

**INVENTAIRE POUR UNE ETUDE
DE LA RESISTANCE A LA SECHERESSE
DU RIZ PLUVIAL**



Laboratoire d'agronomie

FORESTIER .J.

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE - MER

CENTRE D'ADIOPODOUMÉ - CÔTE D'IVOIRE

B.P.V 51 - ABIDJAN

Mai 1979

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

CENTRE D'ADIOPODOUME

B.P. V-51 - ABIDJAN (Côte d'Ivoire)

Laboratoire d'Agronomie

INVENTAIRE POUR UNE ÉTUDE DE LA RÉSISTANCE
À LA SÉCHERESSE DU RIZ PLUVIAL

par

J. FORESTIER

P L A N

	page
1 - <u>BUT DE L'INVENTAIRE</u> ,	1
2 - <u>ASPECT PHYSIOLOGIQUE</u> ,	2
2.1. <u>La détermination des besoins</u> ,	2
21.1. <u>La transpiration</u> ,	2
Facteurs de variation : plante, milieu, jour et nuit.	
Appréciation globale ETP	
Appréciation par organe plante	
21.2. <u>L'équilibre masse aérienne/masse racinaire</u> ,	4
21.3. <u>L'absorption d'eau par les racines</u> ,	5
2.2. <u>Connaissance des mécanismes réglant la consommation d'eau</u> ,	5
22.1. <u>Maintien de l'absorption d'eau</u> ,	5
221.1. Importance de l'enracinement	
Représentation de l'enracinement	
Mesures de la masse racinaire	
Profil racinaire	
Profondeur d'enracinement	
221.2. Enracinement profond et masse aérienne	
221.3. La capacité d'absorption des racines	
221.4. La force de succion	
221.5. Activité d'absorption compensatrice	
22.2. <u>Transfert de l'eau</u> ,	10
222.1. La grosseur des racines	
Nombre et proportions de racines	
222.2. Les vaisseaux du xylème	
222.3. Résistance des racines au transfert de l'eau	
222.4. La proportion des racines aux talles	
222.5. Le flux d'eau.	
22.3. <u>Caractérisation morphologique et fonctionnelle des racines</u> ,	12
22.4. <u>Utilisation de l'eau</u> ,	13
224.1. Le coefficient de transpiration	
224.2. La croissance en matière sèche	

	page
22.5. <u>L'économie de l'eau</u>	15
225.1. Résistance à la diffusion	
225.2. Résistance stomatale	
225.3. Transpiration cuticulaire	
225.4. L'épaisseur des feuilles.	
22.6. <u>Répartition de la matière sèche</u>	16
Croissance différentes parties	
Migration des matières sèches	
22.7. <u>La sécheresse à proximité de l'épiaison</u>	17
2.3. <u>Les effets de la sécheresse</u>	18
23.1. <u>Les mesures de l'état hydrique et de l'ouverture des stomates</u>	18
231.1. Mesure de fermeture des stomates	
231.2. Mesure de déficit hydrique	
231.3. Mesure du potentiel hydrique	
231.4. L'enroulement des feuilles.	
23.2. <u>Mesures de dessèchement</u>	19
23.3. <u>Modifications de la composition tissulaire</u>	20
233.1. Stabilité de la chlorophylle	
233.2. Accroissement du taux de proline	
233.3. Autres modifications de composition.	
23.4. <u>Modifications dans le développement</u>	21
Retard à l'épiaison	
Nombre de talles fertiles	
3 - <u>ASPECT VARIÉTAL</u>	22
3.1. <u>Liste variétale</u>	22
31.1. <u>Liste de Côte d'Ivoire</u>	22
31.2. <u>Liste asiatique</u>	23
31.3. <u>Liste américaine</u>	23
3.2. <u>Méthodologie des comparaisons de variétés</u>	23
32.1. <u>Essais de caractérisation de la plante</u>	24
321.1. Système racinaire	
Milieux artificiels	
Milieu naturel	
Radioisotopes	
321.2. Système aérien.	

32.2. <u>Classement des techniques selon le mode d'établissement de la sécheresse.</u>	25
322.1. Système à sécheresse progressive continue ou discontinue	
322.2. Système à niveau de sécheresse constant Tension hydrique constante dans le profil Niveau d'eau libre à profondeur fixe Tension hydrique variable selon la profondeur Taux de transpiration journalier constant de la plante.	
322.3. Système à sécheresse brutale Evaporation aérienne Diminution système racinaire fonctionnel	
3.3. <u>Recherche des caractères intéressants.</u>	27
Liste des variétés à mettre en essai. Besoins spécifiques de la Côte d'Ivoire.	
4 - <u>ASPECT CULTURAL.</u>	28
Installation de la plante - Densité. Culture pure et culture mixte Place de la sole de riz - Rotation - Jachère - Enherbement Techniques culturales - Date, profondeur, fréquence du labour Travail superficiel.	
5 - <u>ASPECT ADAPTATION AU MILIEU.</u>	29
Climat Etude fréquentielle des pluies Analyse des besoins en eau Calage régional du cycle cultural Etude radiation solaire faible	
Sols Caractérisation hydrodynamique	
6 - <u>SCHÉMA DE TRAVAIL DES AGRONOMES DE L'ORSTOM.</u>	30
7 - <u>BIBLIOGRAPHIE.</u>	32

1 - BUT DE L'INVENTAIRE.

Ce document de travail a pour but d'inventorier les recherches déjà faites en Côte d'Ivoire ou par des organismes travaillant en Côte d'Ivoire pour l'étude de la résistance à la sécheresse du riz pluvial, en y adjoignant des renseignements analogues obtenus dans d'autres pays.

La comparaison des résultats acquis et des axes possibles de recherche devrait permettre de définir les compléments de recherche nécessaires pour permettre une culture de riz pluvial avec les meilleurs rendements possibles dans les diverses zones climatiques de la Côte d'Ivoire.

Pour appréhender l'ensemble des résultats, les différents points ont fait l'objet d'un classement voisin de celui retenu par M. JACQUOT à l'IRAT. Il peut y avoir chevauchement d'un même problème sur plusieurs aspects, et au cours d'un même travail plusieurs points peuvent être examinés simultanément.

