vol. XXXIII, 4, 1978, pp 314-317.
- (3) DANCETTE (C.) - 1977 - Agroclimatologie appliquée à l'économie de l'eau en zone soudano-sahélienne - Rapport IRAT/ISRA, CNRA de Bambey, avril 1977, 41 p.
- (4) KALMS (J.M.), MONTENY (B.) - 1978 - Le climat radiatif en région Centre. Communication présentée aux 6e journées nationales de la climatologie à Bouaké les 27 et 28 avril 1978.
- (5) DANCETTE (C.) - 1973 - Les besoins en eau des plantes de grande culture au Sénégal - Communication présentée au colloque IAEA sur l'emploi des isotopes et des rayonnements dans les études sur la physique du sol, l'irrigation et le drainage pour la production agricole - Nicosie, Chypre, 3-7 sept. 1973, 10 p.
- (6) DANCETTE (C.), KALMS (J.M.) - 1975 - Facteurs climatiques et besoins en eau du riz pluvial en vue de la définition eau-sol-riz pluvial - Comptendu des exposés et discussion de la réunion tenue à Bouaké du 1er au 5 mai 1975, pp 15-17.
- (7) IRAT/SENEGAL - 1975 - Rapport de synthèse 1975 - Rapport IRAT/ISRA, CNRA de Bambey, 1976, environ 150 p.
- (8) REYNIERS (F.N.), KALMS (J.M.) - 1975 - Etudes de la résistance variétale à la sécheresse du riz en vue de son amélioration - Communication présentée au Séminaire "Physiology program formulation Workshop", IITA, Ibadan, 21-26 avril 1975.
- (9) DANCETTE (C.) - 1974 - Stades de sensibilité à la sécheresse et influence des stress hydriques sur deux variétés très différentes utilisées en riziculture pluviale - Rapport IRAT/ISRA, CNRA de Bambey, sept. 1974, 17 p.
- (10) REYNIERS (F.N.), KALMS (J.M.), RIDDERS (J.) - 1976 - Différence de comportement d'un riz pluvial et d'un riz irrigué en condition d'alimentation hydrique déficitaire - 1 - Etude des facteurs permettant d'esquiver la sécheresse - Agron. Trop., XXXI, 2, 1976, pp 179-187.

- (11) KALMS (J.M.), CHABALIER (P.F.) - 1981 - Bilan d'un essai agronomique de longue durée "systèmes culturaux de Bouaké" - Synthèse des principaux résultats de 1967 à 1978 d'un test de différents systèmes culturaux. Rapport IRAT/IDESSA, Bouaké, janvier 1981, 90 p. + annexes.
- (12) IRAT/COTE D'IVOIRE - 1972 - Physiologie - Rapport annuel 1972 - Rapport IRAT, 1973, 18 p.
- (13) IRAT/COTE D'IVOIRE - 1973 - Physiologie - Rapport annuel 1973 - Rapport IRAT, 1974, 17 p.
- (14) IRAT/COTE D'IVOIRE - 1975 - Physiologie - Opération résistance variétale à la sécheresse du riz - Rapport d'activité 1974 - 1975, 65 p.
- (15) IRAT COTE/D'IVOIRE - 1976 - Physiologie - Opération résistance variétale à la sécheresse du riz - Rapport d'activité 1976, 29 p.
- (16) REYNIERS (F.N.) - 1978 - Opération tolérance variétale à la sécheresse du riz pluvial - Rapport d'activités 1977 - Rapport IRAT/IDESSA, Bouaké, 1978, 63 p.
- (17) ARRAUDEAU (M.) - 1977 - Riz pluvial et pluviométrie - Etude de la variabilité du rendement de 21 variétés de la collection de la station de Bouaké - Rapport IRAT/IDESSA, 1977, 13 p.
- (18) HADDAD (G.), SEGUY (L.) - 1972 - Le riz pluvial dans le Sénégal méridional - Bilan de quatre années d'expérimentation (1966-1969)- Agron. Trop. Vol. XXVII, 4, 1972, pp 419-461.
- (19) IRAT - 1975 - Pluviométrie et riz pluvial - Rapport IRAT, décembre 1975, 25 p. + annexes.
- (20) COLLIN (D.), DAUPHIN (F.) - 1974 - Essai de recherche de zones écologiques favorables au riz pluvial en Afrique tropicale - Rapport SATEC, juin 1974, 21 p. + annexes.
- (21) DANCETTE (C.) - 1976 - Mesures d'évapotranspiration potentielle et d'évaporation d'une nappe d'eau libre au Sénégal - Agron. Trop., XXXI, 4, 1976, pp 321-338.
- (22) DANCETTE (C.) - 1973 - Travaux réalisés par l'IRAT et principales orientations dans le domaine des relations eau-sol-plante - Agronomie Tropicale, XXVIII,9, 1973, pp 881-886.
- (23) GIGOU (J.) - 1973 - Etude de la pluviosité en Côte d'Ivoire - Application à la riziculture pluviale - Agron. Trop., XXVIII, 1973, pp 858-875.
- (24) MOORMANN (F.R.), VELDKAMP (N.J.) - Terroirs et riz en Afrique - Contraintes et potentiels - Document non publié, 27 p.
- (25) KALMS (J.M.) - 1975 - Caractéristiques du sol favorable à la riziculture pluviale - In Groupe de concertation eau-sol-riz pluvial - Bouaké, 1-5 mai 1975, pp 18-20.

- (26) KALMS (J.M.), VAUCLIN (M.), VACHAUD (G.) - 1978 - Modalités d'alimentation hydrique de deux variétés de riz pluvial en région centre de Côte d'Ivoire - International Symposium on the use of isotope and radiation in research on soil-plant relationships - Colombo, Sri Lanka, 11-15 déc. 1978, IAEA.
- (27) KALMS (J.M.) - 1977 - Note - Reflexions sur l'essai de présentation du thème de recherches : alimentation hydrique du riz pluvial - Note Interne IRAT, Bouaké, 29 octobre 1977, 6 p.
- (28) BERTRAND (R.) - 1971 - Réponse de l'enracinement du riz de plateau aux caractères physiques et chimiques du sol - Agron. Trop., vol XXVI, 3, mars 1971, pp 376-386.
- (29) FOREST (F.) - 1974 - Bilan hydrique efficace et prospective décadaire des besoins en eau des cultures pluviales en zone soudano-sahélienne - Cahiers pédagogiques et opérationnels - Ministère de la Coopération Direction de l'Aide au Développement - 1974 -
- (30) POSNER (J.L.) - 1978 - Radiations solaires et croissance et productivité du riz pluvial (Oryza sativa) en Afrique de l'Ouest - Agron. Trop. XXXIII, 3, 1978, pp 275-290.
- (31) CHEVREAU (B.) - 1978 - Connaissances agroclimatologiques actuelles sur la région de Touba entre Bagbe et Bafing savanes de l'Ouest Côte d'Ivoire - Rapport IRAT/IDESSA, 1978, 40 p.
- (32) REYNIERS (F.N.) - 1979 - Résistance variétale du riz pluvial à la sécheresse - Rapport annuel IRAT, 1978 - Avril 1979, 7 p.
- (33) ROBELIN (M.) - 1971 - Protocole proposé pour l'étude du comportement des plantes en conditions de sécheresse - Doc. Mult. INRA, mars 1971.
- (34) PICARD (D.), JACQUOT (M.) - 1976 - Rythmes d'émission comparés des racines nodales de trois variétés de riz (Oryza sativa L.) - Agron. Trop., XXXI, 2, pp 159-169.
- (35) CLEMENT-DEMANGE (A.) - 1978 - Analyse morphologique des plantules de quelques variétés de riz pluvial pour une réflexion sur la croissance au départ - Mémoire de DAA réalisé à l'IRAT/ENSA de Rennes, Octobre 1978, 75 p.
- (36) REYNIERS (F.N.) - 1979 - Indice de récolte et rendement biologique comme critères de sélection - In : Réunion thème céréales - Textes proposés à réflexion et discussion par les chercheurs des programmes riz pluvial et riz aquatique - Rapport IRAT, 1979, 6 p.
- (37) NICOU (R.), SEGUY (L.), HADJAD (G.) - 1970 - Comparaison de l'enracinement de quatre variétés de riz pluvial en présence ou absence de travail du sol - Agron. Trop., XXV, 8, 1970, pp 640-659.
- (38) SEGUY (L.) - 1970 - Influence des facteurs pédologiques et des techniques culturales sur la croissance et la production du riz pluvial en Casamance (Sénégal Méridional) (1968-1969) - Tome I : Rapport - Rapport IRAT/Sénégal, mars 1970, 62 p.

- (39) NICOU (R.) - 1975 - Enracinement du riz - Méthodologie de l'étude des systèmes racinaires - In : Groupe de concertation eau-sol-riz pluvial - Compte-rendu des exposés et discussions de la réunion tenue à Bouaké du 1er au 5 mai 1975, pp 21-22.
- (40) REYNIERS (F.N.) - 1976 - Classification of varieties and breeding criteria for drought tolerance of rice - 2e séminaire ADRAO "Rice Breeding and Varietal Improvement" Monrovia, Libéria, sept. 1976, Publié par l'ADRAO, janvier 1979, pp 113-123.
- (41) CHOPART (J.L.) - 1974 - Note sur l'efficacité des racines profondes du riz pluvial (var. IKP) dans son alimentation hydrique - Possibilités d'un test de résistance à la sécheresse du riz pluvial - Rapport IRAT/ISRA/CNRA de Bambey, janvier 1974, 5 p.
- (42) TRUONG BINH - 1977 - Utilisation de traceurs radioactifs pour l'étude de l'enracinement du riz pluvial en Côte d'Ivoire - Rapport de mission - Agence Internationale de l'énergie atomique, division de l'assistance technique - Projet IVC/5/05, 23 p.
- (43) REYNIERS (F.N.), TRUONG BINH - 1977 - Screening with phosphorus 32 for rooting depth among varieties of rainfed rice - Séminaire "Rice in Africa", IITA, Ibadan, Nigeria, 7-11 mars 1977, 9 p.
- (44) TRUONG BINH - 1978 - Utilisation de traceurs radioactifs pour l'étude de l'enracinement du riz pluvial en Côte d'Ivoire (Etudes complémentaires du projet IVC/5B/05 - Rapport au Gouvernement Ivoirien - Agence Internationale de l'Energie Atomique, Division de l'assistance technique, février 1978, 16 p.
- (45) TRUONG BINH - 1978 - Description du profil racinaire du riz pluvial in situ par placement du ³²P - Rapport au Gouvernement Ivoirien - AIEA, projet IVC/5/07, 7-29 sept. 1978, 7 p.
- (46) REYNIERS (F.N.), TRUONG BINH, BCIS (J.F.), BONNIN (E.), THOMIN (G.) - 1978 - Caractérisation de l'enracinement du riz pluvial in situ avec le phosphore 32 - Communication présentée au Colloque International FAO/AIEA sur l'emploi des isotopes et des rayonnements dans la recherche en phytopédologie - Colombo, Sri Lanka, 11-15 dec. 1978, (réf. IAEA - SM 235/44), pp 635-647.
- (47) TRUONG BINH, BEUNARD (P.) - 1978 - Etude de la croissance racinaire de six variétés de riz pluvial en culture aéroponique - Agron. Trop., XXXIII 3, 1978, pp 231-236.
- (48) BERGER (A.) - 1976 - Compte-rendu de mission effectuée pour le compte de l'IRAT à Bouaké (Côte d'Ivoire) - Rapport IRAT/CNRS, janvier 1976, 14 p.
- (49) JACQUINOT (L.) - 1979 - Compte rendu d'activité en 1978 - IRAT/DAP, Service de Physiologie, 1979, 4 p.
- (50) HADDAD (G.) - 1968 - Résultats expérimentaux sur l'alimentation hydrique du riz pluvial à Séfa (Casamance, Sénégal) - Communication présentée au Colloque sur la fertilité des sols tropicaux, Tananarive, Madagascar, 19-25 nov. 1967 - Sup. aux n° 2 et 5, 1968, A.T., pp 1586-1590.

- (51) CHOPART (J. L.), NICOU (R.) - 1976 - Influence du labour sur le développement radiculaire de différentes plantes cultivées au Sénégal - Conséquences sur leur alimentation hydrique - Agron. Trop., XXXI, 1 pp 7-28.
- (52) CHARREAU (C.) - 1969 - Influence des techniques culturales sur le développement du ruissellement et de l'érosion en Casamance - Communication présentée au VIIe congrès International du Génie Rural - Rapport IRAT/CNRA, Bambey, 1969, 13 p.
- (53) KALMS (J.M.) - 1979 - Note : Effet de trois techniques culturales sur le profil racinaire de deux variétés de riz pluvial dans un sol ferrallitique remanié induré gravillonnaire en Côte d'Ivoire - Note interne IRAT, 9 p.
- (54) CHARREAU (C.), NICOU (R) - 1971 - L'amélioration du profil cultural dans les sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche ouest-africaine et ses incidences agronomiques - Agron. Trop., XXVI, 2, 5, 9, 11, 1971.
- (55) LE BUANEC (B.) - Influence du labour sur les rendements de riz et de maïs en sols ferrallitiques - Rapport IRAT/Côte d'Ivoire, 12 p.
- (56) CHOPART (J.L.) - 1978 - Rapport de synthèse 1977 - Division de Physique du sol - Rapport IRAT/ISRA, CNRA Bambey, Juillet 1978, 12 p.
- (57) CHOPART (J.L.) - 1979 - Division de physique du sol - Rapport de synthèse 1978 - Rapport IRAT/ISRA, CNRA Bambey, mars 1979, 20 p.
- (58) CHOPART (J.L.) - 1975 - Influence du labour et de la localisation de l'engrais en profondeur sur l'adaptation à la sécheresse de différentes cultures pluviales au Sénégal - Rapport IRAT/ISRA, CNRA de Bambey, mars 1975, 172 p.
- (59) SIBAND (P.), DIATTA (S.) - 1974 - Contribution à l'étude de la fertilisation du riz pluvial en Casamance - Rapport IRAT, CNRA de Bambey, avril 1974, 29 p.
- (60) CHABALIER (P.F.) - 1975 - Nutrition azotée du riz - In : Groupe de concertation eau-sol riz pluvial, Bouaké, 1-5 mai 1975, pp 32-33.
- (61) LE BUANEC (B.) - 1974 - Observations sur l'ameublissement du profil cultural en sols ferrallitiques du sol et sur la croissance des plantes cultivées annuelles - A.T., XXIX, 11, 1974, pp 1079-1099.
- (62) IRAT/COTE D'IVOIRE - 1971 - Rapport annuel - Division d'Agronomie 1971 - Rapport IRAT, Bouaké, 123 p.
- (63) JACQUOT (M.), LE BUANEC (B.) - 1975 - Densité de semis et fertilisation - In : Groupe de concertation eau-sol riz pluvial, Bouaké, 1-5 mai 1975, pp 30-31.
- (64) IRAT/COTE D'IVOIRE - 1969 - Rapport annuel 1968 - Amélioration des Plantes Riz - Rapport IRAT, 1969, 83 p.

- (65) IRAT/COTE D'IVOIRE - 1971 - Rapport analytique de la section expérimentale variétale riz - Rapport IRAT, 69 p.
- (66) CHABALIER (P.F.) - 1976 - Division d'Agronomie - Fertilisation organique et chimique - Rapport analytique 1976 - Rapport IRAT, 60 p.
- (67) NICOU (R.) - 1975 - Utilisation des techniques culturales en vue d'une meilleure utilisation de l'eau - In : Groupe de concertation eau-sol-riz pluvial - Compte-rendu des exposés et discussions de la réunion tenue à Bouaké du 1er au 5 mai 1975 - pp 27-29.
- (68) WILLIOT (P.) - 1971 - Quelques résultats sur la pluviométrie des stations casamançaises de Velingara, Kolda et Sedhiou- Séfa - Application à la riziculture pluviale - Rapport IRAT, CNRA de Bambey, 8 p.
- (69) RICHARD (J.F.) - 1977 - Types de climats et modélisation des calendriers climatiques et agricole dans les conditions de l'agriculture sèche à une saison de culture d'Afrique de l'Ouest - Rapport IRAT/GES, fiche technique, n° 12, Janvier 1977, 29 p.
- (70) FORGET (M.) - 1979 - Diminution de la transpiration sous l'effet de la sécheresse chez quelques variétés de riz pluvial - Recherche d'un test de criblage - Mémoire de fin d'études agronomiques, spécialité "Agronomie Tropicale", IRAT/ENSA, Montpellier, nov. 1979, 38 p.
- (71) JACQUOT (M.), ARNAUD (M.) - 1979 - Classification numérique de variétés de riz - A.T., XXXIV, 2, avril-juin 1979, pp 157-173.
- (72) KALMS (J.M.) - 1978 - Compte-rendu de mission à l'IITA - Ibadan, Nigeria - 12-16 sept. 1978 - Rapport IRAT/IDESSA, 1978.
- (73) GUIB (R.), CHOPART (J.L.) - 1977 - Riz pluvial au Nord Cameroun - Rapport IRAT, sept. 1977, 37 p.
- (74) REYNIERS (F.N.) - 1978 - Projet d'un programme d'étude sur les phénomènes de migration en relation avec la tolérance à la sécheresse variétale du riz pluvial en France - Note interne IRAT, 17 nov. 1978, 4 p.
- (75) POISSON (C.) - 1972 - Rapport annuel 1972 - Riziculture - Bilan 1971-72 - Rapport IRAT/Haute-Volta, 114 p.
- (76) THIBOUT (F.), KEITA (B.) - 1978 - Commission technique des productions vivrières et oléagineuses - Sotuba, 21-22-23 mars 1978 - Cellule d'Agropédologie - Rapport IRAT/Section de recherche sur les cultures vivrières et oléagineuses.
- (77) SEGUY (L.), BOUZINAC (S.), BROWERS (M.) - 1978 - Rapport annuel des cultures pluviales - 1978 - Convenio EMAPA/IRAT, Rapport IRAT/EMAPA, 87 p.
- (78) CLEMENT (G.) - 1980 - Reflexions sur la recherche de caractères originaux chez les riz africains - Note interne IRAT, 1980, 5 p.
- (79) IRAT/COTE D'IVOIRE - 1976 - Rapport analytique 1976 - Malherbologie - Desherbage chimique du riz pluvial - Rapport IRAT, 44 p.

- (80) TRUONG BINH - 1980 - Etude des relations entre l'absorption du ^{32}P et de l'eau - Rapport au Gouvernement ivoirien - Rapport IRAT, février 1980, 16 p.
- (81) FOREST (F.), KALMS (J.M.) - 1980 - Espérance de production du riz pluvial en relation avec les conditions pédoclimatiques - Esquisse d'une méthode de prévision du rendement - Zone Centre Côte d'Ivoire - Rapport IRAT/IDESSA, Bouaké, mai 1980, 21 p.
- (82) VACHAUD (G.) - 1980 - Etude des modalités d'alimentation hydrique du riz pluvial - Rapport AIEA, projet IVC/5B/06, juin 1980 (confidentiel).
- (83) VACHAUD (G.), VAUCLIN (M.), KALMS (J.M.) - 1980 - Estimation des besoins en eau du riz pluvial avec prise en compte de la variabilité du sol - Communication présentée aux Journées Scientifiques du GFHN, Toulouse, 18-20 nov. 1980, 2 p.
- (84) KALMS (J.M.) - 1979 - Soil and water management for upland rice production in West Africa - IITA annual research Conference on soil and Climatic resources and constraints in relation to food crop production in West Africa - IITA, Ibadan, Nigeria, 15-19 octobre 1979.
- (85) DANCETTE (C.) - 1979 - Principales contraintes hydriques et pédoclimatiques concernant l'adaptation des cultures pluviales dans la moitié Sud du Sénégal - IITA annual research Conference on soil and climatic resources and constraints in relation to food crop production in West Africa - IITA, Ibadan, Nigeria, 15-19 oct. 1979, Rapport IRAT/CNRA, Bambey, 15 p.
- (86) GUIB (R.) - 1976 - Un bilan des travaux visant à la mise en culture des sols hardé du Nord Cameroun - A.T., XXXI, 2, pp 142-158.
- (87) SIBAND (P.) - 1976 - Quelques réflexions sur les potentialités et les problèmes des sols gris de Casamance (Sénégal méridional) - A.T., XXXI, 2, pp 105-113.
- (88) KALMS (J.M.) - 1979 - Note : Bilan des résultats des expérimentations de techniques culturales concernant le non travail du sol, le travail minimum et le labour en région Centre (Bouaké) de la Côte d'Ivoire - Rapport IRAT, 16 p.
- (89) BAYOGO (A.J.) - 1980 - Recherche d'un test de sélection de variétés de riz pluvial résistantes à la sécheresse grâce à l'étude de la réaction racinaire à la compacité d'un sol - D.A.A. , ENSA/Montpellier, 60 p.
- (90) CHOPART (J.L.) - 1980 - Etude au champ des systèmes racinaires des principales cultures pluviales au Sénégal (arachide, mil, sorgho, riz pluvial) - Thèse INP de Toulouse, 19 juin 1980, 159 p.
- (91) MONTENY (B.), HUMBERT (J.), LHOMME (J.P.), KALMS (J.M.) - 1980 - Le rayonnement net et estimation de l'évapotranspiration en Côte d'Ivoire - Agricultural Meteorology, vol. 23, janvier 1981, pp 45-61.
- (92) KALMS (J.M.) - 1980 - L'évapotranspiration réelle maximale (ETM) du riz pluvial en région Centre de Côte d'Ivoire - Rapport IRAT/IDESSA, Bouaké, déc. 1980, 9 p.

- (93) SEGUY (L.) - 1977 - Influence et conséquence de différents modes de préparation du sol sur les cultures du riz pluvial dans la plaine des Mbo (Ouest Cameroun) de 1972 à 1974 - Séminaire sur la mécanisation des exploitations individuelles des pays chauds - Journée Technique, Paris, 10 mars 1977; pp XV - 197 - XV - 225.

8- LUTTE CONTRE L'ENHERBEMENT

INSTITUT DE RECHERCHES
AGRONOMIQUES TROPICALES
ET DES CULTURES VIVRIERES

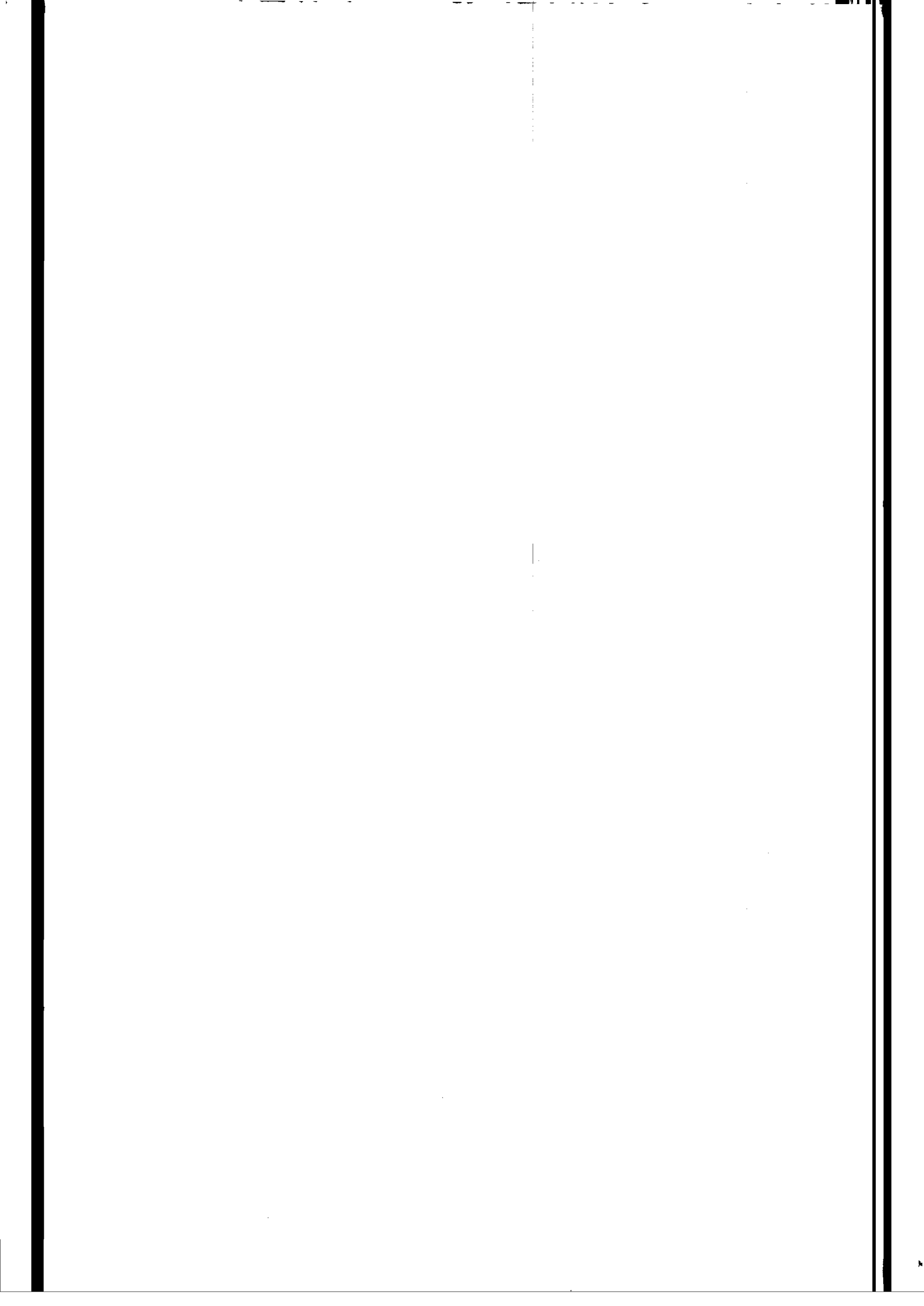


BILAN DES TRAVAUX DE RECHERCHE
SUR RIZ PLUVIAL

1960 à 1980

THEME : LUTTE CONTRE L'ENHERBEMENT

Mars 1980



AVANT-PROPOS

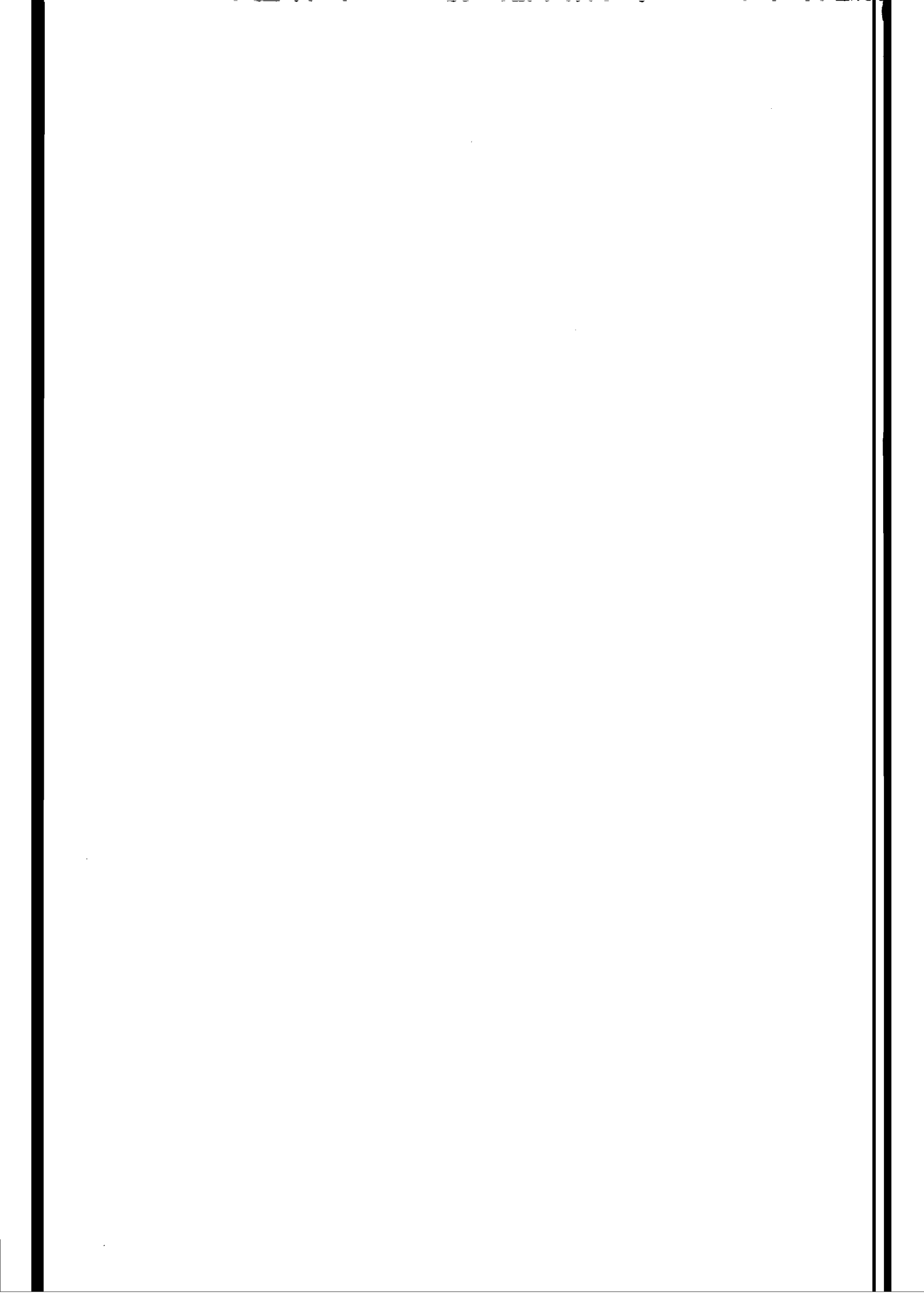
Dès sa création en 1960, l'IRAT s'est intéressé à la culture du riz pluvial en raison de son importance dans la production de riz de certaines régions tropicales d'Afrique et d'autres continents, en raison aussi de son développement possible dans des systèmes de culture utilisant des moyens modernes comme la mécanisation, la fertilisation minérale, les herbicides.

Ce passage d'un système de culture traditionnel à de nouveaux systèmes de culture nécessite des recherches dans de très nombreux domaines, pour le choix de sites favorables à la culture, pour la création de variétés adaptées, pour la mise au point des techniques optimales de culture.

Après vingt années d'activités de l'IRAT, des bilans sont souhaitables. Reprenant sous une forme condensée les questions qui se sont posées à la recherche et les réponses qui ont pu être jusqu'ici obtenues, ces bilans devraient intéresser en particulier les chercheurs et les sociétés de développement.

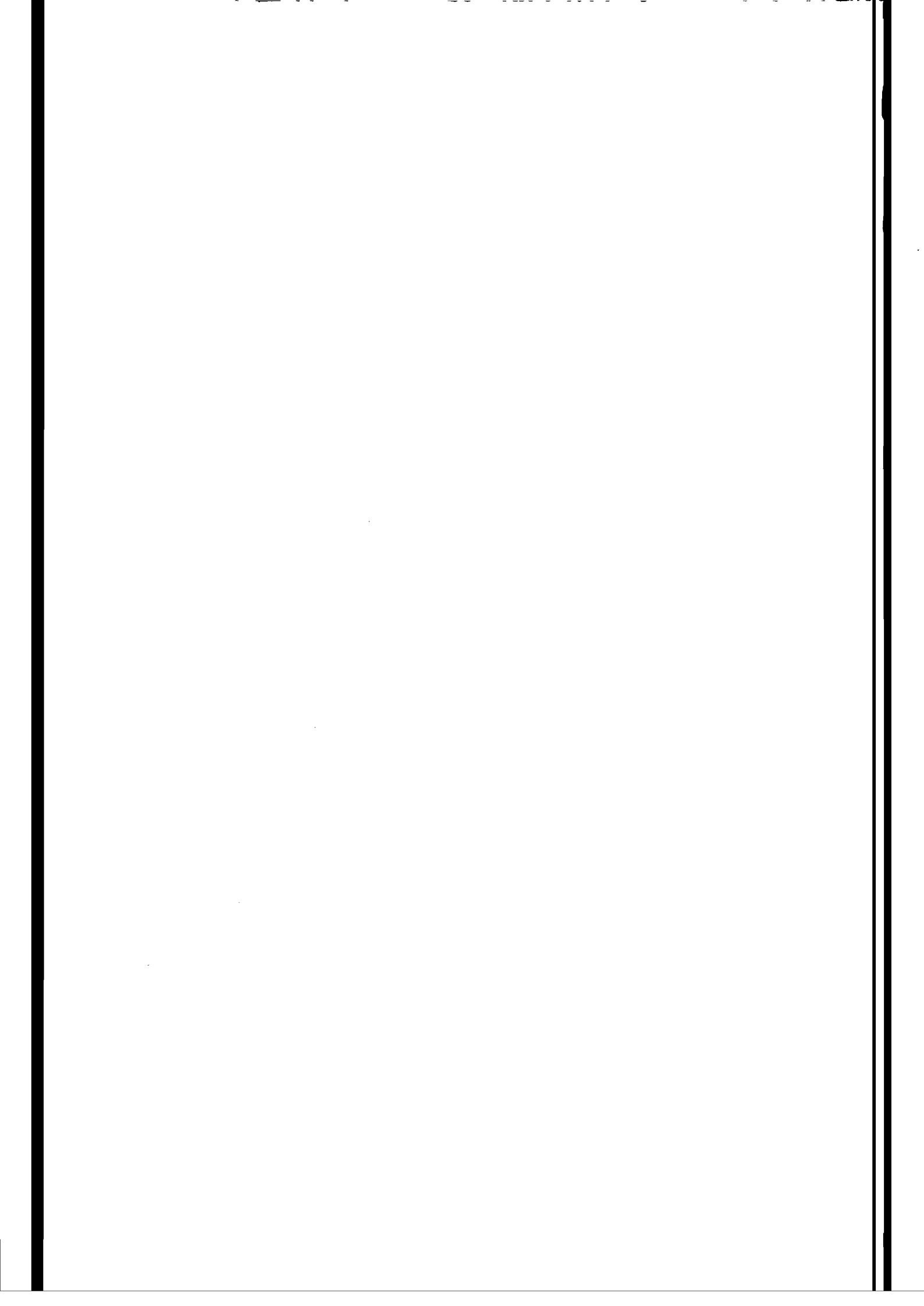
Le présent bilan traite de LA LUTTE CONTRE L'ENHERBEMENT.

Il a été conçu et rédigé par B. PERRIER, sous la conduite de M. JACQUOT, avec l'aide des chercheurs de l'IRAT spécialisés dans ce domaine : J. P. AUBIN, J. BRENIERE, J. DEUSE, S. HERNANDEZ, P. MARNOTTE, H. MERLIER, G. ROUANET, L. SEGUY, R. TOURTE, d'après l'ensemble des travaux de l'IRAT sur le sujet.



o - o - o - o - o - o
 o
 o S O M M A I R E o
 o
 o - o - o - o - o - o

	Pages
1 - INTRODUCTION.....	1
2 - ETUDE DE LA FLORE ADVENTICE ET DE SON ACTION SUR LA CULTURE.....	2
2.1 - ETUDE DE LA FLORE ADVENTICE.....	2
2.11 - Etude statique.....	2
2.111 - Méthodologies d'étude	
2.112 - Espèces principales de la flore adventice	
2.113 - Cas particuliers d'envahissement monospécifique	
2.12 - Etude dynamique.....	5
2.121 - Evolution de la composition floristique pendant un cycle de culture	
2.122 - Evolution de la composition floristique au cours des années	
2.13 - Conclusion.....	8
2.2 - NUISANCE DES ADVENTICES SUR LA CULTURE.....	9
2.21 - But de l'étude.....	9
2.22 - Méthodologie.....	9
2.23 - Résultats.....	10
2.231 - Date de début de désherbage	
2.232 - Date d'arrêt de désherbage	
2.233 - Interaction nuisance des adventices-pluviosité-densité de semis	
2.234 - Interaction nuisance des adventices-composantes du rendement	
2.235 - Nuisance spécifique de <u>Digitaria horizontalis</u>	
2.24 - Conclusion.....	13
3 - METHODES DE LUTTE.....	14
3.1 - METHODE DE LUTTE TRADITIONNELLE OU SARCLAGE MANUEL.....	14



3.45 - La réalisation des traitements herbicides.....	39
3.451 - Le matériel de traitement classique.....	39
3.4511 - Les pulvérisateurs	
3.4512 - Le dispositif de pulvérisation	
3.4513 - Réglage du dispositif de pulvérisation	
3.452 - Les traitements à bas volume.....	41
3.453 - Types de traitements particuliers.....	42
3.46 - Conclusion sur le désherbage chimique.....	43
4 - CONCLUSION GENERALE.....	44

1 - INTRODUCTION

Les études réalisées par l'IRAT sur la maîtrise des adventices en riziculture pluviale concernent essentiellement l'Afrique de l'Ouest (hormis quelques essais très ponctuels au Brésil et en Guyane) et plus spécialement certaines régions de l'Afrique de l'Ouest : Bouaké en Côte d'Ivoire, Séfa (Casamance) au Sénégal et plaine des M'bos dans l'Ouest-Cameroun.

En système de riziculture pluviale traditionnelle itinérante, pratiquée sur défriche, le problème des adventices ne se pose généralement pas la première année, apparaît souvent dès la deuxième année et peut représenter une gêne sérieuse dès la troisième. C'est d'ailleurs, sans doute, une des raisons qui expliquent ce mode de culture (avec peut-être aussi l'appauvrissement progressif des sols, les phénomènes d'érosion et les chutes de rendements inhérents à la culture continue du riz). Il serait d'ailleurs peut-être intéressant d'étudier de plus près l'apparent paradoxe entre l'accroissement de la flore adventice et l'appauvrissement des sols soumis à la culture continue du riz.

Dans le cas de systèmes d'agriculture sédentarisée, que le riz entre ou non en rotation avec d'autres cultures, les adventices constituent presque toujours un facteur limitant très important : ainsi au Sénégal (1) elles sont considérées comme le deuxième facteur limitant après les aléas de l'alimentation hydrique ; la nuisance des adventices est telle que les parcelles de riz pluvial non sarclées pendant le premier mois de culture sont souvent abandonnées par les paysans (2) ; en Côte d'Ivoire, on observe des pertes de récolte de 50 % et parfois même 100 % en l'absence de lutte contre les adventices (3). Ces pertes considérables s'expliquent par la forte densité d'adventices fréquemment observée (plus de 10 000 plantules au m²) et par leur extrême rapidité de développement (certaines espèces bouclent leur cycle en un mois) ; la compétition riz-adventices pour l'eau (sans doute le facteur le plus important en riziculture pluviale en zone sèche), pour les éléments nutritifs et pour la lumière est alors très forte (4).

Les progrès réalisés dans d'autres domaines des techniques culturales (travail du sol, fertilisation...) font ressentir avec encore plus d'acuité le problème de lutte contre les adventices. Enfin, il arrive souvent qu'en plus de la diminution notable des rendements, la présence d'adventices porte également préjudice à la qualité de la récolte (difficultés de récolte et impuretés dans le grain).

Devant l'importance du problème, l'IRAT s'est efforcé de trouver des solutions immédiatement applicables techniquement et économiquement dans le contexte agricole de l'Afrique de l'Ouest et a également entrepris des études de plus longue haleine pour une compréhension plus globale du phénomène.

2 - ETUDE DE LA FLORE ADVENTICE ET DE SON ACTION SUR LA CULTURE

La connaissance de la flore adventice et de ses effets sur le riz est indispensable : pour pouvoir mettre en oeuvre les méthodes les meilleures économiquement et techniquement, il faut savoir ce que l'on veut détruire et quand il faut le détruire. Il faut d'ailleurs mentionner le manque de flore d'utilisation pratique pour la détermination des adventices ; le manuel IRAT/ADRAO (5) constitue un commencement de solution mais il ne concerne que 35 espèces et la reconnaissance ne se fait qu'au stade adulte.

Cette connaissance de la flore comporte plusieurs volets :

- connaissance statique, qualitative et quantitative : quelles espèces trouve-t-on dans un lieu donné et en quelle quantité ;
- connaissance dynamique : évolution de la flore en un lieu donné pendant un cycle de culture ou au cours de plusieurs cycles, suivant la variation de certains facteurs du milieu ;
- enfin, quelle est l'action exacte de l'enherbement sur le riz, à quels stades cet enherbement est le plus préjudiciable à la culture (seuil d'intervention et seuil économique) ;

Les études faites par l'IRAT dans ce domaine permettent d'apporter déjà certains éléments de réponse à ces questions.

2.1 - ETUDE DE LA FLORE ADVENTICE

2.11 - Etude statique

C'est l'étude de la composition qualitative et quantitative de la flore adventice en un lieu donné, à un instant donné.

Les observations statiques de la flore adventice sont effectuées généralement dans les témoins enherbés des essais d'herbicides. On possède ainsi des relevés dans de nombreux pays.

2.111 - Méthodologies d'étude

Différentes méthodologies d'études ont été utilisées par les chercheurs de

l'IRAT suivant les pays et les stations en fonction des contraintes diverses en présence ; elles ont évolué au cours du temps simultanément avec les idées.

Les observations peuvent porter sur différents paramètres :

- présence/absence d'une espèce donnée dans une unité d'échantillonnage (par exemple anneau de 30 cm de diamètre) ;

- nombre d'individus pour une surface donnée, comptés précisément (comptage des pieds à l'intérieur d'un anneau de 30 cm de diamètre, dix lancers de l'anneau par parcelle expérimentale ; réalisé au Sénégal en 1973 (6) ; a également été employé à Madagascar (7) sous une forme un peu différente : nombre de pieds comptés sur 1 m²). Le nombre d'individus peut être aussi simplement estimé (on répartit alors les parcelles suivant 3 ou 4 classes de nombre de plantes) ;

- abondance des espèces estimée visuellement, soit purement et simplement par le pourcentage de couverture des espèces considérées : Sénégal 1972 (8), soit par des classes d'abondance/dominance : Côte d'Ivoire depuis 1973 (9) (10) (11) (12) (13) (14), avec une classe "D" espèce dominante représentant plus du tiers de la masse végétale, une classe "A" espèce abondante représentant entre un tiers et un quart de la masse végétale, une classe "X" regroupant les espèces de peu d'importance (si on trouve une classe D ou A dans le relevé) ou les espèces d'importance égale (s'il n'y a pas d'espèces de classe D ou A). Les résultats sont parfois regroupés dans un tableau donnant le nombre ou le pourcentage de parcelles expérimentales où les espèces sont présentes, abondantes ou dominantes ;

- la hauteur des adventices a parfois été mesurée : Côte d'Ivoire 1977 (14), à l'aide d'une échelle de notation de hauteur relative des adventices par rapport au riz :

- . 1 adventice au stade plantule,
- . 3 " atteignant 1/4 de la plante cultivée,
- . 5 " atteignant 1/2 de la plante cultivée,
- . 7 " atteignant 3/4 de la plante cultivée,
- . 9 " aussi haute que la plante cultivée,
- . 9° " plus haute que la plante cultivée ;

- on peut également procéder à des mesures de poids (sec ou frais) qui expriment la biomasse réelle.

Ces différentes mesures sont généralement répétées plusieurs fois au cours du cycle, à des dates variables données soit en nombre de jours après le semis, soit en nombre de jours après le traitement herbicide.

On possède ainsi, pour chaque essai, une liste des espèces principales d'adventices, ce qui constitue une masse de données importante et intéressante. Dans certains pays (Sénégal), une étude quantitative est possible sur plusieurs années (même méthode d'étude).

2.112 - Espèces principales de la flore adventice

La liste des principales adventices des rizières en Afrique a pu être dressée. Les données les plus abondantes ont été recueillies au Sénégal, dans la région de Séfa en Casamance continentale (6) (8) (15) (16) (17) (18) ; en Côte d'Ivoire dans la zone forestière (station de Man), dans le zone de savane Centre (station de Bouaké), dans la zone de savane Nord (station de Ferkessedougou) (9) (10) (11) (12) (13) (14) (19) (20) ; enfin, à Madagascar sur la côte Nord-Ouest (Ambanja et Ambilobe) et la côte Ouest (Mampikony) (7) (21) (22). On possède également quelques renseignements pour la Haute-Volta (station de Farako-Ba, près de Bobo-Dioulasso) (23) et pour le Cameroun (plaine des Mbos) (24). Une liste des principales adventices du riz pluvial est donnée en annexe 1.