Les aspects retenus dans l'étude sont les suivants :

- aspect physiologique qui comprend la détermination des besoins, la connaissance des mécanismes de la plante réglant la consommation et la fourniture en eau et les conséquences des besoins insuffisamment satisfaits,
- aspect variétal qui aurait pour but de mettre en évidence les différences entre plantes et de déterminer les caractères de résistance propres à chaque variété, avec éventuellement déterminisme génétique et hérédabilité du caractère,
- aspect cultural qui s'intéresse aussi bien à la conduite de la plante au champ pour optimiser demande ou besoin en eau et fournitures qu'au travail du sol pouvant agir sur la fourniture d'eau,
- aspect d'adaptation au milieu qui met en liaison l'aspect physiologique avec l'environnement.

Etant donné que la section d'Agronomie de l'ORSTOM doit principalement s'occuper des caractères physiomorphologiques du système racinaire favorisant la résistance à la sécheresse, ce sont surtout les aspects physiologique et variétal que nous essaierons d'approfondir.

2 - ASPECT PHYSIOLOGIQUE.

Comme nous l'avons précisé dans l'introduction, nous distinguons trois buts distincts dans cet aspect : la détermination des besoins par l'étude de la transpiration et de l'équilibre entre partie aérienne et partie racinaire, la connaissance des mécanismes de l'absorption d'eau, de son transfert et de son utilisation par la plante, et enfin les effets plus ou moins nocifs de la sécheresse sur l'appareil assimilateur et sur l'appareil reproductif du riz.

2.1. La détermination des besoins.

21.1. La transpiration.

Le niveau des besoins est déterminé par le niveau de transpiration, lequel dépend à son tour de la quantité de matière verte et de l'importance de l'échauffement ou de la déshydratation auxquels elle est soumise.

La masse de matière verte va varier selon les stades de la plante en quantité et en qualité. Selon leur nature d'organes assimilateurs ou conducteurs ou reproductifs, la quantité d'eau transpirée par unité de matière va probablement varier. Il serait donc déjà utile de connaître l'importance des différentes parties de la plante et leurs besoins respectifs.

Selon l'ensoleillement et la latitude, le rayonnement sera plus ou moins important, et les besoins en eau varieront. De même la siccité de l'air et le vent pourront éventuellement agir sur les besoins au champ.

Les renseignements trouvés dans la littérature concernent pour le plus grand nombre des valeurs globales d'évapotranspiration, et quelques uns ont trait à la transpiration proprement dite.

L'appréciation globale de l'évapotranspiration du riz est légèrement supérieure à l'évaporation d'une surface d'eau libre avec k : 1.03 (51) ou 1,05 (15) ou 1,0 à 1,15 (11), ou plus forte que celle d'un gazon avec $k = 1.20$ à 1.32 (11). Mais il y a des variations selon la phase du cycle : 0,65 pour un semis de 30 jours, 1,30 ensuite par rapport à l'eau libre.

L'évapotranspiration réelle serait égale à l'évapotranspiration potentielle en courte période sans pluie pour un indice foliaire de 4, mais n'en représenterait que 80 % à l'indice foliaire 2,0 et environ 60 % à l'indice foliaire de 1.0. En outre,

un riz pluvial comme IAC 1246 atteindrait un indice foliaire de 2,0 seulement au 80e jour en semis à 30 cm avec 33 pieds au mètre carré et un maximum de 2,7 vers le 100e jour (31).

Évalués en millimètres d'eau par jour, les besoins atteignent des valeurs maxima de 13,1 mm pour un cultivar nain, 14,9 mm pour un grand indica (17) mais la moyenne est de 6 à 8 mm (11, 39) avec quelquefois des valeurs assez basses en riz pluvial de 3,92 à 4,05 mm (11).

A Bouaké, les besoins en eau sont évalués à 50 % de l'ETP sur 12 jours pendant la phase végétative soit 25 mm environ, et à l'ETP sur 6 jours pendant la phase reproductive soit 30 mm d'eau.

Une valeur moyenne de 6 mm avec un indice foliaire de 4 correspond à 1500 ml d'eau par jour par mètre carré de surface foliaire soit 0,15 ml par cm², ou à raison de 200 cm² par gramme de limbe, environ 30 ml/g limbe/jour en admettant que l'évaporation du sol est négligeable avec un indice foliaire de 4,0.

Il n'est pas certain que le riz pluvial atteigne toujours un indice foliaire de 4,0 en approchant de l'épiaison.

La transpiration peut être rapportée à la matière sèche de la plante au moment de la mesure. Une estimation à 5 mg/g matière sèche/jour (44) paraît faible, car à partir de l'expérience de CHOPART et NICOU (8) au stade épiaison-maturation, on peut calculer une valeur de 19 ml/g de matière sèche/jour, exclue la panicule, valeur que nous avons retrouvée dans nos propres expériences : 20 à 26 ml/g matière sèche par jour.

La matière sèche du pied de riz peut être répartie de façon sensiblement différente selon la période du cycle. C'est ainsi que pour des plants en semis serré, le rapport limbe vert/chaume est de 1,50 vers le 25e jour, de 1,0 à 1,2 vers le 50e jour, de 0,70 vers le 70e jour et seulement de 0,40 à l'épiaison pour un cultivar de hauteur modérée. Il est donc utile de préciser si les mesures ont lieu ou non avant montaison.

Pour la feuille la transpiration serait de 0,1 à 0,15 g/cm²/jour (36) soit pour une masse surfacique de 4-5 mg/cm² de 20 à 30 ml par gramme de matière sèche par jour. Dans nos expériences en serre, la transpiration était de 36 à 40 ml/g limbe par jour sur des plantes en tallage, et ce taux était plus élevé pour des plantes jeunes de 20 jours. En outre la transpiration pendant les heures diurnes sur plantes âgées se chiffrait de 3,5 à 4 ml/g limbe/heure et jusqu'à 5-5,5 ml/g limbe/heure pour des plants jeunes. Il s'agit de chiffres maxima car il n'y a pas d'ombrage entre feuilles (13).

Le gramme de chaume transpire 11 fois moins d'eau que le même poids de limbe, le gramme de panicule 6 fois moins. La transpiration pendant le jour représente 85% (77), 83 à 90 % (88) ou 84-95 % (36) de la transpiration en 24 heures. 40 à 60 % de la transpiration journalière se feraient à partir du limbe, 30 à 35 % des gaines et 15 à 20 % des panicules (77). Nos propres chiffres sont de 70 % pour les limbes, 18 % pour les chaumes et 12 % pour les panicules au moment de l'épiaison-floraison pour des rapports respectifs en poids de 21-58 et 21 %.