Certaines constatations s'imposent.

La flore adventice du riz pluvial présente des caractères communs dans les différentes stations étudiées. Cela n'est point pour surprendre. Le riz pluvial ne peut prospérer que sous certaines conditions écologiques déterminantes elles-mêmes en conséquence la grande similitude sinon l'identité des flores naturelles et adventices.

Dans l'ensemble la flore et la végétation sont dominées par les Graminées. Les variations locales de la physionomie végétale résultent essentiellement des dominances relatives des unes ou des autres espèces, en fonction des conditions du milieu.

Ainsi, en Côte d'Ivoire (20), la flore adventice est constituée principalement par :

- les Composées, en majorité ubiquistes,
- les Graminées dont deux cinquièmes des espèces sont plus spécifiques des zones de savanes, les autres étant ubiquistes,
- les Papilionacées, Malvacées, Rubiacées surtout représentative des zones de savane.

Au Sénégal (Casamance), les Cypéracées ont une importance plus grande qu'en Côte d'Ivoire (on les trouve généralement dans certains lieux précis en dehors desquels elles n'ont qu'une importance secondaire), et l'on trouve seulement quelques Dicotylédones importantes (1).

A Madagascar (7) (21) (22), sur la Côte Ouest, la flore est dominée par deux Graminées (Rottboellia exaltata et Andropogon) associées à des espèces variées de Dicotylédones.

En Haute-Volta, les Graminées sont dominantes (Digitaria, Dactyloctenium, Pennisetum) ainsi qu'à l'Ouest du Cameroun (Digitaria, Setaria, Rottboellia).

On peut constater qu'il existe des points communs entre les flores adventices observées dans différentes stations, et que le problème de la lutte anti adventices en riziculture pluviale ne se pose pas en termes radicalement différents suivant les endroits.

2.113 - Cas particuliers d'invasion monospécifique

Parfois une espèce donnée peut présenter localement un danger particulier : par exemple Striga sp. de la famille des Scrofulariacées, plantes hémiparasites des Graminées, très répandues dans le monde (Afrique, Arabie, Indes, Australie, Madagascar, Iles Maurices, Réunion, Comores, USA) ; elle pose actuellement de sérieux problèmes aux Comores, au Nord Cameroun, en Haute-Volta en raison de sa pullulation récente ; celle-ci peut s'expliquer par l'augmentation de pression démographique qui fait disparaître la pratique de l'abandon temporaire des terres infestées, moyen de lutte autrefois utilisé. On peut observer également des enherbements monospécifiques d'Imperata cylindrica, liés à l'absence de possibilités de travail profond du sol. Euphorbia heterophylla est en passe de devenir une plante d'invasion monospécifique en Côte d'Ivoire. Diverses Cypéracées jouent aussi ce rôle avec acuité dans l'Ouest Cameroun sur les sols les plus hydromorphes de la plaine des Mbos et sur sols bruns exondés à allophanes de la région de Nyombé.

Les indications quant à la composition botanique de la flore adventice sont évidemment sujettes à variations, d'une année à l'autre pour un même lieu et d'un endroit à l'autre pour une même année. Aussi on a pu observer l'influence du sol sur la composition floristique à Bouaké (Côte d'Ivoire) : passage des Graminées d'environ 85 % à environ 30 % et des plantes diverses d'environ 15 % à environ 70 % ; le sol est plus gravillonnaire et plus acide pour la flore composée d'une majorité de Graminées ; de même les conditions climatiques d'une année donnée feront que telle espèce d'adventice sera particulièrement abondante sans que le déterminisme en soit actuellement connu.

Pour plus de précision, il serait nécessaire d'entreprendre des études sur les exigences écologiques des adventices ; l'étude dynamique peut également apporter des éléments intéressants.

2.12 - Etude dynamique

L'étude dynamique de la flore adventice peut se faire à plusieurs niveaux :

- étude de l'évolution de la composition floristique au cours d'un cycle de culture,
- étude de l'évolution de la composition floristique pendant plusieurs cycles de culture en fonction de la variation de différents facteurs de milieu,
- étude phénologique des espèces adventices (rejoignant l'évolution de la composition floristique au cours d'un cycle de culture).

Les travaux précis effectués dans ces différents domaines à l'IRAT ont été généralement le fait de chercheurs isolés et chaque essai n'a été réalisé que dans un seul pays.

2.121 - Evolution de la composition floristique pendant un cycle de culture

Elle a été particulièrement étudiée par MERLIER (20) en Côte d'Ivoire à Bouaké ; avec les relevés de flore faits dans les parcelles témoins absolus, non désherbées, de surfaces variables (12 à 40 m²) ; le riz y est cultivé suivant les normes de techniques culturales adoptées à l'IRAT (modalités de semis, de travail du sol, de fumure).

Le développement des plantules est extrêmement rapide en début de cycle : malgré un handicap de 5 à 15 jours sur le riz, à la levée, les adventices rattrapent, dépassent et étouffent le riz en 15 à 30 jours. Etant donné le nombre extraordinairement élevé de plantules au départ, il s'ensuit obligatoirement une sélection naturelle (dans le cas des parcelles non traitées). Pendant le premier mois du cycle, certaines espèces atteignent leur plein développement et sont déjà en grenaison ; il s'agit de :

Amaranthus viridis

Celosia trigyna

Commelina benghalensis

Acanthospermum hispidum

Tridax procumbens

Dactyloctenium aegyptium

Trianthema portulacastrum

Brachiaria lata

Digitaria velutina

Eleusine indica

Hackelochloa granularis

Paspalum orbiculare

Spigelia anthelmia

Mollugo nudicaulis

Boerhavia diffusa

Les Portulacées

Les Euphorbiacées

Au bout de un mois à un mois et demi, ces espèces arrivent en fin de cycle végétatif et se dessèchent plus ou moins rapidement. Quelques temps après apparaissent les espèces tardives, Graminées (Pennisetum et Rottboellia), Malvacée, Composées, Papilionacées, Rubiacées, Solanacées et Tiliacées. Certaines de ces espèces à développement tardif sont parmi les premières adventices à lever : Tridax, Ageratum, Synedrella, Rottboellia ; le problème reste posé de savoir si les individus observés dans le dernier tiers du cycle cultural ne proviennent pas, y compris les espèces qui viennent d'être citées, de levées échelonnées au long du cycle cultural.

Au Cameroun Ouest (24) les Cypéracées dominent en début de cycle, puis deux mois plus tard on observe un renversement de situation et un envahissement important par les Graminées (Digitaria, Setaria, Rottboellia).

2. 122 - Evolution de la composition floristique au cours des années

La composition floristique de la végétation adventice du riz pluvial peut varier d'une année à l'autre sous la pression de différents phénomènes que l'on peut classer en "naturels", principalement l'incidence du climat, et en "artificiels", l'action de l'homme sur le milieu, techniques culturales

essentiellement. On peut également s'attacher à étudier des variations inter-annuelles sur une période courte ou au contraire observer une évolution lente sur un grand nombre d'années. MERLIER (20) a étudié la variation de la composition floristique des adventices du riz pluvial en Côte d'Ivoire pour deux années successives ; les facteurs de variation sont :

- le précédent cultural : igname, coton de deuxième cycle après maïs de premier cycle, maïs de cycle unique, jachère ou riz,
- les conditions climatiques propres à chaque année.

La flore présente pendant l'interculture entre précédent cultural et riz est variable suivant le précédent cultural, le sol et les conditions climatiques de l'année, elle est éliminée lors de la préparation du lit de semence. Il semblerait en fait que la levée des adventices dans la culture du riz soit plus dépendante des conditions climatiques du moment même plutôt que de la composition de la flore adventice de l'interculture et du précédent cultural. Ainsi, à Bouaké, en 1973, année particulièrement déficitaire en pluies au début et même au milieu du cycle cultural, on a observé les renversements suivants par rapport à 1972 à peu près normalement arrosée :

- dominance de Paspalum orbiculare au lieu de celle de Digitaria velutina ;
- abondance d'Aspilia bussei au lieu de celle d'Ageratum conyzoides ;
- abondance et présence réduites d'Acanthospermum, Mollugo, Amaranthus viridis, et Trianthema ;
- abondance particulière de Borreria stachydea et des Oldenlandia en fin de cycle cultural.

En plus de cette expérimentation "à court terme", l'IRAT a étudié l'évolution de la flore adventice sur une période plus longue et en relation avec l'époque de mise en culture du sol ; toutes les observations de flore adventice faites en station portent sur des sols cultivés depuis longtemps ; on peut admettre que la flore a atteint son "régime de croisière" et un certain état d'équilibre ; il a paru intéressant de préciser ces tendances évolutives et c'est dans ce but qu'un essai a été installé en 1972 à la station de Séfa (8) : le principe de l'expérimentation consisté à laisser germer le stock de graines d'adventices contenues dans un échantillon de sol ; les échantillons de sol, prélevés dans la région de Kounaya et Sédhiou (sols ferrallitiques faiblement désaturés) comprennent :

- un sol de forêt,
- un sol cultivé depuis 4 ans (défriche récente),
- un sol cultivé depuis 13 ans (défriche moyenne),
- un sol cultivé depuis 41 ans (défriche ancienne),
- un sol cultivé depuis 91 ans (défriche ancienne).

Les relevés floristiques, faits au stade plantule "2 feuilles vraies" à 50 % d'enherbement, ont duré jusqu'à épuisement des stocks de graines.

On constate que le nombre total de graines d'adventices présentes est d'autant plus important que la défriche est ancienne.

La flore est composée en majorité par des Monocotylédones (67 à 90 % de la flore des sols observés) ; les Dicotylédones sont peu nombreuses. On observe une augmentation spectaculaire des Cypéracées annuelles aussi bien que pérennes qui sont d'autant plus abondantes que la défriche est plus ancienne ; elles sont sans doute favorisées par les techniques culturales. Augmentent également régulièrement avec l'âge de la défriche deux Graminées (Dactyloctenium et Digitaria) et une Rubiacée (Mitracarpus). Certaines espèces ont un comportement un peu particulier (Pennisetum pedicellatum et Borreria sp.) : leur nombre augmente rapidement jusqu'à la période "défriche de 13 ans" puis diminue ensuite progressivement. On constate également un ralentissement de végétation pour les champs cultivés depuis 4 ans (ce qui correspond peut-être à une déficience minérale ou aux changements écologiques du milieu).

Il aurait été intéressant d'étudier les changements intervenants dans la composition floristique pendant les premières années qui suivent le défrichement ; cela n'a pas été fait lors de cet essai au Sénégal, mais on possède à ce sujet des données recueillies par GREMILLET (25) en Côte d'Ivoire, à la ferme semencière de Dekokaha où des parcelles défrichées puis cultivées en riz pluvial ont fait l'objet de relevés de flore : la végétation est composée, aussi bien dans les témoins que dans les parcelles exploitées, d'une majorité de Graminées ; cependant les espèces ne sont pas les mêmes :

- les témoins sont caractérisés par l'abondance de Graminées à grand développement :

- . Echinochloa crus-gavonis,
- . Paspalum virgatum,
- . Setaria geniculata,
- . Panicum muticum,
- . Sorghum verticilliflorum,
- . Imperata cylindrica.

Certaines espèces, telles Andropogon pertusum, Cynodon dactylon, Eleusine indica, Rottboellia exaltata, Striga, sont peu représentées dans ces témoins.

- sur les parcelles exploitées les proportions sont inversées, avec un développement particulier pour les espèces suivantes : Eleusine indica, Rottboellia exaltata, Striga.

2.13 - Conclusion

Les études menées sur la flore adventice du riz pluvial permettent dès à présent de tirer certaines conclusions :

- liste des espèces rencontrées fréquemment dans les cultures de riz pluvial d'Afrique de l'Ouest et dans différents milieux ;
- caractères communs et divergences de la composition floristique des adventices ;
- influence de certains facteurs sur la flore adventice et importance relative de ces facteurs (climat, précédent cultural, mise en culture).

Il conviendrait cependant d'étendre ces études dans l'espace et dans le temps, avec des méthodes plus uniformisées, pour déterminer avec plus de précision les conditions écologiques favorables aux espèces dominantes et les voies d'évolution possibles de la flore adventice ; cette meilleure compréhension du phénomène faciliterait certainement la recherche des moyens de lutte efficaces et économiques ; des efforts standardisés dans le domaine de l'étude de la dynamique de la flore pourraient peut-être contribuer à élucider le problème de la riziculture continue.

2.2 - NUISANCE DES ADVENTICES SUR LA CULTURE

2.21 - But de l'étude

La nuisance des adventices sur le riz pluvial, qui s'exprime par l'impact plus ou moins grand sur le rendement, n'a été étudiée avec précision qu'à une période relativement récente.

On considérait en effet habituellement que le sarclage des céréales doit être aussi précoce que possible, en raison de l'exubérance du développement des mauvaises herbes en climat tropical. Cette conception a été révisée en Côte d'Ivoire lorsqu'on a observé au cours d'un essai "date de traitement" qu'une parcelle expérimentale sarclée 15 jours plus tard que les autres avait le meilleur rendement (26) (10).

Des essais systématiques pour déterminer les périodes critiques de la compétition entre riz et adventices ont alors été entrepris à partir de 1972 au Sénégal (8) et à Madagascar (21) et à partir de 1974 en Côte d'Ivoire (11).

2.22 - Méthodologie

L'étude de la nuisance a été faite en maintenant la culture propre pendant un laps de temps déterminé, on cherche à déterminer les dates de début et de fin de désherbage optimales pour le rendement du riz.

Au Sénégal, en 1972 (8), cette période est repérée en fonction des stades phénologiques du riz (stade 3 feuilles, tallage, montaison, grain laiteux, grain sec). A Madagascar, en Côte d'Ivoire et au Sénégal en 1977-1978 (27), elle est comptée en nombre de jours après le semis.

Les essais comportent un témoin toujours propre et un témoin jamais désherbé. Les observations sur mauvaises herbes sont variables : soit simple pesée du total des mauvaises herbes, soit pesée après tri par espèce ou par famille, soit relevé de flore dans les parcelles et pesée globale des mauvaises herbes. Dans tous les cas les rendements en riz ont été mesurés et constituent le critère de comparaison. En Côte d'Ivoire, on a également mesuré les composantes du rendement (poids paniculaire et nombre de panicules au m², poids de 1 000 grains, nombre de grains par panicule).

2.23 - Résultats

2.231 - Date de début de désherbage

Les essais effectués au Sénégal en 1972 (8) sont malheureusement inexploitable en raison de fortes attaques de pyriculariose et de périodes de sécheresse ayant compromis la récolte même chez le témoin. Ceux réalisés en 1978 (27) n'ont montré aucune différence significative entre les rendements pour des périodes d'enherbement de 8, 15, 30 ou 40 jours après semis. Des expérimentations menées à Madagascar et en Côte d'Ivoire, il ressort un principe général : la nuisance des adventices est très faible en début de cycle, même quand l'enherbement est important ; cette période presque sans nuisance dure environ un mois après le semis en Côte d'Ivoire, un peu moins (trois semaines) à Madagascar. Ceci résulte peut-être de l'utilisation de variétés de riz différentes : Iguape Cateto en Côte d'Ivoire et 1987, sélection IR8, à Madagascar.

Les durées d'enherbement croissantes ont une action régulièrement et progressivement dépressive, la perte de rendement occasionnée par un premier sarclage tardif (environ 40 jours après semis) paraît plus importante à Madagascar (-20 %) qu'en Côte d'Ivoire.

2.232 - Date d'arrêt du désherbage

Il s'agissait dans ces essais, effectués en Côte d'Ivoire, de déterminer l'impact de durées d'enherbement croissantes sur le rendement de riz, les parcelles étant maintenues propres durant le début du cycle. Cela revient en fait à comparer les dates de réenherbement des parcelles.

Un réenherbement précoce, un mois après le semis, est très préjudiciable au riz ; par contre un réenherbement tardif, deux mois après le semis, n'a plus d'incidence sur le rendement. La période d'enherbement critique se situerait donc pendant le deuxième mois après le semis (les essais ont porté sur la variété Iguape Cateto dont le cycle est d'environ 130 jours à Bouaké).

2.233 - Interaction nuisance des adventices - pluviosité - densité de semis

Les essais menés en Côte d'Ivoire en 1975 et 1976 montreraient, d'après MERLIER (26), que l'enherbement pendant le début du cycle (0 - 40 jours après semis) favorise le rendement ; cette constatation assez surprenante s'expliquerait en étudiant la répartition pluviométrique au cours du cycle ; on observe en effet, cette année là, un déficit pluviométrique important pendant la phase d'initiation paniculaire du riz (phase de plus grande sensibilité à la sécheresse) bien que le total de la pluviosité soit comparable à celui des années adjacentes.

On pourrait penser que le faible rendement constaté dans les parcelles du témoin propre résulte d'un choc physiologique dû à la brusque mortalité ou stérilité des talles provoquées par la sécheresse sur un riz en pleine vitalité. L'enherbement intervenant avant l'initiation paniculaire aurait au contraire limité le tallage de façon progressive, adaptant ainsi la plante à une plus faible disponibilité en eau. Le rendement meilleur observé serait dû alors à un meilleur remplissage des panicules (et non au nombre de panicules).

Le phénomène de compensation par meilleur remplissage des grains semblerait assez général (observé également en 1977) et serait d'autant plus fort que la culture ne subit pas de réenherbement ultérieur.

Il ressort de ces essais de Côte d'Ivoire que la nuisance des adventices serait variable en fonction du degré de satisfaction des besoins en eau du riz pendant la période critique :

- si les besoins en eau sont couverts pendant la période critique, la nuisance des adventices est nulle pendant le premier mois du cycle, que les conditions soient alors favorables ou non au riz. La nuisance ne devient sensible que si l'enherbement persiste au moins deux mois et encore faut-il un enherbement permanent pour faire chuter le rendement de 40 % ;

- si les besoins en eau de la période critique ne sont pas assurés, les adventices ont alors un rôle positif par réduction du tallage du riz lorsque l'enherbement est antérieur à la phase d'initiation paniculaire ; mais l'enherbement permanent annule totalement la récolte.

Ces résultats seraient à relier directement à la densité de semis des essais (60 kg/ha), vraisemblablement trop forte et mal adaptée aux conditions climatiques ; cette forte densité de semis était recommandée pour permettre un auto-contrôle des adventices par le riz et pour se prémunir contre d'éventuels accidents à la levée. Le fait serait confirmé par les résultats obtenus dans les essais d'herbicides conduits en 1975 (12) où les rendements les plus forts ont été observés dans les parcelles où le riz avait subi un éclaircissage chimique du fait des herbicides. A partir de 1976, des essais ont donc été mis en place pour tester l'influence de la densité de semis sur l'évolution de l'enherbement, donc sur la nuisance des adventices.

Trois densités de semis ont été essayées en 1976 (13) : 15, 30, 60 kg/ha.

Les traitements de désherbage utilisés (désherbage chimique seul ou complété par un sarclage manuel) ont eu pour conséquence de maintenir la culture propre pendant 1 ou 2 mois après le semis ; les résultats de cet essai montrent que, si le nombre de talles fertiles augmente avec la densité de semis, on observe le phénomène de compensation (décrit plus haut) d'accroissement du poids paniculaire moyen, plus ou moins important suivant les traitements ; aussi la densité moyenne 30 kg/ha est toujours équivalente à la dose 60 kg/ha, quel que soit le traitement de lutte contre les adventices ; la densité faible 15 kg/ha ne rattrape la densité forte 60 kg/ha que si la culture est bien entretenue.

Des essais complémentaires ont été réalisés en 1977 (14) pour comparer des modalités de semis différentes, avec la même dose de semis 30 kg/ha (semis en lignes écartées de 15 ou 30 cm) sur le réenherbement d'une culture de riz désherbée chimiquement. Il semblerait que ce facteur d'écartement des lignes de semis soit sans action sur le rendement de la culture.

2. 234 - Interaction nuisance des adventices - composantes du rendement

Des études menées par l'ORSTOM (28) en Côte d'Ivoire, par enquête en milieu paysan dans des systèmes semi-mécanisés de la région Centre, confirment la variabilité de la nuisance des adventices pour une même date de premier sarclage ; elles confirment également que les retards de sarclage provoquent la diminution du nombre de panicules (retard jusqu'au 60e jour) et du nombre de grains par panicules (retard postérieur au 60e jour) et ont un effet positif sur le remplissage des grains (poids de 1 000 grains pleins) ; cet effet de compensation est cependant compromis si l'enherbement persiste trop longtemps.

Réalisées avec des conditions et des méthodes d'observation différentes de celles de l'IRAT, ces études apportent des preuves supplémentaires à propos du mécanisme de la nuisance des adventices en riziculture pluviale.

2.235 - Nuisance spécifique de *Digitaria horizontalis*

Etant donné l'importance de l'envahissement par cette espèce dans certaines parcelles de riz pluvial en Côte d'Ivoire, il a paru nécessaire de déterminer la nuisance propre à cette espèce à différentes densités de population.

Les densités testées sont de 5, 16 et 40 plantes par m², les plantes surnuméraires étant arrachées à la main ; les plantes de *Digitaria* sont présentes pendant tout le cycle.

La nuisance apportée par une densité de seulement 5 plantes de *Digitaria* au m² est très forte en 1975 (12) (perte de 40 % de récolte) et beaucoup moins en 1976 (13) ; ceci confirme les observations sur la relation déficit de pluviosité à l'initiation paniculaire et nuisance des adventices ; une densité de 5 plantes de *Digitaria* est insuffisante pour limiter le tallage du riz,

mais ces plantes rentrent en compétition avec les talles surnuméraires. En 1976 la chute de rendement ne devient vraiment importante qu'à partir de 16 plantes de Digitaria par m².

2.24 - Conclusion

Les essais menés en Côte d'Ivoire sur la nuisance des adventices sur le riz pluvial ont permis de mettre en évidence l'étroite relation du degré de nuisance avec la satisfaction des besoins en eau du riz pendant la phase d'initiation paniculaire ; ils ont également détruit l'idée préconçue de la nuisance importante des adventices au début de la croissance du riz, tout au moins dans l'écologie de Bouaké ; cependant, ces essais concernent en majeure partie la variété Iguape Cateto et il semblerait que le comportement du riz et sa tolérance envers l'enherbement changent selon les variétés ; ainsi un essai effectué en Côte d'Ivoire en 1977 sur IRAT 13 montre que cette variété est plus sensible qu'Iguape Cateto à l'enherbement précoce. Il serait donc nécessaire d'étendre les études de nuisance à différentes variétés.

Des essais d'enherbement ont été menés en Côte d'Ivoire en 1977 et 1978 (29) (30) sur des variétés traditionnelles de O. sativa et de O. glaberrima et sur quelques échantillons de O. barthii provenant des prospections de riz dans différents pays d'Afrique de l'Ouest. Les observations n'ont porté que sur le tallage ; le tallage des parcelles enherbées pendant le premier mois du cycle (30) ou les deux premiers mois (29) est nettement affecté par rapport à celui des parcelles propres ; la plupart des O. glaberrima et O. barthii auraient une meilleure aptitude à croître en condition de compétition avec les adventices que les O. sativa et une meilleure reprise après le désherbage.

Enfin, il paraît vraisemblable que dans certains cas (sols très pauvres) la nuisance des adventices s'exprime par la compétition pour les éléments minéraux, même si l'on a pris la précaution d'apporter une bonne fertilisation ; des essais de nuisance conduits à plusieurs niveaux de fertilisation permettraient d'estimer l'importance de ce facteur.

3 - METHODES DE LUTTE

3.1 - METHODE DE LUTTE TRADITIONNELLE OU SARCLAGE MANUEL

La méthode de lutte traditionnelle en riziculture pluviale est le sarclage manuel de la culture, qui nécessite suivant le stade de croissance des adventices un temps d'intervention à l'hectare variable, mais toujours important : ainsi, pour la Côte d'Ivoire le temps de sarclage est évalué à 20 journées de travail par hectare s'il est réalisé 15 jours après la levée, à 40 à 50 jours s'il est réalisé 30 jours après la levée (3). Au Sénégal, le premier sarclage, 10 à 15 jours après le semis, demande 250 à 300 heures (1) (31), et doit être complété par trois sarclages dans l'interligne nécessitant chacun environ 60 heures par ha (31). Ces sarclages sont généralement effectués à l'aide d'outils artisanaux (hiler, sor-sor, daba, doncoton au Sénégal). On a noté au Brésil en 1979 (32), pour un cycle cultural, des temps de travaux de sarclage manuel de 25 jours/ha ; si les parcelles sont fertilisées, il faut alors 35 jours/ha.

Ces quelques chiffres permettent d'évaluer l'importance de la main d'oeuvre nécessaire pour effectuer le sarclage du riz pluvial et l'on comprendra facilement que cette méthode de lutte traditionnelle ne peut être appliquée que dans de petites exploitations familiales, où d'ailleurs elle n'est généralement pas pratiquée en temps opportun (ce qui la rend moins efficace), la période de début de cycle du riz correspondant généralement à un goulot d'étranglement, même si la main d'oeuvre est relativement abondante.

Si l'on envisage une extension des surfaces cultivées, ce moyen de lutte artisanal devient tout à fait impossible.

Face à cette situation, l'IRAT a cherché des solutions de remplacement applicables dans le contexte socio-économique ; les trois voies possibles sont le sarclage mécanique, les techniques culturales dans la rotation et le désherbage chimique ; ces différentes méthodes doivent d'ailleurs être combinées en vue d'une meilleure efficacité technique et d'une meilleure rentabilité économique.

3.2 - DESHERBAGE MECANIQUE

3.21 - Conditions de réalisation

Les essais de désherbage mécanique réalisés montrent qu'il ne peut en aucun

cas remplacer le premier sarclage manuel : le désherbage mécanique permet en effet le désherbage rapide des interlignes de culture, mais ne supprime pas l'entretien manuel sur la ligne. Par contre le sarclage mécanisé convient mieux pour les passages ultérieurs, quand le riz a suffisamment poussé pour empêcher les repousses d'adventices sur la ligne.

Le désherbage mécanique nécessite un moyen de traction animale (cas le plus probable en Afrique) ou motorisé. Le type d'équipement possible varie en fonction du mode de traction et de l'outil tracté (tableau I) :

- équipement léger, à traction asine ou équine possible, constitué par la houe sine (sarclo-binage uniquement) ;
- équipement moyen, à traction bovine, constitué par la houe sine Greco (sarclo-binage uniquement) ou par l'arara (sarclo-binage + travail du sol) ;
- équipement lourd à traction bovine, ariana ou polyculteur (ces deux outils permettant aussi le travail du sol).

TABLEAU I : MATERIELS EXISTANT POUR LE DESHERBAGE MECANIQUE DES CULTURES PLUVIALES - Extrait d'un texte de HERNANDEZ (1) -

Equipe- ment	Outil (*)	Traction possible	Usage essentiel	Largeur de travail en mètre	Elément adaptable
LEGER	houe oc- cidentale	Asine Equine	sarclo- binage	0,45-0,60	corps de charrue 3 à 4 dents de binage
	houe sine	Asine Equine	sarclo- binage	0,60	souleveuse charrue butteuse
MOYEN	houe sine Greco	Bovine	sarclo- binage	0,60-0,90	charrue butteuse souleveuse
	Arara	Bovine	polyvalent: travail du sol	0,90	dents de canadien butteur-charrue souleveuse
LOURD	Ariana	Bovine	polyvalent: travail du sol	0,90	2 semoirs jumelés dents de canadien corps butteur charrue souleveuse
	Polycul- teur à grand rendement	Bovine	polyvalent: travail du sol	1,80-2,10	3 semoirs - dents de canadien-corps butteur-charrue 2 souleveuses plateau charrette

(*) Matériel fabriqué par la Société Industrielle Sénégalaise de Commercialisation du Matériel Agricole (SISCOMA).

Ces différents équipements se distinguent les uns des autres plus par la largeur de la bande travaillée (0,45 m pour la houe occidentale et 2,10 m pour le polyculteur) que par la qualité du désherbage ; différentes pièces travaillantes de sarclage ont été comparées : lames sarcleuses de 270 mm, pattes d'oie de 160 mm, canadien de 45 mm (33) ; ces différentes pièces se sont montrées équivalentes pour la qualité du sarclage ; cependant les lames sarcleuses ne découpant qu'une faible couche de terre sont préférables pour d'autres raisons.

Dans l'Ouest Cameroun en 1977 (34), la sarcleuse manuelle Tropic prévue pour le désherbage dans l'opération de développement de la plaine des Mbos a montré certains défauts :

- largeur ne permettant pas de sarcler un interligne de 22,5 cm sans risques,
- guidage imparfait de l'instrument,
- sarclo-binage difficile sur sol saturé.

3.22 - Temps de travaux

Les temps de travaux nécessaires sont évidemment variables avec l'équipement il faut 8 heures par hectare avec la houe sine ou l'ariana et 3 heures avec le polyculteur à grand rendement. Ces durées doivent être multipliées par deux, puisqu'il faut deux personnes pour effectuer le travail, l'une guidant l'attelage et l'autre l'outil. La réduction de main-d'oeuvre est donc importante par rapport au désherbage manuel.

Le calcul des temps de travaux pour un désherbage mécanisé comprenant deux sarclages manuels sur la ligne complétés par trois sarclo-binages met cependant en évidence l'importance du temps consacré à l'entretien de la culture par rapport aux autres opérations, puisque le désherbage occupe à lui seul 50 % de la main-d'oeuvre et de la traction (1).

3.23 - Contraintes - Conclusion

Le sarclage mécanique est donc loin de résoudre le problème de la lutte contre les adventices, puisqu'il ne supprime pas les interventions manuelles ; de plus il nécessite de la part de l'agriculteur un investissement relativement important puisqu'un moyen de traction animale ainsi qu'un outil de sarclage sont indispensables. Il devient impossible quand l'écartement entre les lignes est inférieur à 45 cm.

Le recours à d'autres techniques a donc été obligatoire.

3.3 - LUTTE PAR LES TECHNIQUES CULTURALES

Les recherches sur la maîtrise des adventices par les techniques culturales sont relativement récentes et l'on peut espérer que de grands progrès seront faits dans ce domaine dans les années à venir. Les domaines explorés actuellement concernent essentiellement le travail du sol et les rotations et un peu le mode de semis. Il existe en outre un certain nombre de précautions évidentes mais qu'il est cependant bon de rappeler :

- emploi de semences propres, d'où nécessité impérative de produire des semences indemnes de graines d'adventices ;
- semis effectué sur un sol propre.

3.31 - Travail du sol

L'influence de différentes modalités de travail du sol sur l'enherbement a été étudiée principalement au Sénégal (33) ; quelques observations ont été faites également en Côte d'Ivoire (35), au Brésil (36) (32) et au Cameroun (37) (38).

3.311 - Méthodologie des essais

Au Sénégal, en Casamance (Séfa), différentes modalités de travail du sol ont été comparées pour leur action sur le rendement du riz (hauteur au tallage et rendement en grain) et pour leur action sur l'enherbement, évalué par le nombre de plantes d'adventices sur une surface déterminée.

Dans un premier essai, on a comparé toutes les combinaisons possibles associant :

- une préparation du sol de début de cycle (labour de 15 cm de profondeur après la première ou la deuxième pluie efficace, ou préparation superficielle par pattes d'oie ou canadien après la première ou la deuxième pluie efficace ;
- une reprise de cette première préparation (par pattes d'oie, canadien, herse, rotary hoe).

Dans un deuxième essai, on a comparé différentes dates et formes de reprise de début de cycle intervenant sur un labour de fin de cycle de 15 cm de profondeur.

3.312 - Résultats

Comparaison des préparations de début de cycle

Le labour, quelle que soit sa date d'exécution, a un effet nettement favorable sur la maîtrise des adventices par rapport aux préparations superficielles. De même, la date d'intervention joue un rôle important, les préparations effectuées après la deuxième pluie étant préférables à celles réalisées après la première pluie ; une intervention tardive permet de détruire une plus grande quantité d'adventices, qui ont eu le temps de lever ; cependant il faut trouver un juste milieu, le semis ne doit pas être fait trop tard, surtout les années à pluviosité déficitaire.

Il paraît plus difficile de se prononcer sur les différents modes de reprises la herse étant peut-être toutefois légèrement supérieure aux autres outils. Il semblerait là aussi que la date de reprise ait une influence sur l'enherbement ; les dernières préparations du sol doivent de préférence précéder immédiatement le semis, afin d'éliminer les quelques adventices ayant levé après le labour. Il semblerait également que les résultats soient meilleurs, pour une même date de reprise avec un labour tardif et une reprise immédiate plutôt qu'avec un labour précoce et une reprise différée.

Comparaison des reprises en début de cycle sur labour de fin de cycle

Ici encore c'est la date de reprise qui semble jouer le rôle le plus important, une reprise précoce, effectuée après la première pluie donnant de meilleurs résultats que les reprises après deuxième pluie.

Ces essais mettent en évidence l'importance du travail du sol dans la maîtrise des adventices et l'action bénéfique du labour ; la différence entre labour de début de cycle ou de fin de cycle n'apparaît pas clairement du point de vue maîtrise des adventices sur le riz, le labour de fin de cycle présentant cependant l'intérêt de permettre des reprises précoces pendant une période où les pluies mal installées laissent des périodes de sécheresse favorisant la destruction des adventices.

3.313 - Autres observations

Au Brésil, en 1978 (36), le labour a un effet nettoyant spectaculaire sur la flore adventice et diminue de façon importante le temps des sarclages manuels par rapport aux autres techniques de préparation du sol. Cela est confirmé par l'enherbement des essais herbicides effectués dans cet endroit, le plus fort enherbement étant dans le traitement "non travail + N P K", et aussi par les observations faites en 1979 (32) : le labour diminue notablement les temps de sarclage complémentaire nécessaire : sur une parcelle sans herbicide ni engrais, labourée, il faut 10 jours/ha ; sur les parcelles n'ayant subi qu'un pulvérisage, il faut plus de 15 jours/ha.

Dans l'Ouest Cameroun (37) (38) on a observé l'action bénéfique d'un labour dressé fermé, qui, répété dans le temps, maintient de hauts niveaux de rendements et a un effet nettoyant certain sur la plupart des espèces de la flore adventice. La supériorité du labour sur des façons de travail du sol plus superficielles est nette : il suffit de deux sarclages totalisant 120 heures/ha pour maintenir la culture propre après 5 cycles de culture sur les parcelles labourées alors qu'il faut 400 heures et 4 sarclages pour les modes de préparation superficiels.

3. 32 - Rotations favorables à la lutte anti-adventices

Le précédent cultural intervient de plusieurs façons sur l'enherbement du riz pluvial qui lui succède :

- soit parce qu'il exige un sarclage soigné ce qui limite le nombre d'adventices pour la culture du riz ;

- soit parce que le traitement herbicide spécifique de ce précédent contrôle des adventices qui peuvent résister au traitement herbicide du riz.

Les essais de lutte par techniques culturales effectués au Sénégal (33) associent également une étude de l'action du précédent sur l'enherbement du riz, le labour est alors effectué en fin de cycle. Les précédents étudiés sont l'arachide, le riz pluvial, le maïs et une jachère engrais vert. Ce sont les deux premiers traitements, arachide et riz pluvial, qui apparaissent comme les moins salissants ; ceci résulte sans doute de plusieurs facteurs :

- maïs et engrais vert se comportent comme deux jachères, avec de fortes repousses d'herbes après la récolte ;

- la récolte du maïs et de l'engrais vert est plus précoce que celle de l'arachide et du riz pluvial ; de ce fait le labour de fin de cycle a été réalisé plus tôt et la quantité de pluie après labour a été plus importante ; les repousses d'adventices, plus nombreuses, ont été difficilement détruites par la reprise en début de cycle.

On peut également mentionner une méthode de lutte par rotation culturale un peu particulière essayée aux Comores pour lutter contre l'infestation des champs de riz pluvial par Striga asiatica (39) (40), plante parasite dont la levée n'a lieu qu'en présence de la plante cultivée ; deux techniques ont été essayées :

- culture dérobée de riz (41), provoquant une levée massive de Striga et retournée quelques jours après la levée du riz ;

- culture piège (42) : certaines Légumineuses (arachide et dolique en particulier) ont le pouvoir de faire germer le Striga mais ne lui permettent pas de parvenir à floraison ; cette culture pratiquée pendant plusieurs années doit favoriser l'épuisement du stock de graines de Striga du sol.

Ces deux méthodes ont été, dans le cas précis du Striga asiatica aux Comores, assez peu efficaces.

Ces essais assez fragmentaires permettent cependant de constater que le précédent cultural a une action effective sur l'enherbement de la culture qui le suit ; il serait nécessaire de poursuivre ces études de façon plus précise, en différents endroits et avec de nombreux types de rotations ; la lutte contre les adventices devrait effectivement se concevoir pour l'ensemble de la rotation plutôt que pour chaque culture séparément, ce qui aboutirait certainement à une lutte raisonnée "intégrée" faisant intervenir toute la gamme des moyens de lutte de la façon la plus harmonieuse. Une étude sur la lutte contre les adventices dans le cadre de rotations se déroule d'ailleurs actuellement au Brésil, dans l'état du Maranhão, à la fois en milieu expérimental et en grande culture (32).

3.33 - Le mode de semis

Le mode de semis -en ligne, à la volée, en poquets- ainsi que la densité de semis pourraient avoir une incidence sur le contrôle des adventices en favorisant ou en limitant l'enherbement. On a ainsi observé au Brésil en 1978 (30) la supériorité du semis en poquets espacés de 50 cm par rapport au semis en ligne à 17 cm d'intervalle en ce qui concerne les temps de sarclage manuel (diminution de moitié).

En Côte d'Ivoire en 1976 (13), il a été montré qu'une densité de semis forte (60 kg/ha) n'apporte pas d'avantage par rapport à une densité plus faible (30 kg/ha). La comparaison du semis en ligne et du semis à la volée faite au Sénégal (43) (44) ne permet pas d'apporter une conclusion définitive.

3.4 - DESHERBAGE CHIMIQUE

Les essais effectués à l'IRAT pour tester différentes matières actives susceptibles de résoudre le problème de désherbage du riz pluvial ont démarré très tôt : dès 1966 en Côte d'Ivoire et à Madagascar, encore plus précocement au Sénégal, à partir de 1971 en Haute-Volta.

Il s'agissait surtout au départ de supprimer le premier sarclage, obligatoirement manuel et posant de sérieux problèmes de main-d'oeuvre, comme il a été vu plus haut ; par la suite on a recherché une efficacité de plus longue durée et la suppression totale de toute intervention mécanique ou manuelle. La simple comparaison des temps de travaux met en relief l'intérêt du désherbage chimique : contre 250-300 heures/ha pour le désherbage manuel, il suffit d'un jour/ha pour traiter avec un pulvérisateur à dos à commande manuelle (4).

Le nombre des matières actives testées au cours de ces recherches est impressionnant, et l'on est généralement arrivé à trouver une solution assez satisfaisante, bien qu'imparfaite, dans toutes les situations.

3.41 - Méthodologie des essais

La procédure des essais est en général celle préconisée par la Commission des Essais Biologiques de la Société Française de Phytologie et de Phytopharmacie (45).

Les notations sont données :

- soit par l'échelle "EWRC" (European Weed Research Control) jusqu'en 1969,
- soit par l'échelle de notation de DESAYMARD (46), ou des échelles dérivées.

Ces notations sont toujours accompagnées de relevés de flore selon des modalités diverses.

Enfin, dans tous les cas il est procédé à la mesure du rendement du riz.

3.42 - Principales matières actives ou mélanges sélectionnés par l'IRAT

3.421 - Herbicide de contact de postlevée des adventices

3.4211 - Propanil

Le propanil ou 3,4 dichloropropionanilide fait partie du groupe des amides ; c'est une des matières actives testées depuis longtemps à l'IRAT dans de nombreux pays :

- Sénégal depuis 1964 (47) (43) (48) (49) (6) (8) (15) (16) (17) (50) ;
- Côte d'Ivoire depuis 1966 (51) (52) (53) (54) (55) (56) (9) (10) (11) (12) (13) (14) (19) ;
- Haute-Volta depuis 1971 (23) (57) (58) ;
- Madagascar depuis 1966 (7) (21) (22) (59) ;

et dont les modalités d'emploi et le spectre d'efficacité sont bien connus (3) (60).

Le propanil est un herbicide de contact n'ayant aucune rémanence ; il n'est efficace que sur des adventices jeunes : la période d'application est donc très importante, la période d'application la plus favorable semble être le stade 2-3 feuilles des adventices (particulièrement des Graminées) ; au delà du stade 4-5 feuilles l'efficacité du traitement est fortement compromise.

Pour une bonne efficacité du traitement au propanil (comme d'ailleurs avec tout herbicide de contact sans rémanence) il importe que le maximum d'adventices aient levé de façon homogène au moment du traitement ; ceci implique que le sol soit préparé de façon soignée et suffisamment fine pour qu'il n'y ait pas de mottes pouvant servir de protection aux plantules.

Les doses de matière active à l'hectare applicables sont de 3 à 4 kg/ha suivant l'importance de l'enherbement.

La sélectivité sur le riz est bonne, en conditions de pulvérisation normales, même pour la dose la plus forte indiquée ci-dessus ; il peut toutefois se produire quelques brûlures et un jaunissement de feuilles, mais ces phénomènes disparaissent rapidement et n'ont pas d'action sur le rendement ; il peut par contre se produire une grave phytotoxicité si le riz est traité simultanément par un insecticide organophosphoré.

Moyennant ces contraintes d'application, le propanil contrôle efficacement bon nombre de Monocotylédones et de Dicotylédones adventices.

On peut citer pour la flore de Côte d'Ivoire :

MONOCOTYLEDONES

Paspalum orbiculare
Digitaria horizontalis
Dactyloctenium aegyptium
Brachiaria lata
Eleusine indica
Hackelochloa granularis
Pennisetum hordeoides

DICOTYLEDONES

Spigelia anthelmia
Bidens pilosa
Synedrella nodiflora
Mollugo nudicaulis
Tridax procumbens
Borreria scabra
Micrococca mercurialis
Euphorbia hirta
Celosia trigyna

Cependant le spectre d'efficacité du propanil est loin d'être total et certaines espèces envahissantes résistent aux traitements ; pour la Côte d'Ivoire :

MONOCOTYLEDONES

Commelina spp.

DICOTYLEDONES

Trianthema portulacastrum
Portulaca oleracea
Acanthospermum hispidum

De même ont été citées au Sénégal (8) :

- les Cypéracées annuelles (Killinga squamulata, Fimbristylis),
- Paspalum orbiculare ;

3.4213 - Mélange propanil + bentazon

Le bentazon (ou isopropyle-3 1H, 3H- benzothiadiazine -2,1,3 one -4 dioxide -2,2), herbicide de la famille des diazines, a été testé en Côte d'Ivoire en 1974 (11) à des doses comprises entre 0,96 et 4,80 hg M.A./ha.

Utilisé seul, le bentazon n'a aucune efficacité sur Graminées et n'a qu'une action réduite sur les Légumineuses mais agit par contre sur la plupart des Dicotylédones ; le bentazon a une bonne action sur les Cypéracées annuelles comme on a pu l'observer au Cameroun en 1977 (24). Le bentazon est très sélectif du riz. On n'observe aucun phénomène de phytotoxicité même aux plus fortes doses essayées.

On a donc pensé à utiliser le bentazon en remplacement des hormones de synthèse en mélange avec le propanil ; en Côte d'Ivoire en 1974 et 1975 (11) (12), ce mélange se montre très efficace et présente l'avantage de risque de phytotoxicité moindre. Cependant comme le mélange propanil + phytohormone, le propanil + bentazon n'est pas rémanent, ce qui limite son intérêt.

3.422 - Herbicides de prélevée des adventices

Pour pallier certains inconvénients des herbicides de post-levée cités plus haut : faible rémanence rendant souvent nécessaires des sarclages complémentaires, résistance de certaines espèces, rigidité du stade d'application, et aussi pour varier la gamme des produits utilisables (risque d'inversion de flore), l'IRAT a recherché des matières actives applicables en prélevée des adventices (l'application est généralement faite en post-semis du riz) à bonne rémanence, qui sont en fait des herbicides systémiques. Le nombre de molécules testées est très élevé, mais celui des matières actives présentant des qualités intéressantes suffisamment généralisables pour être vulgarisées est très réduit. On trouve également, outre les produits vulgarisables et les matières actives vraiment médiocres, des molécules dont les résultats sont variables et qui peuvent présenter de l'intérêt dans des situations écologiques particulières sous réserve d'essais de confirmation. Nous étudierons successivement ces deux catégories.

3.4221 - Butachlore

Le butachlore ou 2 chloro 2,6 diéthyl-N (butoxyméthyl) acétanilide fait partie du groupe des amides.

Les essais réalisés en Côte d'Ivoire en 1971 (19) (67), au Sénégal en 1972, 1973, 1974, 1975, 1976 (8) (15) (16) (17), en Haute-Volta de 1974 à 1977 (57) utilisent des doses de butachlore variant de 2 à 6 kg M.A./ha : dans tous les essais (sauf au Sénégal en 1976) l'efficacité est considérée comme satisfaisante et particulièrement l'action graminicide en Côte d'Ivoire, où la plupart des Dicotylédones sont également contrôlées (sauf Spigelia anthelmia et une Ipoméé) ; on note cependant en Haute-Volta et au Sénégal une légère phytotoxicité se manifestant par un retard à la levée, mais sans effet notable sur le

rendement ; au Sénégal, les doses de 2,5 et 3,5 kg M.A./ha ne suffisent pas à contrôler les Cyperus, Digitaria, Celosia, Paspalum, Dactyloctenium.

3.4222 - Fluorodifène

Le fluorodifène ou nitro - 2 (nitro - 4 phénoxy 1) trifluorométhyl - 4 benzène fait partie du groupe des Diphénylethers.

Le fluorodifène en prélevée a été également essayé au cours de nombreux essais : Côte d'Ivoire en 1970, 1971 (19) (51) (67), Sénégal en 1972, 1973, 1974, 1975, 1976(6) (8) (15) (16) (17) , Haute-Volta en 1975, 1976 (57) à des doses variant de 1,2 kg M. A./ha à 18 kg M. A./ha.

Le fluorodifène a également été utilisé aux Comores en 1970, 1971, 1972 (68) (69) (70) pour lutter contre Striga asiatica, mais sans grand succès.

Dans la plupart des essais l'efficacité du fluorodifène est considérée comme bonne particulièrement en Côte d'Ivoire et au Sénégal ; l'efficacité moindre observée en Haute-Volta résulte peut-être de la plus faible dose de matière active à l'hectare ou de composition de la flore adventice (Digitaria et Cyperus).

En Côte d'Ivoire, Graminées et Dicotylédones sont bien contrôlées, exceptées Synedrella nodiflora et Phyllanthus amarus. Au Sénégal, on note une bonne efficacité contre les Monocotylédones (qui constituent l'essentiel de la flore des essais) mais certaines espèces sont résistantes :

- à 2,5 kg M.A./ha : Digitaria velutina
Eleusine indica
Echinochloa colona
Paspalum orbiculare
Cyperus
- à 3,5 kg M.A./ha : Digitaria velutina
Eleusine indica
Cyperus
- à 4,5 kg M.A./ha : Eleusine indica
Cyperus.

A Madagascar en 1971 (7), avec des doses de 4 kg M.A./ha on note également la résistance des Cyperus et celle de Rottboellia exaltata et Atylosia scarabeoides (Papilionacée).

La sélectivité du fluorodifène semble toujours très bonne même pour les doses les plus élevées de matière active. Le fluorodifène contrôle les mauvaises herbes pendant environ un mois après l'application.

3.4223 - Butraline

La butraline ou dinitro - 2,6 tert-butyl - 4N - sec butylaniline fait partie du groupe des dinitro-anilines. La butraline a fait l'objet d'essais en Côte d'Ivoire en 1973 et 1974 (10) (11), au Sénégal en 1975, 1976 (16) (17), en Haute-Volta en 1975 (57) à des doses variant de 1,44 à 6,72 kg M.A./ha.

L'efficacité de la butraline a été très bonne au Sénégal (meilleur produit testé pour les deux années d'essais) où elle est conseillée par la vulgarisation à la dose de 2 kg M.A./ha, ainsi qu'en Haute-Volta ; elle a essentiellement une action graminicide mais on note également une bonne activité sur certaines Dicotylédones difficiles à détruire : Amaranthus sp., Portulaca oleracea (5) ; on n'a pas observé de phénomènes de toxicité sur le riz même aux plus fortes doses, mais la dose de 2 kg M.A./ha est généralement suffisante.

3.4224 - Benthiocarb

Le benthiocarb ou S -(4 chlorophényl) méthyl diéthylcarbamothioate fait partie de la famille des thiocarbamates.

Il a été essayé en Côte d'Ivoire en 1973, 1974 (10) (11), au Sénégal en 1975 (16) et en Haute-Volta en 1977, 1978 (23) (57), à des doses variant entre 2 et 6 kg M.A./ha.

Les résultats obtenus concernant l'efficacité de ce produit utilisé seul en prélevée sont beaucoup moins probants et réguliers que pour les produits cités précédemment. Ainsi en Côte d'Ivoire en 1973, l'efficacité à 2 ou 4 kg M.A./ha est considérée comme mauvaise et l'on note en particulier la résistance de Rottboellia exaltata.

Par contre en Côte d'Ivoire en 1974, à des doses plus élevées (3 - 6 kg M.A./ha), l'efficacité sur les Graminées est satisfaisante. Les essais au Sénégal et en Haute-Volta montrent également une efficacité acceptable mais l'on note au Sénégal une légère phytotoxicité, bien que la dose soit relativement faible (2 kg M.A./ha). L'utilisation du benthiocarb seul présente donc des garanties de succès mitigées suivant les conditions de l'application.

3.4225 - Oxadiazon

L'oxadiazon ou tert-butyl - 5(dichloro - 2,4 isopropoxy - 5 phényl) - 3.3H oxadiazoline - 1,3,4 one -2, dérivé de l'oxadiazole, a été testé en Côte d'Ivoire en 1972, 1973, 1974, 1976, 1977 (9) (10) (11) (13) (14), au Sénégal en 1973, 1974, 1975, 1976, 1978 (15) (16) (17) (27), en Haute-Volta en 1975 (57) et à Madagascar en 1972, 1973, 1974 (22), à des doses variant entre 0,5 et 2 kg M.A./ha. L'efficacité est bonne à Madagascar, en Côte d'Ivoire en 1977, au Sénégal en 1978, essentiellement pour le contrôle des Graminées, ou moyenne au Sénégal en 1976 ; on signale à Madagascar la résistance des Cyperus et de certaines Dicotylédones : Mimosa pudica, Ipomea sp., Calopogonium mucunoides, Atylosia scarabeoides.

L'oxadiazon semble très intéressant au Brésil (état du Maranhão), à la fois pour son efficacité et sa longue rémanence (30 jours). L'oxadiazon est d'ailleurs la matière active assurant actuellement la plus longue rémanence (3 à 4 semaines à la dose de 1 kg M.A./ha).

On observe couramment des phénomènes de phytotoxicité qui disparaissent rapidement pour les faibles doses d'emploi et qui n'ont des conséquences sur le rendement qu'en cas de très forts surdosages. La marge de sécurité de l'oxadiazon est en cours d'étude au Sénégal (27).

3.4226 - Pipérophos + Diméthamétryne

Le mélange pipérophos + diméthamétryne est présenté sous le nom commercial d'avirosan ; pipérophos = dithiophosphate de S -(méthyl - 2 pipéridinocarbonyl méthyle) et de O,0 dipropyle ; diméthamétryne = (diméthyl - 1,2 propylamino) 2 éthylamino - 4 méthylthio - 6 triazine 1,3,5.

Le mélange commercial comprend 100 g M.A./l de pipérophos et 400 g M.A./l de diméthamétryne.

L'avirosan a été essayé en Côte d'Ivoire en 1972, 1973, 1976, 1977 (9) (10) (13) (14), au Sénégal en 1974, 1975, 1976 (15) (16) (17), en Haute-Volta en 1975, 1976, 1978 (23) (57), au Cameroun en 1977, à des doses variant entre 1 et 6 kg de M.A./ha.

L'efficacité est variable, elle est parfois satisfaisante (Sénégal 1975) ou bonne (Côte d'Ivoire 1976) mais elle est parfois insuffisante ; on note, en Côte d'Ivoire, la résistance de Digitaria horizontalis, Ageratum conyzoides, Tridax procumbens et Commelina sp. (aux doses assez faibles : 1 à 1,6 kg M.A./ha) et de Rottboellia exaltata (aux doses assez fortes : 3 à 6 kg M.A./ha). En Haute-Volta, Eleusine n'est pas contrôlée. On observe de plus assez fréquemment des phénomènes de phytotoxicité pouvant être très forte aux fortes doses (Sénégal 1978) (27), provoquant parfois (Haute-Volta 1975) un retard de l'épiaison d'une semaine.

Au Nord Cameroun en 1977 (71) l'avirosan qui est passé en vulgarisation sous l'égide de la SODECOTON ne donne pas les résultats qu'on espérait et présente des risques de phytotoxicité ; des déboires ont déjà été constatés en milieu paysan. Dans la plaine des Mbos (Ouest Cameroun), on a observé en 1977 une très forte phytotoxicité, sur les sols hydromorphes exondés assez riches en matière organique (taux supérieur à 5 %).

Remarque

Certains de ces produits ont été également testés en post-levée du riz et de adventices (application au stade 2-3 feuilles des adventices, comme pour le propanil) en même temps qu'ils l'étaient en prélevée.

Butachlore	Côte d'Ivoire	1971	3,6 - 4,8 kg M.A./ha
Fluorodifène	Côte d'Ivoire	1971	3 - 3,6 kg M.A./ha
Butraline	Côte d'Ivoire	1973	1,44 - 2,88 kg M.A./ha
Benthiocarb	Côte d'Ivoire	1973	2 - 4 kg M.A./ha
Oxadiazon	Côte d'Ivoire	1973	1 - 2 kg M.A./ha
Avirosan	Côte d'Ivoire	1972	0,99 - 1,65 kg M.A./ha

Les résultats ont été mauvais : mauvaise efficacité pour les quatre premiers produits ; faible sélectivité vis-à-vis du riz en post-levée pour l'oxadiazon, sélectivité et efficacité médiocres pour avirosan.

Conclusion

Bien que des résultats encourageants aient été obtenus avec certains produits de prélevée, et que l'application de ces herbicides permettent la suppression du premier désherbage manuel, aucune des matières actives testées n'a de rémanence suffisante pour assurer un bon contrôle des adventices pendant toute la durée du cycle ; la rémanence la plus longue observée est d'environ 30 jours (oxadiazon).

Pour prolonger cette période de protection, on a cherché à combiner l'action de contact d'un herbicide de post-levée (très souvent le propanil) et l'effet rémanent des herbicides de prélevée.

3.423 - Mélanges herbicide de contact - herbicide rémanent

De tels mélanges sont appliqués en post-levée du riz et des adventices, au stade 2-3 feuilles des adventices (stade d'action du propanil) ; on prolonge ainsi d'une dizaine de jours la protection de la culture par l'herbicide rémanent, puisque l'application est plus tardive qu'en prélevée.

On observe également assez souvent une meilleure efficacité des produits en mélange par rapport aux produits seuls, ce qui résulte sans doute d'un effet de synergie. De même les phénomènes de phytotoxicité sont souvent amplifiés.

Les trois types de mélange ayant fait l'objet d'études sont :

- mélange propanil + herbicide rémanent,
- mélange phytohormone + herbicide rémanent,
- mélange bentazon + herbicide rémanent.

Le nombre de combinaisons essayées est assez important, le premier mélange sur tout a fait l'objet de nombreux essais.

3.4231 - Mélange propanil + butachlore

Ce mélange a été testé en Côte d'Ivoire en 1971, 1972, 1973, 1974, 1975 (9) (10) (11) (12) (19) et au Sénégal en 1972 (8). Les résultats obtenus ont été très encourageants en Côte d'Ivoire mais moins au Sénégal où l'on a observé une efficacité médiocre. L'éventail des doses essayées est large et l'on est arrivé finalement à recommander à la vulgarisation en Côte d'Ivoire 2,16 kg M.A./ha propanil + 2,4 kg M.A./ha butachlore (35). L'efficacité du mélange est donc bonne en Côte d'Ivoire, bien que l'on note l'existence de quelques espèces résistantes telles Chrysanthemum americanum, Tridax procumbens, Synedrella nodiflora, Sida sp., Aspilia bussei, Ageratum conyzoides, Commelina sp., Cyperus sp. et la Graminée Digitaria horizontalis.

La sélectivité du mélange est également tout à fait satisfaisante puisqu'il faut multiplier par dix la dose vulgarisée pour observer une phytotoxicité

suffisante pour porter préjudice au rendement ; de légères brûlures peuvent parfois être observées à la dose recommandée, mais elles sont sans conséquence pour le rendement.

3.4232 - Mélange propanil + fluorodifène

C'est également une formule qui donne de très bons résultats en Côte d'Ivoire (9) (10) (11) (12) (13) (14) (19) et qui est passée à la vulgarisation aux doses :

- propanil 2,16 kg M.A./ha,

- fluorodifène 1,5 kg M.A./ha.

On signale à peu près les mêmes espèces résistantes à ce mélange que pour propanil + butachlore, cependant fluorodifène + propanil serait plus efficace que butachlore + propanil sur les Dicotylédones et moins efficace sur les Graminées tardives (Pennisetum subangustum, Eragrostis aspera).

De même que pour le mélange propanil + butachlore, la sélectivité est très satisfaisante et les dommages à la culture n'apparaissent que pour une dose dix fois supérieure à la dose vulgarisée, bien qu'on ait noté au Sénégal en 1972 (8) une phytotoxicité assez élevée.

Toutefois la protection obtenue par ces deux mélanges ne dépasse pas un mois après le semis (35) (la rémanence de l'herbicide inhibiteur de germination est d'environ 15 jours ; application du mélange 10 à 20 jours après le semis) ; suivant les conditions climatiques de l'année, la plus-value apportée par un sarclage complémentaire est variable : elle est généralement faible lorsque la pluviosité de la première moitié du cycle est faible mais peut largement dépasser 25 % quand les conditions sont favorables à la pousse des adventices.

3.4233 - Mélange propanil + butraline

Ce mélange essayé en Côte d'Ivoire en 1975 (12) n'a pas donné de bons résultats et son étude a été abandonnée.

3. 4234 - Mélange propanil + benthocarb

Ce mélange testé en Côte d'Ivoire (10) (11) (12) (13) à partir de 1973 présente lui aussi à peu près les mêmes caractéristiques que les mélanges propanil + butachlore ou propanil + fluorodifène pour ce qui concerne l'efficacité, la durée d'action et la plus-value apportée par un sarclage complémentaire ; les doses recommandées sont de 1,8 kg M.A./ha pour le propanil et de 1,5 kg M.A./ha pour le benthocarb.

Ce mélange ne contrôle en Côte d'Ivoire qu'imparfaitement les espèces suivantes :

Brachiaria lata

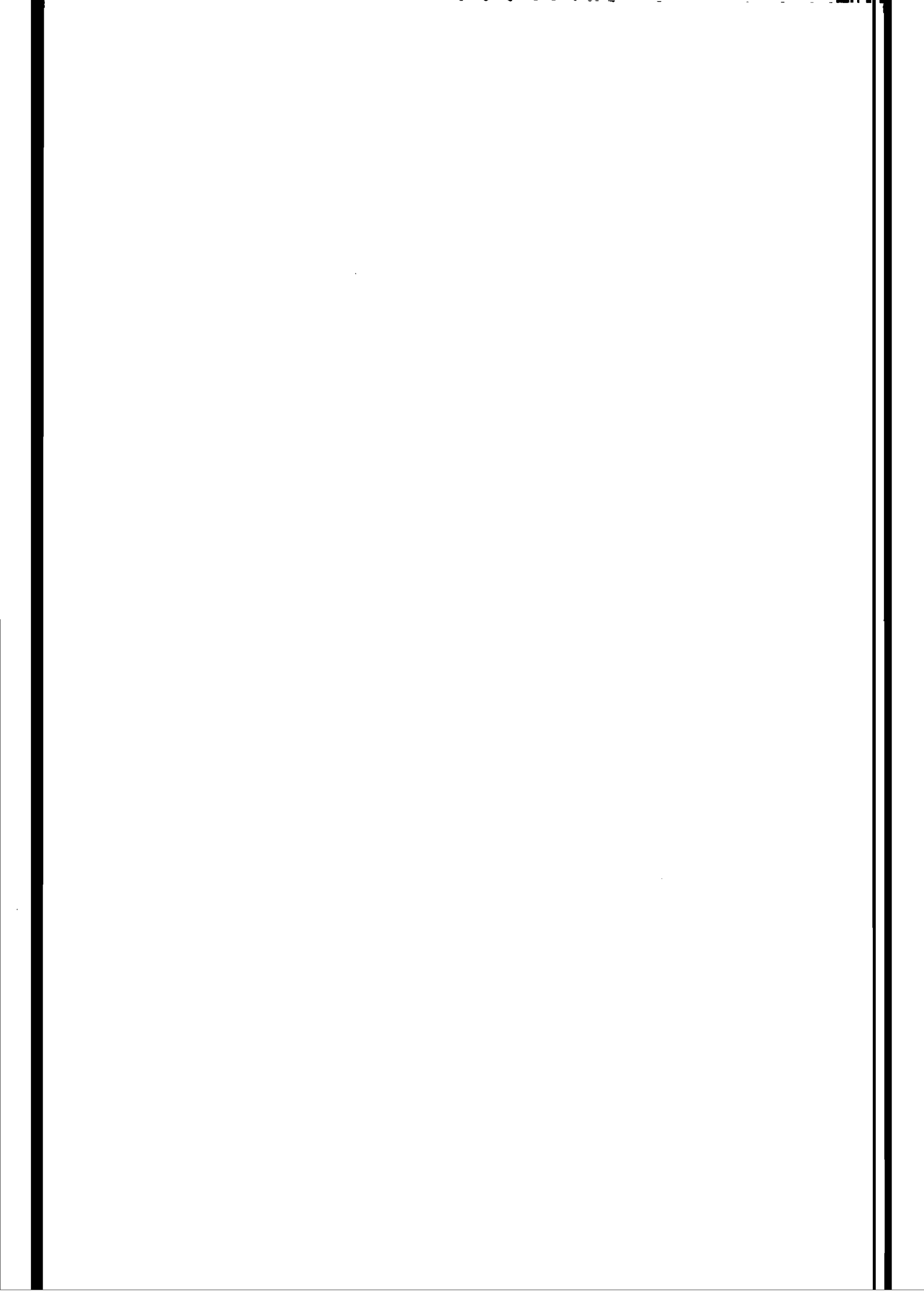
Trianthema portulacastrum

Borreria latifolia

Phyllanthus amarus

Acanthospermum hispidum

Commelina sp. etc...



suivant les conditions de l'année et jamais suffisante pour assurer une protection du riz pendant au moins les deux premiers mois de la culture, ce qui serait nécessaire puisqu'on a vu que les rendements étaient affectés surtout par l'enherbement du deuxième mois du cycle, tout au moins en Côte d'Ivoire.

On a donc essayé, en Côte d'Ivoire, de combiner herbicides de contact et herbicides rémanents, mais en effectuant des pulvérisations séparées (deux passages) ; des essais comportant plusieurs interventions ont également été conduits à Madagascar (21) (22). Cette nouvelle optique se justifie en Côte d'Ivoire étant donné qu'à partir de 1975, une forte augmentation du prix du paddy a eu lieu, ce qui permet d'envisager deux traitements herbicides au cours du cycle dans des conditions satisfaisantes de rentabilité. Par contre dans la plupart des autres pays africains, une telle pratique n'est sans doute pas rentable tout au moins dans les conditions actuelles et n'a donc pas fait l'objet d'études.

3.424 - Combinaison d'herbicides de contact et d'herbicides rémanents en traitements successifs

Toutes les formules essayées ont pour but d'augmenter la rémanence du traitement afin de supprimer tout sarclage complémentaire.

Les combinaisons sont essentiellement de deux types :

- application en prélevée d'un herbicide inhibiteur de germination rémanent, suivie d'une application en post-levée du riz et des adventices d'un herbicide de contact ;
- application en post-levée du riz et des adventices d'un herbicide de contact suivie quelques jours plus tard d'une application d'herbicide rémanent inhibiteur de germination.

Les herbicides de contact utilisés sont le propanil, le bentazon et le mélange bentazon + propanil. Les herbicides de prélevée sont ceux qui sont énumérés plus haut.

Les résultats des essais en Côte d'Ivoire en 1975, 1976, 1977 n'ont pas apporté de conclusions bien nettes quant au traitement le meilleur pour l'efficacité et la rémanence, bien que l'association benthocarb puis bentazon ait donné en 1975 de bons résultats (non confirmés par la suite). Ils ont cependant permis de mettre en évidence plusieurs faits :

- l'efficacité des traitements de prélevée est de beaucoup diminuée si l'application a lieu quand la germination est déjà en train ;
- l'efficacité des traitements de contact diminue également si l'application a lieu à un stade trop tardif, le stade 3-4 feuilles étant déjà trop âgé ;
- on a observé une phytotoxicité assez étonnante du mélange propanil + bentazon alors que les deux composés pris séparément présentent une bonne marge de sécurité ; cette phytotoxicité est très forte à partir de 2 kg M.A./ha de

propanil et augmente avec la quantité de bentazon. Ce mélange ayant été réalisé à partir des deux spécialités commerciales simples, il est vraisemblable que cette phytotoxicité résulte de la synergie provoquée par le mélange des solvants. Cette observation se retrouve d'ailleurs en Haute-Volta en 1978 (23).

Dans tous les cas pour les essais de Côte d'Ivoire, la rémanence des traitements n'a jamais été supérieure à un mois après le semis, et la supériorité de deux applications séparées par rapport à un seul passage reste encore à démontrer ; il semblerait que l'application simultanée benthiocarb + propanil, butachlore + propanil ou fluorodifène + propanil ait une meilleure efficacité instantanée que l'application séparée des mêmes produits, mais que le réenherbement soit plus rapide (Côte d'Ivoire en 1976) ; ceci demanderait confirmation, ce résultat d'une seule année découlant peut-être de conditions particulières.

A Madagascar (21) (22) (61) les mélanges essayés sont plus complexes : on retrouve en traitement de prélevée oxadiazon, fluorodifène ou un mélange des deux, complété en post-levée du riz et des adventives (stades 2-3 feuilles) par une application :

- d'herbicide de contact (propanil seul ou propanil + phytohormone 2,4,5 TP)
- d'un mélange constitué par herbicide de contact (propanil seul ou propanil + phytohormone 2,4,5 TP) + herbicide rémanent (oxadiazon, fluorodifène ou mélange des deux).

Parfois même trois traitements successifs ont été appliqués pour arriver à une efficacité maximale.

Cependant, même si l'on observe parfois dans certains cas une rémanence suffisante on ne peut pas non plus généraliser et l'étude économique réalisée à l'époque montre des résultats variables pour la rentabilité des traitements par rapport au sarclage manuel.

3.425 - Divers

Outre les différents types de mélange dont il a été question :

- herbicides de contact,
- herbicide de contact + herbicide inhibiteur de prélevée,

certaines essais comportent également des mélanges de deux herbicides de prélevée ou des mélanges plus complexes (cf. plus haut les essais de Madagascar).

Ainsi le mélange benthiocarb (1 kg M.A./ha) + fluorodifène (0,9 kg M.A./ha) + butachlore (1,2 kg M.A./ha) essayé en Côte d'Ivoire en 1977 (14) présente une efficacité intéressante. Le mélange propanil + benthiocarb + bentazon au Cameroun en 1977 (24) s'est montré intéressant, une légère phytotoxicité, résultat de conditions d'épandage défectueuses, s'étant cependant manifestée.

Enfin on peut citer la pratique de désherbage total (5) qui permet de nettoyer le sol avant le semis (ce nettoyage pouvant être effectué aussi par le travail du sol). On utilise pour cela un herbicide à rémanence très faible ou nulle, le délai entre nettoyage et semis étant en général court : paraquat (Diméthyl 1,1 bipyridinium - 4,4 - chlorure ou méthylsulfate) à 0,4 ou 0,8 kg M.A./ha, glyphosate (acide phosphonométhylamino - 2 acétique) à 1 à 2 kg M.A./ha (plantes annuelles) ou 2 fois 2 kg M.A./ha (2 passages à 15 jours d'intervalles) ; essai au Cameroun en 1977 (24) ; l'utilisation du glyphosate au Maranhão (Brésil) en préculture en 1979 a été inefficace, la réinfestation des parcelles traitées étant très rapide.

Le désherbage total avant culture peut cependant présenter certains inconvénients: ainsi au Sénégal, la dénudation du sol favorise l'érosion (HERNANDEZ S. communication orale).

On peut également citer des tentatives de désherbage chimique un peu particulières aux Comores en 1970 (68) pour lutter contre le Striga asiatica, résultant de la biologie particulière de cette adventice (plante parasite) : l'enrobage des semences de riz avec du médinoterb-acétate (MC 1488). A noter également que divers produits fongicides ont été essayés en 1971 contre cette mauvaise herbe que les herbicides classiques ne contrôlent pas (69) ; les divers fongicides essayés n'ont d'ailleurs pas eu plus de succès.

3.43 - Influence des conditions de milieu sur l'action des traitements herbicides

On a vu au cours du chapitre précédent que les résultats obtenus avec une même matière active sont variables en fonction des lieux et des années même quand les traitements ont été faits en conditions satisfaisantes (sol humide, pas de vent, pas de chute de pluie juste après le traitement) ; cette variabilité entraîne d'ailleurs souvent des difficultés pour l'interprétation des essais, ceci étant aussi bien valable pour l'efficacité que pour la sélectivité des produits.

Des tentatives d'études de ces relations ont été faites à l'occasion des différents essais ; on peut classer les facteurs de variations en plusieurs catégories :

- variations dues aux conditions de milieu physique : sol et répartition des pluies ;
- variations dues aux conditions de milieu biologique : composition de la flore adventice du lieu ;
- variations dues aux techniques culturales : travail du sol, mode de semis, précédent cultural.

Nous allons étudier séparément ces trois facteurs de variations, bien qu'il existe des liens entre eux.

3.431 - Influence de la nature du sol et de la pluviosité

Il faut distinguer l'incidence de ces deux facteurs sur la sélectivité des produits et sur leur efficacité.

Des études effectuées à Madagascar (21) (22) (61), il ressort que l'action phytotoxique de certains produits, et particulièrement les herbicides rémanents, varie en fonction de la granulométrie du sol. Dans des sols légers, sableux, la phytotoxicité est plus grave que dans des sols à teneur en argile plus forte ; ce phénomène peut résulter soit d'une disponibilité plus grande de la matière active dans les sols légers, soit d'une migration plus profonde de la substance qui atteindrait ainsi la zone d'absorption racinaire du riz. Ce phénomène a également été observé en Haute-Volta en 1971 (58) sur sols sableux. Par contre pour les points d'essais de Côte d'Ivoire, présentant pourtant des sols différents, on observe à peu près partout des résultats concordants (35).

Ce phénomène de variabilité de phytotoxicité suivant les types de sol peut être plus ou moins aggravé par les conditions pluviométriques (58) : des périodes de sécheresse, affaiblissant le riz, accentuent la phytotoxicité. On a également observé ce phénomène en Côte d'Ivoire en 1973 (10) où de mauvaises conditions de levée de riz ont amplifié la phytotoxicité des produits ; des pluies trop fortes entraînant la matière active en profondeur peuvent également avoir une action néfaste.

Pour cette raison, on a été amené à recommander à Madagascar (61) des doses de matière active variables suivant le type de sol de l'endroit (tableau II).

La variation d'efficacité des produits en fonction des types de sol n'a pas été mise, quant à elle, en évidence pour le moment. Par contre, l'alimentation hydrique en cours du cycle a une importance primordiale sur l'efficacité du traitement ainsi que le montre un essai effectué en Côte d'Ivoire en 1974 (11) si l'on pratique des irrigations de complément, assurant une alimentation hydrique correcte au cours du cycle, l'efficacité du traitement herbicide (en l'occurrence mélange propanil + fluorodifène) est moindre que dans les parcelles sans irrigation et la plus-value apportée par un désherbage complémentaire sera plus importante. Ceci résulte du fait qu'une pluviosité régulière favorise le développement des adventices donc un réenherbement après traitement plus important.

3.432 - Influence de la nature de la flore adventice

La nature de la flore adventice à contrôler influe sur l'efficacité de l'herbicide. Suivant que l'on a affaire à une végétation à dominante Graminées, Cypéracées ou Dicotylédones, l'efficacité d'un même produit est différente et varie en fonction de son spectre d'action : la variation de la flore adventice suivant les pays où les essais ont été réalisés explique sans doute en partie l'efficacité différente des produits et le choix de la formule à vulgariser.

Inversement, la nature du traitement herbicide influe sur la composition floristique des adventices en fin de cycle comme on l'a vu en Côte d'Ivoire (9) (20) (35).

TABLEAU II - TRAITEMENTS EN GRAMMES DE M.A./HA

Extrait d'un texte de FALAIS (61)

Formules	Produits du mélange	Sol léger 70% sable	Sol moyen 55% sable	Sol lourd 40 % sable 30 % argile	Application
A - <u>Sur sol alluvionnaire</u> (Zones d'Ambilobe et Ambanja)	Oxadiazon	500	750	1 000	: en prélevée : du riz
	propanil	2 800	1 750	2 100	: rattrapage : en post- : levée du : riz
	+				
1 - Derrière défriche à dominance de graminées	fluorodifène	-	1 200	2 400	: levée du : riz
	+				
	2,4,5 TP	480	480	480	:
2 - Derrière défriche à dominance de cyperacées	fluorodifène	900	1 350	2 400	: en prélevée : du riz et : en mélange
	+				
	oxadiazon	500	750	1 000	
	propanil	2 100	2 600	3 500	: en post-le : vée du riz
3 - Sur culture de riz moyennement enherbée Derrière manioc, riz, canne à sucre, à dominan- ce de cyperacées	fluorodifène	900	1 500	2 400	: en post- : levée du : riz
	+				
	propanil	1 750	2 100	3 000	
	+				
	2,4,5 TP	480	480	480	
4 - Sur culture de riz moyennement enherbée Derrière manioc, riz, canne à sucre, à dominan- ce de graminées	oxadiazon	500	750	1 000	: en post- : levée du : riz
	+				
	fluorodifène	1 500	2 100	3 000	
	+				
	2,4,5 TP	480	480	480	
5 - Sur culture de riz moyennement enherbée et déjà herbicidée Derrière manioc, riz, canne à sucre	oxadiazon	500	750	1 000	: en prélevée : du riz
	propanil	2 100	2 600	3 500	: en post- : levée du : riz
	+				
	2,4,5 TP	480	480	480	
B - <u>Sur sol latéritique sur basalte</u> (Zone de Diégo-Suarez)	*fluorodifène	-	1 500	-	: en post- : levée du : riz
	+				
6 - Derrière culture de maïs, manioc, riz, arachi- de	propanil	-	1 400	-	: levée du : riz
	+				
	2,4,5 TP	-	720	-	

fluorodifène peut être remplacé par 1 250 grammes M.A./ha d'oxadiazon.

Ainsi, avec les traitements de prélevée, les Composées, les Commelinacées, et les espèces à feuilles larges dominant (Digitaria horizontalis restant toutefois abondant), ceci résulte du fait que presque tous les produits de prélevée ont surtout une action graminicide. Avec les traitements de post-levée, on observe la dominance des Graminées et spécialement des Graminées précoces ; ceci illustre à la fois la rémanence insuffisante des produits et l'agressivité des espèces de ce groupe, qui par la rapidité de leur développement arrivent à étouffer les espèces d'autres familles.

3.433 - Influence des techniques culturales

Le travail du sol :

- un labour n'enfouissant pas totalement les adventices pénalise les traitements herbicides ultérieurs qui n'ont aucune action sur les repousses ;
- une préparation du sol n'assurant pas une levée homogène des adventices empêche que le traitement de contact soit fait au bon stade pour toutes les plantules d'adventices ; de même la mauvaise levée du riz risque d'augmenter les phénomènes de phytotoxicité ;
- la préparation du lit de semence influe sur l'efficacité des herbicides de prélevée et de contact ; en effet si la préparation est trop grossière les plantules d'adventices se développant à l'abri des mottes peuvent ne pas être touchées par le traitement de contact ; l'herbicide de prélevée n'est pas réparti de façon homogène sur le sol.

Le mode de semis :

On pourrait penser -et c'était d'ailleurs une idée couramment admise- qu'une densité de plantes de riz élevée prolonge l'efficacité des traitements herbicides en assurant un certain contrôle des adventices. Un essai mené en Côte d'Ivoire en 1971 (19) a montré qu'en fait des doses de semis de 50 ou 80 kg/ha donnent des résultats équivalents quant à l'efficacité d'un herbicide (propanil + 2,4 D + MCPA) ; de même, différents écartements de lignes (20, 30 ou 40 cm) pour ces deux doses de semence n'apportent aucune modification à l'efficacité de l'herbicide.

Un essai réalisé en Côte d'Ivoire en 1977 (14) pour évaluer l'influence de l'écartement entre lignes de semis (pour une même dose de semence à l'hectare : 30 kg) sur le réenherbement d'une culture de riz dés herbée chimiquement a confirmé que ce facteur n'avait aucune influence. Les traitements herbicides essayés étaient :

- fluorodifène en prélevée puis propanil en post-levée,
- fluorodifène + propanil en post-levée,
- benthocarb en prélevée puis propanil + bentazon en post-levée.

D'après les essais effectués au Sénégal en 1965 et 1966 (43) (44), l'influence du mode de semis (à la volée ou en lignes) est difficile à cerner. En 1965 (44) le semis en lignes + dés herbage chimique (propanil) donne de moins bons rendements que le semis à la volée, en 1966 (43) c'est le contraire.

Le précédent culturel :

Il pourrait également intervenir sur l'efficacité des traitements herbicides en influençant la composition floristique de l'enherbement ; il semblerait cependant (20), tout au moins en Côte d'Ivoire, que ce n'est pas le cas et que les conditions climatiques du début de cycle détermineraient la levée de telle espèce aux détriments de telle autre.

Au Cameroun Ouest en 1976 (72), on ne note pas de différences de comportement des herbicides suivant la rotation ; mais par contre il existe des différences d'efficacité des herbicides en fonction du cycle de culture (il y a 2 cycles de culture par an) :

- pour le 1er cycle, le meilleur résultat est obtenu avec fluorodifène,
- pour le 2e cycle, c'est le mélange propanil + benthiocarb qui est préférable.

Conclusion

Les études assez fragmentaires réalisées surtout en Côte d'Ivoire sur les relations conditions du milieu-action des herbicides doivent être poursuivies, afin de permettre une approche plus rationnelle et plus systématique de la recherche de matières actives efficaces et de leurs conditions d'utilisation.

Il semblerait en outre que l'action des herbicides est variable aussi suivant la variété de riz utilisée. Ainsi au Brésil (Maranhão), l'application d'oxadiazon sur la variété locale Cana roxa abaisse systématiquement son rendement par rapport au témoin sarclé et augmente, dans les mêmes conditions, le rendement de la variété améliorée IRAT 79.

3.44 - Liste des matières actives et des mélanges testés par l'IRAT

Cette liste, donnée dans l'annexe II, appelle les remarques suivantes :

- on retrouve bien entendu les produits à bonne action dont on a parlé en détail dans le chapitre précédent (ils sont soulignés dans le tableau) ; ces produits ont généralement été essayés pendant de nombreuses années et dans de nombreuses stations ; on peut cependant noter que certains produits intéressants n'ont pas été testés dans certains pays ;
- la plupart des autres produits cités ont été éliminés soit en raison de leur mauvaise efficacité soit en raison de leur manque de sélectivité sur le riz, soit pour les deux ; pour plus de précision quant à l'action de tous ces produits on peut se reporter aux rapports annuels correspondants.

3.45 - La réalisation des traitements herbicides

La réalisation des traitements herbicides (31) (73) (74) dans de bonnes conditions est aussi importante que le choix du produit et conditionne l'efficacité de l'application.

De bonnes conditions d'application sont :

- état d'humidité du sol satisfaisant,
- traitement par temps pas trop ensoleillé (le soleil peut accélérer la décomposition de certains herbicides),
- absence de chute de pluie juste après le traitement (surtout herbicides de contact),
- absence de vent,
- répartition homogène du produit, celle-ci étant dépendante du bon réglage du matériel de pulvérisation et de la régularité de la vitesse d'avancement.

Les herbicides commerciaux peuvent se présenter sous plusieurs formes : liquides, poudres mouillables, granulés ou microgranulés.

Une suite de règles de trois assez simples permet de calculer :

- la quantité de produit commercial à épandre par hectare (connaissant la dose de matière active adéquate) ;
- la quantité d'eau à ajouter au produit pour pratiquer l'épandage sur une surface donnée (à partir du débit des buses, de la vitesse d'avancement et de la largeur de la bande traitée).

3.451 - Le matériel de traitement classique

3.4511 - Les pulvérisateurs (5)

Selon les dimensions de l'exploitation, le mode de traction utilisé, la main d'oeuvre disponible, le prix des appareils... etc, le choix se porte sur un pulvérisateur à grand rendement ou sur un appareil à dos :

- les pulvérisateurs à grand rendement sont portés ou traînés par tracteur, les rampes de modèle courant font 9 ou 12 mètres, les surfaces traitées peuvent être importantes (plusieurs hectares à l'heure) ;
- les pulvérisateurs à dos ne nécessitent pas de moyen de traction. Ils peuvent permettre de traiter jusqu'à 1 ha en 3 heures, si les conditions de remplissage du réservoir sont bonnes (73). Ils peuvent être à pression préalable, l'air

étant comprimé par pompage de façon discontinue ou à pression entretenue, le rythme de pompage en cours de traitement déterminant la pression et par conséquent la régularité des traitements. C'est ce deuxième type d'appareil qui est de loin le plus répandu.

Le dispositif de mise en pression des pulvérisateurs à dos à commande manuelle (joints, cloches à air) doit être bien entretenu car le débit obtenu avec des appareils défectueux varie beaucoup.

Ce type d'appareil est satisfaisant pour les traitements ordinaires. En parcelle expérimentale par contre il est préférable d'employer du matériel précis. La pression dans les pulvérisateurs est fournie soit par du gaz propane, soit par de l'air comprimé, en bouteilles. Le propane présente certains inconvénients et notamment une manipulation délicate. D'autre part, il n'est pas facile de s'en procurer partout. L'air comprimé par contre est disponible dans la plupart des villes.

Les appareils de pulvérisation logarithmique sont parfois employés en expérimentation ; ces pulvérisateurs peuvent être utiles lorsque les doses d'emploi des herbicides ne sont pas du tout connues (essai de tri des produits).

4.4512 - Le dispositif de pulvérisation

La régularité de la pulvérisation dépend en partie du corps du pulvérisateur et notamment de l'état du système de mise en pression. Pour un appareil en bon état, elle est fonction également du dispositif choisi, lance ou rampe, type de buses :

- rampe : une rampe porte plusieurs buses qui sont généralement du type "buses à fente" pour les herbicides. Les buses ne donnent pas un spectre de gouttelettes homogènes ; il est donc nécessaire de les disposer sur la rampe de façon à ce que la quantité d'herbicide épanchée sur toute la largeur de la bande traitée soit aussi homogène que possible ; le réglage se fait en jouant sur l'écartement des buses entre elles et sur la hauteur par rapport au sol, les jets se recouvrant plus ou moins ;

- lance : une lance ne porte qu'une seule buse qui est généralement du type "buse à miroir" ; les gouttelettes sont relativement grosses, ce qui diminue le risque de dérive des herbicides pour les traitements dirigés donc les risques de phytotoxicité pour la culture elle-même ou les cultures voisines. D'autre part, la répartition du liquide est assez irrégulière ; cette caractéristique est gênante en parcelles expérimentales.

La buse à miroir montée sur lance présente par contre des avantages pour les traitements ordinaires : simplicité d'utilisation, absence de réglage ; de plus elle est placée devant l'opérateur ce qui permet le contrôle du travail. L'usure de l'orifice des buses due à l'abrasion par les pesticides entraîne une augmentation du débit. Il est nécessaire de vérifier de temps en temps l'état des buses.

3.4513 - Réglage du dispositif de pulvérisation

- Modèle de buse : le type de buse étant fixé, à fente ou à miroir, il existe

divers modèles dont le débit varie dans d'assez grandes proportions ; c'est souvent la quantité de liquide à épandre par unité de surface qui détermine le choix du calibre des buses.

- Hauteur des buses : l'angle que fait le jet à la sortie de la buse est fixe pour une pression donnée. La largeur de la bande traitée dépend donc de la hauteur des buses par rapport au sol. La limite de variation est la sensibilité au vent et le risque de dérive lorsque la hauteur est trop grande. D'un point de vue pratique, la largeur de la bande traitée dépendant de la hauteur de la buse par rapport au sol et de la pression de sortie, il suffit au champ de faire varier la hauteur de la buse jusqu'à ce que la largeur de traitement souhaitée soit atteinte, la pression étant fixée au préalable.

- Pression d'utilisation : la pression agit sur l'angle du jet et sur le débit les limites de variation sont fixées par les possibilités du pulvérisateur. D'autre part, une pression élevée entraîne la formation d'un brouillard, ce qui n'est généralement pas recherché dans un traitement herbicide (risque accru de phytotoxicité et de dérive des produits). Les pressions courantes sont de l'ordre de 1,5 à 2 kg/cm² ; il est possible, et même parfois utile, d'utiliser des pressions beaucoup plus basses.

- Vitesse d'avancement : la limite supérieure est donnée par la vitesse de marche dans le cas des pulvérisateurs portés à dos (environ 3,6 km/h sur sol sec), et par l'état du sol pour les rampes montées sur tracteur.

3.452 - Les traitements à bas volume

Les traitements classiques faisant intervenir le matériel décrit plus haut nécessitent une disponibilité importante en eau (100 à plus de 900 l/ha) ce qui peut dans certaines situations poser de sérieux problèmes d'approvisionnement ; c'est pourquoi une technique d'épandage nouvelle, effectuée avec un très faible volume d'eau à l'hectare a permis une extension rapide des traitements herbicides ; en riziculture pluviale, la quantité d'eau nécessaire en bas volume va de 5 l (produit pur) à 10 - 20 l/ha (produit en solution ou émulsion aqueuse).

Les traitements à bas volume sont surtout pratiqués à l'aide de pulvérisateurs rotatifs, dont les modèles manuels sont les plus répandus et les plus simples à mettre en oeuvre ; le dispositif est constitué d'une canne plus ou moins longue contenant un certain nombre de piles électriques ; d'un côté est fixé un disque rotatif avec son moteur, de l'autre le réservoir du produit (2,5 à 5 litres) ; certains modèles comportent aussi des réservoirs séparés de plus grande capacité (possibilité d'utiliser des réservoirs de pulvérisateurs à dos)

Le disque rotatif, d'un diamètre de 80 à 90 mm, est finement denté à sa périphérie et tourne à une vitesse de 1 500 à 2 000 t/mn maximum ; la force centrifuge engendrée fractionne le liquide en gouttes relativement homogènes, de 250 à 400 microns de diamètre moyen, selon les viscosités des produits.

Le disque en position de traitement est 20 à 30 cm au dessus du sol et la largeur utile de travail varie de 0,8 à 1,1 m. Le réglage du débit se fait par un

gicleur placé sur la conduite d'amenée du liquide (alimentation par gravité) ; la fourchette de variation est assez étroite (entre 1 et 2 ml/s) car une trop grande variation fait intervenir des mécanismes différents dans la formation des gouttes. Généralement un type de buse est préconisé avec un produit donné.