Il est connu que la transpiration diminue par unité de surface foliaire si l'indice foliaire augmente (78). Il existe des différences entre cultivars : ainsi les indica H4 et IR 8 ont une transpiration plus forte que le cultivar japonais Tachikara (85).

Quand la plante est jeune, la transpiration dépend de la croissance. Quand l'indice foliaire atteint 4 à 5, la transpiration dépend du climat car elle varie parallèlement à l'évaporation d'une couche d'eau libre (53). Ainsi la transpiration ou l'évapotranspiration augmente avec la radiation solaire journalière à chaque stade de croissance (54), avec l'élévation de température (77).

Il semble que les besoins en eau du riz pluvial pour sa transpiration sont à préciser en liaison avec la masse végétale existante et les conditions climatiques de la zone culturale de Côte d'Ivoire. En outre, les recherches pourraient également préciser s'il existe des différences variétales dans la transpiration.

21.2. L'équilibre masse aérienne/masse racinaire.

La perte d'eau par transpiration est compensée pour l'essentiel par l'absorption d'eau par les racines. Partant du fait qu'un système racinaire assure dans des conditions normales la vie d'une plante, il semble que les études d'équilibre entre partie aérienne et partie racinaire pour cerner les besoins réels n'existent qu'en nombre réduit.

En conditions culturales, les variations reconnues sont importantes. CHOPART et NICOU (8) indiquent que dans les sols le poids aérien y est en relation avec le poids des racines x selon l'équation $y = 8,4 x - 4,8$ c'est à dire que les racines représentent 12 % de la masse aérienne en moyenne. En fait, cette proportion serait de 12 à 31 % (7) ou de 11 à 24 % (74).

La proportion de racines serait plus importante pour le riz pluvial que pour les variétés de rizière au Japon (84), phénomène relevé également au Congo (61). Il est tentant de penser que pour un riz de terre ferme, un pourcentage faible de racines représente une meilleure adaptation au milieu, mais il ne semble pas que cela soit le cas (74).

En fait les proportions de partie aérienne et de racines semblent varier selon l'âge de la plante et selon les cas de sol. Ainsi dans nos expériences, pour une même variété et un même sol non tassé, le rapport masse aérienne/masse racinaire passe de 6,5 au stade 20 jours à 5,5 vers 40 jours. A 60 jours il varie de 1,5 à 5,5 et à l'épiaison, il est voisin de 3. Il est possible qu'en sol tassé, ce rapport soit plus faible.

Dans les sols légers, le développement des racines serait plus grand et la partie aérienne plus faible. Le poids des racines serait dans les sols sableux double de celui des sols argileux tandis que la partie aérienne serait inférieure de 20 % (61).

21.3. L'absorption d'eau par les racines.

L'absorption d'eau des racines compense les pertes de la transpiration. Elle va donc s'élever avec l'accroissement de la masse végétale aérienne jusqu'au moment où l'indice foliaire sera tel que la transpiration globale dépendra uniquement du rayonnement ou de la température. Si le rapport masse aérienne/masse racinaire reste constant, les racines pourvu qu'elles soient toutes en condition humide garderont toujours le même taux d'absorption. Si le rapport change, le taux d'absorption des racines variera également. Or, en période de sécheresse le rapport masse aérienne/masse des racines actives augmente. A partir de quelle valeur devient-il insuffisant ? Est-ce un rapport constant pour toutes les variétés ? L'âge des racines ou leur longueur jouent-ils un rôle sur leur taux d'absorption ?

Il semble indispensable de préciser le taux minimum de racines par rapport à la partie aérienne pour assurer une transpiration normale pour les variétés en essais.

2.2. Connaissance des mécanismes réglant la consommation d'eau.

Dans la perspective de la résistance à la sécheresse, il apparaît que trois mécanismes sont particulièrement intéressants à étudier. Tout d'abord, ce serait le maintien de l'absorption d'eau puis le transfert de l'eau aux parties aériennes, et enfin l'utilisation de l'eau.

22.1. Maintien de l'absorption d'eau.

L'absorption d'eau par les racines en cas de période sèche peut se maintenir si la plante a suffisamment de racines en profondeur et si leur capacité d'absorption reste à un niveau normal.

221.1. Importance de l'enracinement.

La représentation de l'importance de l'enracinement est assez diverse. La densité d'occupation du sol est exprimée soit en poids de racine par unité de poids ou de volume du sol, soit en longueur par unité de volume du sol (cm/cm^3). Dans les horizons superficiels, on trouve au minimum 0,5 g et jusqu'à 2,5 g de racines par dm^3 au moment de l'épiaison, alors qu'à 60 cm de profondeur la densité est 50 à 100 fois moindre (7). Pour les riz pluviaux, les longueurs de racine sont un peu supérieures à $3 \text{ cm}/\text{cm}^3$ de sol dans la couche 0-15 cm du sol, puis 1,7 à $2 \text{ cm}/\text{cm}^2$ dans la couche 15-30 cm pour descendre à $0,9 \text{ cm}/\text{cm}^3$ dans la couche 45-60 cm (32). Il est certain que la longueur de racine par unité de volume donne une meilleure représentation que le poids de racines si l'on considère l'exploration du sol et les différentes grosseurs de racines d'un pied de riz : racines principales fines comme les racines séminales, ou de grosseur moyenne, ou les plus récentes encore plus grosses, puis les racines secondaires. Pour un même pied, les racines secondaires représentent 6 fois la longueur des racines principales de moyenne grosseur.

Il importe de mesurer la quantité de racines dans le sol. Deux méthodes peuvent être employées, soit en prélevant des échantillons de sol contenant les racines, échantillons plus ou moins volumineux permettant ou non d'établir un profil spatial de l'enracinement après dégagement des racines, soit en essayant d'estimer l'activité racinaire à différents niveaux et d'établir une relation entre l'activité racinaire et la masse racinaire.