Cependant, malgré les avantages sérieux qu'elle présente en cas de faibles disponibilités en eau, la pulvérisation à bas volume ne convient pas pour l'épandage de toutes les matières actives. Les résultats obtenus en pulvérisation classique ne peuvent pas être extrapolés aux conditions de pulvérisation bas volume, en particulier pour la sélectivité : on a pu constater par exemple qu'une formulation commerciale ordinaire de propanil appliquée en bas volume brûle instantanément le riz alors que la dilution 1 pour 2 supprime toute phytotoxicité (Côte d'Ivoire). Des essais de traitement bas volume ont été réalisés dans l'Ouest Cameroun en 1977 (24) avec avirosan et oxadiazon. Les résultats paraissent satisfaisants, mais seront confirmés par des expérimentations supplémentaires.

Dans le Nord Cameroun en 1977 (71) a été effectuée la comparaison de différents produits classiques : oxadiazon, butraline, propanil, avirosan, propanil + 2,4,5 TP, propanil + benthocarb, appliqués en pulvérisation classique ou en bas volume. On a observé pour la pulvérisation bas volume, particulièrement pour l'oxadiazon, des problèmes de phytotoxicité liés à la mauvaise répartition due au vent ; ce mode de pulvérisation y est beaucoup plus sensible que la pulvérisation classique. Les applications de post-levée en bas volume sont moins efficaces qu'en pulvérisation classique (moins bonne pénétration du brouillard sur le feuillage).

3.453 - Types de traitements particuliers

Certains essais ont été conduits à l'IRAT sur des modalités de traitements herbicides un peu particulières ; il s'agit essentiellement de traitements combinés herbicides-engrais d'une part, et de traitements effectués à partir de formulations en granulés d'autre part.

- Traitement combiné herbicide-engrais

Un tel traitement a été essayé au Sénégal en 1969 (49) avec une formulation engrais-herbicide granulée d'amétryne à 1,25 kg M.A./ha en Casamance, à 1,20 kg M.A./ha au Sénégal oriental et dans le Sine-Saloum. Ces deux essais ont mis en évidence la phytotoxicité des deux formules, bien que l'efficacité herbicide soit passable. L'engrais-herbicide granulé est entraîné par les pluies et s'accumule dans les creux ; cependant ceci ne permet pas de conclure que c'est le mélange des produits herbicides + engrais qui est responsable de cette toxicité ; c'est peut-être la formulation, par le manque d'homogénéité de la répartition des produits qui en est responsable. Une formulation liquide en pulvérisation d'un mélange herbicide-engrais ne présenterait peut-être pas ce défaut et ce pourrait être une solution d'avenir (économie d'un passage dans la culture). Il faut de plus noter que l'amétryne présente parfois des phénomènes de phytotoxicité, comme ceux observés à Madagascar en 1970 (59). En résumé il paraît difficile de conclure sur un seul essai, et il serait intéressant de reprendre cette expérimentation qui pourrait apporter des solutions satisfaisantes du point de vue économique.

- Traitement par herbicides en granulés ou poudre lourde

Dans les mêmes essais effectués au Sénégal en 1969 (49) des formulations d'amétryne et de terbutryne en poudre lourde dosée à 1,2 kg M.A/ha ont été étudiées ; en Casamance la formulation amétryne poudre lourde a donné d'assez bons résultats ; par contre au Sénégal oriental et au Sine-Saloum l'érosion en nappe a provoqué l'entraînement et l'accumulation de l'herbicide dans les creux, favorisant ainsi l'apparition de phénomène de phytotoxicité. Ce mode d'épandage (utilisable seulement avec les systémiques) ne paraît donc pas très adapté ; il faudrait peut-être, pour conclure définitivement, quelques expérimentations de complément.

Conclusion

Le matériel et les techniques d'épandage d'herbicides du riz pluvial ne posent plus à l'heure actuelle de problèmes techniques spécifiques ; c'est maintenant au niveau de la vulgarisation et du passage des méthodes en milieu paysan que peuvent résider les causes d'échec, la technicité requise pour effectuer correctement ces traitements étant d'un niveau relativement élevé. La diffusion des techniques bas volume a déjà commencé au Sénégal (27).

L'organisation du chantier nécessite également une certaine réflexion ; une technique d'organisation laissant le moins de temps mort possible a été étudiée au Cameroun en 1977 (24) ; c'est essentiellement le remplissage des réservoirs qui peut occasionner le plus de pertes de temps.

3.46 - Conclusion sur le désherbage chimique

En une vingtaine d'années, l'IRAT a apporté la preuve que le désherbage chimique constitue un moyen de lutte contre les adventices efficace et généralement rentable dans les conditions que nous avons définies. Chaque station IRAT publie d'ailleurs assez régulièrement des fiches techniques de vulgarisation faisant état des acquisitions récentes (73) (74) (75).

Des matières actives et des mélanges nombreux existent, adaptés à chaque situation écologique ; ils permettent dans tous les cas de supprimer le premier sarclage, le plus problématique en raison du manque de main-d'oeuvre à cette époque de l'année. Parfois le désherbage chimique rend superflue toute intervention ultérieure.

L'orientation actuelle des recherches donne la priorité à l'étude de nouvelles matières actives ou de nouveaux mélanges et additions de produits, afin d'obtenir une plus grande rémanence des traitements et une protection accrue en milieu de cycle, la rémanence des produits actuellement recommandés étant d'environ un mois maximum.

4 - CONCLUSION GENERALE

Les travaux menés à l'IRAT sur la lutte contre les adventices en riziculture pluviale ont permis d'apporter des solutions satisfaisantes pour les petites exploitations familiales traditionnelles et pour un mode de faire-valoir plus industrialisé, par la mise au point de nombreuses formules herbicides permettant un gain de temps de travail appréciable.

Cependant malgré les progrès réalisés au cours de cette période, le problème n'est pas du tout résolu pour les grandes exploitations lorsque le désherbage ne peut pas être complété par une intervention manuelle, aucune formule n'étant jusqu'à présent assez rémanente. D'autre part, ces études ont été axées uniquement sur le désherbage proprement dit de la culture en négligeant toutes les autres interventions possibles de pré ou post-culture.

Le lutte contre les adventices devrait, à l'heure actuelle où l'on ne dispose pas d'une méthode suffisante à elle seule, intégrer tous les moyens connus pour contrôler l'enherbement :

- techniques culturales (labour, etc...),
- désherbage chimique complété éventuellement par intervention manuelle ou mécanique,
- choix de la rotation la plus appropriée,
- interventions pendant les intercycles.

Les recherches s'orientent dans ce sens à l'IRAT, la lutte contre les adventices est appréhendée dans le contexte cultural, en fonction de la rotation et sur plusieurs années.

Cela doit permettre de mieux connaître les interactions entre les différents moyens de lutte utilisés dans les différents cycles de culture et de choisir en conséquence les rotations et les techniques les plus appropriées au contrôle de l'enherbement.

LES PRINCIPALES MAUVAISES HERBES DU RIZ PLUVIAL

EN AFRIQUE DE L'OUEST

MONOCTYLEDONES

COMMELINACEAE

- Commelina benghalensis* L.
- Commelina erecta* L.
- Commelina forskalaëi* Vahl.
- Commelina subulata* Roth.

CYPERACEAE

- Cyperus esculentus* L.
- Cyperus haspan* L.
- Cyperus rotundus* L.
- Cyperus sphaecalatus* Rottb.
- Fimbristylis exilis* Roehm et Schum.
- Fimbristylis hispidula* (Vahl.) Kunth.
- Kyllinga blepharinata* Hochst.
- Kyllinga squamulata* Vahl.
- Mariscus alternifolius* Vahl.
- Mariscus squarrosus* (L.) C.B.Cl.

GRAMINEAE (=POACEAE)

- Andropogon gayanus* Kunth.
- Brachiaria deflexa* (Schum.) C.E.Hubb.exRobyns.
- Brachiaria distichophylla* Stapf.
- Brachiaria lata* (Schum.) C.E.Hubb.
- Brachiaria ramosa* (L.) Stapf.
- Chloris pilosa* Schum.
- Chloris virgata* Sw.
- Cynodon dactylon* Pers.
- Dactyloctenium aegyptium* Beauv.
- Digitaria horizontalis* Willd.
- Digitaria velutina* P.Beauv.
- Echinochloa colona* (L.) Link.
- Echinochloa pyramidalis* Hitch. et Ch.
- Eleusine indica* (L.) Gaertn.
- Eragrostis aspera* (Jacq.) Nees
- Eragrostis ciliaris* (L.) R.Br.

Eragrostis diplacnoides Steud.
Eragrostis elegantissima Chiov.
Eragrostis tenella (L.) P.Fenuv. ex Roehm. et Schum.
Eragrostis tremula Hochst ex Steud.
Hackelochloa granularis (L.) O.Kze.
Imperata cylindrica (L.) P.Beauv.
Panicum laetum Kunth.
Panicum laxum Sw.
Panicum maximum L.
Paspalum conjugatum Berg.
Paspalum orbiculare Forst.
Paspalum serobiculatum L.
Pennisetum hordeoides (Lam.) Steud.
Pennisetum pedicellatum Trin.
Pennisetum subangustum (Schum.) Stapf. et C.E.Hubb.
Pennisetum violaceum (Lam.) L.Rich.
Rottboellia exaltata L.
Rynchelitrum repens (Willd.) C.E.Hubb.
Setaria barbata (Lam.) Kunth.
Setaria longiseta P.Beauv.
Setaria pallide-fusca (Schum.) Stapf. et C.E.Hubb.
Schizachyrium exile Stapf.

DICOTYLEDONES

ACANTHACEAE

Monechma ciliatum (Jacq.) Miln. Red.
Peristrophe bicalyculata (Retz.) Nces.

AMARANTHACEAE

Achyranthes aspera L.
Alternanthera sessilis (L.) R.Br. ex Roth.
Amaranthus hybridus L.
Amaranthus spinosus L.
Amaranthus viridis L.
Celosia argentea L.
Celosia laxa Schum. et Thonn.
Celosia trigyna L.

BORRAGINACEAE

Heliotropium ovalifolium Forsk.

CAESALPINIACEAE

Cassia hirsuta L.
Cassia mimosoides L.
Cassia occidentalis L.
Cassia tora L.

CAMPANULACEAE

Cephalostigma perottetii A.DC.

CAPPARIDACEAE

Cleome ciliata Schum. et Thonn.
Cleome monophylla L.

Cleome viscosa L.
Gynandropsis gynandra (L.) Briq.

CARYOPHYLLACEAE

Polycarpaea corymbosa (L.) Lam. var. *corymbosa*
Polycarpaea linearifolia DC.

COMPOSACEAE (ou ASTERACEAE)

Acanthospermum hispidum DC.
Ageratum conyzoides L.
Aspilia bussei O. Hoffm. et Muschl.
Aspilia helianthoides (Schum. et Thonn.) Oliv. et Hurn.
Bidens pilosa L.
Centaurea perrottetii DC.
Chrysanthemum americanum (L.) Vatke.
Eclipta prostrata (L.) L.
Emilia praetermissa Miln. Red.
Emilia sonchifolia (L.) DC.
Erigeron floribundus (HB. et K.) Sch. Bip.
Sphaeranthus angustifolius DC.
Synedrella nodiflora (L.) DC.
Tridax procumbens L.
Vernonia cinerea (L.) Less.
Vernonia pauciflora (Willd.) Less.
Vernonia perrottetii Sch. Bip.
Vicoa leptoclada (Webb.) Dandy.

CONVOLVULACEAE

Ipomea coscinosperma Hochst ex Choisy.
Ipomea eriocarpa R. Br.
Ipomea heterotricha F. Didr.

CUCURBITACEAE

Zehneria thwaitesii (Schweinf.) C. Joffrey

EUPHORBIACEAE

Acalypha ciliata Forsk.
Acalypha segetalis Müll. Arg.
Croton lobatus L.
Euphorbia convolvuloides Hochst.
Euphorbia glomerifera (Millsp.) Wheeler.
Euphorbia heterophylla L.
Euphorbia hirta L.
Euphorbia hyssopifolia L.
Euphorbia polycnemoides Hochst.
Micrococca mercurialis (L.) Benth.
Phyllanthus amarus Schum. et Thonn.
Phyllanthus niruri L.
Phyllanthus maderaspatensis L.
Phyllanthus sublanatus

FICOIDACEAE

Trianthema portulacastrum L.

LABIACEAE (ou LABIATEAE)

Leucas martinicensis (Jacq.) Ait.
Ocimum canum Sims.
Orthosiphum pallidus Rayle

MALVACEAE

Abutilon sp
Hibiscus asper Hook.
Sida acuta Burm.
Sida alba L.
Sida linifolia Juss. ex Cav.
Sida rhombifolia L.
Sida urens L.
Sida veronicifolia Lam.
Urena lobata L.

MOLLUGACEAE

Mollugo cerviana (L.) Seringe.
Mollugo nudicaulis Lam.

NYCTAGYNACEAE

Boerhavia repens L.
Boerhavia diffusa L.

OXALIDACEAE

Biophytum petersianum Klotzsch.

PAPILIONACEAE (ou FAVACEAE)

Alysicarpus glumaceus (Willd.) DC.
Centrosema pubescens Benth.
Crotalaria juncea L.
Crotalaria mucronata Desv.
Crotalaria retusa L.
Indigofera hirsuta L.
Indigofera secundiflora Poir.
Indigofera subulata Vahl. ex Poir.
Sesbania leptocarpa DC.
Sesbania pachycarpa DC.
Stylosanthes guyanensis L.
Thephrosia lathyroides G. et Perr.
Thephrosia pedicellata Bok.
Thephrosia platycarpa G. et Perr.
Zornia glochidiata Reich.

PASSIFLORACEAE

Passiflora foetida L.

PEDALIACEAE

Ceratotheca sesamoides Ends.
Sesamum indicum L.

POLYGALACEAE

Polygala arenaria L.

PORTULACACEAE

Portulaca oleracea L.
Portulaca quadrifolia L.
Talinum triangulare (Jacq.) Willd.

RUBIACEAE

Borreria chaetocephala (DC.) Hcpper
Borreria octodon Hepp.
Borreria scabra (Schum. et Thonn.) K. Schum.
Borreria verticillata (L.) G. F. Mey.
Kohautia grandiflora DC.
Kohautia senegalensis Cham. et Schocht.
Mitracarpus scaber Zucc.
Oldenlandia corymbosa L.
Oldenlandia herbacea (L.) Roxb.

SCROFULARIACEAE

Buchnera hispida Buch.-Ham. ex D. Dan.
Striga hermontheca (Del.) Benth.

SOLANACEAE

Physalis angulata L.
Physalis micrantha Link.
Schwenkia americana L.
Solanum nigrum L.
Solanum torvum Ew.

TILIACEAE

Corchorus aestuans L.
Corchorus fascicularis Lam.
Corchorus olitorius L.
Corchorus tridens L.
Triumfetta pentandra A. Rich.

VERBENACEAE

Stachytarpheta angustifolia (Mill.) Vahl.

(Sont soulignés les produits cités dans le texte)

Matière active	Gammes des doses kg MA/ha	Pays	Années															
			64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	
Acétylanilide (CP 53619)	2,4 à 4,3	Madagascar						x										
A 820 = <u>Butraline</u>	1,4 à 6,7	Cameroun																
		Côte d'Iv.										x	x	x	x			
		Hte-Volta												x	x			
		Sénégal													x	x		x
AC 92553	2	Hte-Volta													x	x		
Alachlor	1,9 à 4,8	Côte d'Iv.									x	x	x					
		Madagascar							x									
Amétryne	0,3 à 2,4	Comores								x								
		Côte d'Iv.				x	x	x	x	x								
		Madagascar							x									
		Sénégal							x	x								
B.S. - 454 - 02H		Hte-Volta																x
B.S. - 454 - 03H		Hte-Volta																x
B.S. - 454 - 04H		Hte-Volta																x
<u>Bentazon</u>	1 à 4,8	Brésil																x
		Cameroun																x
		Côte d'Iv.											x	x	x	x		x
		Hte-Volta																x
<u>Berthiocarb</u>	1 à 15	Côte d'Iv.											x	x	x	x		x
		Hte-Volta																x
		Sénégal													x			x
Berzicide	1,5 à 5	Côte d'Iv.								x	x	x						x
Bromacil		Cameroun																x
<u>Butachlore</u>	1,5 à 28,8	Cameroun															x	x
		Côte d'Iv.									x	x	x	x	x	x		x
		Hte-Volta													x	x		x
		Sénégal																x
Butoron	1 à 6	Côte d'Iv.											x	x	x	x		
C 288 (=Avirosan =	1 à 6	Cameroun											x	x	x	x		
<u>perophos + diméthamétryne</u>)		Côte d'Iv.											x	x			x	x
		Hte-Volta													x	x		x
		Sénégal													x	x		x
C 19490 + GS 14260	1,5 à 8	Côte d'Iv.											x	x	x			
Chlorbromuron	0,5	Côte d'Iv.											x					
Chloroxuron	2 à 6	Côte d'Iv.								x	x							
Chlortal	3 à 4,5	Côte d'Iv.											x					
Chlortoluron	1,6 à 4	Côte d'Iv.								x	x	x						
CRD 67-5378	2 à 6	Côte d'Iv.							x									
Cyanatine	0,8 à 2,9	Côte d'Iv.															x	x
Cyanazine	1,5 à 4	Côte d'Iv.											x	x				
Désazolin	2,5	Côte d'Iv.											x	x				
Dichlobenil	2 à 4,5	Côte d'Iv.								x	x	x						
Dinitramine	1 à 4	Côte d'Iv.												x	x	x		
		Sénégal													x	x		
Dinoterbe	2	Côte d'Iv.							x									
Difluron	0,8 à 1,6	Côte d'Iv.						x										
DM IT 5914	1,6	Madagasc.											x					

TABLEAU III - LISTE DES MATIERES ACTIVES TESTEES PAR L'IRAT

(Suite 1)

Matière active	Gammas des doses kg MA/ha	Pays	Années																		
			64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78				
<u>Ethionofène</u>	1,2 à 18	Cameroun Comores Côte d'Iv. Hte-Volta Madagasc. Sénégal Cameroun								x	x	x	x	x		x		x			
Glyphosate (dés herbage total)		Sénégal	x																		
Hexaméthylène HM 314		Comores Madagasc.			x	x															
HM 412	0,1 à 0,2	Côte d'Iv												x							
HM 424 A	1,44 à 5,76	Côte d'Iv												x	x	x	x				
Laciale	0,5 à 0,6	Côte d'Iv									x	x	x								
Isouron		Côte d'Iv Madagasc.						x	x	x	x	x									
MCO A	1,5 à 3	Côte d'Iv					x														
MCO194	0,4 à 2,4	Côte d'Iv								x	x										
MCO4379	2	Hte-Volta										x					x				
MCO B		Comores Madagasc.			x	x															
Methamitron	0,7 à 2,8	Côte d'Iv																			
Methabenzthiazuron	1 à 6,3	Côte d'Iv Hte-Volta Madagasc.								x	x	x	x							x	x
Methobromuron	1 à 2	Côte d'Iv										x	x	x							
Methoprotryne	1,5 à 2	Côte d'Iv									x										
Methoxuron	1,6 à 4,8	Côte d'Iv								x	x	x									
Methribuzin	0,3 à 0,7	Côte d'Iv												x							
Methinate	1 à 8	Côte d'Iv							x												
Methinate		Centrafr. Comores					x														
Metholinuron	1 à 2	Comores Côte d'Iv Madagasc.			x							x									
Neburon	2 à 3	Côte d'Iv Madagasc.				x	x	x	x												
Nitropropyl	1 à 8	Côte d'Iv				x															
Nitraline	1 à 1,5	Côte d'Iv									x	x									
Nitrofen	1 à 8	Côte d'Iv Hte-Volta Madagasc. Sénégal						x	x	x	x	x									
Nofe	0,7 à 6	Côte d'Iv						x													
NT 6867	1 à 4,2	Côte d'Iv													x	x	x				

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

=====

- (1) HERNANDEZ (S.) - 1978 - Les mauvaises herbes et le désherbage des cultures au Sénégal. Doc. ISRA, mai 1978.
- (2) DEUSE (J.P.L.), HERNANDEZ (S.), DIALLO (D.) - 1978 - Essai de désherbage chimique du riz pluvial au Sénégal. Troisième symposium COLUMA sur le désherbage des cultures tropicales. Dakar, septembre 1978, 9 p.
- (3) RENAUT (G.) - 1972 - Contribution à l'étude du désherbage du riz pluvial en Côte d'Ivoire. L'Agronomie Tropicale, Vol. XXVII, n° 2, février 1972, pp. 221-228.
- (4) JAN (P.) - 1973 - Problèmes posés par la lutte contre les adventices en riziculture en Afrique de l'Ouest. Séminaire sur la protection des plantes en riziculture, ADRAO, Monrovia, Libéria, 1973. Edité par ADRAO, mars 1977, pp. 400-408.
- (5) IRAT (Division de Défense des Cultures) - 1978 - Le désherbage des rizières en Afrique de l'Ouest et leurs principales adventices. Publié pour le compte de l'ADRAO, Monrovia, Libéria, 1978, 93 p.
- (6) IRAT/SENEGAL - 1974 - Malherbologie 1973. Rapport annuel. Rapport IRAT/CNRA Bambey, 1974.
- (7) VUONG-HUU-HAI, FALAIS (M.) - 1971 - Essais de désherbage du riz pluvial dans la région d'Ambanja (Nord-Ouest de Madagascar). Doc. IRAM n° 283, avril 1971, 31 p.
- (8) IRAT/SENEGAL - 1973 - Rapport d'activité 1972. Division Défense des cultures/Phytopathologie. Essais herbicides à la Station de Séfa (Casamance) Rapport IRAT, Séfa, 1973.
- (9) IRAT/COTE D'IVOIRE - 1973 - Rapport analytique 1972. Malherbologie. Désherbage chimique du riz. Rapport IRAT, Bouaké, 1973, 32 p.
- (10) IRAT/COTE D'IVOIRE - 1974 - Rapport analytique 1973. Malherbologie. Désherbage chimique du riz pluvial. Rapport IRAT, Bouaké, 1974, 61 p.
- (11) IRAT/COTE D'IVOIRE - 1975 - Rapport analytique 1974. Malherbologie. Désherbage chimique du riz pluvial. Rapport IRAT, Bouaké, 1975, 50 p.
- (12) IRAT/COTE D'IVOIRE - 1976 - Rapport analytique 1975. Malherbologie. Désherbage chimique du riz pluvial. Rapport IRAT, Bouaké, 1976, 44 p.
- (13) IRAT/COTE D'IVOIRE - 1977 - Rapport analytique 1976. Malherbologie. Désherbage chimique du riz pluvial. Rapport IRAT, Bouaké, 1977, 44 p.

- (14) IRAT/COTE D'IVOIRE - 1978 - Rapport analytique 1977. Malherbologie. Désherbage chimique du riz pluvial. Rapport IRAT, Bouaké, 1978, 34 p.
- (15) IRAT/SENEGAL - 1975 - Malherbologie 1974, Rapport annuel Riz. Programme ADRAO. Rapport IRAT/ADRAO, Bambey, 1975.
- (16) IRAT/SENEGAL - 1976 - Malherbologie 1975. Rapport annuel Riz. Programme ADRAO. Rapport IRAT/ADRAO, Bambey, 1976.
- (17) IRAT/SENEGAL - 1977 - Malherbologie 1976. Rapport annuel Riz. Programme ADRAO. Rapport IRAT/ADRAO, Bambey, 1977.
- (18) IRAT/SENEGAL - 1975 - Liste des adventices du riz pluvial. Doc. Interne IRAT, 1975, 2 p.
- (19) IRAT/COTE D'IVOIRE - 1972 - Rapport analytique 1971. Malherbologie. Rapport IRAT, Bouaké, 1972, 51 p.
- (20) MERLIER (H.) - 1974 - Végétation adventice des rizières pluviales en Côte d'Ivoire. Deuxième symposium sur le désherbage des cultures tropicales, Columa, Montpellier, France, septembre 1974.
- (21) FALAIS (M.) - 1973 - Le désherbage chimique du riz dans le Nord-Ouest de Madagascar. Campagne 1972-1973. Doc. IRAM n° 377, juin 1973, 85 p.
- (22) FALAIS (M.) - 1974 - Le désherbage chimique du riz dans le Nord-Ouest de Madagascar. Campagne 1973-1974. Doc. IRAM n° 394, mai 1974, 149 p.
- (23) POISSON (C.) - 1979 - Riz et cultures irriguées. Résultats 1978. Station de Farako-Ba. Rapport IRAT/CERCI, Farako-Ba, 1979, 58 p.
- (24) IRAT/CAMEROUN - 1977 - Désherbage chimique "manuel" du riz pluvial. SODERIM, campagne 1977. Rapport IRAT/SODERIM, 1977.
- (25) GREMILLET (B.) - 1976 - Défrichement et mise en culture des sols en milieu tropical en Côte d'Ivoire. Rapport IRAT/SODERIZ, 1976, 62 p.
- (26) MERLIER (H.) - 1976 - Nuisance des adventices en riziculture pluviale de Côte d'Ivoire. Cinquième Colloque International sur l'écologie et la biologie des mauvaises herbes, Dijon, septembre 1976.
- (27) HERNANDEZ (S.) - 1978 - Synthèse campagne 1978. Division Malherbologie. Rapport IRAT/CNRA, Bambey, 1978, 6 p.
- (28) DUGELAY (M.), FILLONNEAU (C.) - 1978 - Rendement et élaboration du rendement du riz pluvial dans les systèmes de culture semi-mécanisés de la région Centre de Côte d'Ivoire. Troisième Symposium sur le désherbage des cultures tropicales, Columa, Dakar, septembre 1978, pp. 254-263.
- (29) KOFFI (G.) - 1978 - Rapport d'activité. Etude de la variabilité des riz africains en vue de leur utilisation en sélection (*O. glaberrima* et *O. barthii* annuel), 1977. Rapport IRAT, Bouaké, 1978, 41 p.
- (30) KOFFI (G.) - 1979 - Etude de la variabilité des riz africains en vue de leur utilisation en sélection. Rapport IRAT, Bouaké, 1979, 7 p.

- (31) JAN (P.) - 1973 - Expérimentation sur le désherbage chimique au Sénégal. Séminaire sur la protection des plantes en riziculture, ADRAO, Monrovia, Libéria, mai 1973. Edité par l'ADRAO, mars 1977, pp. 367-376.
- (32) IRAT/BRESIL - 1979 - Rapport trimestriel janvier-février-mars 1979. Convention EMAPA/IRAT, Sao Luis, 1979.
- (33) LE CRAZ (J.) - 1970 - Premiers résultats concernant les problèmes préparation des terres, semis, sarclo-binages dans le cadre de l'opération productivité rizicole (Campagne 1970). Rapport IRAT/CNRA Bambey, octobre 1970.
- (34) IRAT/CAMEROUN - 1977 - La petite mécanisation en 1977. Rapport IRAT/IRAF/SODERIM, 1977.
- (35) MERLIER (H.) - 1977 - Lutte contre les mauvaises herbes en riziculture de plateau. Séminaire sur la Protection des plantes en riziculture. ADRAO, Monrovia, Libéria, 1973, édité par l'ADRAO, mars 1977, pp. 79-91.
- (36) SEGUY (L.), BOUZINAC (S.) - 1978 - Rapport trimestriel d'activités, 1er trimestre janvier-février-mars 1978. Convention EMAPA/IRAT, Sao Luis, 1978.
- (37) IRAT/CAMEROUN - 1974 - Rapport de synthèse en République Unie du Cameroun pour 1973. Rapport IRAT, Yaoundé, 1974, 176 p.
- (38) SEGUY (L.), LEMOIGNE (M.), AUDEBERT (D.), DOYEN (F.) - 1977 - La riziculture pluviale dans la plaine des Mbos (Ouest Cameroun). Méthodologie expérimentale adaptée au développement à court terme. Confrontation des résultats expérimentaux aux conditions du développement 1970-1976. Séminaire sur la mécanisation des exploitations individuelles des pays chauds, 1977.
- (39) RENEAUD (H.) - 1978 - Essais de lutte contre le Striga asiatica, plante parasite du riz aux Comores. Troisième symposium Columa sur le désherbage des cultures tropicales, Dakar, Sénégal, septembre 1978.
- (40) DELASSUS (M.) - 1971 - Méthodes de lutte contre les strigas. Communication présentée au premier Symposium sur le désherbage des cultures tropicales, Columa, Antibes, France, septembre 1971.
- (41) IRAT/COMORES - 1970 - Rapport annuel 1969. Rapport IRAT, Moroni, 235 p.
- (42) IRAT/COMORES - 1974 - Rapport analytique 1973. Rapport IRAT, Moroni (Extrait)
- (43) IRAT/SENEGAL - 1967 - Rapport d'activités 1966. Secteur de recherches de Casamance. Rapport IRAT, Séfa, 1967, 63 p.
- (44) IRAT/SENEGAL - 1966 - Rapport d'activités 1965. Rapport IRAT, Séfa, 1966 (extrait), 110 p.
- (45) SOCIETE FRANCAISE DE PHYTIATRIE ET DE PHYTOPHARMACIE - 1972 - Commission des Essais Biologiques : principes généraux d'études en plein champ de l'efficacité et de la sélectivité d'un herbicide (N° III). Document publié par la Société Française de Phytologie et de Phytopharmacie, mars 1972.

- (46) DESAYMARD (P.) - 1968 - Notations et méthodes de notation en Phytopharmacie. Phytologie, Phytopharmacie, pp. 163-173, 1968.
- (47) IRAT/SENEGAL - 1969 - Recherches rizicoles en Casamance. Rapport annuel 1968. Service Phytotechnie Riz. Rapport IRAT, 1970.
- (48) IRAT/SENEGAL - 1965 - Rapport d'activités 1964. Secteur de recherches de Casamance. Rapport IRAT, Séfa, 1965 (Extrait), 79 p.
- (49) IRAT/SENEGAL - 1970 - Synthèse des activités et résultats 1969 de l'IRAT au Sénégal et sur la rive mauritanienne du fleuve Sénégal. Rapport IRAT/CNRA, Bambey, octobre 1970, 159 p.
- (50) IRAT/SENEGAL - 1971 - Synthèse des activités et résultats 1970 de l'IRAT au Sénégal et sur la rive mauritanienne du fleuve Sénégal. Rapport IRAT, Bambey, 1971, 190 p.
- (51) IRAT/COTE D'IVOIRE - 1971 - Rapport annuel 1970. Agronomie. Herbicides. Rapport IRAT, Bouaké, 1971.
- (52) IRAT/COTE D'IVOIRE - 1970 - Rapport annuel 1969. Agronomie. Rapport IRAT, Bouaké, 1970.
- (53) IRAT/COTE D'IVOIRE - 1969 - Rapport annuel 1968. Agronomie. Rapport IRAT, Bouaké, 1969.
- (54) IRAT/COTE D'IVOIRE - 1968 - Rapport d'activités 1967. Agropédologie. Agronomie. Rapport IRAT, Bouaké, 1968.
- (55) IRAT/ COTE D'IVOIRE - 1967 - Rapport d'activités 1966. Section Riz. Rapport IRAT, Bouaké, 1967.
- (56) IRAT/COTE D'IVOIRE - 1979 - Rapport de synthèse 1978. Malherbologie. Rapport IRAT, Bouaké, 1979, 3 p.
- (57) POISSON (C.) - 1978 - Amélioration de la riziculture en Haute-Volta. Travaux de 1974 à 1977. Rapport IRAT/CERCI, Farako-Ba, 1978, 176 p.
- (58) IRAT/HAUTE-VOLTA - 1972 - Rapport annuel 1971. Malherbologie. Rapport IRAT, 1972, 49 p.
- (59) VUONG HUU HAI, DOBELMANN (J. P.), FALAIS (M.) - 1971 - Essais de désherbage du riz pluvial à Madagascar. Premier symposium sur le désherbage des cultures tropicales, Columa, Antibes, France, septembre 1971.
- (60) IRAT/COTE D'IVOIRE - 1970 - L'utilisation du propanil en riziculture pluviale en Côte d'Ivoire. Cahiers d'Agriculture Pratique Pays Chauds, 1970 - 4, pp. 223-226.
- (61) FALAIS (M.) - 1978 - Le désherbage chimique du riz pluvial et de nappe en culture industrielle à Madagascar. Troisième Symposium Columa sur le désherbage des cultures tropicales, Dakar, Sénégal, septembre 1978.
- (62) IRAT/COTE D'IVOIRE - 1970 - Rapport annuel. Rapport IRAT, Bouaké, 1971, 34 p.

- (63) IRAT/COMORES - 1967 - Rapport annuel d'activités 1966. Rapport IRAT, Moroni, 132 p.
- (64) IRAT/COMORES - 1968 - Rapport annuel d'activités 1967. Rapport IRAT, Moroni, 156 p.
- (65) IRAT/COMORES - 1969 - Rapport annuel 1968. Rapport IRAT, Moroni, 194 p.
- (66) IRAT/MADAGASCAR - 1969 - Rapport annuel 1968. Tome I. Etude par culture. Rapport IRAT/IRAM, 1969.
- (67) JAN (P.) - 1973 - Essais pour la sélection d'herbicides du riz pluvial en Côte d'Ivoire. L'Agronomie Tropicale, vol. XXVIII, n° 5, pp. 570-575.
- (68) IRAT/COMORES - 1971 - Rapport analytique 1970. Rapport IRAT, Moroni, 103 p.
- (69) IRAT/COMORES - 1972 - Rapport analytique 1971. Rapport IRAT, Moroni (extra)
- (70) IRAT/COMORES - 1973 - Rapport analytique 1972. Rapport IRAT, Moroni (extra)
- (71) AUBIN (J.P.) - 1979 - Réflexions et perspectives sur le développement du riz pluvial au Nord-Cameroun. Rapport IRAT, Montpellier, décembre 1979, 26 p. + annexes.
- (72) SEGUY (L.), DELASSUS (M.), FONGANG (E.) - 1977 - Rapport de synthèse. La riziculture dans l'Ouest et le Centre-Sud Camerounais en 1976. Rapport IRAT, 1977; 54 p.
- (73) IRAT/COTE D'IVOIRE - 1976 - Pratique des traitements chimiques des cultures. Recommandations pour le réglage des appareils. Mode d'emploi des produits. Rapport IRAT, Bouaké, 1976, 23 p.
- (74) DEUSE (J.P.L.), DIALLO (D.), HERNANDEZ (S.) - 1976 - Désherbage chimique des cultures au Sénégal. Rapport IRAT/CNRA, Bambey, 1976, 6 p.
- (75) IRAT/COTE D'IVOIRE - 1976 - Le riz pluvial dans le Nord de la Côte d'Ivoire. Recommandations pour la culture dans cette région. Rapport IRAT, Bouaké, janvier 1976, 20 p.

9- NUTRITION MINERALE et
FERTILISATION

INSTITUT DE RECHERCHES
AGRONOMIQUES TROPICALES
ET DES CULTURES VIVRIERES



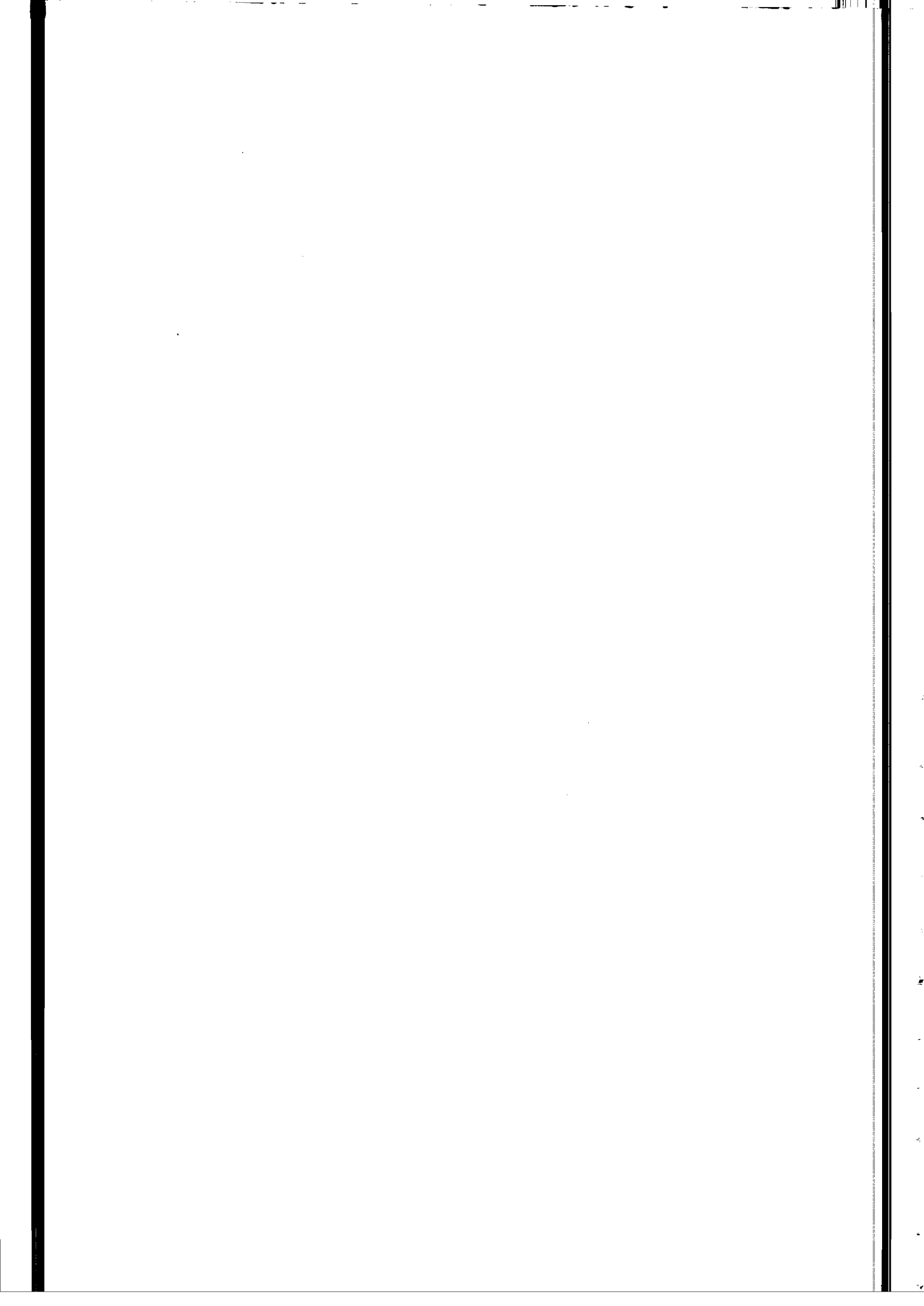
BILAN DES TRAVAUX DE RECHERCHE

SUR RIZ PLUVIAL

1960 à 1980

**THEME : NUTRITION MINERALE
ET FERTILISATION**

Novembre 1981



AVANT-PROPOS

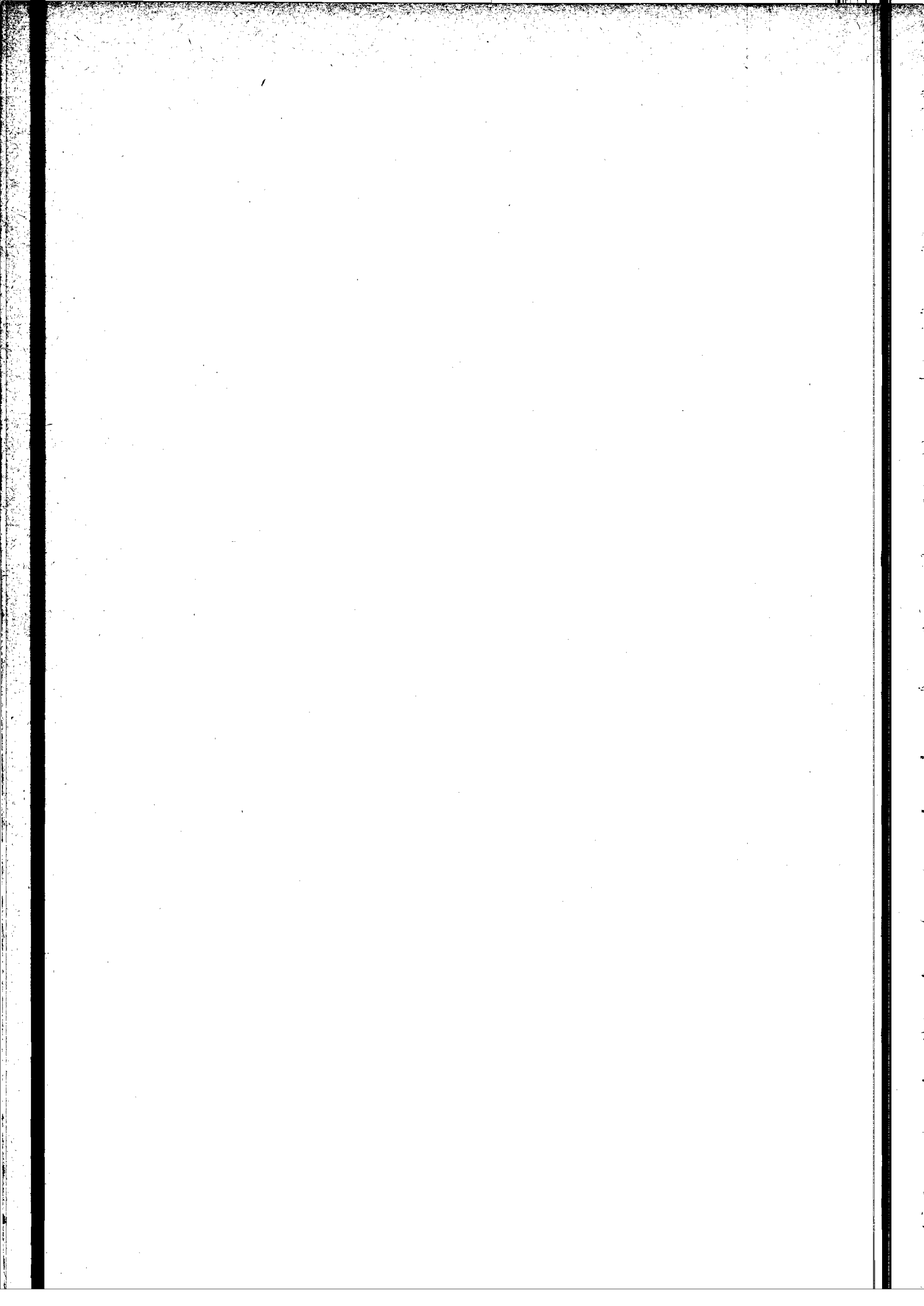
Dès sa création en 1960, l'IRAT s'est intéressé à la culture du riz pluvial, en raison de son importance dans la production de riz de certaines régions tropicales d'Afrique et d'autres continents, en raison aussi de son développement possible dans des systèmes de culture utilisant des moyens modernes comme la mécanisation, la fertilisation minérale, les herbicides.

Ce passage d'un système de culture traditionnel à de nouveaux systèmes de culture nécessite des recherches dans de très nombreux domaines, pour le choix de sites favorables à la culture, pour la création de variétés adaptées, pour la mise au point des techniques optimales de culture.

Après vingt années d'activités de l'IRAT, des bilans sont souhaitables. Représentant sous une forme condensée les questions qui se sont posées à la recherche et les réponses qui ont pu être jusqu'ici obtenues, ces bilans devraient intéresser en particulier les chercheurs et les sociétés de développement.

Le présent bilan traite de LA NUTRITION MINÉRALE ET DE LA FERTILISATION.

Il a été conçu et rédigé par B. PERRIER, sous la conduite de C. PIÉRI et J. VÉLLY, avec l'aide de P. F. CHABALIER et M. JACQUOT, d'après l'ensemble des travaux de l'IRAT sur le sujet.



S O M M A I R E

	Page
1 - BESOINS EN MINERAUX DU RIZ PLUVIAL.....	1
1.1 - Besoins totaux.....	1
1.2 - Besoins instantanés.....	7
2 - INFLUENCE DES CONDITIONS D'ALIMENTATION HYDRIQUE SUR LES BESOINS ET L'ALIMENTATION DE LA PLANTE.....	11
3 - L'OFFRE DU SOL ET SES FACTEURS DE VARIATION.....	13
3.1 - Caractéristiques des sols des principales zones à riziculture pluviale.....	13
3.2 - Offre du sol en azote.....	15
3.21 - Dynamique de l'azote sous culture de riz pluvial.....	15
3.211 - Minéralisation et réorganisation.....	15
3.212 - Dénitrification chimique et lixiviation.....	17
3.213 - Utilisation de l'engrais par le riz.....	17
3.22 - Conséquence pour la pratique de la fertilisation azotée....	19
3.3 - Offre du sol en éléments autres que l'azote.....	20
3.4 - Facteurs de variation de l'offre du sol.....	21
4 - PRATIQUE DE LA FERTILISATION.....	22
4.1 - Fertilisation minérale recommandée sur riz pluvial.....	22
4.11 - Centrafrique.....	22
4.12 - Côte d'Ivoire.....	22
4.13 - Cameroun.....	23
4.14 - Sénégal.....	23
4.15 - Haute-Volta.....	24
4.16 - Madagascar.....	24
4.17 - Autres pays.....	25
4.2 - Utilisation de sources d'engrais économiques.....	25
4.3 - Interactions fertilisation-techniques culturales.....	26
CONCLUSION.....	26
BIBLIOGRAPHIE.....	27

La nutrition minérale et la fertilisation du riz pluvial peuvent être abordées sous deux aspects :

- celui relatif à la "potentialité" des sols où ce type de culture est pratiqué ;
- celui relatif à la plante proprement dite.

Les travaux réalisés par l'IRAT au cours de ces vingt dernières années concernent ces deux aspects : de nombreux sols tropicaux ont été étudiés par la méthode du professeur Chaminade (1) ou une méthode dérivée (2) qui permet de diagnostiquer les carences par culture d'une plante de référence en vases de végétation ; l'étape suivante est la détermination au champ ou en vases de végétation (3) de la fumure de redressement nécessaire à la correction des carences constatées (essai de type courbe de réponse) où la plante test est en général une espèce cultivée ; les aspects physiologiques et les caractéristiques propres à chaque espèce cultivée, et particulièrement le riz pluvial, n'interviennent que dans l'étape ultérieure de recherche qui vise à maintenir le potentiel de fertilité acquis après redressement grâce à une fertilisation d'entretien appropriée.

Nous évoquerons tout d'abord les résultats obtenus par l'IRAT sur les particularités de la nutrition minérale du riz pluvial (besoins en minéraux, variations de ces besoins en fonction de différents facteurs), puis l'adéquation de l'offre du sol à ces besoins dans différentes situations et les pratiques de fertilisation correspondantes.

1 - BESOINS EN MINÉRAUX DU RIZ PLUVIAL

Comme pour toutes les céréales, l'azote joue un rôle prépondérant dans l'élaboration du rendement du riz pluvial, et c'est pour cet élément que l'on possède les résultats les plus nombreux ; certaines études ont cependant porté sur les 3 éléments majeurs et sur quelques éléments mineurs.

1.1 - BESOINS TOTAUX

Les besoins totaux de la plante peuvent être appréhendés de différentes façons :

- mobilisation globale ou quantité totale de l'élément mobilisé par la plante à maturité (exprimé en kg/ha) ;
- mobilisation pour la production d'une tonne de grain (exportations par le grain ou exportation par la plante entière rapportée au rendement en grain) ;

- répartition de l'élément dans les différents organes de la plante à maturité qui permet de préciser l'utilisation de l'élément par la plante.

Les besoins totaux du riz pluvial ont été évalués par l'IRAT dans plusieurs expérimentations, essentiellement au Sénégal et en Côte d'Ivoire ; quelques données sont également disponibles pour le Nord-Cameroun (27).

Sénégal :

- Essai en station (Séfa) en 1969 (5) sur la nutrition azotée des variétés Taïchung Native 1 et 63-83, placées dans des conditions de fertilisation azotée "optimale" du point de vue du rendement (fertilisation déterminée d'expérimentations préalables) ;

- Essais menés dans le cadre de la recherche d'accompagnement à une opération de développement de la riziculture pluviale en Casamance continentale, entre 1970 et 1973 (4) (6), dans plusieurs points d'essais constituant un échantillon des principaux types de sol de région (sols gris, sols rouges, sols ocres de pente), sur les variétés I Kong Pao et TS 123 ;

- Essais mis en place pour l'étude de la dynamique des sols gris (12).

Côte d'Ivoire :

- Essais réalisés à Bouaké pour étudier l'influence de l'apport d'azote et de la restitution des pailles à partir de 1969, dans lesquels les mobilisations d'azote par la culture ont été mesurées en 1973 (7).

Nord-Cameroun : calcul des exportations pour la variété IAC 25 (27).

Les exportations par tonne de matière sèche produite (grains ou plante entière) sont mentionnées dans les tableaux suivants (tableaux I, II et III).

Tableau I : Mobilisations d'azote par le riz (variétés 63-83 et Taïchung Native 1) à Séfa - D'après BLONDEL D., 1971 (5) -

Variétés	Dose d'engrais azoté unité/ha	Rendement kg/ha	Quantité d'azote mobili- sée - kg/ha	Quantité d'azote mobili- sée pour 1000 kg grain	Rapport grain/paille
63-83	100	3 360	84	25	0,56
Taïchung Native 1	100	4 240	74	17	1,22

Tableau II : Exportations en kg par tonne de matière sèche de grain produite, en fonction des rendements obtenus et de la dose d'engrais apportée - Variété I Kong Pao -
- D'après SIBAND P. et DIATTA S. (4) -

Dose d'engrais (unités/ha)	Rendement en kg/ha				Rendement en kg/ha				
	< 2000 kg	2 à 3000 kg	3 à 4000 kg	> 4000 kg	< 2000 kg	2 à 3000 kg	3 à 4000 kg	> 4000 kg	
Azote grain									
0	10,9	-	-	-	21,0	-	-	-	-
25 - 50	11,6	10,6	-	-	20,1	18,6	-	-	-
60 - 75	12,9	13,3	11,4	11,8	26,1	22,8	17,4	16,2	-
90 - 120	12,6	11,4	11,7	12,8	27,1	19,7	18,1	17,8	-
P ₂ O ₅ grain									
0	3,6	-	-	-	6,4	-	-	-	-
30	3,5	4,8	-	2,3	8,0	8,7	-	3,3	-
60	2,9	3,7	3,5	3,0	7,6	7,9	4,0	3,7	-
100	4,5	4,9	-	-	11,5	7,4	-	-	-
K ₂ O grain									
0	4,4	4,6	3,4	4,0	40,5	30,9	9,9	12,3	-
30	4,3	5,1	3,5	8,7	44,1	29,6	11,8	11,6	-
60	4,5	4,8	4,1	3,5	44,9	40,2	17,8	17,1	-
100	5,6	5,7	-	-	55,3	40,4	-	-	-

Tableau II bis : Quantité d'azote mobilisée par hectare (kg/ha) et rendement en matière sèche (kg/ha) à différentes dates du cycle à Dian Ba en 1973 - Variété I Kong Pao -
- D'après GANRY F., 1974 (12) -

Dose (d'engrais azoté U/ha)	23 juillet		7 août		10 septembre		2 octobre			
	MS	N total	MS	N total	MS	N total	MS	N total		
0	161	5,4	1540	23,1	3960	47,6	3693	4187	13,1	54,0
							7880			67,1
80	297	13,7	2260	49,7	5974	113,6	4564	5836	25,1	68,2
							10400			93,3

Tableau III : Quantité d'azote mobilisée par hectare - Variété Iguape Cateto -
- D'après CHABALIER P.F., 1976 (7) -

Doses d'engrais azoté (unité/ha)	Quantité d'azote mobilisée en kg/ha	
	sans restitution des pailles	Avec 5 t/ha de paille sèche
0	39	58
60	60	76
120	85	73

Au Nord Cameroun (27), la variété IAG 25 exporte sur sol alluvial et avec une fertilisation de 0 à 80 unités d'azote, 30 unités de phosphore, 30 unités de potassium, pour 2,5 t/ha de paddy 25 kg/ha d'azote, 6 de phosphore et 10 de potassium et pour 5 t/ha de paille 25 kg/ha d'azote, 5 de phosphore et 125 de potasse, ce qui donne en kg par tonne de matière produite :

	N	P	K
Grain	10	2,4	4
Paille	5	1	25

Ces chiffres peuvent être mis en parallèle avec ceux mentionnés pour le riz irrigué (8) à Madagascar (Tableau IV) :

Tableau IV : Exportations moyennes observées en riziculture irriguée en kg par tonne de matière sèche de grain produite (éléments contenu dans le grain)

N	11 à 14
P ₂ O ₅	6,3 à 6,9
K ₂ O	2,6 à 3,1
CaO	0,5 à 0,9
MgO	1,1 à 2,6

On peut remarquer que pour l'azote, la fourchette indiquée correspond aux chiffres obtenus en riziculture pluviale alors que pour le phosphore les exportations semblent plus élevées en riziculture irriguée qu'en riziculture pluviale et que pour la potasse c'est l'inverse.

La comparaison avec d'autres céréales de culture sèche telles le maïs, le millet et le sorgho, a été faite lors de l'expérimentation réalisée à Séfa en 1969 (5) ; le riz pluvial se classe dans la catégorie des céréales à mobilisation en azote faible aussi bien du point de vue mobilisation globale (kgN/ha) que mobilisation dans la plante entière par tonne de grain produite ; cependant, il se classe en position intermédiaire du point de vue de la mobilisation par le grain.

On dispose également de quelques renseignements sur les exportations en silice dans l'Ouest-Cameroun (plaine des Mbos) où on observe des teneurs en silice dans les pailles de riz à la récolte beaucoup plus élevées sur sols inondables de cuvette (sols organiques ou tourbeux) que sur sols exondés (sols hydromorphes minéraux) (28), ces faibles teneurs dans les plantes

correspondent à des teneurs faibles des sols exondés (on observe une diminution de la teneur en silice des sols exondés dans les années qui suivent la mise en culture) ; on remarque cependant sur certaines parcelles à plantes à teneur faible en silice (1,5 à 2,6 % SiO₂ dans les pailles) de très bons rendements, ce qui est assez surprenant d'autant que l'absence de silice dans les feuilles entraîne une augmentation importante de la transpiration et peut donc avoir une action néfaste sur l'économie de l'eau ce qui est d'autant plus grave que l'on est en conditions pluviales. Ce problème de la nutrition en silice n'est pas résolu en ce qui concerne le riz pluvial.

On peut comparer également les teneurs de la tige et du grain en différents éléments des variétés 63-83 et I Kong Pao (Tableau V) ce qui peut permettre des comparaisons entre ces deux variétés.

Tableau V : Teneurs en différents éléments des variétés 63-83 et I Kong Pao - D'après SIBAND P., 1970 (6) -

	63-83		I Kong Pao	
	Tige	Grains	Tige	Grains
N %	0,48 à 0,96	1,03 à 1,47	0,52 à 0,80	1,26 à 1,63
P ₂ O ₅ %	0,11 à 0,38	0,38	0,16 à 0,27	0,39
K ₂ O %	2,6 à 3,8	0,68	2,15 à 3,98	0,78 à 1,16
CaO %	0,32	0,16	0,27	0,06
MgO %	0,50	0,19	0,40	0,16
cendres insolubles	4,3 à 9,5	0,3 à 1,7	3,5 à 8,7	0,4 à 1,5

On remarque que la quantité de silice, qui constitue l'essentiel des cendres insolubles, est faible, surtout chez I Kong Pao.

Le rapport grain/paille augmente quand la teneur en potassium augmente dans la tige et diminue dans le grain.

Une interaction entre éléments a été mise en évidence (32) dans un essai en laboratoire ; une carence en potassium provoque un enrichissement en sels ammoniacaux dans la plante.

Les exportations globales pendant un cycle de culture constituent bien sûr une donnée nettement insuffisante pour élucider les mécanismes de la nutrition minérale chez le riz pluvial et déterminer les modalités d'apport et les quantités d'éléments fertilisant nécessaires. Elles donnent tout au plus un ordre de grandeur pour la quantité totale d'engrais à apporter.

La connaissance des variations des besoins au cours du cycle, et des besoins instantanés maximum, est indispensable.

1.2 - BESOINS INSTANTANES

L'évolution de la consommation en éléments minéraux peut-être représentée par la courbe de mobilisation, établie à partir de l'analyse de la plante à divers stades de développement. C'est principalement pour l'azote que de telles études * ont été réalisées à l'IRAT.

Les courbes de mobilisation de l'azote par le riz pluvial ont été établies au Sénégal sur les variétés 63-83 et Taïchung Native 1 (5) et I Kong Pao (12) ** et en Côte d'Ivoire sur la variété Iguape Cateto (7) ; pour 63-83 et Taïchung Native 1, les prélèvements ont été effectués aux stades tallage, montaison, épiaison et maturité, pour I Kong Pao à 4 périodes du cycle (23 juillet, 17 août, 10 septembre et 2 octobre) et pour Iguape Cateto à 5 périodes du cycle (40 - 65 - 85 - 105 et 135 jours après le semis).

D'après les courbes de mobilisation pour ces quatre variétés (figure 1, 2, 3 et 4), on peut tirer certaines conclusions. Les besoins instantanés de la culture estimés par la quantité maximum d'azote mobilisé exprimée en kilogramme d'azote par hectare et par jour, sont différents pour 63-83 à paille longue et Taïchung Native 1, variété demi-naine. Le taux moyen de mobilisation de 63-83 (2,1 kg N/ha/jour) est plus faible que celui de Taïchung Native 1 (3,5 kg N/ha/jour) ; par rapport aux autres céréales de culture sèche comparées dans cette étude, Taïchung Native 1 fait partie du groupe de céréales à taux de mobilisation le plus élevé et 63-83 du groupe à mobilisation faible. A noter aussi que le maximum du taux de mobilisation se situe à la montaison pour 63-83 (et les autres céréales de culture sèche) et à l'épiaison pour Taïchung Native 1.

Les différences observées entre 63-83 et Taïchung Native 1 permettent d'apporter quelques précisions sur l'utilisation de variétés de type paille courte ou paille longue :

- le type morphologique paille courte présente un indice d'efficacité de l'azote meilleur que le type morphologique paille longue et peut être retenu comme le plus capable de rentabiliser la fumure azotée ; les quantités globales

* pour les mobilisations de P, K, Ca, Mg, voir (67).

** autres études en Côte d'Ivoire sur les mobilisations en azote de IRAT 10 et IRAT 13, voir (68).

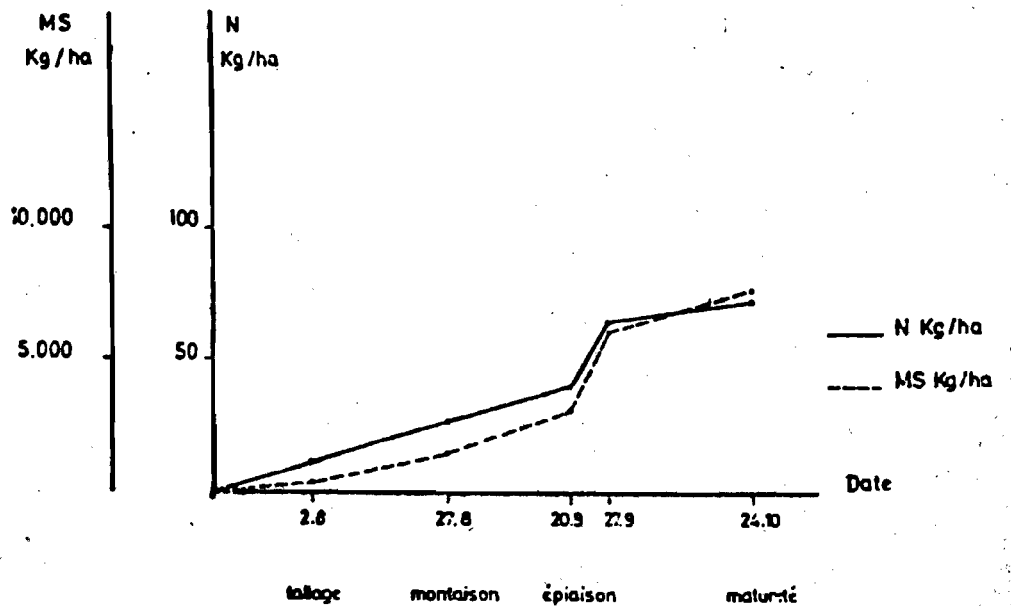


Figure 1 : Courbes de croissance et de mobilisation de l'azote du riz Taichung Native 1.
- D'après BLONDEL D., 1971 (5) -

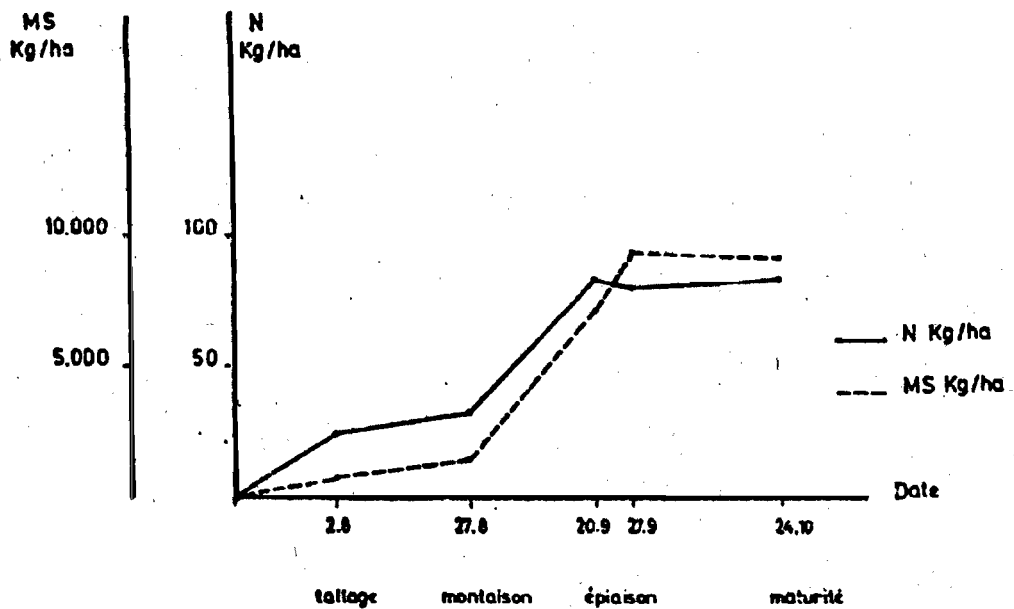


Figure 2 : Courbe de croissance et de mobilisation de l'azote du riz 63-83.
- D'après BLONDEL D., 1971 (5) -

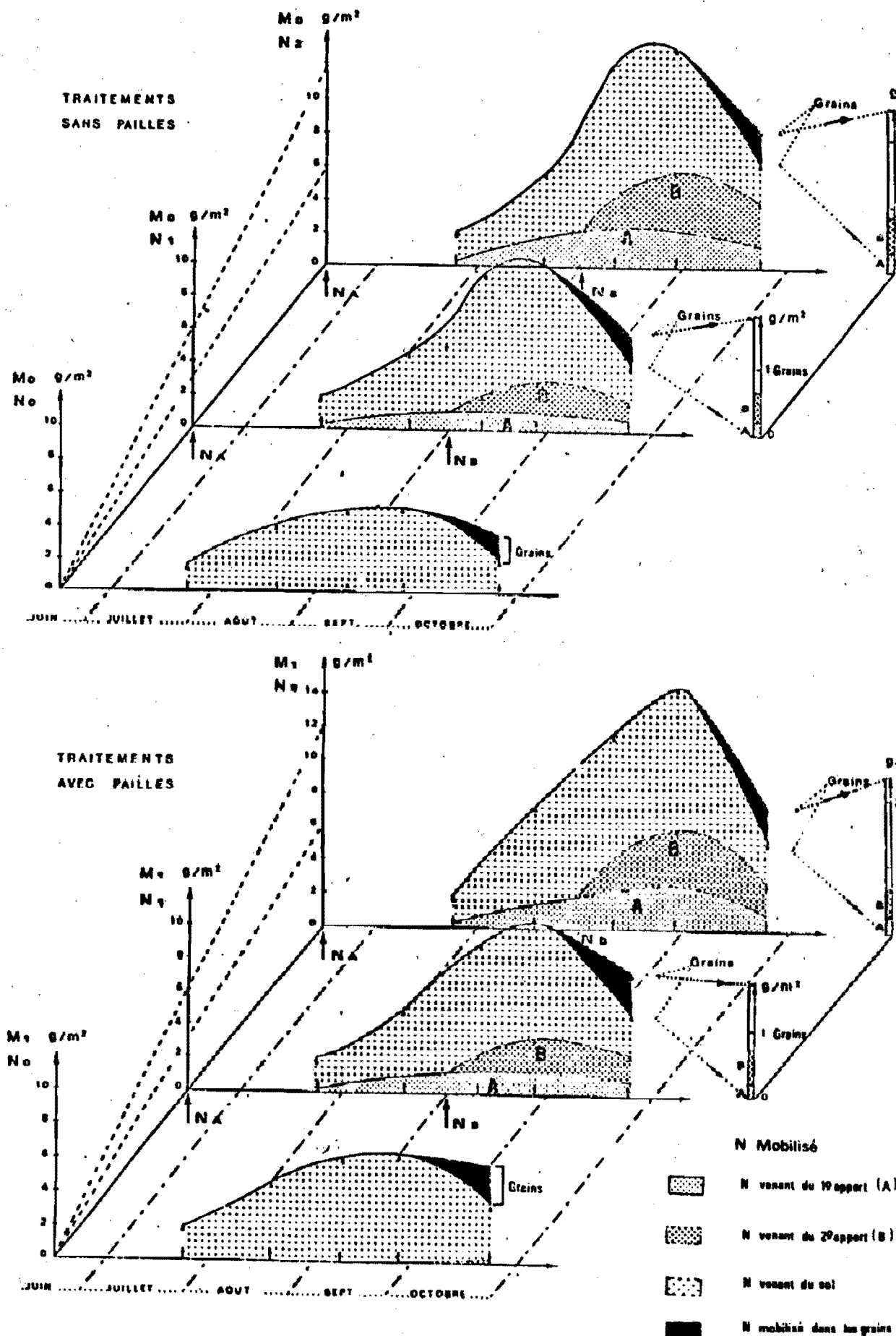


Figure 3 : Courbe de mobilisation de l'azote du riz Iguape Cateto.
 - D'après CHABALIER P.F. (7) -

d'azote mobilisées sont voisines pour les deux types de variétés, mais les besoins instantanés plus élevés pour le type à paille courte peuvent devenir facteur limitant et nécessiter le recours à une fumure azotée importante pendant les phases critiques d'alimentation si le sol n'est pas à même de fournir les quantités nécessaires.

En Côte d'Ivoire, le flux instantané d'absorption est pour la variété Iguape Cateto (variété à paille longue) de 1 kg N/ha/jour quand il n'y a pas d'apport d'engrais et passe à 2,1 kg/ha/jour avec 60 unités d'azote et à 2,8 kg/ha/jour avec 120 unités ; ces chiffres sont à rapprocher de ceux obtenus avec 63-83 avec une fumure de 100 unités : la phase critique pour Iguape Cateto se situe entre montaison et floraison.

Sur sols gris en Casamance (12), on obtient sur parcelles sans engrais et avec I Kong Pao des flux instantanés assez voisins de ceux observés en Côte d'Ivoire 0,9 kg N/ha/jour ; là aussi, les flux instantanés sont augmentés par l'apport d'engrais azoté.

On observe également dans les essais de Bouaké une diminution des quantités d'azote mobilisées à partir de la fin septembre (7) ; cette diminution peut s'expliquer par différentes raisons :

- perte de matière sèche en fin de cycle par chute sur le sol ;
- perte d'azote des organes supérieurs par protéolyse : la sécheresse provoque une déficience de source d'énergie par déficit de photosynthèse et la protéolyse sert alors à fournir une source d'énergie pour la respiration ;
- perte d'azote par translocation des acides aminés des parties aériennes vers les parties souterraines.

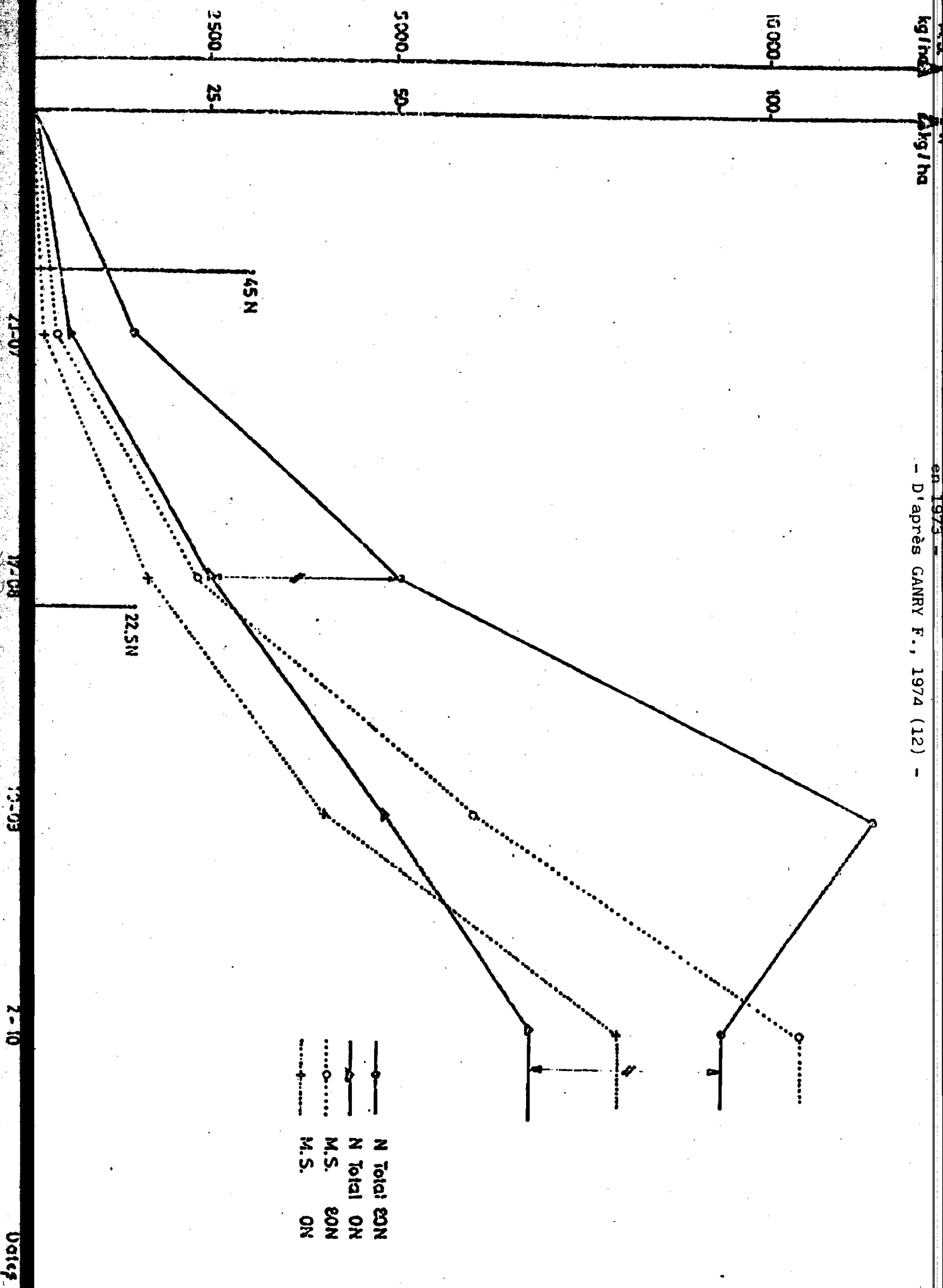
Vraisemblablement ces trois phénomènes doivent intervenir simultanément.

2 - INFLUENCE DES CONDITIONS D'ALIMENTATION HYDRIQUE SUR LES BESOINS ET L'ALIMENTATION DE LA PLANTE

Les conditions d'alimentation hydrique influent sur les besoins en minéraux de la plante dans la mesure où l'eau peut constituer le premier facteur limitant et provoquer de mauvais rendements même si les conditions de nutrition minérale sont satisfaisantes.

Une étude économique réalisée en Côte d'Ivoire montre cependant l'intérêt de la fertilisation minérale du riz pluvial, même en conditions d'incertitudes climatiques (9).

Figure 4 : Courbe de croissance et de mobilisation de l'azote du riz I Koné Paq à Dianaba
 en 1973
 - D'après GANRY F., 1974 (12) -



L'IRAT n'a effectué que peu d'expérimentations sur ce problème : on peut simplement citer l'étude des sols gris de Casamance (10).

Ces sols sableux et peu organiques sont exondés mais parcourus par une nappe d'eau circulante et présentent des potentialités rizicoles très intéressantes que l'on a tout d'abord attribuées exclusivement aux bonnes conditions d'alimentation hydrique mais qui résultent en fait de plusieurs facteurs parmi lesquels la nutrition minérale tient une place importante.

L'influence du régime hydrique sur la nutrition minérale ressort de la comparaison de l'efficacité de l'unité d'élément majeur absorbé sur des parcelles sur sols gris ou sols de plateau présentant des mobilisations du riz comparables (tableau VI).

Tableau VI : Immobilisations et efficacités comparées en sols gris et sols de plateau.

- D'après SIBAND P., 1976 (10) -

		Sols gris	Sols de plateau
Apports (kg/ha)	N	0	75
	P ₂ O ₅	60	60
	K ₂ O	60	60
Immobilisations (kg/ha)	N	29,3	32,2
	P ₂ O ₅	10,6	12,7
	K ₂ O	50,1	60,3
Production de MS (q/ha)	grains	26,3	19,4
	pailles	15,7	20,1
	Total	42,0	39,5
Production de MS par unité	N	143	122
	P ₂ O ₅	396	311
	K ₂ O	83	65

Une bonne alimentation hydrique permet à la fois une meilleure absorption des éléments minéraux puisqu'aucune période de sécheresse ne vient freiner l'absorption ce qui est particulièrement important pour les éléments à absorption lente et une meilleure utilisation des éléments absorbés puisque l'eau n'est plus facteur limitant.

La présence de la nappe et l'état hydrique du sol jouent dans le cas des sols gris sur d'autres facteurs (10) :

- les équilibres entre solution et colloïdes du sol vont dans le sens d'un appauvrissement relatif de la solution en cations polyvalents et d'un enrichissement relatif en cations monovalents ce qui pourrait expliquer une meilleure absorption du potassium en fin de cycle (période où la nappe est remontée) en sol gris que sur le plateau où la même période est souvent déficitaire en eau ;
- dans ces conditions d'alimentation hydrique, le riz serait moins sensible aux toxicités aluminique ou manganique qui pourraient apparaître aux pH bas ; la plus faible hauteur de plante observée en sol de plateau par rapport au sol gris résulterait de la destruction de l'auxine par un excès de manganèse ;
- la nutrition azotée présente dans les sols gris des particularités intéressantes (12) : on a observé en 1973 à Diana-Ba que les parcelles cultivées en riz en 1972 présentaient par rapport à celles laissées nues cette même année un surplus de rendement important (1 400 kg/ha en moyenne) ; le facteur limitant principal de 1973 ayant été l'azote, ce surplus de récolte peut être imputé à l'azote stocké par la culture au cours du cycle précédent, vraisemblablement par fixation rhizosphérique ; ce phénomène est certainement lié aux conditions particulières d'alimentation hydrique dans les sols gris ; on sait en effet qu'une culture de riz inondé peut fixer une quantité importante d'azote mais que cette fixation d'azote est pratiquement négligeable en riziculture pluviale.

Ces expérimentations n'ont pas été poursuivies ultérieurement et l'hypothèse énoncée plus haut demande à être confirmée.

3 - L'OFFRE DU SOL ET SES FACTEURS DE VARIATION

L'offre du sol et ses disponibilités en éléments minéraux au niveau de la plante sont fonction de nombreux facteurs dont les principaux sont la composition initiale et les caractéristiques propres du sol et la fertilisation qu'on lui applique.

3.1 - CARACTERISTIQUES DES SOLS DES PRINCIPALES ZONES A RIZICULTURE PLUVIALE

L'IRAT a réalisé ce type d'étude dans de nombreux pays en utilisant trois

méthodes complémentaires :

- analyse chimique des sols,
- essais de détermination des carences en vase de végétation,
- essais factoriels de fertilisation au champ qui permettent non seulement de connaître les carences des sols mais aussi d'apporter les premières indications des doses nécessaires à leur correction.

Nous ne rentrerons pas dans le détail de chaque étude qui concerne des pays aussi variés que le Bénin (13), la Centrafrique (14), le Sénégal (15) (54), la Haute-Volta (16), Madagascar (17) (18) (3), le Cameroun-Ouest (19), la Côte d'Ivoire (21) (22) (23) (24) (25) et la Guyane (26).

Les carences les plus fréquentes observées en vases de végétation sur riz sont la carence en phosphore, en azote, en soufre ; la carence potassique est plus rare (27).

Au Bénin, les sols ferrugineux tropicaux du nord du pays présentent en général une carence en phosphore alors que cette carence est beaucoup moins fréquente en terres de barre même dégradées (13) ; la fumure azotée y est toujours efficace sur céréales, sauf sur les terres de Barre neuves ; enfin on observe une carence en potasse dans les terres de Barre dégradées du Sud.

En Centrafrique, les sols manquent généralement d'azote et de phosphore (14).

Au Sénégal, les sols de Casamance (sols rouges, sols beiges, sols gris) présentent des caractéristiques chimiques assez voisines et ont en commun un niveau de fertilité assez bas (déficience en phosphore et potassium).

En Haute-Volta également (16) une carence en phosphore est très fréquente.

Au Cameroun, les sols de l'Ouest présentent une grande variabilité de fertilité ; on y observe une fréquente carence en soufre, et assez souvent des carences en phosphore et potassium (19) ; dans le Nord, les sols hardés sont très pauvres en azote, phosphore et soufre (30) et on y a signalé un phénomène de carence en fer apparaissant quand le pH s'élève (à partir de pH 7 en sol léger et de pH 8 sur sol lourd), observé principalement sur d'anciens emplacements de case, de foyer ou de défrichement par brûlis (31) ; la pulvérisation de chélate de fer ne semble pas y apporter d'amélioration.

En Côte d'Ivoire, on a étudié les sols de nombreux points d'essai (sols ferrallitiques de différents types) : une carence en phosphore est observée sur certains points d'essai (Man, Zouzouso, Kiemou) ainsi qu'en azote et en potassium (Zouzouso, Kiemou) (21) (22) (25) ; pour les sols de défriche, la carence en potassium est plus longue à apparaître que les carences en phosphore et azote (Kiémou).

Il faut noter que la détermination de ces carences est réalisée souvent à partir de plantes-test autres que le riz, et que la gravité de la carence n'est pas toujours équivalente pour la plante testée et le riz : ainsi le riz est moins sensible à la carence en phosphore que l'arachide (13) et le maïs (28).

3.2 - OFFRE DU SOL EN AZOTE

En dehors des expérimentations citées plus haut portant sur la détermination des carences des sols, l'IRAT a étudié spécifiquement la dynamique de l'azote sous riz pluvial en Côte d'Ivoire, au travers d'un essai "azote-paille" à Bouaké (rotation riz-maïs/coton) (7).

Cet essai comportait les traitements suivants : l'azote minéral est apporté sous forme d'urée, en deux fois (semis et floraison) à raison de 60 unités/ha sur riz, 100 sur maïs et 60 sur coton (traitement 1) ou à raison de 120 unités sur riz, 200 sur maïs et 120 sur coton (traitement 2) ; chaque traitement est subdivisé, avec ou sans apport de 5 t/ha de paille sèche de même que le témoin sans fertilisation minérale.

La dynamique de l'azote dans les sols gris de Casamance a également été étudiée (12).

3.21 - Dynamique de l'azote sous culture de riz pluvial

Les paramètres de la dynamique de l'azote étudiés dans cette expérimentation sont (7) la minéralisation et la réorganisation, la dénitrification, la lixiviation, la mobilisation par culture.

3.211 - Minéralisation et réorganisation

A Bouaké (7), l'azote ammoniacal est présent de façon constante et en faible quantité dans les traitements non fertilisés ; les apports d'engrais provoquent une hausse de la teneur en azote ammoniacal importante mais fugace dans l'horizon de surface, peu sensible au dessous d'une profondeur de 10 cm.

La teneur en azote nitrique est sujette à des variations cycliques :

- de février à mai, un cycle de nitrification-lixiviation fait passer la teneur en azote nitrique par un maximum vers fin mars et un minimum vers fin mai ;
- de juillet à fin août, les nitrates se reforment et subissent une lixiviation importante vers la fin août.

Il n'apparaît à aucun moment de fortes teneurs en azote ammoniacal sous culture de riz comme on l'observe pour d'autres cultures ce qui tend à confirmer que le riz utilise préférentiellement l'azote ammoniacal. Ce fait semble cependant en contradiction avec un essai réalisé sur milieu artificiel (32) où la croissance du riz et l'efficacité de l'azote sont meilleurs dans les traitements

à dominante nitrrique. La réorganisation de l'azote au sein de la matière organique après une culture se fait en grande partie sous une forme susceptible d'être minéralisée à nouveau (7).

Au Sénégal dans les sols gris (12), on observe en première année après défrichement une minéralisation nette négligeable, tout au long du cycle de culture même après les apports d'engrais, l'azote minéral décelé est en général sous forme nitrrique.

On peut penser au vu de ces résultats que l'ammonification est fortement limitée et qu'un phénomène intense de réorganisation se produit ; ces observations sont valables aussi bien sur sol nu que sous culture de riz.

En deuxième année, après défrichement, la minéralisation est plus intense et présente sur parcelle une première phase très active (maximum à la mi juillet) et une seconde phase en fin de cycle, beaucoup moins importante que la première ; sur parcelles cultivées, cette deuxième phase de minéralisation est plus intense que sur parcelles nues, ce qui pourrait s'expliquer soit par une minéralisation ou fixation non symbiotique rhizosphérique de l'azote de l'air, soit par une meilleure aération du sol résultant de la présence de racine, soit par la limitation par les racines de la lixiviation des nitrates.

A Bouaké, on a observé que (7) :

- les traitements agronomiques et le pH du sol agissent sur certains paramètres de la minéralisation et de la réorganisation :

. l'enfouissement des pailles n'a pas d'effet marquant sur l'intensité de la minéralisation, on n'observe pas de blocage de la forme minérale de l'azote par réorganisation par voie microbienne ; par contre, l'apport de pailles augmente la vitesse de nitrification au début de la minéralisation et augmente légèrement le stock d'azote minéral ;

. les apports d'engrais azotés augmentent fortement la teneur en azote minéral du sol, surtout celui réalisé au semis ; les arrières effets des fumures sont faibles, ce surplus d'azote est en général lixivié avant d'être utilisé par la culture ; l'apport d'engrais favorise la nitrification et stimule légèrement la minéralisation.

On n'a pas pu mettre en évidence par la technique utilisée un effet des traitements agronomiques sur la capacité du sol à fournir de l'azote à la plante ;

. le pH du sol agit fortement sur la cinétique de minéralisation, en ralentissant la nitrification et en augmentant les pertes qui se produisent pendant la nitrification. Cependant, dans les sols acides, la stimulation de la minéralisation de l'azote du sol par des apports d'engrais est plus marquée.

3.212 - Dénitrification chimique et lixiviation

Les pertes par dénitrification chimique sont importantes dans les sols acides à température élevée et à faible humidité, ce qui est le cas le plus fréquent en riziculture pluviale ; ces pertes peuvent aller de 20 à 40 % de l'azote minéral présent dans le sol pendant la période défavorable (7).

Les pertes par lixiviation sont elles aussi importantes, elles sont d'environ 60 unités par an jusqu'à 45 cm de profondeur et d'environ 40 à 50 unités entre 45 et 80 cm ; ces pertes concernent essentiellement l'azote du sol et très peu l'azote engrais qui est fortement réorganisé au sein de la matière organique.

La minéralisation lente mais continue de l'azote semblerait plus favorable aux pertes qu'un apport relativement important d'azote engrais ; celui-ci cependant, s'il échappe à la lixiviation par réorganisation rapide, augmenterait indirectement les pertes par lixiviation en stimulant la minéralisation et pourrait subir des pertes non négligeables par dénitrification si l'apport d'engrais est fort. L'occupation précoce du sol permettrait de réduire les pertes importantes du début de cycle.