En Côte d'Ivoire, des expériences ont lieu pour estimer la masse racinaire à partir de l'emploi du phosphore radioactif. Il existe une relation masse-activité si l'on considère une large variation de la masse des racines (de 1 à 1000) et de nombreuses répétitions, mais il semble impossible d'établir une relation lorsque la variation des masses racinaires n'est pas très grande à cause d'un important coefficient de variation (70).

Il semble que l'absorption racinaire d'un élément soit plus forte par unité de racine si la quantité de racines est faible.

Par ailleurs, la densité racinaire varie fortement d'une année à l'autre pour une même variété (67).

Il existe une nette différence de répartition sur le profil racinaire selon qu'il s'agit de variétés irriguées à fort pourcentage superficiel ou de variétés pluviales avec une proportion plus élevée en profondeur (10, 21, 22, 40, 68) mais les différences paraissent plus faibles à d'autres auteurs (16).

Tableau de répartition en pourcentage du profil racinaire
(16, 21, 22, 40)

IRAT 1971 (21)			IRAT 1972 (22)			Le BUANEC (40)			GERMEK (16)		
Prof. cm	Sensible	Résistant	Prof. cm	Rizière	Pluvial	Prof. cm	Rizière	Pluvial	Prof. cm	Rizière en pluvial	Pluvial
0-10	55.2	28.1	0-10	62	42.4	0-8	73	46	0-5	72.0	72.1
10-15	14.5	18.4	10-20	17.6	18	8-16	13	19	5-10	17.1	13.8
20-30	12.3	17.8	20-30	6	12.1	16-24	8	14	10-15	6.1	6.0
30-40	12.1	15.3	30-40	5	6.1	24-32	6	20	15-25	2.2	2.1
40-50	5.6	12.5	40-50	3.6	5.2				25-35	1.0	1.8
			50-60	2.0	5.2				35-55	0.7	1.9
			60-90	2.6	8.5				55-115	0.8	2.3

Même entre deux variétés pluviales, de fortes différences apparaissent : 63-83 au dessous de 20 cm de profondeur a quatre fois plus de racines qu'IRAT 9 (67) - IRAT 13 a la même répartition de racines que 63-83 dont il est issu par mutation, mais sa masse totale lui est inférieure (66) bien qu'il soit plus résistant à la sécheresse.

La mesure de la profondeur d'enracinement et de l'importance relative en profondeur a été faite systématiquement en Côte d'Ivoire à l'aide du radioisotope ^{32}P (67-69). Sont particulièrement actifs en profondeur Pratao, IAC 1246, LAC 23 et 63-83 tandis que Moroberekan, IRAT 13 et IRAT 8 le sont peu. Il semblerait que la masse racinaire entre 40 et 60 cm de profondeur soit plus intéressante pour détecter les variétés les plus actives.

Tableau : Radioactivité de la partie aérienne en coups par minute :

Radioactivité apportée à 60 cm de profondeur	Radioactivité apportée à 95 cm de profondeur
IRAT 13 : 658	LAC 23 : 121
Pratao : 358	Pratao : 86
63-83 : 327	63-83 : 28
Lac 23 : 254	IRAT 9 : 18
Moroberekan : 66	IRAT 13 : 17
IRAT 9 : 63	Moroberekan : 10

Tableau de la densité d'enracinement entre 40 et 60 cm de profondeur en mg/dm^3 de sol

Variétés précoces	13 à 5	: 26,7 mg/dm^3
	Dourado précoce	: 15,2
Variétés moyennes	Iguape Cateto	: 23,2
	Blue bonnet	: 22,5
	63-83	: 20,1
	Makouta	: 10,9
Variétés tardives	Lac 48	: 32,0
	Murungakayan	: 26,7
	Yancaoussa	: 26,6
	Gbanti	: 24,0
	Pati blanc	: 23,7
	Palawan	: 14,6
	Moroberekan	: 11,9

Les variétés tardives ont un grand développement et la profondeur ou la densité d'enracinement ne seraient intéressantes qu'en étant dissociées d'un développement végétatif très important. Actuellement un enracinement profond ne paraît pas supérieur à un enracinement moyennement profond.

Les expériences en pots supprimeraient le facteur profondeur dans les essais de résistance à la sécheresse (66) mais il semble que d'autres variations soient introduites simultanément.

Il a été signalé que des systèmes racinaires fins sont sensibles au facteur physique alors qu'un système racinaire grossier tel Iguape Cateto pénètre bien les horizons à forte cohésion (20). De même, Moroberekan réagit mal à une amélioration du profil cultural au contraire d'une variété améliorée comme IRAT 13.

Il existerait une liaison entre un tallage faible et l'enracinement. (LEDUC). La liaison racine profonde et épaisse serait cassée dans les mutants 327 A et 65 cultivés à Bouaké (Comm. orale JACQUOT).

221.2. Enracinement profond et partie aérienne.

MEGURO en 1961 (39) signale au Japon une corrélation entre la résistance à la sécheresse et le rapport poids partie aérienne/poids de racines au delà de 30 cm de profondeur. L'IRRI établit un graphique montrant que les variétés résistantes à la sécheresse ont plus de 60 mg de racines profondes au delà de 30 cm par gramme de parties aériennes (29-57).

Ainsi les cultivars Rikuto Norin 21, Azucena, OS4, E425, Palawan, Dular, Azmil, M1-48 ont de 100 à 120 mg de racines profondes par gramme de tige, tandis que le maïs en aurait 146 et le sorgho 209 (28).

Il semble, au vu de la liste des variétés, que ce caractère considéré seul ne parait pas suffisant pour faire une discrimination des variétés résistantes à la sécheresse.

D'après l'IRRI, les différences spécifiques sont élevées. Tandis qu'*O. glaberrima* aurait de 14 à 62 mg de racines profondes par gramme de partie aérienne, *O. sativa* varierait de 5 à 106 mg et *O. punctata* de 101 à 114 (30).

Si une amélioration des connaissances pour l'intérêt de ce rapport ou d'un rapport analogue permettait de lui accorder plus de considération, il serait intéressant de déterminer le mécanisme qui donne un enracinement de profondeur plus important à certaines variétés. Il y a probablement l'importance de la végétation aérienne en liaison avec la longueur du cycle. Mais ne faudrait-il pas tester également la force de pénétration des racines, leur géotropisme ou leur hydrotropisme, ainsi que leur possibilité de croissance en milieu confiné ?