3.213 - Utilisation de l'engrais par le riz

Nous avons donné au chapitre 1 les quantités mobilisées par le riz pluvial (variété Iguape Cateto) dans les essais azote-paille déjà mentionnés réalisés à Bouaké ; ces essais ont également permis, par l'utilisation d'engrais marqué à l'azote 15, de connaître la contribution de l'engrais à l'alimentation azotée de la plante (7) :

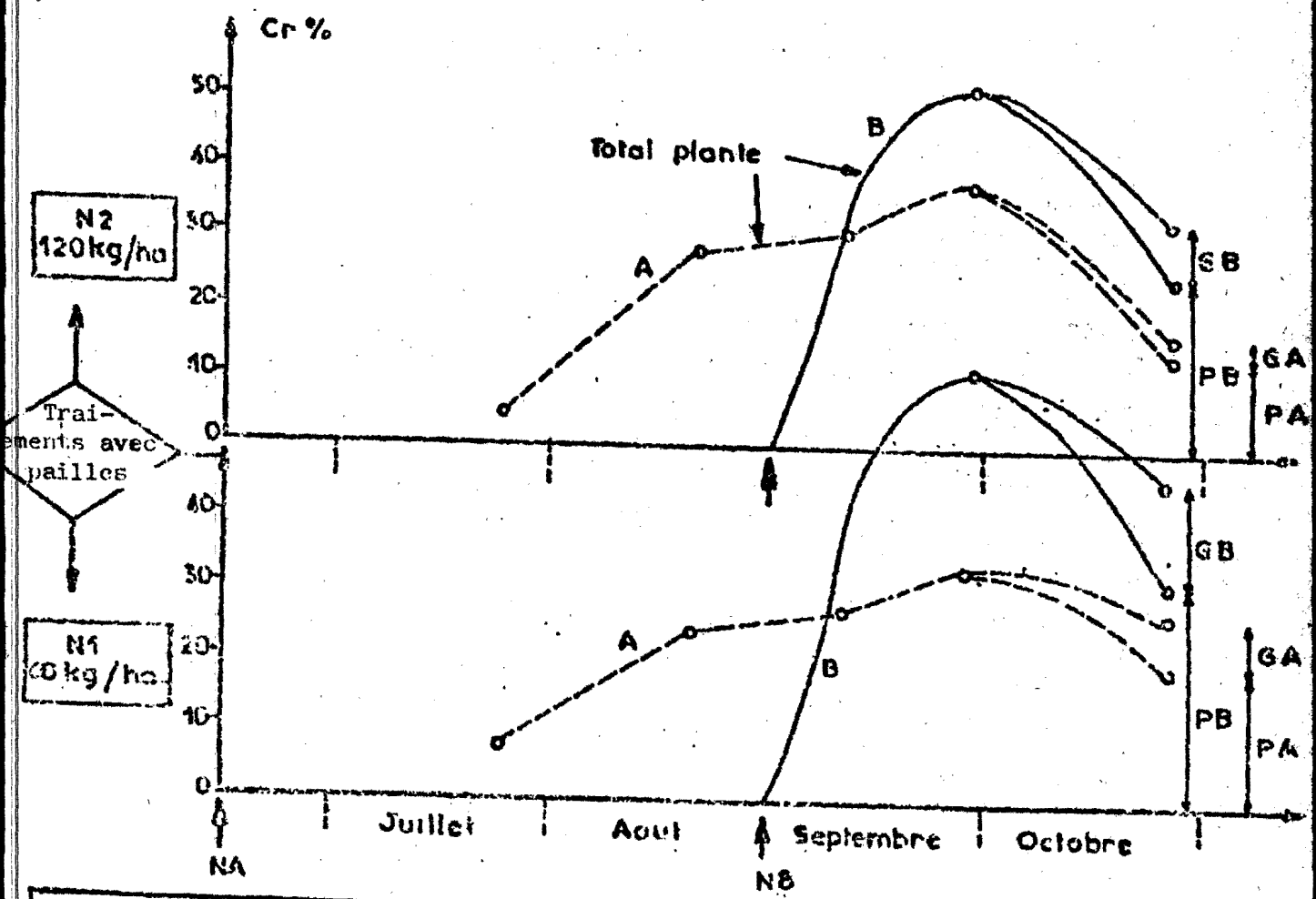
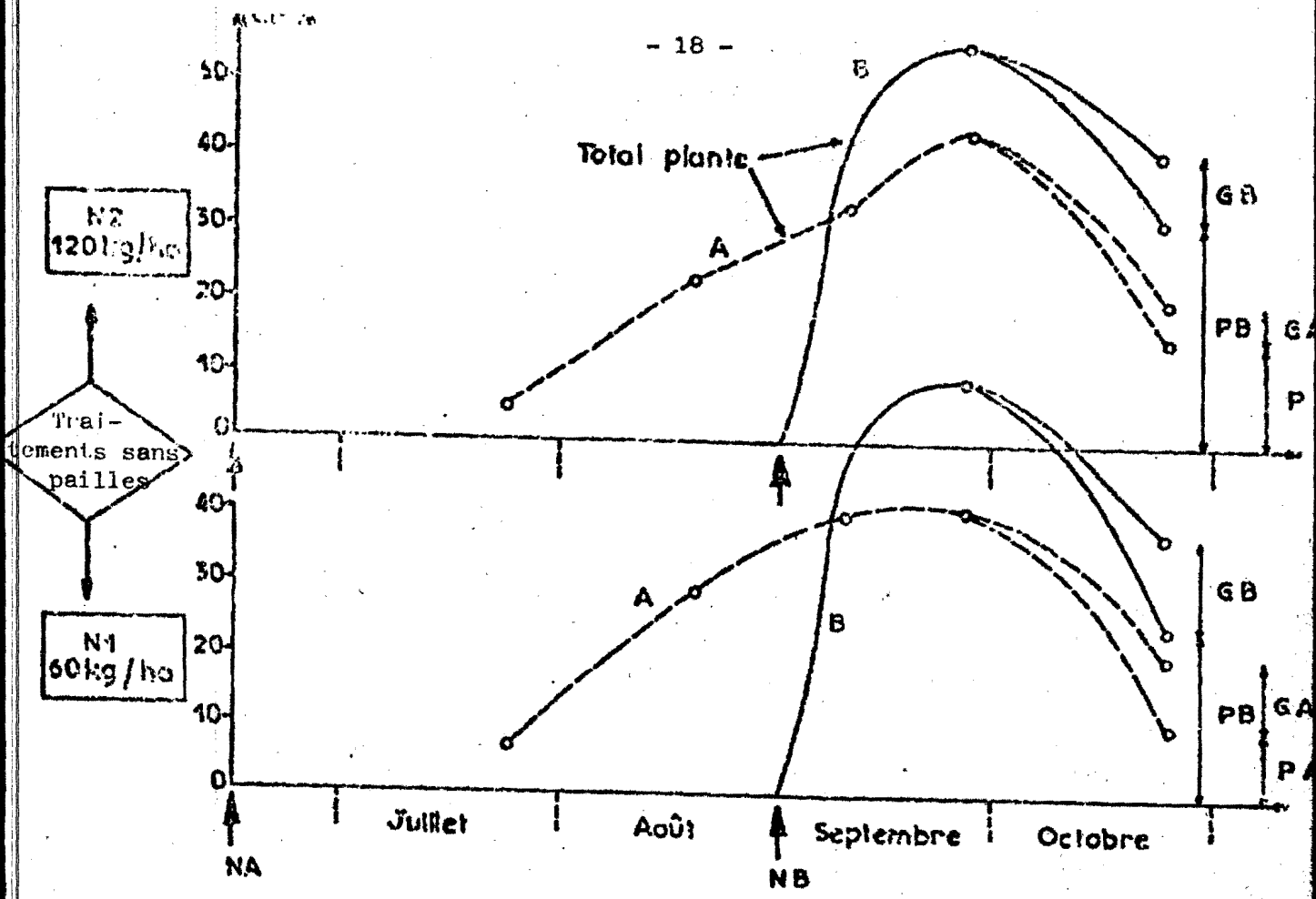
- les coefficients d'utilisation de l'engrais par le riz passent par un maximum en début de maturation et diminuent à la récolte (tableau VII et figure 5).

* Tableau VII : Coefficients d'utilisation de l'azote engrais par le riz pluvial, variété Iguape Cateto - D'après CHABALIER P.F., 1976 (7) -

	Début de maturation	Récolte
(1er apport (semis)	35 - 40 %	15 - 25 %
(2e apport (floraison)	50 - 55 %	30 - 40 %

- la teneur en protéines est améliorée par l'apport d'engrais (7,93 % de protéines pour le témoin sans engrais, 11,25 % de protéines pour le traitement à 120 unités d'azote) ;

*Dans cette expérience, le riz a beaucoup souffert de la sécheresse entre maturation et récolte, d'où les diminutions fortes enregistrées. Pour données en conditions plus favorables, voir (11).



S : Cr % par les grains - P : Cr % par la paille - A : Cr % apport semis - B : Cr % apport floriss

Figure 5 : Coefficients d'utilisation de l'azote engrais par le riz pluvial (Cr %) - D'après CHABALIER P.F., 1977 (7)

- la vitesse d'absorption de l'azote passe de 1 kg/ha/jour pour le témoin sans engrais à 2,1 kg/ha/jour pour 60 unités d'azote et 2,8 kg/ha/jour pour 120 unités pendant la période d'absorption maximum (phase montaison-floraison).

La contribution de l'engrais du premier apport à l'alimentation azotée du riz passe par un maximum au début de la montaison ; pour le deuxième apport, la contribution atteint un maximum et reste constante jusqu'à la récolte et sert essentiellement pour la formation des protéines du grain. L'azote du deuxième apport est mieux utilisé que celui du premier.

L'enfouissement des pailles a un effet dépressif léger sur l'utilisation du premier apport d'engrais, jusqu'au stade début maturation, par contre la paille enfouie semble fournir environ 15 kg/ha d'azote à la culture particulièrement sur le traitement témoin non fertilisé.

Au Sénégal, sur sols gris (12), on observe également un accroissement du taux de mobilisation de l'azote par l'apport de fertilisation azotée au tallage et à la montaison ; de même on assiste à une baisse de mobilisations en fin de cycle, mais uniquement sur les traitements fertilisés, correspondant à une baisse d'efficacité pour l'apport d'azote tardif par rapport aux apports plus précoces.

3.22 - Conséquences pour la pratique de la fertilisation azotée

On observe dans les essais de Bouaké (7) une faible utilisation directe de l'azote - engrais par la plante (50 % au maximum), l'augmentation des rendements provoquée par l'apport d'engrais semblant résulter de la stimulation de la minéralisation qui augmente le taux de mobilisation de la culture.

L'apport réalisé au semis est beaucoup moins efficace que celui du stade floraison, cet apport au semis semble ne pas être indispensable pour des sols non épuisés (7) en Côte d'Ivoire ; par contre dans les sols gris de Casamance (12), c'est l'inverse qu'on observe, l'apport en début de cycle présente une meilleure efficacité que les apports plus tardifs, ce qui pourrait s'expliquer par l'induction d'un meilleur développement du système racinaire qui permettrait une activité rhizosphérique maximum ; on peut d'ailleurs noter que cet effet bénéfique d'un système racinaire bien développé peut s'expliquer également même sans fixation rhizosphérique, en raison de la présence de nitrates dans la nappe phréatique (34).

On recommande également en Côte d'Ivoire les restitutions de paille, qui, bien que moins efficace que l'apport de compost ont un effet bénéfique à long terme sur le bilan azoté et humique et n'ont pas d'effets défavorables immédiats sur la nutrition azotée de la culture (7) ; la diminution des pertes peut aussi passer par l'utilisation d'inhibiteur de nitrification, de minéralisation ou d'engrais à libération lente (N-lignine par exemple) pour laquelle l'IRAT possède quelques données en sol "dior" avec culture de mil (33) ; enfin une mise en place rapide de la culture, dès les premières pluies est nécessaire pour valoriser le pic de minéralisation du début de saison

des pluies et éviter les pertes ; si cette mise en place n'est pas possible, on peut envisager de laisser en place la végétation naturelle herbacée (à noter que cette pratique est néfaste pour d'autres facteurs de la production tels l'alimentation hydrique et le contrôle des adventices).

Enfin, les apports d'engrais doivent être modérés (60 unités/ha environ) pour éviter les pertes par dénitrification.

L'étude des rythmes d'absorption devrait permettre de mieux faire coïncider les apports d'azote avec les besoins de la plante.

*

3.3 - OFFRE DU SOL EN ELEMENTS AUTRES QUE L'AZOTE

Peu d'études ont été réalisées par l'IRAT à ce sujet.

Très souvent, pendant un certain nombre d'années après défrichement il n'est pas nécessaire d'apporter ces éléments en fertilisation ; c'est ce qu'on a pu observer :

- pour le phosphore au Cameroun dans la plaine des Mbos (36),
- pour le potassium dans diverses situations,

En Centrafrique (35), on a pu mettre en évidence des relations entre :

- la teneur en phosphore total du sol et celle des pailles,
- la teneur en potassium échangeable du sol et celle des pailles,
- la teneur en magnésium échangeable du sol et celle des pailles.

De telles relations n'ont pas été mises en évidence pour l'azote et le calcium mais semblent exister pour les rapports calcium/magnésium et magnésium/potassium.

Aux Comores (37), un essai courbe de réponse au soufre a été réalisé en vase de végétation sur la variété Taichung 10 ; un apport de soufre assez faible (35 ppm) permet de corriger la carence effectivement mise en évidence ; on observe une interaction entre éléments, une forte dose de soufre provoquant une diminution des taux d'azote et de phosphore et par conséquent des mobilisations de ces deux éléments.

A Madagascar (38), on a mis en évidence l'effet positif d'un apport de silice qui agit peut-être à un autre niveau que la nutrition minérale (état sanitaire) ; la silice semble également interagir à différents niveaux avec d'autres éléments : elle améliorerait la quantité de phosphore assimilable des sols à forte fixation en phosphore et a des répercussions au niveau du riz sur les teneurs en azote, phosphore, fer et manganèse (ces observations concernent le riz irrigué).

*A noter aussi une publication à paraître dans l'Agr. Trop. par Chabalier : à partir du coefficient apparent (plutôt que réel à cause des phénomènes de minéralisation induite) d'utilisation de l'azote, des formules sont données pour calculer la fertilisation azotée adaptée aux rendements escomptés.

En Guyane (58), un essai sur IRAT 13 en vase de végétation met en évidence un comportement différent de la variété vis-à-vis d'un apport de silice selon qu'elle est cultivée en sec ou en irrigué : en irrigué, l'apport de silicate de chaux a un effet positif sur la hauteur de plante, la production de pailles et de talles alors qu'en sec il n'en a aucun.

Au Sénégal (4), on a remarqué avec la variété I Kong Pao que le poids moyen des tiges augmente avec les apports de potasse et que les limbes deviennent proportionnellement moins importants par rapport à l'ensemble de l'appareil végétatif ; la quantité de panicules formées par unité de surface de limbe augmente avec les apports en phosphore sur la variété Se 302 G, la fumure potassique améliore fortement les rendements en l'absence d'enfouissement des pailles de la culture précédente (dans ce cas précis, maïs) (60).

3.4 - FACTEURS DE VARIATION DE L'OFFRE DU SOL

A partir de sa mise en culture, le sol est soumis à une évolution chimique qui dépend de nombreux facteurs ; l'IRAT a effectué quelques études relatives à cette évolution et à ses conséquences pour la culture du riz : au Sénégal (56) on observe pour les sols rouges et les sols beiges de plateau une dégradation de texture, une chute de la teneur en matière organique et une diminution de l'activité biologique résultant de la mise en culture ainsi que le phénomène d'acidification par lixiviation des cations, particulièrement calcium et magnésium ; il semble toutefois que les carences minérales ne soient pas engendrées par la dégradation des sols sauf pour le potassium dont la teneur dans le riz (I Kong Pao) diminue avec l'augmentation du temps de culture ; cette faible teneur en potassium semble provoquer des perturbations dans l'alimentation hydrique ; le facteur de diminution des rendements le plus important semble être cependant non pas la diminution de la fertilité chimique, mais plutôt la réduction de l'activité biologique du sol.

L'amélioration de ces terrains dégradés, par travail du sol et fertilisation minérale, semble assez rapide pour l'obtention de rendements corrects de riz pluvial (61).

4 - PRATIQUE DE LA FERTILISATION

4.1 - FERTILISATION MINERALE RECOMMANDEE SUR RIZ PLUVIAL

A partir des nombreux essais d'engrais réalisés par l'IRAT, des recommandations pour la fertilisation ont été faites dans les principaux pays à riziculture pluviale, en fonction des systèmes de culture pratiqués.

4.11 - Centrafrique

La fertilisation minérale du riz pluvial recommandée en 1970 (39), d'après les résultats de nombreux essais (55) est de 40 unités d'azote et 25 unités de P2O5 pour les zones cotonnières de la Ouaka et de Basse Kotto et avec le système de culture suivant :

- rotation : 1ere année coton fumé,
2e année, 1er cycle . arachide non fumée ou pas de culture,
2e cycle . riz pluvial ;
- variété OS 6 ;
- techniques culturales : labour à 10 cm en culture attelée ou mécanisée, semis première quinzaine de juillet en poquets alignés 40 x 20 cm ou 30 x 20 cm entretien normal.

On ne possède pas encore de données plus récentes, les travaux IRAT en Centrafrique se sont interrompus pendant une dizaine d'années et n'ont repris que récemment.

4.12 - Côte d'Ivoire

Différents niveaux de fertilisation sont préconisés en fonction du niveau d'intensification (40) :

- fumure vulgarisable en milieu paysan :

Objectif de rendement : 1 à 2 t/ha - variétés traditionnelles, Moroberekan, Iguape Cateto, Dourado Précoce ; fumure recommandée : 100 kg/ha d'engrais 10-18-18 (engrais - coton) au semis et 50 kg/ha d'urée à la montaison, ce qui correspond à 33 unités d'azote, 18 de P2O5, 18 de K2O, 6,5 de soufre, 4 de CaO et 1 de B2O3.

Objectif de rendement : 1,5 à 3 t/ha - variétés améliorées IRAT 13, IRAT 110, 112, 136 ; fumure recommandée : 200 kg/ha d'engrais 10-18-18 au semis et 100 kg/ha d'urée à la montaison, ce qui correspond au double de la fumure précédente.

- fumure de système intensif :

Objectif de rendement : 3 à 4 t/ha - variétés améliorées IRAT 13, IRAT 110, 112, 136 ; fumure recommandée : 300 kg/ha d'engrais 10-18-18 au semis et 150 kg/ha d'urée à la montaison.

Ces fumures sont valables si la restitution des résidus est effective ; dans le cas contraire, il faut majorer les fumures, particulièrement la fumure potassique, pour compenser les pertes ; de même, les fumures vulgarisables en milieu paysan doivent être appliquées en même temps que des techniques culturales correctes (pour le riz essentiellement préparation du sol, date de semis, sarco-binages).

Ces fumures d'entretien s'appliquent à des sols dont on a corrigé les éventuelles carences et dont on maintient le pH au dessus du seuil limite acceptable.

4.13 - Cameroun

Au Nord Cameroun (27), la fertilisation vulgarisée est de 100 kg/ha d'engrais 22-18-14 (engrais coton) au semis et 50 kg/ha d'urée à la floraison. Elle résulte de quelques essais réalisés à Guiding, dans le Nord-Est Bénoué, à Touboro sur la variété IAC 25 qui présente une certaine sensibilité à la verse et supporte mal une forte fumure azotée, et demande à être précisée pour les différents systèmes de culture ; cette fertilisation semble suffisante pour compenser les exportations en azote et phosphore de la culture, mais pas en potasse ; cette fertilisation devrait être envisagée dans un système de culture où les résidus de récolte sont restitués.

Dans l'Ouest Cameroun (41), à la plaine des Mbos, l'importance de la fertilisation phosphatée a été mise en évidence aussi bien dans le cas des rotations soja enfoui-riz ou jachère-riz que dans celui de la monoculture du riz ; pour cette dernière, en 1977, une fertilisation de 70 unités/ha de P205 (sous forme de phosphate d'ammoniaque) au premier et au deuxième cycle, associée à 80 unités/ha d'azote et 60 unités/ha de potasse, a permis de remonter les rendements à plus de 50 qx/ha.

En 1978 (42), les essais précisent la fumure préalable de redressement de la carence en phosphore : 100 kg de P205/ha apparaissent insuffisants, la dose de 200 kg/ha semble se trouver au voisinage de l'optimum.

4.14 - Sénégal

Les résultats concernent essentiellement la Casamance.

En sols de plateaux (sols rouges et sols beiges), la fertilisation proposée à la vulgarisation comporte 200 kg/ha d'engrais 8-18-27 au semis et 150 kg d'urée fractionnés, ce qui correspond à 85 unités d'azote, 36 unités de P205 et 54 de K20 (40).

L'apport d'azote fractionné, avec la plus grande partie apportée avant tallage, semble le plus favorable quand les conditions écologiques sont bonnes ; un apport plus tardif à la montaison marque moins, surtout en conditions hydriques défavorables. Du point de vue forme de l'engrais, il semblerait que les nitrates accroissent la qualité de la récolte en augmentant la teneur en azote du grain.

Cette fumure vulgarisée doit s'appliquer sur des sols dont on a corrigé la carence en phosphore à raison de 400 kg/ha de phosphate tricalcique.

Cette fumure a été utilisée aussi au Sénégal Oriental dans le cadre de l'opération de développement de la riziculture pluviale (43).

4.15 - Haute-Volta

On recommande en Haute-Volta, comme en Côte d'Ivoire, des fumures différentes en culture paysanne ou en intensive.

En culture paysanne, la fumure vulgarisable (44) est de 100 kg/ha d'engrais-coton au semis, suivi de 50 kg/ha d'urée au tallage, ce qui correspond à 37 unités d'azote, 23 de P205 et 14 de K20, plus 6 unités de soufre et 1 de B203.

En culture intensive, on recommande l'apport de 100 kg/ha de mélange coton et 50 kg/ha de chlorure de potassium au semis, suivi de 100 kg/ha d'urée au tallage, ce qui correspond à 60 unités d'azote, 23 de phosphore et 44 de potasse, plus 6 de soufre et 1 de B203.

De même qu'en Côte d'Ivoire, un ensemble de techniques culturales appropriées sont recommandées avec la fertilisation (labour, date de semis, sarclage-binage).

4.16 - Madagascar

Dans le Moyen Ouest (Sakay) (17), les sols de défriche récente présentent une carence en acide phosphorique qui peut-être corrigée à raison de 300-400 kg/ha et une carence en azote ; les sols anciennement cultivés présentent en plus une carence en potasse, calcium et magnésium ; un essai azote réalisé sur Kagoshima Hakamuri 1 et CA 435 a montré une réponse faible pour la première et nulle pour la deuxième. Sur les Hauts Plateaux (45) on observe également une mauvaise réponse à l'azote sur sols ferrallitiques très désaturés de variétés brésiliennes et africaines de type pluvial traditionnel ; dans

cette même région, des essais de fertilisation azotée sur Daniéla ont montré un effet dépressif de la plupart des traitements sur le rendement ; l'apport d'azote en début de tallage ou à l'initiation paniculaire retarde l'épiaison et la maturation, ce retard est doublé si l'on cumule les deux apports (46) ; à noter cependant que dans cet essai la pluviosité n'a pas été favorable à une bonne utilisation de l'engrais.

Plus récemment (57), des essais visent à déterminer des systèmes de culture adaptés au Moyen-Ouest, le premier volet consistant à établir les systèmes de fumure pour la rotation type adoptée : maïs (pailles enfouies) riz pluvial variété Kagoshima Hakamuri I (pailles exportées), arachide (fanés exportés), prairie artificielle pendant 3 ans (facultatif) ; les résultats ne sont pas encore connus.

4.17 - Autres pays

En Guyane, on recommande d'après les essais réalisés sur le périmètre SORIG une fertilisation azotée réduite pendant la phase tallage (47) ; cependant, sur tout le cycle, un essai courbe de réponse à l'azote a montré que le riz répondait encore à l'azote au delà de 300 unités/ha (64).

Au Bénin, la formule vulgarisable est en 1972 (48), de 20 à 40 unités d'azote/ha et 20 à 40 unités de phosphore pour les terres hautes non hydromorphes (station d'Ina).

Aux Comores, les essais réalisés jusqu'en 1974 (49) sur la fertilisation azotée avec la variété CA435 ont été assez peu concluants de l'intérêt de la fertilisation azotée, CA 435 répondant en général assez mal ou négativement (verse).

4.2 - UTILISATION DE SOURCES D'ENGRAIS ECONOMIQUES

L'utilisation de phosphates naturels, dont de nombreux gisements existent en Afrique occidentale, est une voie économique intéressante ; de nombreuses études ont été réalisées pour connaître l'action de ces phosphates naturels sur le sol et la plante (50) ; peu cependant concernent le riz pluvial ; on peut seulement citer une série d'essais menés récemment au Sénégal Oriental (51) (52) (53) ; en première année, les résultats sont difficilement interprétables du fait de la sécheresse (51) ; de même qu'en 1979 (53) ; en 1978 (52), l'effet résiduel d'une dose de 300 kg/ha de phosphal est supérieur pour le riz pluvial aux autres doses apportées (entre 0 et 600 kg/ha), mais pour le cotonnier avec lequel il entre en rotation c'est la dose 450 kg/ha qui est la meilleure.

En Côte d'Ivoire également (59), des essais d'utilisation du phosphal montrent qu'il peut servir pour le phosphatage de fond pour une rotation entière au même titre que le phosphate tricalcique ; pour la fertilisation d'entretien sur riz pluvial, le supertriple est préférable.

Au Mali (63) on a étudié les possibilités d'emploi de phosphates naturels pour le phosphatage de fond d'une rotation et son action sur les rendements des cultures (dont riz pluvial).

4.3 - INTERACTIONS FERTILISATION-TECHNIQUES CULTURALES

L'existence de ces interactions est évidente et leur connaissance précise doit permettre de raisonner plus efficacement la fumure dans le cadre du système de culture :

- Relation densité de semis-utilisation de l'azote (11) : avec une densité de semis forte (42 kg/ha de semences, semis en ligne 30 x 3 cm), croissance et absorption d'azote sont plus rapides en début de cycle mais un rattrapage se fait et en fin de cycle il n'y a pas de différences importantes entre semis clair et semis dense ; le semis clair qui confère à la culture une croissance plus lente et continue semble donc préférable en cas de risque climatique.

- Relation travail du sol-fertilisation, mise en évidence en Côte d'Ivoire (62) : le labour avec enfouissement des résidus a un effet plus marqué dans le cas d'une fertilisation faible (F1) que d'une fertilisation forte (F2)

CONCLUSION

La fertilisation n'est pas, dans les systèmes de culture à riz pluvial actuellement pratiqués, un facteur limitant prioritaire par rapport à d'autres facteurs limitants tels l'alimentation hydrique ou l'enherbement.

On dispose de données suffisantes pour la pratique courante de la fertilisation N P K dans la plupart des pays à riziculture pluviale et selon le niveau de rendement qu'on peut espérer atteindre dans les systèmes de culture existants. Les données relatives aux besoins spécifiques du riz pluvial en éléments mineurs, ou à ses réactions à certaines toxicités (aluminique, ferrique) sont cependant peu abondantes.

L'orientation actuelle des recherches est de raisonner la fertilisation comme un élément du système de culture parmi d'autres ; la recherche thématique sur la fertilisation du riz pluvial a donc pratiquement pris fin, elle est remplacée par une recherche "intégrée" visant à mettre au point des systèmes de culture vulgarisables : un exemple frappant de ce type de recherche est réalisé au Brésil, dans l'Etat du Maranhao (65) (66).

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

- (1) CHAMINADE (R.) - 1965 - Bilan de trois années d'expérimentation en petits vases de végétation - Mise au point technique - Résultats - Agronomie Tropicale, vol. XX,n°11, nov. 1965, pp 1101-1162.
- (2) NGO CHANG BANG, VELLY (J.), KILIAN (J.), LATRILLE(E.), THIBOUT (F.), VAILLE (F.) - 1967 - Méthodes de diagnostic de carences minérales des sols en vases de végétation. I - plante-test : le ray-grass. II - plante-test : le riz. Colloque sur la fertilité des sols tropicaux, Tananarive, Madagascar, 19-25 nov. 1967, Tome 1, éd. IRAT, Paris, 1968, pp 294-309.
- (3) VELLY (J.), CELTON (J.), NGO CHAN BANG, ROCHE (P.) - 1967 - I - Comparaison des résultats obtenus par la technique des diagnostics de carence du sol en vases de végétation et des résultats obtenus par les essais au champ (courbes de réponses) - II- Essai de détermination de la fertilisation de redressement en cultures sèches par expérimentation en vases de végétation - Cas du phosphore - Colloque sur la fertilité des sols tropicaux -Tananarive, Madagascar, 19-25 nov. 1967 - Tome 1, éd. IRAT, Paris, 1968, pp 310-340.
- (4) SIBAND (P.), DIATTA (S.) - 1974 - Contribution à l'étude de la fertilisation du riz pluvial en Casamance - Rapport IRAT, ISRA, Bambey, avril 1974, 29 p.
- (5) BLONDEL (D.) -1971 - Contribution à l'étude de la croissance matière sèche et de l'alimentation azotée des céréales de culture sèche au Sénégal - Agronomie Tropicale, XXVI, (6-7), juin-juillet 1971, pp 707-720.
- (6) SIBAND (P.) - 1970 - Contribution à l'étude des relations sol-plante dans le cadre de l'opération SATEC 1969 sur riz pluvial en Casamance - Rapport IRAT/ISRA, Bambey, avril 1970, 57 p.
- (7) CHABALIER (P.F.) - 1976 - Contribution à la connaissance du devenir de l'azote du sol et de l'azote engrais dans un système sol-plante - Thèse de docteur-ingénieur, Université d'Abidjan, 25 nov. 1976, 131 p.
- (8) VELLY (J.) - 1967 - Les exportations de quelques plantes cultivées à Madagascar comme guide de la fertilisation d'entretien - Rapport IRAT/IRAM, oct. 1967, 24 p.
- (9) LANG (H.), BARTSCH (R.) - 1977 - Evaluation de l'intérêt économique de méthodes culturales améliorées en conditions d'incertitude climatique présentée à l'exemple de la région centre en Côte d'Ivoire - Agron. Trop., XXXII,(3) 1977, pp 248-256.
- (10) SIBAND (P.) - 1976 - Quelques réflexions sur les potentialités et les problèmes des sols gris de Casamance (Sénégal méridional) - Agron. Trop., XXXI, (2) 1976, pp 105-113.

- (11) CHAEALIER (P.F.), POSNER (J.) - 1977 - Densité optimale de semis de riz pluvial et utilisation de l'azote - Séminaire "Rice in Africa", IITA, Ibadan, 7-11 mars 1977.
- (12) GANRY (F.) - 1974 - Première contribution à l'étude de la dynamique de l'azote en sol gris de Casamance - Rapport IRAT/CNRA, Bambey, 14 p.
- (13) WERTS (R.), BOUYER (S.) - 1967 - Etudes récentes sur la fertilisation des sols réalisées par l'IRAT au Dahomey - Colloque sur la fertilité des sols tropicaux, Tanarive, (Madagascar), 19-25 nov. 1967, éd. IRAT, Paris, 1968 Tome 1, pp 601-612.
- (14) COLONNA (J.P.) - 1967 - Le réseau d'expérimentation multilocale de l'IRAT en République Centrafricaine (Phase initiale, 1965-1966) - Colloque sur la fertilité des sols tropicaux, Tananarive (Madagascar), 19-25 nov. 1967, éd. IRAT, Paris, 1968, pp 613-623.
- (15) SEGUY (L.) - 1970 - Influence des facteurs pédologiques et des techniques culturales sur la croissance et la production du riz pluvial en Casamance (Sénégal méridional) (1968- 1969) - Tome 1, Rapport IRAT, mars 1970, 97 p
- (16) IRAT/Haute-Volta - 1971 - Principaux résultats agronomiques obtenus par l'Institut de recherches agronomiques et des cultures vivrières en Haute-Volta. 1960-1971, Rapport IRAT/Haute-Volta, 1971, 59 p.
- (17) CHAUVET (J.) - 1972 - Six années d'expérimentation de l'IRAM à la Sakay (Moyen-Ouest) - Synthèse des résultats - Document IRAM, n° 323, mars 1972, 10 p.
- (18) VELLY (J.), FALAIS (M.), MARQUETTE (J.) - 1972 - Compte-rendu d'expérimentation effectuée dans le G.O.P.R. dans la région d'Ambilobe - Rapport IRAM, n° 346, décembre 1972, 14 p.
- (19) VALET (S.) - 1967 - Recherche des carences minérales des sols de l'Ouest-Camero en vases de végétation - Colloque sur la fertilité des sols tropicaux, Tananarive (Madagascar), 19-25 nov. 1967, éd. IRAT, Paris, 1968, pp 341-353.
- (20) FRITZ (J.) - 1967 - Recherche des carences minérales des sols de la Réunion en vases de végétation - Colloque sur la fertilité des sols tropicaux, Tananarive (Madagascar), 19-25 nov. 1967, éd. IRAT, Paris, 1968, pp 381-388.
- (21) IRAT/Côte d'Ivoire - 1969 - Rapport annuel 1969 - Agropédologie - Rapport IRAT 1969, 47 p., 26 p. annexes.
- (22) IRAT/Côte d'Ivoire - 1970 - Rapport annuel 1970 - Agropédologie - Rapport IRAT, 1970, 52 p.
- (23) IRAT/Côte d'Ivoire - 1971 - Rapport annuel division d'agronomie - Rapport IRAT 1971, 125 p.
- (24) IRAT/Côte d'Ivoire - 1972 - Rapport annuel division d'agronomie - Rapport IRAT, 1972.
- (25) IRAT/Côte d'Ivoire - 1973 - Rapport annuel division d'agronomie - Rapport IRAT, 94 p.

- (26) IRAT/Guyane - 1976 - Rapport analytique 1976 - Rapport IRAT, (38 fiches d'essai)
- (27) GUIIS (R.), CHOPART (J.L.) - 1977 - Riz pluvial au Nord-Cameroun - Rapport IRAT, sept. 1977, 27 p.
- (28) ROCHE (P.) - 1978 - Mission effectuée auprès de la SODERIM - Plaine des Mbos, Melong, Cameroun, du 3 au 13 déc. 1977, Rapport IRAT/GERDAT, Montpellier, Janvier 1978, 17 p.
- (29) IRAT - 1977 - Carences sur riz en Afrique - Note interne IRAT, 2 p.
- (30) GUIIS (R.) - 1976 - Un bilan des travaux visant à la mise en culture des sols hardés du Nord-Cameroun - Agron. Trop., XXXI, (2), pp 141-158.
- (31) GUIIS (R.) - 1977 - Rapport de synthèse 1976-1977 - Riz pluvial - Rapport IRAT/IRAF, 12 p.
- (32) IRAT/Sénégal - 1971 - Division de physiologie végétale - Recherches et résultats obtenus en 1970 - Rapport IRAT/CNRA, 12 p.
- (33) GANRY (F.) - 1973 - Premiers résultats sur l'utilisation de la N-lignine dans les sols ferrugineux tropicaux sableux - Rapport IRAT/CNRA, nov. 1973, 12 p.
- (34) BERTRAND (R.), SIBAND (P.), GANRY (F.), GUILLOBEZ (S.) - 1977 - Riziculture pluviale assistée par nappe phréatique à fort battement sur sols gris sableux de bas versants en Casamance (Sénégal) - Séminaire "Rice in Africa", IITA, Ibadan, Nigéria, 7-11 mars 1977.
- (35) PICHOT (J.) - 1970 - Etude de l'évolution du sol en présence de fumures organiques ou minérales - Cinq années d'expérimentation à la station de Boukoko. République Centrafricaine - In : Rapport annuel 1969 - Bilan des résultats obtenus au cours des années antérieures - Tome 1 - Agronomie - Rapport IRAT, juillet 1970, 47 p.
- (36) IRAT/Cameroun - 1978 - Fertilisation phosphatée dans les Mbos, 1978 - Rapport IRAT, 10 p.
- (37) LARCHER (J.), PICHOT (J.) - 1973 - Etude de l'effet du soufre sur les rendements et la nutrition du riz en vases de végétation - Rapport IRAT, Comores, sept. 1973, 6 p.
- (38) VELLY (J.) - 1975 - La fertilisation en silice du riz à Madagascar - Agronomie Tropicale, XXX,(4), pp 305-324.
- (39) PICHOT (J.), LEDUC (B.), GUIN (C.) - 1970 - Bilan de trois années d'expérimentation sur la fertilisation du riz pluvial en R.C.A. - In : Rapport annuel 1969 - Bilan des résultats obtenus au cours des années antérieures - Tome 1 - Agronomie - Rapport IRAT, juillet 1970, 47 p.
- (40) POULAIN (J.F.), CHABALIER (P.F.) - 1980 - Fumure des cultures en rotation - Propositions - Conditions d'application - Rapport IRAT/IDESSA, Bouaké, mars 1980, 18 p.

- (41) SEGUY (L.) - 1977 - Récapitulation sommaire des principaux résultats obtenus en matière de fertilisation du riz pluvial dans le cadre de diverses rotations - Plaine des Mbos, 1971-1977 - Perspectives d'études 1978, Rapport IRAT, Oct. 1977, 21 p.
- (42) IRAT/Cameroun - 1979 - Recherches sur le riz pluvial dans la plaine des Mbos - Rapport analytique 1978 - Rapport IRAT/IRAF, février 1979, 111 p.
- (43) SO.DE.FI.TEX - 1975 - Rapport sur la culture du riz pluvial au Sénégal Oriental - Campagne 197-75 - Rapport SO.DE.FI.TEX, 33 p.
- (44) IRAT/Haute-Volta - 1979 - Fertilisation minérale - Propositions - Conditions d'application - Rapport IRAT, oct. 1979, 14 p.
- (45) ARRIVETS (J.), NOTTEGHEM (J.L.) - 1977 - Compte-rendu de l'expérimentation sur riz pluvial à Ampangabe 1974-75 à 1976-77 - Rapport IRAT/Madagascar, 3 p.
- (46) IRAT/Madagascar - 1974 - Fumure azotée du riz pluvial - variété 1562 (Daniela) - Rapport IRAT, 13 p.
- (47) IRAT/Guyane - 1979 - Expérimentation rizicole à la SORIG - Rapport IRAT, avril 1979, 1 p.
- (48) IRAT/Dahomey - 1973 - Résultats des essais de détermination des carences sur riz pluvial - Rapport IRAT, 1973.
- (49) LARCHER (J.), LATRILLE (E.), RENEAUD (H.) - 1974 - L'azote et la nutrition azotée du riz pluvial aux Comores - Rapport IRAT/Comores, avril 1974, 36 p.
- (50) TRUONG BINH, PICHOT (J.), BEUNARD (P.) - 1977 - Caractérisation et comparaison des phosphates naturels tricalciques d'Afrique de l'Ouest en vue de leur utilisation directe en agriculture - Rapport IRAT, juillet 1977, 30 P.
- (51) NDIAYE (J.P.) - 1978 - Etude de l'efficacité du phosphal sur quelques cultures pluviales au Sénégal Oriental - Résultats de la campagne 1977-1978 - Rapport IRAT/CNRA, Bambey, 14 p.
- (52) NDIAYE (J.P.) - 1979 - Etude de l'efficacité du phosphal sur quelques cultures pluviales au Sénégal Oriental - Résultats de la campagne 1978 - Rapport IRAT/CNRA, mars 1979, 15 p.
- (53) NDIAYE (J.P.) - 1980 - Etude de l'efficacité du phosphal sur quelques cultures pluviales au Sénégal Oriental - Résultats de la campagne 1979-1980 - Rapport IRAT/CNRA, 21 p.
- (54) BERTRAND (R.) - 1973 - Contribution à l'étude hydrologique, pédologique et agronomique des sols gris sableux hydromorphes de Casamance (Sénégal) - Agron. Trop., XXVIII, (12), pp 1145-1192.
- (55) COLONNA (J.P.) - 1967 - Recherche sur la fertilisation minérale du riz en culture pluviale en République Centrafricaine - Résultats des premiers essais - In : Colloque sur la fertilité des sols tropicaux, Tananarive (Madagascar), 19-25 nov. 1967, Tome 1, éd. IRAT, Paris, 1968, pp 709-719.

- (56) SIBAND (P.) - 1972 - Etude de l'évolution des sols sous culture traditionnelle en Haute-Casamance - Principaux résultats - Agron. Trop., XXVII, (5), mai 1972, pp 574-590.
- (57) ARRIVETS (J.), RABETRANO (A.), RANDRIANASOLO (H.) - 1978 - Expérimentation sur les systèmes de fumure dans le Moyen-Ouest - Présentation, 1er résultats, 1ere partie : station de Kianjasoa ; 2e partie : points de démonstration d'Ampary et Ankazomiriotra - Rapport IRAT/CENRADERU, 19 p.
- (58) IRAT/Guyane - 1978 - Rapport analytique 1978 - Rapport IRAT.
- (59) CHABALIER (P.F.) - 1978 - Fertilisation chimique et organique - Rapport analytique 1977 - Rapport IRAT/IDESSA, Bouaké, mars 1978.
- (60) PIERI (C.) - 1976 - Rentabilité de la fumure potassique de quelques céréales de culture sèche au Sénégal - Rapport IRAT/CNRA, Bambey, déc. 1976, 11 p.
- (61) DIATTA (S.) - 1975 - Evolution sous culture des sols de plateau en Casamance continentale - Compte-rendu de deux années d'essais - Agron. Trop., XXX, (4), pp 344-353.
- (62) KALMS (J.M.) - 1979 - Note 2 - Contribution à la synthèse des résultats d'une expérimentation de douze ans de culture continue dite "des systèmes culturaux", parcelle G2, de la station de Bouaké - Note IRAT, 1979, 6 p.
- (63) THIBOUT (F.), TRAORE (M.F.), PIERI (C.), PICHOT (J.) - L'utilisation agricole des phosphates naturels de Tilemsi - Synthèse des résultats de la recherche agronomique - Rapport IRAT, 9 p.
- (64) IRAT/Guyane - 1977 - Rapport analytique 1977 - Rapport IRAT.
- (65) SEGUY (L.), BOUZINAC (S.), BROUWERS (M.) - 1978 - Rapport annuel des cultures pluviales - 1978 - Convenio EMAPA/IRAT - Rapport EMAPA/IRAT, 1978, 87 p.
- (66) IRAT/Brésil - 1979 - Rapport analytique - Etude des systèmes de production potentiels à base de riz pluvial - Rapport EMAPA/IRAT, 368 p.
- (67) CHABALIER (P.F.), GUIRAUD (G.), PICHOT (J.), REMI (J.C.) - 1975 - Evolution de l'azote des engrais dans les sols cultivés ; utilisation de l'azote 1. Rapport IRAT/DGRST, annexe VI, sept. 1975, 293 p.
- (68) CHABALIER (P.F.) - 1979 - Etude des effets de la fertilisation azotée, de la restitution de paille sur les sols et les rendements en zone Centre Premiers résultats - Rapport IRAT/IDESSA, février 1979, 34 p.

10 - SYSTEMES DE CULTURE

INSTITUT DE RECHERCHES
AGRONOMIQUES TROPICALES
ET DES CULTURES VIVRIERES



BILAN DES TRAVAUX DE RECHERCHE

SUR RIZ PLUVIAL

1960 à 1980

THEME: SYSTEMES DE CULTURE

Décembre 1981

AVANT-PROPOS

Dès sa création en 1960, l'IRAT s'est intéressé à la culture du riz pluvial, en raison de son importance dans la production de riz de certaines régions tropicales d'Afrique et d'autres continents, en raison aussi de son développement possible dans des systèmes de culture utilisant des moyens modernes comme la mécanisation, la fertilisation minérale, les herbicides.

Ce passage d'un système de culture traditionnel à de nouveaux systèmes de culture nécessite des recherches dans de très nombreux domaines, pour le choix de sites favorables à la culture, pour la création de variétés adaptées pour la mise au point des techniques optimales de culture.

Après vingt années d'activités de l'IRAT, des bilans sont souhaitables. Reprenant sous une forme condensée les questions qui se sont posées à la recherche et les réponses qui ont pu être jusqu'ici obtenues, ces bilans devraient intéresser en particulier les chercheurs et les sociétés de développement.

Le présent bilan traite des SYSTEMES DE CULTURE.

Il a été conçu et rédigé par B. PERRIER, sous la conduite de M. TOURTE, avec l'aide de M. JACQUOT et L. SEGUY, d'après l'ensemble des travaux de l'IRAT sur le sujet.

SOMMAIRE

	Pages
1 - DESCRIPTION DE SYSTEMES EXISTANTS.....	1
1.1 - Systèmes traditionnels itinérants.....	1
1.2 - Systèmes pionniers.....	2
1.3 - Systèmes sédentarisés.....	3
2 - AMELIORATION DES SYSTEMES SEDENTARISES.....	4
2.1 - Amélioration des techniques isolées et interactions entre techniques	4
2.11 - Travail du sol.....	5
2.111 - Incidence du travail du sol sur les rendements et l'enracinement du riz pluvial.....	5
2.112 - Incorporation de matière organique et restitution des résidus de récolte.....	7
2.113 - Travail du sol et maîtrise des adventices.....	8
2.114 - Travail du sol et rotation culturale.....	10
2.115 - Insertion du travail du sol dans le calendrier agri- cole.....	10
2.12 - Rotation culturale.....	11
2.13 - Modalités de semis.....	18
2.2 - Mécanisation des systèmes sédentarisés.....	19
2.21 - Essais de différents matériels pour la riziculture.....	20
2.22 - Modalités de mécanisation de systèmes réels ou mis au point par la recherche.....	20
3 - MISE AU POINT DE SYSTEMES DE CULTURE VULGARISABLES.....	23
3.1 - Méthodologie.....	23
3.2 - Les systèmes proposés.....	23
4 - CONCLUSION.....	28
ANNEXE 1.....	29
BIBLIOGRAPHIE.....	35

Les systèmes de culture comportant du riz pluvial peuvent être classés en trois grands groupes :

- les systèmes traditionnels itinérants, que l'on rencontre sous diverses appellations dans toute la zone intertropicale (1), en Afrique, en Asie et en Amérique Latine ;
- les systèmes "pionniers" où le riz pluvial intervient en ouverture d'une défriche, puis est définitivement remplacé par une autre culture ; ces systèmes se rencontrent principalement au Brésil (1) ;
- les systèmes sédentarisés, plus ou moins extensifs, où le riz pluvial rentre en rotation avec d'autres cultures.

Les systèmes à cultures intercalaires ou associés peuvent selon les cas se rattacher à l'un des groupes précédents.

L'IRAT s'est intéressé de plus ou moins près à ces différents systèmes de culture. Les travaux de recherche ont essentiellement concerné l'intensification des systèmes sédentarisés et la mise au point de systèmes de culture vulgarisables. Les systèmes traditionnels itinérants, pionniers ou à culture intercalaires ou associés ont plutôt fait l'objet d'études descriptives.

1 - DESCRIPTIONS DE SYSTEMES EXISTANTS

1.1 - SYSTEMES TRADITIONNELS ITINERANTS

Ces systèmes sont désignés sous des noms variés selon les pays : "ray" au Vietnam, "la dang" en Indonésie, "kaingin" au Philippines, "jhum" en Assam, "tavy" à Madagascar (1)... etc. Ils occupent environ 8 millions d'hectares dans le monde.

La culture est installée après défrichement de la forêt ou du recru forestier, séchage et brûlage du bois. Les techniques culturales sont rudimentaires : travail du sol très superficiel ou inexistant, pas de fertilisation ; le semis est fait à la volée ou en poquets, à faible densité (20 à 30 kg de semences à l'hectare). Après quelques années de culture (1 à 3 ans), quand la pression des adventices devient trop forte, le champ est abandonné et retourne à la jachère de durée la plus longue possible (1). La pratique des cultures associées est très répandue.

De tels systèmes ont été observés par l'IRAT en Centrafrique (2), au Congo (93) en Côte d'Ivoire (3), aux Philippines (4), à Ceylan (5), au Costa Rica (6), au Pérou et en Colombie (7), au Laos (79), en Thaïlande (80), dans l'Etat du Maranhao au Brésil (96).

Les avantages de ces systèmes sont les suivants (3) (8) :

- limitation du risque alimentaire par des pratiques diverses : culture sur une chaîne de sol qui permet d'avoir des conditions hydriques variées, dates de semis échelonnées pour une même variété ou semis à une même date de variétés de cycles différents ;
- stabilité du milieu en raison de la discontinuité dans l'espace et dans le temps de la culture ; érosion et dégradation chimique sont limitées respectivement par la petite taille des parcelles cultivées et les jachères de longue durée ;
- protection et alimentation minérale des cultures posent peu de problèmes en raison de la rusticité des variétés utilisées et de l'association des cultures ;
- facilité de choix des terrains de culture : la pente, la pierrosité et la présence d'affleurements rocheux ne sont pas des problèmes importants en raison du caractère manuel de toutes les interventions.

Les inconvénients en sont la faible productivité par unité de travailleur et par unité de surface et le besoin d'une grande disponibilité de terres ; de plus ce type d'agriculture ne permet pas de dégager des surplus commercialisables. Enfin, il y a rupture d'équilibre quand la pression démographique augmente.

1.2 - SYSTEMES PIONNIERS

Ces systèmes sont pratiqués au Brésil, essentiellement dans les états de Sao Paulo, Minas Geriäs, Goias et Mato Grosso (7) (9) ; ils sont en extension dans l'état de Maranhao. On les rencontre aussi dans quelques exploitations de Côte d'Ivoire et Madagascar.

Le riz est semé après défrichement de la végétation naturelle ; ce défrichement est effectué essentiellement dans le but d'améliorer les pâturages ; le riz est cultivé pendant 1 ou 2 ans puis remplacé par un pâturage. Un autre système consiste à cultiver le riz en intercalaire dans les jeunes plantations de caféiers ou d'agrumes. Dans les deux cas, le riz est presque considéré comme un sous-produit, ou tout au moins comme un simple appoint à la spéculation principale.

Le système de culture est peu intensif en ce qui concerne les "in put" et très variable pour la mécanisation :

- la fertilisation est peu pratiquée : on estimait à 10 % la proportion des surfaces cultivées fertilisées en 1975, bien que les essais effectués dans 3 stations montrent l'influence des engrais azotés et phosphatés (7) ;

- l'utilisation des herbicides est inexistante ; la lutte contre les adventices est parfois réalisée manuellement ou en traction animale (7) ; en première année, derrière défrichement, il n'y a d'ailleurs en général pas de problèmes d'enherbement ;

- le degré de mécanisation est très variable et va de la culture manuelle à la culture motorisée : la préparation des terres peut être inexistante, ou réalisée à la houe, ou consister en un labour profond effectué à la charrue à disques, suivi par 2 ou 3 façons superficielles. De même, semis et récolte peuvent être manuels ou motorisés ; le semis est toujours en lignes, espacées de 50 à 70 cm, la dose de semences/ha est faible (20 à 30 kg/ha) ; en culture manuelle, le semis sur la ligne est fait en poquets tous les 30 à 40 cm ; la récolte est pratiquée à la moissonneuse-batteuse dans les régions les plus développées et parfois même séchée artificiellement dans les zones les plus humides.

Les variétés les plus cultivées sont au Brésil IAC 1246, IAC 25 et IAC 47, Batataïs, Pratao Précoco. La culture mécanisée est pratiquée dans des exploitations de grande taille (50 à plus de 100 ha) ; les faibles densités de semis et les faibles quantités d'engrais constituent des pratiques antialéatoires, les risques de sécheresse étant importants dans les zones de culture concernées (1).

La culture du riz pluvial est en régression dans les Etats les plus développés (Sao Paulo, Sud Goias, Sud Minas Gerais) et en extension dans les Etats où l'effort pionnier est le plus important (Mato Grosso, Maranhao).

1.3 - SYSTEMES SEDENTARISES

Quelques systèmes sédentarisés ont fait l'objet de simples descriptions :

- systèmes de culture de "type indien" (1), constituant en fait une extension à partir d'un noyau de rizières irriguées ; le riz se trouve alors "par accident" en conditions sèches ; les techniques de préparation sont copiées sur celles des rizières (planage, diguettes), le sol est labouré puis hersé, le semis est fait à la volée ou en lignes ; il n'y a pas d'apport d'engrais ou de pesticides. Ce phénomène d'extension de la riziculture irriguée s'observe dans d'autres pays de tradition rizicole où la pression de population est forte (Thaïlande par exemple) ;

- système de culture rencontré au Japon (10) et dans le Sud-Est Asiatique (Philippines, Indonésie, Malaisie) (1), constituant une intensification de la riziculture pluviale primitive et itinérante : c'est un système de culture sans jachère ou à jachère de très courte durée où le riz rentre en rotation avec d'autres espèces (Japon : rotation avec blé, orge, arachide, patate douce, taro, tomate, chou chinois, le riz ne revenant que tous les deux ou trois ans, après quatre ou cinq cycles de culture ; Indonésie : rotation riz-vivrier divers riz ; Philippines : riz-maïs ou légume-riz) : le sol est labouré assez profondément (15-20 cm) et parfois plusieurs fois avant le semis, l'entretien de la culture est très soigné et associe méthodes mécaniques et manuelles.

En dehors de ces deux types bien particuliers de systèmes de culture, des systèmes sédentarisés s'observent là où les systèmes itinérants sont en régression forcée du fait de l'augmentation de la densité de population ; parfois les deux systèmes coexistent sur le même terroir. Des observations poussées ont été effectuées sur certains de ces systèmes de culture : par exemple en moyenne Casamance (11), le riz pluvial est cultivé en rotation (région de Séfa) avec l'arachide ou parfois en cultures associées sur des champs de défriche ancienne en sols de plateaux ; la durée de mise en culture varie de 4 à 8 ans, vient ensuite une jachère de longue durée ; dans les champs de défriche récente, la culture pratiquée est de type itinérant.

Dans cette région, encadrée par le "projet rural de Sédhiou", culture attelée, labour et apports d'engrais sont assez fréquemment pratiqués, bien que les apports d'engrais aient diminué ces dernières années en raison de l'augmentation de leur prix.

Généralement ces observations détaillées des systèmes de culture en place ont pour but d'évaluer les meilleures modalités d'intensification ou les résultats de l'essai d'introduction de techniques nouvelles dans un système, elles se situent à l'amont et à l'aval des opérations de développement.

2 - AMELIORATION DES SYSTEMES SEDENTARISES

Ce thème est celui qui a fait l'objet des plus nombreuses études à l'IRAT. Ces études portent sur l'amélioration d'une technique isolée (par exemple travail du sol, fertilisation... etc), d'une combinaison d'un nombre limité de ces techniques et, dans la phase ultime, sur la mise au point de systèmes de culture immédiatement vulgarisables.

2.1 - AMELIORATION DE TECHNIQUES ISOLEES ET INTERACTIONS ENTRE TECHNIQUES

Ces techniques peuvent être réparties en différentes rubriques :

- amélioration du matériel végétal utilisé ;
- amélioration du milieu physique (utilisation des engrais, économie de l'eau)
- défense des cultures (lutte contre les adventices, les maladies, les insectes... etc) ;
- amélioration des techniques culturales (travail du sol, modalités de semis, mécanisation, choix des rotations).

Les trois premières rubriques ont été traitées par ailleurs, nous ne nous intéressons ici qu'à la dernière.

2.11 - Travail du sol

Le travail du sol en zones tropicales est l'objet de nombreuses controverses spécialement entre agronomes de l'Afrique francophone ou anglophone (12).

L'IRAT s'est intéressé à différentes modalités de travail du sol : d'abord le labour, surtout par les charrues à socs, puis plus récemment le travail avec des instruments à dents et le travail minimum ou le non-travail. Les essais effectués jusqu'à maintenant ne comparent jamais toutes ces modalités à la fois et il est impossible de conclure par exemple sur les mérites relatifs du travail profond à la charrue (avec retournement) ou aux instruments à dent (sans retournement) du point de vue de leur action sur les rendements du riz.

On peut citer pour mémoire les observations effectuées en Casamance sur la culture du riz pluvial sur billons (43), qui provoque une dégradation du profil cultural (structure litée).

2.111 - Incidence du travail du sol sur les rendements et l'enracinement du riz pluvial

L'intérêt du labour dressé-fermé, réalisé avec une charrue à soc, par rapport à une façon plus superficielle (grattage traditionnel à la daba) a été largement démontré au Sud Sénégal dans les stations et points d'essai de Séfa (sol ferrugineux tropical lessivé à taches et concrétions ou sol beige et sol ferralitique moyennement désaturé ou sol rouge), de Néma et de Sinthiou Malème (sol ferrugineux tropical lessivé).

Le rendement moyen obtenu dans les parcelles labourées à 15 cm de profondeur est de 23,7 q/ha alors qu'il est de 1,7 q/ha dans les parcelles traitées par une façon superficielle traditionnelle (17).

A Bouaké, en Côte d'Ivoire (18) (88), les essais réalisés comparent un labour dressé réalisé avec une charrue à soc, repris par un pulvériseur à disques, léger ou lourd (offset) et suivi d'un hersage, avec un travail superficiel réalisé au rotavator, ou avec le non-travail du sol ; les essais concernent deux types de sol :

- type 1 : sol ferralitique remanié induré gravillonnaire à texture limono-argilo-sableuse, à teneur élevée en matière organique et réserve utile faible ;
- type 2 : sol ferralitique à texture argilo-sableuse et forte réserve en eau ;

et portent sur IRAT 13 (variété améliorée) et Moroberekan (variété traditionnelle) ; le labour n'apporte une plus-value effective par rapport au non-travail que pour IRAT 13, sur le sol de type 2, et cette plus-value n'est que de 15 % ; par rapport au travail superficiel, il n'y a jamais de gain de production, de même sur le sol de type 1 ou pour la variété Moroberekan.

Au Cameroun, dans la plaine des Mbos (19), sur sol hydromorphe minéral à pseudogley, à potentialités chimiques médiocres, à texture argilo-sableuse, on a comparé le labour dressé et fermé, réalisé avec une charrue à socs et repris à la herse ou à l'offset léger, avec une préparation superficielle à l'offset lourd ou une préparation traditionnelle à la daba ; le labour montre sa supériorité par rapport aux autres traitements dans tous les systèmes de culture testés ; son action positive directe à chaque cycle apparaît moins importante que son action répétée dans le temps sur le maintien de hauts niveaux de rendements : sur 3 cycles de culture, on obtient un rendement cumulé de 123 q/ha alors qu'il n'est que de 100 q/ha avec les autres traitements.

Cette augmentation du rendement s'explique en partie, au Sénégal et au Cameroun tout au moins, par un meilleur enracinement des plantes qui facilite leur alimentation hydrique et minérale (cf. le bilan "alimentation hydrique") ; en Côte d'Ivoire (17) (18), aucune différence d'enracinement n'apparaît entre les traitements labour, travail minimum ou non-travail, sur le sol de type 2 (forte réserve en eau, macroporosité importante) : sur le sol de type 1, les résultats varient selon les variétés : chez Moroberekan, l'augmentation de masse racinaire est de 20 à 30 % dans l'horizon travaillé et de 40 à 50 % dans la couche 30-60 cm ; chez IRAT 13, la masse racinaire diminue de 50 % dans l'horizon travaillé et augmente de 40 à 50 % dans la couche 30-60 cm.

En 1979, dans l'Ouest-Cameroun (77), on a comparé la technique de préparation préconisée sur le système cultural riz 1er cycle, riz 2e cycle (déchaumage - labour - affinage aux disques) avec d'autres types de préparation, sur le système cultural jachère de 1er cycle - riz de 2e cycle ; les traitements comparés au témoins étaient :

- le zéro-tillage : traitement de la jachère au gramoxone en juin, semis direct manuel en juillet ;
- éclatement au chisel le 1er mars suivi de reprise au chisel croisé et au cultivateur (à la demande) ;
- déchaumage superficiel (mi-février-mars) puis broyage de la jachère, labour d'enfouissement (15 mai) repris au cultivateur (1 au 15 Juin) ;
- traitement similaire au traitement précédent avec en plus un sous-solage à 60 cm à la mi-février.

Le traitement au chisel serait équivalent au traitement labour classique pour les sols défrichés depuis longtemps ; les traitements labours réalisés début juin ne permettent pas une bonne décomposition de la matière organique ; le zéro-tillage doit être réexpérimenté en 1980. Cet essai chisel confirme les résultats de la ferme de Dekokaha en Côte d'Ivoire et l'intérêt des instruments à dents, à temps de travaux moins longs que le labour. Le choix entre chisel et labour dépend aussi des modalités de lutte contre l'enherbement.

En Guyane (94), en savane argileuse, le labour n'apporte pas les meilleurs rendements, et l'on recommande plutôt, pour ce système de culture motorisé, un discaje au 1er cycle et un passage au rotavator au 2e cycle avec dans les deux cas restitution des pailles : l'influence du labour de 1er cycle apparaît comme négative sur le rendement du 2e cycle.

Au Brésil (état du Maranhao) (73), le labour permet également d'obtenir les rendements les plus élevés, un enracinement meilleur et une augmentation de la réserve en eau du sol ; il s'avère cependant très dangereux pour la préservation du milieu physique en favorisant l'érosion, malgré l'implantation d'un dispositif anti-érosif.

Les modes de reprise du labour n'ont fait l'objet que d'une seule étude (20) en Casamance, d'où il ressort que les différents modes de reprise sont envisageables (pattes d'oie, canadien, herse, houe rotative).

Le sous-solage a été testé en Côte d'Ivoire, il semble sans intérêt dans les conditions de l'expérience (81).

2.112 - Incorporation de matière organique et restitution des résidus de récolte

Un autre intérêt du labour réside dans la possibilité d'enfouir les résidus de récolte ou d'incorporer de la matière organique au sol : les restitutions minérales et organiques ont été estimées dans différentes hypothèses de systèmes culturaux pour le riz pluvial (22) (tableau 1).

Systeme 1 : culture traditionnelle - rendement 1 t/ha, récolte manuelle - coupe des panicules avec une partie de la tige - brûlis à 70 % des résidus de récolte.

Systeme 2 : culture améliorée - rendement 2,5 t/ha - brûlis des pailles après récolte mécanique, à 90 %.

Systeme 3 : rendement 2,5 t/ha - labour d'enfouissement des pailles après récolte, à 90 % (gyrobroyage).

Systeme 4 : rendement 2,5 t/ha - exportation des pailles pour affouragement et enfouissement des résidus estimés à 20 %.

Tableau I : Restitutions minérales et organiques (en kg/ha) après culture de riz pluvial, selon le système de culture pratiquée - D'après POULAIN J.F. (22) -

	Minéral	P2O5	K2O	CaO	MgO	C organique	N organique
Systeme 1	0,8	3,5	21	6,3	2,1	320	4,8
Systeme 2	2,5	11	68	20,2	6,8	870	14,5
Systeme 3	25	11	68	20,2	6,8	2200	37
Systeme 4	5,5	2,5	15	4,5	1,5	1060	17,3

Le système cultural avec labour, permettant d'incorporer 90 % des pailles après récolte, a un bilan azoté bien meilleur que les autres systèmes.

Le labour avec retournement n'est cependant pas la seule technique qui permet la bonne décomposition de la matière organique : le travail profond avec des instruments à dents (chisel et tiller) le permet également (21), ainsi que l'ont montré des essais réalisés à la ferme semencière de Dékokaha, située au Nord de la Côte d'Ivoire, près de Ferkessedougou ; ces essais diffèrent des essais classiques, ils concernent des surfaces importantes (la ferme semencière occupe 400 ha dont 85 % en riz pluvial) et ne sont pas établis selon un dispositif statistique ; en fait, le travail avec les instruments à dents s'est inséré progressivement dans le calendrier cultural normal de la ferme d'abord en intervenant en début de cycle après un labour pour la préparation du lit de semence, puis en intervenant en fin de cycle pour déchaumer avant le labour du début du cycle suivant, et finalement le travail à la dent a remplacé le labour de début de cycle ; la technique consisté donc à pratiquer un déchaumage de fin de cycle au chisel, repris en début de cycle par un deuxième passage du chisel ou d'un tiller permet l'enfouissement de la paille non recouverte au premier passage, devenue assez friable.

Le chisel peut aussi être utilisé pour l'enfouissement d'un engrais vert (21), qui représente une masse beaucoup plus importante de matière verte à l'hectare deux méthodes d'enfouissement ont été essayées : méthode combinant chisel et offset, assez onéreuse, l'offset présentant de plus l'inconvénient de "lisser" le sol, abandonné au profit d'une méthode associant le couchage de la végétation par des roues cages et un passage rapide de chisel.

Toutes ces techniques de travail du sol avec des outils à dents sont favorables à la conservation des sols, un mulch de résidus de culture persiste sur le sol pendant toute la saison sèche, mais elles s'inscrivent dans un système de culture motorisé utilisant des puissances relativement élevées (100 ch).

2.113 - Travail du sol et maîtrise des adventices

Le travail profond du sol est un facteur bénéfique incontestable pour la maîtrise des adventices : même dans les essais de Bouaké où l'influence du travail du sol sur le rendement du riz pluvial est le plus souvent nul (18), le travail du sol et particulièrement le labour permet de réduire les temps de sarclage de façon appréciable (tableau II). La réduction du temps de sarclage/ha et du nombre de sarclages nécessaires est nette également dans la plaine des Mbos (tableau III) où l'on observe en même temps une action sur la composition de la flore, le traitement labour permettant de limiter le développement de certaines espèces particulièrement envahissantes, comme par exemple Cyperus rotundus (19).

Le travail du sol aux instruments à dents semble lui aussi apporter un contrôle satisfaisant des adventices (21).

Au Brésil (Etat du Maranhao) (73) le labour limite mieux le développement des adventices que le zéro travail ou le travail minimum.

Tableau II - Temps de sarclage manuel (jour/ha) sur riz pluvial en fonction du travail du sol.
Bouaké (Côte d'Ivoire), 1976 - D'après KALMS J.M., 1979, (18) -

Variété	IRAT 13				MOROBEREKAN			
	1	2	3	Total	1	2	3	Total
Sarclage	1	2	3	Total	1	2	3	Total
Non travail	35	52	45	132	35	61	37	133
Travail minimum (rotavator)	21	38	24	83	32	49	25	106
Labour	11	15	0	26	19	20	0	39

Tableau III - Temps de sarclage manuel (Heures/homme/ha) du riz pluvial en fonction du travail du sol.
Plaine des Mbo (Cameroun) 1973 et 1974, variété 63-83.
- D'après SEGUY L., 1977, (19) -

	1er cycle 1973		2e cycle 1973		2e cycle 1973	
	Nombre de sarclage	Temps de sarclage	Nombre de sarclage	Temps de sarclage	Nombre de sarclage	Temps de sarclage
Daba-daba	2	80	4	400	4	430
Labour-labour	1	45	2	80	2	120
Offset-offset	2	76	4	360	4	415
Labour-offset	1	50	2	120	2	140

2.114 - Travail du sol et rotation culturale

Des interactions existent aussi entre travail du sol et rotation : dans la plaine des Mbo (21), le traitement labour (1er cycle)- offset (2e cycle) peut être recommandé avec la rotation légumineuse-riz, mais pas avec la rotation riz-riz où l'offset ne limite pas suffisamment le développement des repousses du riz du 1er cycle pendant le 2e cycle.

2.115 - Insertion du travail du sol dans le calendrier agricole

La réalisation pratique du labour et son insertion dans le calendrier cultural peut poser un certain nombre de problèmes :

- au niveau de la force de traction nécessaire ;
- au niveau de la disponibilité en main-d'oeuvre ;
- au niveau de certains aléas climatiques.

La force de traction nécessaire dépend à la fois de la nature du sol, de la présence ou non de matière organique (dont volume de résidus de récolte à enfouir), de l'humidité du sol ; le labour nécessite dans tous les cas au moins la force de traction d'une paire de boeufs.

Comparativement aux préparations superficielles, le labour nécessite, en culture attelée, un nombre d'heures/ha bien supérieur : en moyenne Casamance (11), on cite les chiffres de 30 à 40 heures d'attelage et 60 à 80 heures de main-d'oeuvre à l'ha, alors qu'une préparation superficielle avec un passage croisé de canadien demande 2,5 jours d'attelage/ha avec une houe-sine, 1,5 jours/ha avec l'ariane et 1 jour/ha avec le polyculteur à grand rendement.

Le labour peut être réalisé en début ou en fin de cycle, mais dans les deux cas, on dispose d'un nombre variable de jours pour l'effectuer en fonction des conditions pluviométriques : en culture attelée, le sol doit être suffisamment humide pour que l'effort de traction nécessaire ne soit pas trop important ; en culture motorisée, un sol trop humide ne permet plus l'entrée des engins dans les champs.

Les deux types de labour correspondent en général à une pointe de travail (semis ou récolte) ; on essaye généralement de concilier les avantages du labour et les contraintes de réalisation en le pratiquant uniquement sur les cultures qui le valorise le mieux : ainsi en moyenne Casamance (11), on recommande avec la rotation maïs/riz + mil/arachide de ne réaliser les labours de début de cycle que sur riz et maïs, le mil et l'arachide recevant seulement une façon superficielle.

Dans la plaine des Mbo (23) on observe que le travail du sol précédant le 2e cycle cultural est de réalisation difficile, l'intercycle est souvent très pluvieux et il faut effectuer la récolte, l'enfouissement des pailles, les labours et les semis en un temps très court ; on a finalement recommandé

à partir de 1977 (24) une rotation culturale à 1 seul cycle de culture par an, cette contrainte de calendrier cultural pendant l'intercycle étant rarement résolue.

2.12 - Rotation culturale

L'étude des successions culturales comprenant du riz pluvial à été entreprise au Sénégal (25) en Casamance sur des essais de diverses rotations quadriennales comportant jachère enfouie, arachide, mil, maïs, cotonnier et riz pluvial. Le paramètre testé est le rendement du riz, les cultures sont faites selon les techniques d'intensification préconisées par l'IRAT.

Cette expérimentation met en évidence le faible arrière effet du précédent au delà d'une année et a conduit à considérer uniquement des binômes culturaux. Le paramètre mesuré est le rendement des cultures.

Le meilleur précédent pour le riz est l'arachide ou le cotonnier, puis vient le mil ; jachère enfouie et maïs sont de mauvais précédents et le plus mauvais de tous est le riz pluvial lui-même.

Le riz pluvial est bon précédent pour le mil mais il est mauvais précédent pour l'arachide et très mauvais pour maïs et cotonnier.

A partir de ces binômes, l'IRAT a déterminé les rotations types à recommander :

- en Haute-Casamance :

- Année 1 : Jachère enfouie ou maïs,
- Année 2 : Cotonnier ou arachide,
- Année 3 : Riz pluvial ou mil sanio.
- Année 4 : Arachide ;

- en Moyenne Casamance :

- Année 1 : Maïs ou riz pluvial,
- Année 2 : Arachide,
- Année 3 : Riz pluvial ou maïs,
- Année 4 : Mil ;

- rotations sans mil :

- . maïs-arachide-riz pluvial-arachide ;
- . maïs-arachide-riz pluvial ;
- . arachide - $\frac{1}{2}$ riz, $\frac{1}{2}$ maïs- $\frac{1}{2}$ maïs, $\frac{1}{2}$ riz pluvial.

Dans un autre essai réalisé en Casamance (20), l'arachide se montre bon précédent cultural pour le riz pluvial par rapport aux précédents riz, maïs ou engrais vert ; cet effet favorable est attribué à l'état de propreté du sol après la récolte de l'arachide (contrôle des adventices) et à l'enrichissement en azote du sol.

On a observé à Maka (29) que le précédent manioc par rapport au précédent jachère permet de doubler les rendements du riz pluvial.

En Haute-Volta, des essais précédents culturaux ont été réalisés entre 1973 et 1976 (30) (31) (32) (33) dans le cadre de l'opération "aménagement de la vallée des Volta".

Les résultats de ces essais sont résumés dans les tableaux IV et V.

Tableau IV : Classement des précédents culturaux du riz pluvial en Haute-Volta - D'après (30) (31) (32) (33) -

(Points d'essai	(Année de culture du riz	(Bons précédents	(Précédents indifférents	(Mauvais précédents
(Manga	(1973	(Arachide	(Coton	(Jachère
(	(	( Niébé	(Sorgho	(Maïs
(	(	( Mil	(	( Riz
(Bittou/Bane I	(1975	(Niébé	(Arachide	(Jachère
(	(	(	( Coton	(
(	(	(	( Maïs	(
(	(	(	( Mil	(
(	(	(	( Riz	(
(	(	(	( Sorgho	(
(Bittou/Bane II	(1975	(Arachide	(Coton	(Jachère
(	(	(	( Maïs	(
(	(	(	( Mil	(
(	(	(	( Niébé	(
(	(	(	( Riz	(
(	(	(	( Sorgho	(
(Linoghin	(1975	(Maïs	(Arachide	(Jachère
(	(	( Mil	(Coton	(
(	(	(	( Niébé	(
(	(	(	( Riz	(
(	(	(	( Sorgho	(

Tableau V : Intérêt du riz pluvial en tant que précédent cultural pour différentes cultures en Haute-Volta -
- D'après (30) (31) (32) (33) -

Point d'essai	Année de culture	Cultures pour lesquelles riz pluvial = précédent indifférent	Cultures pour lesquelles riz pluvial = mauvais précédent
Mango	1973	Coton Maïs Mil Niébé Sorgho	Arachide Riz
Bittou/ Bane I	1975	Arachide Coton Maïs Mil Niébé Riz Sorgho	
Bittou/ Bane II	1975	Arachide Coton Maïs Mil Niébé Riz Sorgho	
Linoghin	1975	Arachide Coton Maïs Mil Riz Sorgho	Niébé

On est arrivé finalement à recommander le schéma de rotation culturale suivant (33) (tableau VI).

Tableau VI : Succession culturale recommandée en Haute-Volta (aménagement de la vallée des Volta).
- D'après (33) -

(:	:	:	:	:	:
(Ouverture :	1ère année :	2ème année :	3ème année :	4ème année :	3 et 6ème	année
(:	:	:	:	:	:
(	:	:	Sorgho xx	Cotonnier	Jachère	
(	:	:		Mil xx	Jachère	
(	:	:	Arachide			
(	:	:		Riz pluvial	Jachère	
(Jachère x :	Sorgho xx :	Cotonnier		Mil xx	Jachère	
(	:	:	Niébé	Riz pluvial	Jachère	
(	:	:		Sorgho xx	Jachère	
(	:	:	Maïs x	Cotonnier	Jachère	
(:	:				

x enfouissement des résidus de récolte (maïs) et de la jachère.

xx mulch en saison sèche enfouissement si possible ou brûlis après la première pluie en début d'hivernage avant préparation.

Le choix de cette succession culturale fait intervenir un nombre important de critères, dépassant largement le problème riz pluvial, qui tient finalement une part assez peu importante dans la rotation.

Au Mali (39)(40), dans la zone à pluviométrie 800 - 1000 mm (39) :

- niébé, cotonnier, maïs, mil sont de bons précédents du riz ;
- arachide est un précédent intermédiaire ;
- riz, jachère enfouie et sorgho sont de mauvais précédents.

Sur le point d'essai de Sikasso (40) :

- niébé est le meilleur précédent du riz ;
- maïs, arachide, cotonnier et mil viennent ensuite ;
- jachère, riz et sorgho sont les plus mauvais.

Au Cameroun (26), dans la plaine des Mbo, diverses rotations ont été testées dans un système de culture à 2 cycles par an : rotations riz-riz, maïs-riz, soja-riz, arachide-riz, jachère-riz ; la culture continue du riz a montré une baisse sensible des rendements, de 1971, année du commencement de l'essai, à 1977

de nombreux facteurs ont été incriminés : nutrition minérale en phosphore (carence induite par le développement d'une microfaune, donc d'ordre biologique), en silice, état physique du sol, dates de semis (27) (97) ; il a été avancé que les dates de semis tardives sont responsables de cette chute des rendements en permettant la correspondance de la phase reproductive du riz avec les températures nocturnes basses (28) ; la rotation maïs-riz n'est pas adaptée au contexte climatique, le maïs ne supportant pas l'hydromorphie temporaire ; la rotation arachide-riz est la seule praticable dans un système de culture à fertilisation nulle (19) ; la rotation soja-riz permet de réaliser des économies d'azote et d'alléger les contraintes de calendrier cultural qui demeurent cependant suffisamment importantes pour qu'on adopte à partir de 1978 un système de culture à un cycle de culture par an, à rotation de base riz-légumineuse ; de plus, la restitution du soja engrais vert en 1er cycle ne permet pas de redresser la fertilité du sol après plusieurs années de culture (77).

Aux Comores (35) (36) (37) (38), les précédents culturaux et les rotations ont été étudiés entre 1969 et 1975 :

- en Grande Comore (36), on recommande de proscrire le riz en ouverture de défriche ; la culture du riz doit être faite en 3e année ; il faut inclure une culture de riz au maximum dans une rotation triennale, deux cultures successives de riz ramenant le niveau de fertilité du sol à son point le plus bas. Par ordre d'intérêt décroissant, les rotations proposées sont les suivantes :

- . légumineuse - taro - riz,
- . légumineuse - légumineuse - riz,
- . manioc - légumineuse - riz,
- . légumineuse - manioc - riz,
- . taro - légumineuse - riz ;

- à Mayotte (36) (38), les mêmes recommandations peuvent être faites qu'en Grande Comore, hormis le fait que le riz peut-être cultivé après défriche "d'avocats marrons" (Litsea laurifolia), plus riche qu'une défriche normale. Les rotations recommandées sont les suivantes :

- . banane - manioc - riz,
- . banane - légumineuse - riz,
- . manioc - légumineuse - riz,
- . légumineuse - banane - riz,
- . légumineuse - manioc - riz ;

- à Anjouan (37), on donne les mêmes rotations que pour la Grande Comore.

Au Bénin (74), une culture de coton fertilisée est meilleur précédent que céréales, tubercules ou légumineuses (non fumées) et la friche se montre le encore le pire des précédents.

Une synthèse faite par l'IRAT (34) sur les précédents culturaux en Afrique de l'Ouest indique par zone pluviométrique les rotations les plus couramment pratiquées et celles qui sont recommandées par la recherche ; celles comprenant du riz pluvial sont :

- dans la zone à pluviométrie 800-1 000 mm, rotation quadriennale du type

jachère - arachide ou coton - sorgho ou maïs ou riz pluvial - arachide ;
le riz pluvial est marginal dans cette zone et non recommandé par la recherche ;

- dans la zone à 1000 - 1400 mm à une saison de culture, rotations similaires aux rotations précédentes, avec une jachère longue ou rotations biennales du type maïs - riz pluvial et coton - riz pluvial ou rotations plus longues incluant de l'igname et comprenant des cultures associées :

. igname + maïs + sorgho - coton - arachide + sorgho - riz pluvial - jachère longue,

. igname - riz pluvial - maïs - coton - jachère,

. igname - riz pluvial - riz pluvial - coton - jachère,

. igname - riz pluvial,

. igname - riz pluvial continu.

La recherche propose dans cette zone les solutions suivantes :

- dans les zones sans igname ni coton :

. jachère enfouie - maïs - riz pluvial - arachide,
ou

. maïs - riz pluvial - mil tardif - arachide ;

- dans les zones à coton :

. maïs - coton - sorgho ou riz pluvial - arachide,
ou

. jachère longue - arachide - coton - maïs ou riz pluvial ou sorgho - coton-sorgho ou riz pluvial,
ou

. jachère longue - niébé puis coton - sorgho - coton - sorgho ;

- dans les zones à ignames :

. igname - coton - sorgho - coton - sorgho - jachère longue,
ou

. igname - maïs - coton - sorgho - arachide ou coton - sorgho - jachère longue
ou

. igname - maïs ou mil ou riz pluvial - arachide - jachère à stylosanthès
(2 ans),
ou

. igname - coton - sorgho ou riz pluvial ;

- dans les zones à 1000 - 1400 mm à deux saisons de culture, rotations à base d'igname et de jachère longue du type :

. jachère longue - igname - riz (2e cycle) - maïs (1er cycle) / coton (2e cycle) - riz (2e cycle) - maïs (1er cycle) / coton (2e cycle),

- rotations sans ignames :

. jachère longue - riz (2e cycle) - maïs (1er cycle) / arachide (2e cycle) - riz (2e cycle) - maïs (1er cycle) / coton (2e cycle).

Les propositions de la recherche sont les suivantes :

- rotation sans igname (Centre Ouest de la Côte d'Ivoire) :

. riz (2e cycle) - maïs (1er cycle) / soja ou arachide (2e cycle) - riz (2e cycle) - maïs (1er cycle) / coton (2e cycle),

. riz (2e cycle) - maïs (1er cycle) / coton (2e cycle) ;

- rotations avec igname (Côte d'Ivoire) :

. jachère longue - igname - maïs (1er cycle) / coton (2e cycle) - riz (2e cycle) - maïs (1er cycle) / coton (2e cycle) - riz (2e cycle),

. igname - maïs (1er cycle) / coton (2e cycle) - riz (2e cycle) (avec apport de matière organique).

Une notation des précédents culturels a été réalisée à partir des données recueillies dans plusieurs pays (tableau VII) : la notation va de 0 (précédent à proscrire) à 4 (meilleur précédent).

Tableau VII : Notation des précédents du riz pluvial et du riz pluvial en tant que précédent.

- D'après (34) -

		Précédents culturels an I									
Culture an II	Ara- chide	Coton	Mil pré- coce	Maïs	Sorgho	Riz plu- vial	Niébé	Igname	J. (*) cour-	J. (*) lon- gue	
Arachide						2 - 3					
Coton						3					
Mil pré- coce						3					
Maïs						2 - 3					
Sorgho						1 - 2					
Riz plu- vial	4	3	2 - 3	1 - 2	1	1 - 2	4	3	2	1 -	
Niébé						2 - 3					
Igname						2 - 3					

(*) J. = Jachère

En conclusion, on peut retenir qu'en général, jachère, sorgho et maïs sont de mauvais précédents et qu'il vaut mieux ne pas faire revenir le riz sur lui-même ; les légumineuses (arachide, niébé, soja au Cameroun) sont les meilleurs précédents pour le riz ; le riz est un précédent médiocre à moyen pour presque toutes les cultures, sauf pour le sorgho pour lequel il est fréquemment mauvais.

2.13 - Modalités de semis

Les questions de date et de densité de semis ont été traitées dans les bilans relatifs à l'alimentation hydrique du riz pluvial et à la lutte contre l'enherbement :

- le semis précoce, dès les premières pluies, est en général préférable à un semis plus tardif ; ce fait se vérifie pratiquement dans tous les essais de semis réalisés par l'IRAT : Nord-Ouest de Madagascar (41) (semis recommandé entre le 1er et le 15 décembre à Ambarja et Ambilobe, un peu plus tard à Anketrakabe) ; en Casamance au Sénégal (42) (semis recommandé entre le 15 et 25 juin) ; en Côte d'Ivoire dans la région centre (44) (semis recommandé entre le 5 mai et le 5 juin).

Au Bénin, dans le département du Zou (74) région à deux saisons des pluies, on opte pour un semis "tardif", correspondant en fait à une culture de deuxième cycle.

Dans le Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire (opération IDESSA/ARSO) (75), à San Pedro, le semis doit être effectué début mars pour les variétés tardives et fin mars pour les variétés précoces ; la culture de cycle unique (semis fin mai, début juin) et de 2e cycle (semis fin août) sont très aléatoires ; à Zagné, on peut pratiquer la culture de 1er cycle avec des variétés précoces (semis du 15 mars au 15 avril), la culture de cycle unique qui semble la plus sûre, avec des variétés de cycle long (semis du 1 au 15 juin), la culture de 2e cycle avec des variétés précoces (semis du 10 au 20 juillet).

Aux Comores (91), en Grande Comore à Simboussa, la meilleure date de semis se situe pendant la première quinzaine de novembre, alors qu'à Bandasamlini, c'est entre la fin novembre et le 15 décembre ; à Anjouan, à Patsy on peut semer à partir du 10 novembre si la pluviométrie de la première décade de novembre est supérieure à 70 mm en 4 ou 5 pluies, sinon il vaut mieux attendre le mois de décembre ; à Gormi, il faut semer entre le 15 septembre et le 15 octobre ; à Mayotte, il faut semer en décembre.

En Guyane (94), le semis précoce en deuxième cycle semble aussi favorable ; on observe un léger allongement du cycle pour les semis précoces (variété IRAT 100).

- la densité de semis doit être ajustée en fonction des conditions pluviométriques et de la capacité de tallage des variétés : en conditions pluviométriques aléatoires, une faible densité de semis est préférable (30 kg de semences/ha environ). Il faut aussi tenir compte de l'enherbement et des moyens de lutte disponibles contre l'enherbement.

Même dans certaines situations apparemment plus favorables du point de vue pluviométrie, un semis dense est moins intéressant qu'un semis clair : Centrafrique (89), densité de semis retenue : poquets 40 cm x 40 cm ou lignes espacées de 40 cm ; Comores (90), densité de semis retenue : 50 à 90 kg/ha ; pour certaines variétés tallant peu (Daniéla, IAC 25, Pratao Précocé), la dose de semis doit être suffisamment forte pour obtenir un nombre de panicules/ha satisfaisant (100 à 140 kg semences/ha) (92).

Des essais de profondeur de semis, réalisés en Côte d'Ivoire (45), sur les variétés OS 6, Jappeni Tunkungo et Panbira, comparant les profondeurs 0,5 cm, 3 cm et 6 cm, ont montré des réactions différentes selon les variétés ; la profondeur du semis agit surtout sur la croissance de la jeune plantule, les effets sur le rendement sont plus estompés.

A Madagascar (41), des essais de profondeur de semis en sol sec ou sol humide ont été effectués à Ambarja et Marovoay (comparaison 2, 4, 6, 8 cm de profondeur) ; la profondeur de semis recommandée est de 3 à 5 cm, un apport d'eau minimum de 40 mm assure une bonne levée sur sols à alluvions humifères ; sur sols poreux, la quantité d'eau nécessaire est plus importante ; les observations faites sur ces essais s'arrêtent au stade plantule, on n'a pas de renseignements sur les rendements résultant des différentes profondeurs de semis.

Le mode de semis - à la volée, en poquets, en lignes, plus ou moins espacées n'a fait l'objet d'essais dans plusieurs pays : Sénégal (46) (47), à Madagascar (41), aux Comores (38), en Côte d'Ivoire (44) ; on a même testé au Sénégal (43) le semis en creux de billons. Jusqu'ici on n'a pas réellement testé les effets du mode de semis sur les rendements : par contre le mode de semis peut avoir des répercussions sur la facilité du désherbage manuel ainsi qu'on l'a observé au Brésil (48), et il doit être effectué en lignes avec un certain écartement minimum quand on veut pouvoir pratiquer le sarclage mécanique. Les plantes en semis clairs sont aussi plus résistantes à la verse (Brésil).

2.2 - MECANISATION DES SYSTEMES SEDENTARISES

L'introduction de la mécanisation dans les systèmes de culture généralement manuels répond à plusieurs objectifs :

- réduction des temps de travaux nécessaires aux opérations culturales qui peut permettre une augmentation de surface cultivée par actif ;
- possibilité d'effectuer certaines opérations culturales nécessitant une force de traction importante.

La mécanisation d'un système de culture dépasse le cadre strict de la riziculture pluviale ; plusieurs niveaux d'intensification sont possibles à partir de la culture manuelle :

- passage à la culture attelée,
- passage à la motorisation de puissance variable (petite motorisation type motculteur - motorisation lourde).

Les essais de mécanisation de la riziculture pluviale réalisés par l'IRAT sont de deux types :

- essais de différents matériels pris séparément, étudiés du point de vue strictement technique (qualité du travail, temps de travaux) ;
- étude des modalités d'introduction de la mécanisation dans des systèmes réels ou mis au point par la recherche.

2.21 - Essais de différents matériels pour la riziculture

Les principaux efforts dans ce domaine ont été réalisés au Sénégal et concernent souvent du matériel testé et utilisé en riziculture irriguée.

On peut citer :

- matériel de travail du sol (49) (60), matériel polyvalent (61) (62) ;
- semoirs Gougis (50), Siscoma (51) (52), Garnier (53) (54), Safil (semoir manuel portatif pour semis à la volée) (55), Satec-Le Lous (semoir pour culture attelée) (56), IRAM BG II (à traction manuelle ou animale) (57) ;
- matériel de sarclo-binages (matériel de culture attelée) (58) ;
- matériel de récolte (69) (pour le riz pluvial on peut utiliser une moissonneuse-lieuse type olympia CT 24 des Etablissements Bedogni) ;
- matériel de battage (59).

On peut également citer un projet FAO intitulé "mécanisation de la production rizicole" auquel l'IRAT/Sénégal a participé (63), essentiellement pour l'aspect petite motorisation en riziculture irriguée, certains résultats de cette étude étant transposables en riziculture pluviale (par exemple, matériels de récolte et de battage).

2.22 - Modalités de mécanisation de systèmes réels ou mis au point par la recherche

Une telle étude a été réalisée dans le cas de la plaine des Mbo (Ouest-Cameroun) (64) (65) (66) (67).

Un certain nombre de données de base ont été fournies par les responsables du projet de développement et les agronomes :

- l'équipement intervient en régie ;

- le système de culture est fondé sur la double culture annuelle (rotation soja-riz ou riz-riz) ;

- les façons culturales mises au point par la recherche sont considérées comme indispensables à l'obtention des rendements fixés par le projet. A partir de ces données, des temps de travaux et des "jours de travaux disponibles" (estimés à partir de la pluviométrie régionale), on déduit le choix de l'équipement, les plannings d'intervention et les prix de revient prévisionnels. Dans le cas de la plaine des Mbo, une telle étude a conduit à envisager une régie totalement mécanisée (64) avec du matériel de grande puissance ; cette option a été testée et le choix du matériel réorienté pendant le suivi expérimental permanent du projet, de même que les hypothèses de départ ont été vérifiées (65) (66) (67).

Un autre type d'étude a été réalisée à Bakopla (Côte d'Ivoire) où l'on a comparé l'économie de la production en culture manuelle, semi-motorisée ou attelée (68) ; il semblerait que la mécanisation du système de culture céréales-coton soit moins intéressante que celle d'un système à base d'igname et d'arachide en raison du caractère aléatoire du rendement des céréales (pluviométrie).

Un autre système souvent envisagé est l'association du paysannat à de grandes entreprises motorisées (70) ; les facteurs limitants principaux de ce système sont (70) :

- le coût des interventions motorisées lourdes de préparation des terres nécessitées par les conditions pédoclimatiques difficiles ;
- les rendements peu élevés ;
- les difficultés d'équipement du paysannat ;
- les contraintes de temps de sarclage qui empêchent de cultiver plus de 1 ha par actif.