221.3. La capacité d'absorption des racines.

Il a déjà été montré que l'assèchement du sol est proportionnel à la quantité de racines existant à chaque profondeur par comparaison entre riz de rizière (IR 20) et riz pluvial (OS4) par exemple (30).

La capacité d'absorption des racines en présence d'eau libre peut atteindre des valeurs élevées, de l'ordre de 30 ml/g racine/heure diurne ce qui correspond à presque 300 ml/g racine/jour. Dans le sol, les résultats que nous connaissons de CHOPART et NICOU donnent un maximum de 110 ml/g racine/jour à capacité au champ et pour une variété différente. En réalité, en comparant rationnellement ces résultats, il apparait que la capacité racinaire d'absorption est la même dans les deux cas par unité de rapport limbe/racine soit un peu plus de 3 ml/g racine/heure. La différence réside dans le fait que dans le sol, les racines peuvent contenir un rapport limbe/racine de 1,5 au maximum tandis que dans l'eau ce rapport peut s'élever jusqu'à 5 sans inconvénient. Il y aura évidemment à tester les différences qui peuvent apparaître entre variétés.

Il ne faut pas oublier que les produits comme l'hydrogène sulfuré, l'acide butyrique, le cyanure de sodium, le nitruure de sodium provoquent une inhibition de l'absorption d'eau de 46 à 67% (47), l'acide butyrique en retardant le développement des racines, les trois autres composés en bloquant des oxydases terminales dans la chaîne d'oxydation du cycle tricarboxylique (catalase, peroxydase, polyphenoloxydase). Il y a une relation définie entre l'activité racinaire et le taux d'assimilation du carbone (45).

221.4. La force de succion.

Pour plusieurs éléments minéraux, il est connu qu'il y a des différences variétales sensibles dans l'absorption d'un élément se trouvant en faibles quantités dans le sol. Il en est vraisemblablement de même pour l'eau et des assèchements différents de sol ont été notés.

Une méthode couramment employée est l'utilisation de solution de pression osmotique connue, soit au moment de la germination (82, 60), soit à un autre moment de la vie de la plante. Un prétraitement des grains à la kinétine peut augmenter germination et croissance du jeune plant dans des solutions à forte pression osmotique (64). Le niveau optimum de pression osmotique de la solution pour l'évaluation de la tolérance à la sécheresse serait supérieur à 6 atmosphères (60).

Certains essais tentent de relier l'absorption de l'eau à celle du phosphore. Un rapport existe entre la radioactivité absorbée et la succion due à une variation concomitante dépendant d'un facteur commun. (REYNIERS).

Il faudra tester si les racines de certaines variétés peuvent fonctionner à des tensions d'humidité plus élevées que d'autres, et rechercher ensuite quel facteur est en cause.

221.5. Activité d'absorption compensatoire.

Pendant une période de sécheresse, il peut survenir des pluies assez faibles qui s'enfoncent peu profondément. Des études ont été entreprises par PICARD pour mesurer la reprise d'activité du système racinaire superficiel après une période de sécheresse.

Un autre cas est le problème de la récupération nocturne. Nos travaux ont montré qu'en cas de sécheresse, l'absorption d'eau pendant les heures diurnes ne représentent que 50 à 65% de l'absorption journalière contre 75 à 80% en conditions normales. C'est donc que l'absorption dans la nuit se poursuit à un rythme plus élevé pour rehydrater les parties de la plante encore vivantes.

La récupération à partir de la rosée serait aussi une possibilité qu'étudie M. JACQUINOT à Montpellier pour l'IRAT.

22.2. Transfert de l'eau.

Il est remarquable que des plantes résistantes à la sécheresse se caractérisent par quelques grosses racines ou un pivot s'enfonçant profondément dans le sol tels vignes, bougainvillier, luzerne, stylosanthes, certains cotonniers (86).

Il paraît donc utile de considérer la grosseur et le nombre de racines profondes, de caractériser de façon précise le système racinaire dans des conditions standardisées de croissance. Enfin l'importance respective du système aérien et du système racinaire paraît utile à surveiller dans ce problème du flux d'eau vers les parties aériennes.

222.1. La grosseur des racines.

La résistance à la sécheresse a paru liée à une forte proportion de racines épaisses (9, 24, 28) densément formées à la couronne.

L'IRRI a établi un graphique reliant la résistance à la sécheresse au diamètre des racines, mais la corrélation est faible ($r = 0,54$). (27).

Il y a différence entre riz de plateau et riz de rizière: (63).

Les mesures sur le diamètre des racines sont assez nombreuses, certaines ayant même servi avec la couleur à établir un classement sur 280 cultivars (50).

Diamètre en millimètre

Variété	Moyen	Maximum	Référence
OS4	1.3	2.0	(27)
OS4	1.45	1.75	(25)
OS6	1.65	2.0	(25)
M1-48	1.25	1.55	(25)
Rikuto Norin 21	1.30	1.5	(25)

RT 1095 a aussi des racines épaisses (9).

Le diamètre semble varier selon la date du semis et oscille entre 1,0 et 1,5 mm.

Le diamètre moyen des racines augmente avec l'âge des plants (62).

La proportion de racines principales est de 5% pour Iguape Cateto, Taichung Native 1, IR 8 mais de 9% pour 63-83 (7). Les variétés 63-83 et Iguape Cateto sont définis comme ayant un enracinement grossier pénétrant bien les horizons à forte cohésion. Il semble bien que selon la variété, le travail du sol modifie les caractères des racines : la longueur croît toujours avec le labour mais le diamètre reste stable (63-83), croît également (Iguape Cateto) ou diminue (TN 1 et IR 8) (52).

Le stress hydrique augmenterait le diamètre et la longueur des racines de certaines variétés tel OS4 et Palawan (84).

Dans cette caractérisation de la grosseur des racines, il semble que l'on puisse considérer la proportion de racines épaisses, celle des courtes aux longues, la ramification, le diamètre des racines longues, la proportion des racines principales aux racines secondaires, et la variation selon les conditions culturales ou expérimentales.

222.2. Les vaisseaux du xylème.

Le nombre de faisceaux du bois dans la zone centrale de la radicelle est de 5 à 6 dans les variétés aquatiques, de 7 et plus pour les variétés de culture sèche (2).

L'épaisseur plus grande des racines des variétés pluviales entrainerait une moins forte résistance aux flux d'eau dans les faisceaux (40).

La proportion des sections des vaisseaux du xylème à celle de la racine est en moyenne de 10% pour des plantes herbacées. D'après MORI (1972), il existe une corrélation étroite entre le diamètre moyen des racines et le diamètre des faisceaux du bois (62).

Il ne semble pas que l'état sanitaire de la racine soit à prendre en considération pour le riz pour la conduction de l'eau dans le xylème. D'après une communication orale, le cultivar IAC 25 à Madagascar dont les racines étaient coupées partiellement pour des travaux de fécondation mourait alors que les autres pieds n'étaient pas touchés.

222.3. Résistance des racines au transfert de l'eau.

Dans les racines, la résistance au transfert de l'eau est 17 fois plus grande pour la plante poussée en sol non inondé, car dans les sols inondés, le cortex des racines est dégradé et offre très peu de résistance au transfert de l'eau (81).

Pour tester la résistance au transfert de l'eau dans les vaisseaux, si elle existe, il est nécessaire de travailler avec un même rapport du système aérien aux racines qui rend comparable les taux d'absorption des racines qu'elles soient plus ou moins éloignées de la base des tiges (13).

Il est possible que la rectitude des racines ou la régularité de leur diamètre joue un rôle dans cette résistance au transfert de l'eau.

Il a été montré que l'application d'une constriction sur le centimètre supérieur des racines par pression d'air de 0 à 16 bars réduit la croissance des racines et des parties aériennes sur des graminées comme maïs, avoine, agropyron (87).

222.4. La proportion de racines aux talles.

Comme il a été insisté sur la proportion des limbes aux racines pour mesurer l'absorption de ces dernières, pour le flux d'eau, il est sans doute intéressant de rapporter l'importance du caractère mesuré de la racine telle la section individuelle ou totale à une fraction du système aérien, soit la talle, soit la surface foliaire, soit le poids total.

La section de raccordement des racines aux tiges calculée en mm^2 à partir du diamètre moyen multiplié par le nombre de racines augmente avec l'âge du plant mais donne un classement variable des variétés selon qu'elle est rapportée à la plante ou à la talle (62) avec des écartements 30 x 30 cm.

Variété	43e jour		92e jour	
	Section totale en mm^2	Section par talle	Section totale	Section par talle
Moroberekan	26.3	3.87	195.3	21.70
IR 5	69.4	1.88	237.7	4.85
2243	4.9	0.59	173.5	11.19

Pour IRAT 13, à densité beaucoup plus forte, la section de raccordement variait de 18 à 23 mm^2 par pied avec une trentaine de racines.

222.5. Le flux d'eau.

D'après nos travaux, pour des racines trempant dans l'eau libre, le flux d'eau varie de 80 $\text{mm}^3/\text{mm}^2/\text{heure}$ diurne pour une plante entière à 150 $\text{mm}^3/\text{mm}^2/\text{heure}$ diurne. Si la plante dispose seulement d'une partie de ses racines, le flux peut aller jusqu'à 275 $\text{mm}^3/\text{mm}^2/\text{heure}$ diurne sur des jeunes plants de 3 semaines (13).

22.3. Caractérisation morphologique et fonctionnelle des racines.

Pour résumer ce chapitre sur la connaissance des mécanismes réglant l'absorption d'eau par les racines, il semble que de nombreuses mesures soient encore à faire sur les variétés intéressantes pour mieux caractériser l'enracinement d'une variété et son adaptation au sol. La variabilité enregistrée avec les caractères du sol nécessite une étude plus poussée des adaptations variétales à des conditions difficiles de fonctionnement et surtout de déterminer exactement les paramètres expérimentaux pour obtenir des comparaisons intéressantes.

Il est évident que ces caractères anatomiques ou morphologiques ou même physiologiques doivent être reliés aux caractères d'absorption et de transpiration des plantes lors d'expérimentations précises s'intéressant à un ou plusieurs caractères dans des conditions se rapprochant du mieux possible des conditions naturelles.

Dans les expériences actuelles ou datant de quelques années, il semble que les conditions expérimentales aient méconnu les causes d'erreur introduites dans le fonctionnement des racines dans le but de faciliter ou de hâter la mise au point d'expériences.

La caractérisation morphologique des racines doit tenir compte des différents types de racines trouvées sur un pied et si possible comprendre leur raison d'être. Ainsi trois types de racines adventives se distinguent sur un pied de riz : des racines jeunes de gros diamètre (0,92 mm) avec peu de racines secondaires, des racines âgées plus longues qui sont soit moyennement épaisses (diamètre 0,62 mm), soit fines comme les racines séminales (14). Enfin la proportion de racines secondaires varie selon la nature ou la richesse du sol.

22.4. Utilisation de l'eau.

Au Japon, la résistance à la sécheresse a été testée globalement au champ (39). De même, en Côte d'Ivoire, dès 1975, REYNIERS s'est préoccupé de déterminer des variétés à résistance globale à la sécheresse.

Cette résistance globale peut provenir soit de caractères avantageux de la racine, soit de caractères favorables de la partie aérienne, soit encore d'un équilibre intéressant entre les fractions racinaires et aériennes de la plante.

Avant donc d'établir des corrélations entre tel caractère et la résistance à la sécheresse, il est peut être préférable de reconnaître pour une variété si la résistance peut venir de la partie racinaire ou de la partie aérienne.

La partie aérienne aura des caractères intéressants si globalement l'utilisation de l'eau donne un meilleur rendement de la plante. Il est ensuite possible de rechercher le ou les caractères de la partie aérienne qui favorisent cette utilisation plus efficiente de l'eau.

Le caractère d'efficacité de l'eau peut se mesurer soit par le coefficient de transpiration, soit par la vitesse de croissance pendant la phase végétative. Pendant la phase de pré-épiaison, il s'agit de sensibilité des organes reproductifs. Pendant la phase de maturation, il faut tenir compte à la fois de la photosynthèse instantanée et des possibilités de migration de matière sèche accumulée pendant la phase végétative.

224.1. Coefficient de transpiration.

Le coefficient de transpiration donne une évaluation globale de la quantité d'eau nécessaire pour former un gramme de matière sèche soit pour l'ensemble du cycle, soit pour une partie. Les valeurs d'ensemble de ce coefficient sont les suivantes au Japon (39).