L'introduction de la mécanisation dans les systèmes traditionnels doit être raisonnée avec prudence, elle n'apporte pas toujours les améliorations escomptées : ainsi au Brésil, dans l'état du Maranhao (73), la comparaison précise de systèmes de production manuels avec des systèmes de production utilisant une petite mécanisation manuelle et la préparation mécanique des terres en régie, montre que les premiers permettent en général les meilleurs résultats économiques, sont moins contraignants du point de vue de la réalisation des opérations culturales (possibles quelles que soient les conditions climatiques avec les systèmes manuels) et sont plus favorables à la conservation des sols.

Dans le Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire, les rendements moyens obtenus dans les systèmes traditionnels (culture associée avec igname ou maïs) avec culture manuelle sont supérieurs à ceux obtenus en système "amélioré", en culture pure et attelée (95).

Un système entièrement motorisé testé sur un bassin versant de la région Centre de Côte d'Ivoire (essais dits "de bandes alternées") (78) montre que sur 17 années, le revenu monétaire de la culture motorisée du riz pluvial est extrêmement faible, dans les conditions économiques et techniques de cet essai ; le point positif de la motorisation est le gain de temps au moment des grands travaux (gain de 31 journées pour les sarclages et de 38 journées pour la récolte).

En Côte d'Ivoire également, mais en milieu paysan, la comparaison économique de systèmes de culture manuels ou mécanisés dans les régions de Touba et de Man, avec dans le premier cas un système de culture à base de riz pluvial, manioc, igname, arachide, maïs et dans le second à base de riz pluvial et maïs, montre que les résultats économiques de la motorisation ne sont pas toujours positifs :

- à Touba (84), le revenu effectif des producteurs n'est pas différent de celui obtenu par le système manuel, le revenu calculé (prenant en compte les investissements assurés par l'état) est inférieur à celui de la culture manuelle ;

- à Man (85), le revenu monétaire, par actif agricole, n'est pas non plus amélioré par la motorisation des systèmes de culture ; on constate cependant une tendance à l'augmentation de la productivité de la main d'oeuvre familiale en système motorisé.

Dans la région d'Odienné, au Nord de la Côte d'Ivoire (86), la semi-motorisation (défrichement et mise en place de la culture uniquement) est inadaptée à fournir un accroissement des productions, les facteurs limitants des systèmes de culture manuels traditionnels résidant plutôt dans les sarclages et les récoltes.

En production avec entreprise à salariés, la culture du riz pluvial motorisé donne de bons résultats, mais concerne peu le paysannat ; on envisage une rotation riz-stylosanthès utilisé pour l'embouche bovine.

Les possibilités de mécanisation de la riziculture (dont la riziculture pluviale) ont été recensées de façon détaillée dans une synthèse récente(71), à partir de plusieurs hypothèses de départ.

Motorisation de base.

Une motorisation individuelle basée sur l'introduction d'un tracteur à roue de faible puissance (20 CV) semble peu réaliste en régions à pluviométrie relativement faible où l'on dispose de peu de temps pour réaliser les labours ; la surface travaillable dans ces limites est trop réduite pour que le tracteur soit rentabilisé ; l'option labour profond ne peut donc, avec ce type de tracteur, être adoptée que dans certaines situations à pluviométrie suffisamment importante pour permettre un allongement des périodes de travaux ; on peut envisager aussi un travail du sol avec un cultivateur aux premières pluies pour ameublir le sol de façon superficielle, suivi d'un labour classique ou d'un travail aux dents.

Une autre solution envisagée est l'utilisation d'un tracteur à chenilles de 25 CV par un groupe d'agriculteurs pour effectuer des préparations du sol nécessitant de gros moyens de traction pendant la saison sèche (travail du sol aux instruments à dents) ; l'équipement est complété par des porte-outils légers à roues (en zones sèches) ou des motoculteurs (en zones hydromorphes) qui peuvent effectuer les reprises en début de saison des pluies.

Une troisième hypothèse est un équipement de base de 2 motoculteurs de petite puissance (5 à 6 CV) associés pour l'exécution des travaux lourds, équipés de 2 treuils ; la préparation du sol est dans ce cas un éclatement à la dent à 15 cm de profondeur.

A chacune de ces hypothèses correspond un équipement de culture (matériel de sarclage, de semis, etc...).

Matériels de récolte.

Il vont du matériel de fauchage à intervention manuelle à la moissonneuse batteuse classique (71).

3 - MISE AU POINT DE SYSTEMES DE CULTURE VULGARISABLES

3.1 - METHODOLOGIE

L'IRAT a mis au point une méthode d'élaboration de systèmes de production utilisée dans l'Ouest Cameroun (plaine des Mbos) (26) et au Brésil (état du Maranhao) (72).

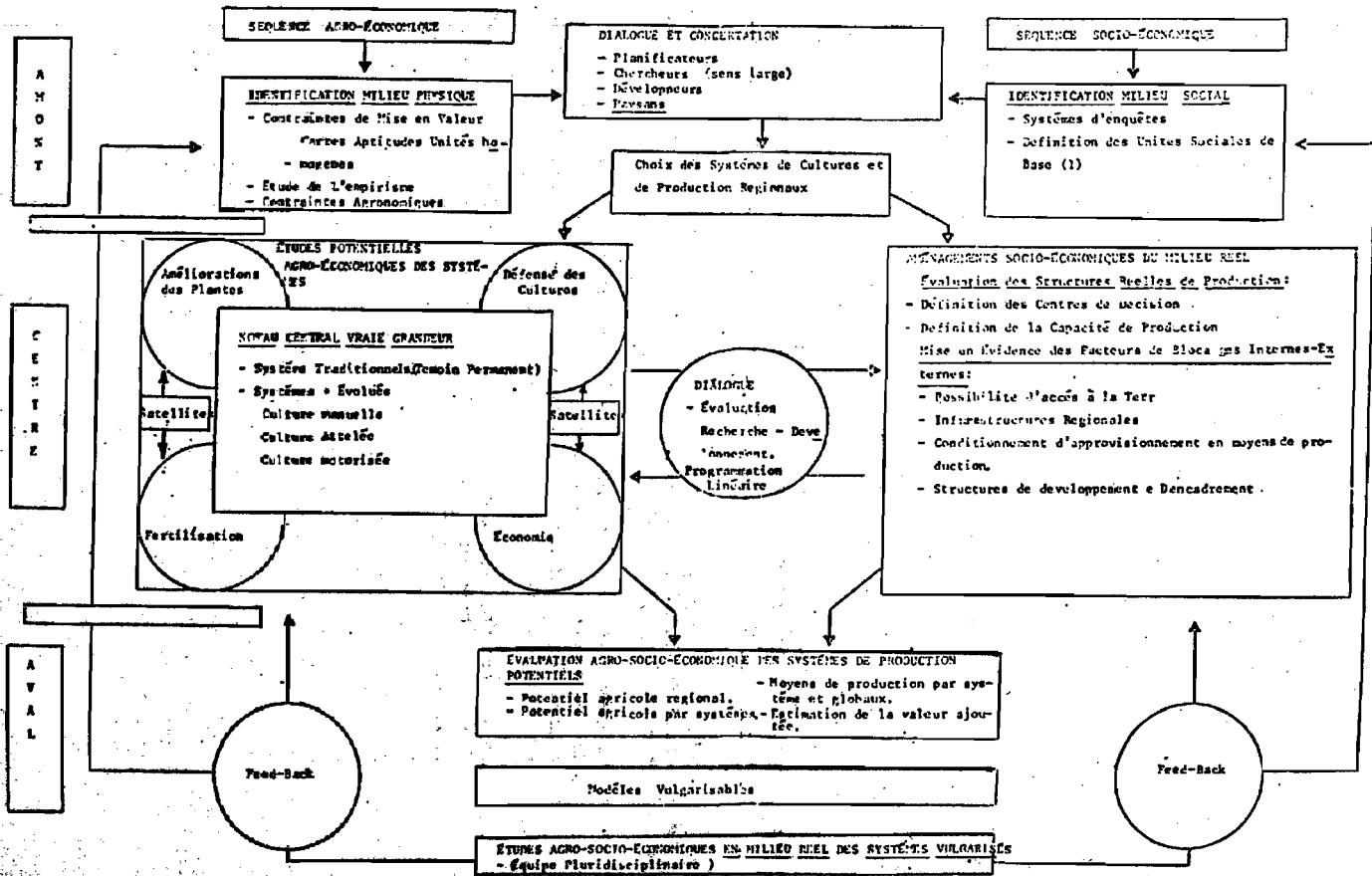
Le modèle d'étude comporte un noyau central où sont étudiés en vraie grandeur toutes les composantes agro-économiques de la production et des satellites d'appui et d'ajustement des problèmes mis en évidence sur les noyaux centraux utilisant les recherches thématiques classiques.

La méthode fait appel à une concertation et à un dialogue constant entre planificateurs, chercheurs, développeurs et paysans, elle est résumée de façon synoptique dans la figure 1.

3.2 - LES SYSTEMES PROPOSES

Dans l'Ouest-Cameroun (26), on est arrivé avec cette méthode à recommander un système de culture à une seule culture de riz annuelle, le premier cycle étant consacré à une culture de soja engrais vert, ce qui permet d'économiser l'azote, de faire jouer les vertus nettoyantes du soja du point de vue flore adventice, d'exécuter un labour de premier cycle (effet résiduel du labour de 1er cycle sur le riz et allégement des contraintes de réalisation des travaux

Figure 1 METHODOLOGIE EXPERIMENTALE
 D'APPROCHE DES SYSTEMES DE PRODUCTIONS
 POTENTIELS REGIONAUX
 - D'après SEGUY L., BOUZINAC S., 1980 (72) -



du sol pendant l'intercycle) et d'utiliser le parc motorisé à plein temps de mars à juillet.

La méthode a été complétée et améliorée au Brésil (72) par l'adjonction "d'aires d'actualisation" où les traitements les plus motivants économiquement sont appliqués en vraie grandeur.

La comparaison entre 10 rotations (rotations céréales : riz-riz, riz-maïs, maïs-riz ; rotations céréales-légumineuses : manioc-riz, riz-manioc ; rotation combinée arachide-riz-maïs ; cultures associées traditionnelles : riz + maïs-vigna ; cultures associées systématisées : riz + maïs + arachide + manioc-vigna) conduites à 8 niveaux d'intensification (combinaisons variétés traditionnelles-variétés améliorées-herbicides-engrais) a permis de déterminer les "alternatives" les plus motivantes du point de vue solde net/ha et valorisation additionnelle de la journée de travail (tableau VIII) ; les recherches thématiques conduites sur satellites permettent d'introduire certaines améliorations dans le modèle initial : ainsi en 1979 pour le riz (73), la supériorité des variétés améliorées IRAT 10, IRAT 79 et IRAT 101 sur la variété Cana Roxa est démontrée (culture manuelle avec engrais et herbicide : rendement supérieur à 4 t/ha) ; le riz répond essentiellement à la fumure azotée et phosphatée ; l'oxadiazon (dose 4 l/ha) est le meilleur herbicide pour le riz.

Il faut noter également qu'il y a peu de distorsions entre les composantes du rendement obtenues en petites parcelles expérimentales (10 m²) dans les satellites, sur les noyaux centraux (250 m²) ou sur les aires d'actualisation (5 000 m²). Un essai de modélisation informatique des données recueillies dans cette expérimentation est en cours (82).

Dans le Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire, l'opération conjointe IDESSA/ARSO recherche également par une méthode d'essai plus classique, des systèmes de culture directement vulgarisables et des données techniques permettant à chaque cultivateur d'adapter un système de cultures vivrières stables à son exploitation (75) (76) : sur des parcelles de 1 000 m², on cherche à identifier les contraintes agronomiques de tous les binômes cultureux constitués à partir des 4 cultures retenues (riz, maïs, manioc, igname) ainsi qu'en système traditionnel de cultures associées.

Au Sénégal, en Casamance (11), un dispositif dit de "structure d'exploitation" permet de tester en milieu contrôlé et en vraie grandeur des systèmes de culture mettant en oeuvre les acquis de la recherche. Les systèmes testés (12 modèles) sont basés sur une rotation maïs (2,5 ha), riz (1,25 ha) + mil (1,25 ha) + arachide (2,5 ha). La variété de riz pluvial est une variété à cycle de 105 à 115 jours : I Kong Pao (105-110) puis 63-83 (115) puis Se 302 G (100) puis IRAT 10 (100-105) ; les semences sont sélectionnées et traitées, on pratique un phosphatage de fond et une fumure d'entretien (pour le riz pluvial 200 kg d'engrais 8 - 18 - 27) ; l'équipement basé sur la culture attelée est constitué d'une chaîne "polyculteur à grand rendement" ou d'une chaîne ariana ou d'une chaîne houe sine ; la main d'oeuvre permanente comprend trois actifs : labour, restitution des pailles de maïs et de riz, semis précoces et entretiens précoces (sarclage-binages) sont pratiqués.

Tableau VIII : Alternatives les plus motivantes - D'après SEGUY L., 1979 (73) -

Remarques : Les alternatives motivantes peuvent changer en fonction de l'évolution des prix ; c'est particulièrement vrai dans le cas présent (Brésil) où le Cruzeiro subit de très fortes dévaluations.

Cultures (3)	Coût de production en Cr\$/ha (1)	Solde net/ha (1)	Valorisation additionnelle de la journée de travail (2)	Rendements en kg/ha	Nombre de journées de travail/ha
Manioc culture manuelle (O) T	5 480	8 423	99	31 200	85
Manioc culture mécanisée labour	5 300	9 308	150	33 200	62
Manioc culture mécanisée minimum tillage (H) T	6 678	9 272	226	34 864	41
Riz (IRAT 79) culture manuelle (A+H) M	9 279	10 221	95,4	3 900	107
Cultures associées systématisées manuelles (A+H) M	11 836	14 125	99,5	Riz 3182: Maïs 435: Vigna 249: Manioc 6947:	141
Cultures associées systématisées manuelles (H) M	5 801	8 496	92,5	Riz 2032: Maïs 662: Vigna 184: Manioc 6489:	119
Témoin tradition- nel cultures associées traditionnelles (O) T	7 814	712	5,8	Riz 1533: Maïs 392: Vigna 76:	123

(1) Y compris le coût de la main d'oeuvre

(2) Valorisation excédant le SMIG journalier dans la région (SMIG = Cr\$/jour)

(3) (O) T = variétés traditionnelles, sans engrais, sans herbicide

(H) T = variétés traditionnelles, sans engrais, avec herbicide

(H) M = variétés améliorées, sans engrais, avec herbicide

(A+H) M = variétés améliorées, avec engrais, avec herbicide

Dans ces systèmes, les rendements pluriannuels du riz pluvial ont varié de 0 à 4,55 t/ha, le riz est une culture très performante en conditions hydriques satisfaisantes mais très sensible à un déficit hydrique ; le maïs qui craint au contraire les excès d'eau, constitue un bon parallèle pour le riz pluvial, ses années à bons rendements correspondant à celles de mauvais rendements du riz et vice-versa.

Les temps de travaux des différentes hypothèses de culture ont été relevés pour toutes les opérations culturales (annexe 1) ; si le passage de la culture manuelle à la culture motorisée permet la maîtrise d'une plus grande surface par actif, le volume des interventions non mécanisées croît en conséquence et constitue rapidement un facteur limitant.

Les principales conclusions de cette étude en vraie grandeur sont :

- l'efficacité de l'emploi des techniques culturales intensives ;
- l'intérêt des cultures riz et maïs, à côté des cultures "anti-aléatoires" mil et arachide ; le passage à des assolements plus intensifs et comportant plus de riz et de maïs améliore nettement les soldes monétaires sans pour autant accroître démesurément les risques en années défavorables ;
- le facteur travail est très contraignant ;
- le volume des charges monétaires est important et rend indispensable l'organisation du marché des céréales et la garantie de commercialisation au prix officiel.

Aux Comores, à Mayotte, la synthèse des travaux de recherche aboutit à proposer en 1977 (38) un système d'exploitation basé sur les deux rotations suivantes :

- riz + ambrevade - volème + maïs,
- manioc - banane.

4 - CONCLUSION

L'amélioration des systèmes de culture à base de riz pluvial, comme celle d'autres systèmes de culture, se heurte plus à des problèmes socio-économiques qu'à des problèmes purement techniques (excepté sur certains supports à sols hydromorphes acides fortement désaturés -plaine des M'bos, Guyane...- où la sédentarisation de la culture est très difficile) ; l'application plus ou moins fidèle des techniques d'intensification recommandées par la recherche résulte souvent d'impossibilités majeures, telle le blocage au niveau temps de travaux ou le manque de disponibilité monétaire pour investir ; le facteur humain joue également un rôle important : on peut citer à cet égard le cas de deux coopératives rizicoles de la région de Man (83) pratiquant le même type de culture (culture semi-motorisée avec tracteur de 60 CV, charrue à disque, pulvérisateur et semoir) dont l'une fonctionne bien et l'autre pas, en raison semble-t-il des différences sociales et comportementales des deux populations.

Annexe 1 : Temps de travaux sur riz pluvial, en Casamance, en fonction des différents modes de culture

- D'après TCHAKERIAN E., 1980 (11) -

Riz, interligne 45 cm, sur labour de fin de cycle sans herbicide

R.45.1

Dates	Travaux	Chaîne houe sine 1 semoir		Chaîne Ariana 2 semoirs		Chaîne polyculteur 3 semoirs	
		Att.	M.O.	Att.	M.O.	Att.	M.O.
	Epandage d'engrais	-	5	-	5	-	5
	Reprise labour en humide (passage croisé)	20	40	15	30	10	20
Jour J*	Rayonnage manuel	-	6	-	-	-	-
	Semis	15	30	8	16	5	10
J + 10-15	1er sarclobinage mécanique	8	16	8	16	4	8
J + 15-20	1er sarclage manuel	-	200	-	200	-	200
J + 20	1er apport d'urée	-	6	-	6	-	6
J + 30	2e sarclobinage mécanique	8	16	8	16	4	8
J + 35-40	2e sarclage manuel	-	200	-	200	-	200
J + 45	2e apport d'urée	-	6	-	6	-	6
J + 100	Récolte manuelle (faucilles) + mise en gerbes	-	200-250	-	200-250	-	200-250
	Transport - déchargement	20	60	20	60	20	60
Hyp. 1	Labour de fin de cycle	35-40	70-80	30-35	60-70	30-35	60-70
Hyp. 2	Déchaumage	12	24	12	24	6	12
	Battage manuel - Vannage (pour 2 tonnes de paddy)	Environ 250 heures de Main d'Oeuvre					

*Jour J = jour du semis.

Riz, interligne 45 cm, sur labour de fin de cycle avec herbicide

R.45.2

Dates	Travaux	Chaîne		Chaîne		Chaîne	
		houe sine	1 semoir	Ariana	2 semoirs	polyculteur	3 semoirs
		Att.	M.O.	Att.	M.O.	Att.	M.O.
	Epandage d'engrais	-	5	-	5	-	5
	Reprise labour en humide (passage croisé)	20	40	15	30	10	20
Jour J	Rayonnage manuel	-	6	-	-	-	-
	Semis	15	30	8	16	5	10
	Désherbage chimique	-	4	-	4	-	4
J + 20	1er apport d'urée	-	6	-	6	-	6
J + 20-25	1er sarclobinage mécanique	8	16	8	16	4	8
J + 30-35	1er sarclage manuel	-	200	-	200	-	200
J + 30-35	2e sarclobinage mécanique	8	16	8	16	4	8
J + 45	2e apport d'urée	-	6	-	6	-	6
	2e sarclage manuel	-	50	-	50	-	50

Travaux ultérieurs : cf R.45.1

Riz, interligne 45 cm, sur labour de début de cycle, sans herbicide

R.45.3

Dates	Travaux	Chaîne		Chaîne		Chaîne	
		houe sine	1 semoir	Ariana	2 semoirs	polyculteur	3 semoirs
		Att.	M.O.	Att.	M.O.	Att.	M.O.
	Epandage d'engrais	-	5	-	5	-	5
	Labour début de cycle	35	70	30	60	30	60
	Reprise labour (passage croisé)	20	40	15	30	10	20
Jour J	Rayonnage manuel	-	6	-	-	-	-
	Semis	15	30	8	16	5	10
J + 15-20	1er sarclobinage mécanique	8	16	8	16	4	8
	1er apport d'urée	-	6	-	6	-	6
	1er sarclage manuel	-	150- 200	-	150- 200	-	150- 200
J + 25-30	2e sarclobinage mécanique	8	16	8	16	4	8
J + 30-35	2e sarclage manuel	-	150	-	150	-	150
J + 45	2e apport d'urée	-	6	-	6	-	6

Travaux ultérieurs : cf R.45.1

Riz, interligne 45 cm, sur labour de début de cycle avec herbicide

R.45.4

Dates	Travaux	Chaîne		Chaîne		Chaîne	
		houe sine	1 semoir	Ariana	2 semoirs	polyculteur	3 semoirs
		Att.	M.O.	Att.	M.O.	Att.	M.O.
	Epandage d'engrais	-	5	-	5	-	5
	Labour début de cycle	35	70	30	60	30	60
	Reprise labour (passage croisé)	20	40	15	30	10	20
Jour J	Rayonnage manuel	-	6	-	-	-	-
	Semis	15	30	8	16	5	10
	Désherbage chimique	-	4	-	4	-	4
J + 20-25	1er sarclobinage mécanique	8	16	8	16	4	8
	1er apport d'urée	-	6	-	6	-	6
J + 30-35	1er sarclage manuel	-	100- 150	-	100- 150	-	100- 150
J + 35	2e sarclobinage mécanique	8	16	8	16	4	8
J + 45	2e apport d'urée	-	6	-	6	-	6

Travaux ultérieurs : cf R.45.1

Riz, interligne 30 cm, sur labour de fin de cycle sans herbicide

R.30.1

Dates	Travaux	Chaîne		Chaîne		Chaîne	
		houe sine	1 semoir	Ariana	2 semoirs	polyculteur	3 semoirs
		Att.	M.O.	Att.	M.O.	Att.	M.O.
	Epandage d'engrais	-	5	-	5	-	5
	Reprise labour en humide (passage croisé)	20	40	15	30	10	20
Jour J	Rayonnage manuel	-	6	-	-	-	-
	Semis	20	40	12	24	8	16
J + 10-15	1er sarclobinage manuel	-	250- 300	-	250- 300	-	250- 300
J + 15-20	1er apport d'urée	-	7	-	7	-	7
J + 25	2e sarclobinage manuel	-	250	-	250	-	250
J + 40	3e sarclobinage manuel	-	100	-	100	-	100
J + 45	2e apport d'urée	-	7	-	7	-	7
J + 100	Récolte manuelle (faucilles) et mise en gerbes	-	250- 300	-	250- 300	-	250- 300
	Transport, déchargement	20	60	20	60	20	60
Hyp. 1	Labour de fin de cycle	35-40	70-80	30-35	60-70	30-35	60-70
Hyp. 2	Déchaumage (si culture suivante, ara- chide sans labour)	16	32	16	32	8	16
	Battage manuel, vannage (pour 2 tonnes)	Environ 250 heures de Main d'Oeuvre					

Riz, interligne 30 cm, sur labour de début de cycle sans herbicide

R.30.2

Dates	Travaux	Chaîne houe sine		Chaîne Ariana		Chaîne polyculteur	
		1 semoir	2 semoirs	2 semoirs	3 semoirs	3 semoirs	3 semoirs
		Att.	M.O.	Att.	M.O.	Att.	M.O.
	Epandage d'engrais	-	5	-	5	-	5
	Labour début de cycle	35	70	30	60	30	60
	Reprise labour (passage croisé)	20	40	15	30	10	20
Jour J	Rayonnage manuel	-	6	-	-	-	-
	Semis	20	40	12	24	8	16
J + 15-20	1er sarclobinage manuel	-	200	-	200	-	200
	1er apport d'urée	-	7	-	7	-	7
J + 25-30	2e sarclobinage manuel	-	150- 200	-	150- 200	-	150- 200
J + 40-45	3e sarclobinage manuel	-	80	-	80	-	80
	2e apport d'urée	-	7	-	7	-	7

Travaux ultérieurs : cf R.30.1

Riz, interligne 30 cm, sur labour de fin de cycle avec herbicide

R.30.3

Dates	Travaux	Chaîne houe sine		Chaîne Ariana		Chaîne polyculteur	
		1 semoir	2 semoirs	2 semoirs	3 semoirs	3 semoirs	3 semoirs
		Att.	M.O.	Att.	M.O.	Att.	M.O.
	Epandage d'engrais	-	5	-	5	-	5
	Reprise labour en humide (passage croisé)	20	40	15	30	10	20
Jour J	Rayonnage manuel	-	6	-	-	-	-
	Semis	20	40	12	24	8	16
	Désherbage chimique	-	4	-	4	-	4
J + 10	1er apport d'urée	-	7	-	7	-	7
J + 25-30	1er sarclobinage manuel	-	200	-	200	-	250
J + 40	2e sarclobinage manuel	-	100- 150	-	100- 150	-	100- 150
J + 45	2e apport d'urée	-	7	-	7	-	7

Travaux ultérieurs : cf R.30.1

Riz, interligne 30 cm, sur labour de début de cycle avec herbicide

R.30.4

Dates	Travaux	Chaîne		Chaîne		Chaîne	
		Houe sine	1 semoir	Ariana	2 semoirs	polyculteur	3 semoirs
		Att.	M.O.	Att.	M.O.	Att.	M.O.
	Epandage d'engrais	-	5	-	5	-	5
	Labour début de cycle	35	70	30	60	30	60
	Reprise labour (passage croisé)	20	40	15	30	10	20
Jour J	Rayonnage manuel	-	6	-	6	-	-
	Semis	20	40	12	24	8	16
	Désherbage chimique	-	4	-	4	-	4
J + 20	1er apport d'urée	-	7	-	7	-	7
J + 30-35	1er sarclobinage manuel	-	200- 250	-	200- 250	-	200- 250
J + 45	2e apport d'urée	-	7	-	7	-	7

Travaux ultérieurs : cf R.30.1

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

- (1) LE BUANEC (B.) - 1975 - La riziculture pluviale en terrain drainé - Situation problèmes et perspectives - Agronomie Tropicale, XXX, 4, 358-381.
- (2) COLONNA (J.P.) - 1967 - Le riz et sa culture en République Centrafricaine - Agron. Trop., XXII, 1, 11-29.
- (3) LE BUANEC (B.) - 1975 - Notes d'agriculture ivoirienne. Intensification des cultures non arbustives - Rapport IRAT, Bouaké, 23 p.
- (4) ANGLADETTE (A.) - 1965 - La riziculture aux Philippines - Agron. Trop., XX, 1, 49-77.
- (5) ARRAUDEAU (M.) - 1970 - Quelques aspects de la riziculture à Ceylan - Agron. Trop., XXV, 1, 72-75.
- (6) LE BUANEC (B.) - 1975 - Note sur la riziculture en Costa-Rica - Agron. Trop., XXX, 1, 63-68.
- (7) LE BUANEC (B.) - 1974 - Notes de voyage en Amérique latine, 26.01-15.03.1974. Observations sur la riziculture - Rapport IRAT, Bouaké, 54 p.
- (8) LE BUANEC (B.) - 1979 - Intensification des cultures assolées en Côte d'Ivoire - Milieu physique et stabilité des systèmes de cultures motorisées - Agron. Trop., XXXIV, 1, 54-73.
- (9) LE BUANEC (B.) - 1975 - Notes sur la riziculture pluviale au Brésil Central - Agron. Trop., XXX, 1, 69-80.
- (10) LE BUANEC (B.) - 1975 - Notes sur la riziculture pluviale au Japon - Agron. Trop., XXX, 3, 276-287.
- (11) TCHAKERIAN (E.) - 1980 - Intensification des systèmes de culture pluviale en moyenne Casamance - Eléments d'analyse - Rapport IRAT/ISRA, CNRA Bambey 69 p.
- (12) NICOU (R.) - 1979 - Tillage in the West African tropical zone - 8th Conference of the International Soil Tillage Research Organization (ISTRO), Allemagne Fédérale, pp 429-434.
- (13) CHOPART (J.L.), NICOU (R.) - 1976 - Influence du labour sur le développement racinaire de différentes plantes cultivées au Sénégal, Conséquences sur leur alimentation hydrique - Agron. Trop., XXXI, 1, 7-28.

- (14) NICOU (R.), SEGUY (L.), HADDAD (G.) - 1970 - Comparaison de l'enracinement de quatre variétés de riz pluvial en présence ou absence de travail du sol - Agron. Trop., XXV, 8, 639-659.
- (15) CHOPART (J.L.) - 1980 - Etude au champ des systèmes racinaires des principales cultures pluviales au Sénégal (arachide, mil, sorgho, riz pluvial) - Thèse présentée à l'Institut National Polytechnique, Toulouse, 19 juin 1980, 159 p.
- (16) CHOPART (J.L.) - 1975 - Influence du labour et de la localisation de l'engrais en profondeur sur l'adaptation à la sécheresse de différentes cultures pluviales au Sénégal - Rapport IRAT/ISRA, CNRA Bambey, 172 p.
- (17) KALMS (J.M.) - 1979 - Soil and water management for upland rice production in West Africa - IITA Annual Research Conference on Soil and Climate Resources and constraints in relation to food crop production in West Africa - Ibadan, 15-19 oct. 1979, 8 p.
- (18) KALMS (J.M.) - 1979 - Note : bilan des résultats des expérimentations de techniques culturales concernant le non-travail du sol, le travail minimum et le labour en région Centre (Bouaké) de la Côte d'Ivoire - Note IRAT, 16 p.
- (19) SEGUY (L.) - 1977 - Influence et conséquences de différents modes de préparation du sol sur la culture du riz pluvial dans la plaine des Mbo - Ouest Cameroun - de 1972 à 1974 - Séminaire sur la mécanisation des exploitations individuelles des pays chauds - Paris, 10 mars 1977, pp XV-197-XV-225.
- (20) LE CRAZ (J.) - 1970 - Premiers résultats concernant les problèmes : préparation des terres, semis, sarclage-binages dans le cadre de l'opération productivité rizicole (campagne 1970) - Rapport IRAT/CNRA, Bambey, 24 p.
- (21) GREMILLET (B.) - 1979 - Les instruments à dents en riziculture pluviale et aquatique motorisée des savanes de Côte d'Ivoire - Machinisme agricole tropical, n° 65, pp 31-42.
- (22) POULAIN (J.F.) - 1977 - Les résidus de culture dans les systèmes culturaux traditionnels de l'Afrique de l'Ouest - Effets sur le bilan minéral et le statut organique des sols - Propositions pour leur meilleure gestion - FAO/SIDA regional workshop in Africa on organic recycling in agriculture - 5-17 déc. 1977, 49 p.
- (23) SEGUY (L.) - 1976 - Rapport de synthèse - La riziculture dans l'Ouest et le Centre-Sud camerounais en 1976 - Rapport IRAT, 54 p.
- (24) IRAT/CAMEROUN - 1979 - Recherches sur le riz pluvial dans la plaine des Mbo - Rapport analytique 1978 - Rapport IRAT/IRAF, 111 p.
- (25) NICOU (R.) - 1978 - Etude des successions culturales au Sénégal - Résultats et méthodes - Agron. Trop., XXXIII,1, 51-61.

- (26) SEGUY (L.), LEMOIGNE (M.), AUDEBERT (D.), DOYEN (F.) - 1977 - La riziculture pluviale dans la plaine des Mbos -Ouest Cameroun- : méthodologie expérimentale adaptée au développement à court terme ; confrontation des résultats expérimentaux aux conditions du développement 1970-1976. Séminaire sur la mécanisation des exploitations individuelles des pays chauds - Janvier 1977, 52 p.
- (27) NICOU (R.) - 1978 - Rapport de mission dans la plaine des Mbos (Cameroun) - Rapport IRAT, 25 p.
- (28) AUBIN (J.P.) - 1980 - Avertissement technique sur la riziculture pluviale dans la plaine des Mbos (Ouest-Cameroun) suite au rapport de mission de R. NICOU, Chef du Service Physique des Sols à l'IRAT/GERDAT Montpellier en novembre 1978 pour discerner les causes des chutes de rendement observées à la SODERIM - Rapport IRAT, 8 p.
- (29) IRAT/SENEGAL - 1970 - Synthèse des activités et résultats 1969 de l'IRAT au Sénégal et sur la rive mauritanienne du fleuve Sénégal - Rapport IRAT, 107 p.
- (30) IRAT/HAUTE-VOLTA - 1974 -Expérimentations agronomiques d'accompagnement - Aménagement des Volta - Campagne agricole 1973 - Rapport IRAT, 51 p.
- (31) IRAT/HAUTE-VOLTA - 1974 - Rapport de synthèse 1974 - Rapport IRAT.
- (32) IRAT/HAUTE-VOLTA - 1976 - Expérimentation agronomique d'accompagnement - Résultats 1975 - Rapport IRAT, 71 p.
- (33) IRAT/HAUTE-VOLTA - 1976 - Rapport de synthèse 1976 - Rapport IRAT.
- (34) IRAT/GES - 1976 - Quelques observations sur les précédents culturaux et les assolements en agriculture sèche d'Afrique de l'Ouest - Fiche technique n° 11, IRAT, 23 p.
- (35) IRAT/COMORES - 1969 - Rapport de synthèse 1969 - Rapport IRAT, Moroni, 235 p.
- (36) IRAT/COMORES - 1970 - Rapport analytique 1970 - Rapport IRAT, Moroni.
- (37) SUBREVILLE (G.) - 1975 - Synthèse des activités de l'IRAT aux Comores - Prospectives, île d'Anjouan (1966-1975) - Rapport IRAT, 59 p.
- (38) RENEAUD (H.) - 1977 - Synthèse des travaux de l'IRAT dans l'île de Mayotte (archipel des Comores) et prospectives - Rapport IRAT.
- (39) IRAT/MALI - 1976 - Bilan technique des recherches en matière d'agronomie générale et de cultures vivrières conduites par l'IRAT de 1974 à 1976 au Mali - Rapport IRAT/IER, 89 p.
- (40) IRAT/MALI - 1977 - Recherche rizicole au Mali (Campagne 1977) - Réunion sur la recherche rizicole, ADRAO, Monrovia, 9 p.
- (41) DOBELMANN (J.P.), FALAIS (M.) - 1968 - La culture pluviale du riz dans le Nord-Ouest de Madagascar en 1966-1967 - Agron. Trop., XXIII, 1, 13-70.

- (42) IRAT/SENEGAL - 1968 - Recherches rizicoles en Casamance - Rapport annuel 1968 - Rapport IRAT, déc. 1968, 47 p.
- (43) HADDAD (G.), SEGUY (L.) - 1972 - Le riz pluvial dans le Sénégal méridional - Bilan de quatre années d'expérimentation (1966-1969) - Agron. Trop., XXII, 4, 607-649.
- (44) MAT/SOLERIZ - 1973 - Résultats de la campagne 1973 - Rapport IRAT, 1973.
- (45) JACQUOT (M.) - 1972 - Quelques observations sur l'influence du milieu dans les cultures de riz pluvial - Agron. Trop., XXVII, 10, 1007-1021.
- (46) IRAT/SENEGAL - 1967 - Rapport d'activité 1966 - Secteur de recherches de Casamance - Rapport IRAT, Séfa, 63 p.
- (47) IRAT/SENEGAL - 1966 - Rapport d'activités 1965 - Rapport IRAT, Séfa, (extraits), 110 p.
- (48) SEGUY (L.), BOUZINAC (S.) - 1978 - Rapport trimestriel d'activités, 1er trimestre, janvier, février, mars 1978. Convention EMAPA/IRAT, Sao Luiz.
- (49) IRAT/SENEGAL - 1968 - Compte-rendu d'essais pratiques charrue Huard-VCF, semi-portée à disques QDSP - Essais delta du fleuve Sénégal 19-23 mars 1968 - Rapport IRAT/CNRA Bambey, 16 p.
- (50) IRAT/SENEGAL - 1968 - Compte-rendu d'essais - Semoir Gougis type SA 9 (semis riz) - Rapport IRAT/CNRA, Bambey, 22 p.
- (51) IRAT/SENEGAL - 1968 - Compte-rendu d'essais - Semoir prototype 3 rangs SISCO - Rapport IRAT/CNRA, Bambey, 15 p.
- (52) LE CRAZ (J.), DIAGNE (K.) - 1970 - Compte-rendu d'essais pratiques du semoir à riz SISCOMA-SAED - Rapport IRAT/CNRA Bambey, 14 p.
- (53) IRAT/SENEGAL - 1968 - Compte-rendu d'essais - semoir Garnier - Rapport IRAT/CNRA Bambey, 18 p.
- (54) IRAT/SENEGAL - 1969 - Semoir à riz Garnier - Essais pratiques (Delta du fleuve Sénégal) - Rapport IRAT/CNRA Bambey, 6 p.
- (55) WANDERS (A.A.) - 1972 - Essai de semoir manuel portatif pour semis à la volée - Semoir Safil - Rapport IRAT/FAO, 20 P.
- (56) IRAT/SENEGAL - 1972 - Essai de semoir Semon à riz - SATEC - Le lous pour culture attelée - Rapport IRAT/CNRA Bambey, 22 p.
- (57) GREMILLET (B.) - 1969 - Considérations sur le semis direct en lignes de padd avec des semoirs en lignes (à traction manuelle ou animale) - Rapport IRAT/IRAM, 15 p.
- (58) IRAT/SENEGAL - 1968 - Essais 1967 de sarclo-binage dans le delta du fleuve - Rapport IRAT/CNRA Bambey, 4 P.
- (59) LEMOIGNE (M.) - 1967 - Comportement de différentes machines utilisées au battage du riz - Rapport IRAT/CNRA Bambey, 17 P.

- (60) IRAT/SENEGAL - 1969 - Rapport d'activité 1969 - Division du machinisme agricole et génie rural - Rapport IRAT/CNRA Bambey, 14 p.
- (61) IRAT/SENEGAL - 1963 - Compte-rendu d'essais, multiculteur Ariana - Mouzon-Nolle - Rapport IRAT/CNRA Bambey, 15 p.
- (62) LE CRAZ (J.) - 1973 - Compte-rendu de mission - Réunion concernant le polyculteur à grand rendement et les semoirs à riz - Rapport IRAT/CNRA Bambey, 3 p.
- (63) FAO - 1976 - Mécanisation de la production rizicole Inde, Nigéria, Sénégal - Un projet international et coordonné de recherche (1970-1976) du FAO - Rapport FAO/CRRI/IITA/IRAT, 164 p.
- (64) LE MOIGNE (M.) - 1974 - Mission d'appui auprès de la MI-DE-RIM - 10/7/1974-31/7/1974 - Projet rizicole de la plaine des Mboos - Rapport de synthèse - Rapport CEEMAT, 41 p.
- (65) LE MOIGNE (M.) - 1974 - Deuxième mission d'appui auprès de la MI-DE-RIM, 8/11 - 22/11/1974 - Projet de développement de la plaine des Mboos - Rapport CEEMAT, 34 p.
- (66) LE MOIGNE (M.) - 1975 - Troisième mission d'appui auprès de l'ICVT et de la MI-DE-RIM, 5/7-19/7/1975 - Projet de développement de la plaine des Mboos - Cameroun - Rapport CEEMAT, 30 p.
- (67) LE MOIGNE (M.) - 1976 - Quatrième mission d'appui auprès de l'IRAF et de la MI-DE-RIM - juillet 1976 - Projet de développement de la plaine des Mboos - Rapport CEEMAT, 30 p.
- (68) IRAT/COTE D'IVOIRE - 1975 - Bakopla - Rapport analytique 1975 - Rapport IRAT, 36 p.
- (69) CHEZE (B.) - 1979 - Conception d'une technologie appropriée pour les exploitations individuelles des pays tropicaux en voie de développement - Cahiers du CENECA - Colloque International, Paris.
- (70) LE MOIGNE (M.) - 1971 - Mécanisation et petites exploitations rizicoles - Cas des paysannats associés à des opérations motorisées - Réunion d'experts sur la mécanisation de la production et du traitement du riz - Paramaribo, Surinam, 27-30 sept. 1971.
- (71) GROOS (A.) - 1980 - Quelques remarques sur des possibilités de motorisation en riziculture - Rapport CEEMAT, 46 p.
- (72) SEGUY (L.), BOUZINAC (S.) - 1980 - Une démarche expérimentale d'élaboration de systèmes de production utilisables par les petits paysans (Région du Cacaïs au Maranhao, Brésil) - Rapport IRAT, 48 p.
- (73) SEGUY (L.) - 1979 - Rapport analytique, étude des systèmes de production potentiels à base de riz pluvial - Rapport EMAPA/IRAT, Sao Luiz, 368 p.
- (74) RICHARD (J.F.) - 1971 - Expérimentation d'accompagnement 1971 - La riziculture pluviale dans l'opération de développement SATEC du département de ZOU - Rapport annuel 1971, fascicule 3 - Rapport IRAT/SATEC, 64 p.

- (75) LEDUC (B.) - 1979 - Liaison recherche-développement IDESSA/ARSO - Recherche de systèmes stables de cultures vivrières dans le Sud-Ouest - Résultats acquis, programme en cours, orientations - Rapport IRAT/IDESSA, 15 p.
- (76) LEDUC (B.) - 1979 - Liaison recherche-développement IDESSA/ARSO - Recherche de systèmes stables de cultures vivrières dans le Sud-Ouest, Résultats de la campagne 1978 - Rapport IRAT/IDESSA, 123 p.
- (77) IRAT/CAMEROUN - 1980 - Recherches sur le riz pluvial et irrigué dans la plaine des Mbo - Rapport de synthèse 1979 - Rapport IRAT, 25 p.
- (78) JACOB (B.) - 1977 - Expérience de culture continue, intensive, motorisée en bandes alternées sur un bassin versant du centre de la Côte d'Ivoire - Mémoire de fin d'études ISTOM, le Havre, 88 p.
- (79) AUBIN (J.P.) - 1980 - Pré-rapport d'une mission au Laos (rapport IRAT en cours d'édition).
- (80) DAUPHIN (F.E.) - 1979 - Recherche agricole et développement rural en Thaïlande - Thèse de doctorat de 3e cycle, Ecole Supérieure des Hautes Etudes en Sciences sociales, 259 p.
- (81) LE BUANEC (B.) - 1974 - Observations sur l'ameublissement du profil culturel en sols ferrallitiques, son incidence sur les caractéristiques du sol sur la croissance des plantes cultivées annuelles - Agron. Trop., XXXIX, 11, 1079-1099.
- (82) RICHARD (J.F.) - 1980 - Perspectives de modélisation des systèmes d'exploitation dans l'état du Maranhao - Nord-Est du Brésil - Rapport de mission rapport IRAT, 14 p.
- (83) IRAT/COTE D'IVOIRE - 1974 - Economie rurale - Rapport d'activité 1974 et programme en cours - Rapport IRAT, Bouaké, 5 p.
- (84) BIGOT (Y.), N'GORAN (K.) - 1979 - Note sur le système de production agricole manuel et mécanisé à base de riz pluvial dans la région de Touba - Rapport IRAT/IDESSA, Bouaké, 13 p.
- (85) LANG (H.) - 1978 - Motorisation et développement de petites exploitations paysannes en agriculture tropicale - Exemple : la région de l'Ouest de la Côte d'Ivoire - Agron. Trop., XXXIII, 2, 181-193.
- (86) GERDAT - 1975 - les systèmes de production en culture pluviale motorisée dans la région Nord de Côte d'Ivoire - I - Evaluation de systèmes de production pour les nouveaux défrichements de la région d'Odienné - Rapport GERDAT ILMVT-IRAT-IRCT, Bouaké, 25 P.
- (87) IRAT/COTE D'IVOIRE - 1969 - Rapport annuel 1969 - Agro pédologie - Rapport IRAT, 74 p.
- (88) LE BUANEC (B.) - 1971 - Influence du labour sur les rendements de riz et de maïs en sols ferrallitiques - Rapport IRAT, 11 p.
- (89) LEDUC (B.) - 1968 - Cellule de Grimari - Rapport partiel - Activités - Résultats riz station - résultats soja - Rapport IRAT.