	Culture pluviale	Culture en rizière
Variétés pluviales	287-313	300-304
Variétés rizières	281-300	261-300

Il y a donc des valeurs un peu plus fortes pour les variétés pluviales en moyenne. L'efficacité de l'eau augmente avec l'indice foliaire et serait maximum pour des valeurs de 4 à 5.

D'autres auteurs donnent des valeurs plus basses pour le riz de rizière avec seulement 230 à 270 (79), ou des valeurs beaucoup plus élevées avec 666 (41). Ce coefficient serait de 401 pour un cultivar précoce (Pebifun) et 766 pour un cultivar tardif (Seraup 50) (44). Cette observation est répétée pour le cultivar RIA à cycle court avec un coefficient de 227 contre 406-461 pour les cultivars à cycle long Subang Intan 16 et Radin Ebos 33 (76). Dans des essais pour le riz pluvial, des résultats de 300-362 sont signalés (35).

Les résultats sont donc très différents selon les auteurs et les lieux, et une vérification pour les cultivars de Côte d'Ivoire peut se concevoir. Avec une sécheresse correspondant à une transpiration réduite à 50% du témoin bien arrosé, les coefficients de transpiration sont les suivants (66) :

	par gramme de matière sèche formée	par gramme de grain formé
IRAT 10	384	749
IRAT 13	327	779
63-83	304	854
Palawan	301	915

224.2. La croissance en matière sèche.

Il s'agit de mesurer la croissance en matière sèche pendant une période donnée, éventuellement avec un niveau déterminé de sécheresse. Mais il est intéressant de rapporter cette quantité à un niveau initial, et l'on peut obtenir différentes mesures, soit la vitesse de croissance relative, soit le taux d'assimilation nette. Cette mesure a été rarement utilisée. On peut évidemment la comparer à celle d'un témoin.

A partir des mesures de REYNIERS dans la période entre initiation paniculaire et épiaison, il a été possible de calculer que les plantes soumises à sécheresse avaient eu une croissance représentant en pourcentage de la croissance du témoin les valeurs suivantes selon la variété :

Morobérékan	: 84 à 98 %
IRAT 13	: 69 à 73 %
I Kong Pao	: 69 %
Palawan	: 23 à 68 %
63-83	: 36 à 42 %

Ces différences sont suffisamment importantes pour justifier des mesures de croissance sur les variétés afin de les classer, et avec des expérimentations faites dans ce but.

Ces différences de croissance sont intéressantes si elles se répercutent sur la production de grain. Il est certain qu'une croissance en matière sèche un peu moins forte peut être meilleure pour la récolte si la variété a un rapport grain/paille supérieur. Par rapport au témoin, REYNIERS obtient en nombre de grains totaux :

IRAT 13	: 65 à 77 %
63-83	: 65 à 71 %
Mutant 50/4	: 70 %
Morobérékan	: 61 à 69 %
Palawan	: 60 à 81 %
Iguape Cateto	: 47 à 54 %

Il n'y a pas de relation directe entre la croissance relative en matière sèche et le pourcentage de grains totaux notamment pour 63-83 et Morobérékan, le premier perdant peu de grains, le second beaucoup par rapport à IRAT 13 dont les deux pourcentages sont voisins. Il serait bon d'éclaircir ces relations.

22.5. L'économie de l'eau.

Si l'on constate par une mesure globale, une meilleure utilisation de l'eau en période de sécheresse, il peut être possible de rechercher alors le ou les caractères de la plante qui favorise l'efficacité supérieure de l'eau. De ce point de vue ont été étudiés abondamment les différents passages de l'eau au cours de la transpiration.

225.1. Résistance à la diffusion.

La résistance à la diffusion à saturation n'est que de 2 à 3 $\text{sec}\cdot\text{cm}^{-1}$ et s'élève à partir de 4-5 bars. A 12-13 bars, elle est de 5 à 17 $\text{sec}\cdot\text{cm}^{-1}$ au stade végétatif et 11 à 33 au stade reproductif. Certaines variétés ont de fortes différences d'un stade à l'autre, tandis que les autres ne varient presque pas (27).

La sécheresse augmente la résistance à la diffusion de 3-7 $\text{sec}\cdot\text{cm}^{-1}$ à saturation jusqu'à 30 $\text{sec}\cdot\text{cm}^{-1}$ à 11 bars de tension (28).

225.2. La résistance stomatale.

En présence de déficience hydrique (-6,5 bar) les valeurs rapportées vont de 6,9 à 12,4 $\text{sec}\cdot\text{cm}^{-1}$ et de 3,5 à 3,9 $\text{sec}\cdot\text{cm}^{-1}$ sans déficience hydrique. Les cultures tolérantes montrent les plus hautes valeurs. A déficience de -10,8 bars, la résistance stomatale passe de 2,2 à 29,3 $\text{sec}\cdot\text{cm}^{-1}$ (25,26).

225.3. La transpiration cuticulaire.

C'est la principale perte d'eau quand les stomates sont fermés. La résistance cuticulaire varie de 30 à 68 $\text{sec}\cdot\text{cm}^{-1}$ pour différentes variétés de riz (27,89). Les riz tolérants à la sécheresse présentent des valeurs élevées ou des valeurs basses de la résistance cuticulaire.

225.4. L'épaisseur des feuilles.

Elle ne paraît pas prise en considération pour ce mécanisme d'économie de l'eau par rapport à la photosynthèse. Deux variétés tardives, Murungakayan et Lac 48 ont des feuilles épaisses avec une surface spécifique de 120-150 cm²/g contre 180-206 pour 63-83, IRAT 13, Morobérékan, Palawan, Iguape Cateto. Cette comparaison s'effectue au niveau des deuxième ou troisième feuille. IRRI 116 a des feuilles très minces (221 à 252 cm²/g.).

22.6. Répartition de la matière sèche.

Même si la plante augmente de poids pendant la période de sécheresse, il n'est pas dit que sa répartition se fera au mieux des intérêts de la récolte : la plante peut soit accroître sa partie aérienne ce qui exigera d'autant plus d'eau si la sécheresse continue sauf s'il s'agit des grains, soit augmenter son système racinaire pour mieux explorer le sol à la recherche de l'eau.

Cette répartition de la matière sèche peut faire l'objet d'une étude.

REYNIERS a noté qu'IRAT 13 maintient une croissance paniculaire mais pas de croissance végétative alors que 63-83 aurait plus de croissance végétative et racinaire. De même le développement des racines de Palawan se poursuit alors que celui des racines d'IR 5 est stoppé (24). D'autres différences entre cultivars dans la croissance relative des tiges et des racines ont été notées (38). La variété I Kong Pao développe aussi ses racines pendant la sécheresse (23).

L'allongement des feuilles s'arrête seulement 17 jours après l'installation de la sécheresse et il y a une diminution nette de l'épaisseur de la tige (23). Ainsi le diamètre des tiges baisse de

5,78 à 4,24 mm	pour Morobérékan
5,38 à 4,36 mm	pour Palawan
5,23 à 4,40 mm	pour 63-83
5,05 à 4,03 mm	pour Iguape Cateto
4,31 à 4,16 mm	pour I Kong Pao.

Un autre problème est la migration possible de matière sèche vers les grains pendant la période sèche. Cette migration de produits emmagasinés dans les chaumes pendant la période végétative existe, au moins pour certaines variétés. Il sera intéressant de savoir si cette migration reste possible en dépit d'une période de sécheresse pendant la maturation et si elle commence au même niveau d'accumulation dans la tige.

Pour des périodes de sécheresse se situant au moins 18 jours avant l'épiaison, le rapport grain/paille reste égal à celui du témoin mais il y a moins de grains par panicule, proportionnellement à la diminution de grosseur des pailles.

La sécheresse pendant la montaison diminue le nombre de grains et le pourcentage de grains pleins mais ne modifie pas le nombre de panicules. La sécheresse augmente le rapport limbe/tige. En cas de sécheresse, IRAT 13 au contraire de 63-83 garde le même nombre de panicules par mètre carré. Ce sont les talles secondaires qui se maintiennent au lieu de dépérir partiellement (67).

22.7. La sécheresse à proximité de l'épiaison.

En général, la période de sécheresse appliquée à cette époque, n'influe pas sur la croissance de la paille qui est pratiquement terminée, ni sur le nombre total de grain qui est fixé. C'est uniquement le pourcentage de grains vides qui augmente. Cette période s'étend d'une quinzaine de jours avant épiaison à une même durée après épiaison. Les résultats de REYNIERS montrent une sensibilité différente des variétés par rapport à la date d'épiaison et en intensité. Nous pouvons résumer ainsi les observations.

Variété	% grain vide	Période de sensibilité	
		Jours à épiaison	
		- avant,	+ après
Morobérékan	25	+ 2 à + 12	, 1/2 sensible -18 à +4
Mutant 50/4	33		
IRAT 13	34-41	- 9 à + 5	
63-83	36-60	+ 1 à + 15	
Iguape Cateto	46		
I Kong Pao	46	- 2 à + 12	
Palawan	54-58	-13 à + 1	
Zakpalé (glaberrima)	85	Floraison	

Pour d'autres essais avec période de sécheresse sur la montaison et la pré-épiaison, les pourcentages de grains vides obtenus par REYNIERS sont :

IRAT 13	: 13 à 44 %
Mutant 50/4	: 17 à 40 %
Morobérékan	: 16 à 46 %
Palawan	: 15 à 50 %
63-83	: 18 à 50 %
Iguape Cateto	: 26 à 50 %
I Kong Pao	: 54 %

Ce pourcentage de grains vides correspond à une observation globale comme le rendement pour un essai de fumure. Il paraît nécessaire d'expérimenter avec des périodes courtes de sécheresse et de faire des observations détaillées sur la division réductrice des cellules mères du pollen, la fertilité du pollen et le nombre de grains de pollen, puis sur les conditions de fécondation et enfin le remplissage du grain. Ce n'est qu'avec des observations

aussi précises qu'il sera possible de chiffrer les possibilités de chaque variété à chaque stade. On pourra ensuite prendre des périodes de sécheresse plus longues pour tester l'effet globale, en accumulant les observations de chaque stade, l'un après l'autre.

2.3. Les effets de la sécheresse.

Lors d'une période sèche, les plantes présentent diverses manifestations de souffrance qu'il est possible de mesurer. Ces symptômes sont d'ampleur variable selon les variétés, et ils correspondent à des mécanismes biologiques d'adaptation qu'il sera utile de connaître, ou ils provoquent des modifications dont l'effet se fait sentir jusqu'en fin de cycle cultural et qu'il est nécessaire d'évaluer.

La première manifestation est la fermeture des stomates, puis un déficit hydrique, puis le dessèchement des tissus. Ce dessèchement est progressif, et plusieurs problèmes peuvent se poser à mesure qu'il avance : stabilité de la chlorophylle, accumulation de proline. Au dernier stade, il est possible de mesurer l'importance relative des tissus morts.

Enfin la plante a d'autres réactions comme l'arrêt de croissance ou de développement qui conduit à l'observation des temps de latence.

23.1. Les mesures de l'état hydrique et de l'ouverture des stomates.

Ces mesures ont pour but de chiffrer l'importance du déficit hydrique ressenti par la plante ou de mesurer ses réactions à la sécheresse.

231.1. Mesure de fermeture des stomates.

Elle peut se faire soit par la méthode de MOLISH, soit par observation d'un film au collodion détaché de la face de la feuille et portant les empreintes des stomates. La fermeture des stomates n'arriverait que s'il ne restait que 33 % de l'eau extractible dans le profil 0-60 cm (capacité au champ - profil sec) (31). Les stomates sont fermés à 82-88 % si le potentiel hydrique de la deuxième feuille est à -12, -15 bars.

231.2. Mesure de déficit hydrique.

Il peut s'agir soit du déficit de saturation hydrique, soit de son complément le taux d'hydratation relative.

Le déficit de saturation hydrique est égal à

$$\frac{\text{Poids à saturation} - \text{Poids frais initial}}{\text{Poids à saturation} - \text{Poids sec}}$$

tandis que le taux d'hydratation relative se mesure par

$$\frac{\text{Poids initial} - \text{Poids sec}}{\text{Poids à saturation} - \text{Poids sec}}$$

On obtient le poids à saturation en posant sur l'eau un disque de feuille de diamètre 8 mm pendant 24 heures à l'obscurité à basse température (1°C). Il y a un disque témoin pour évaluer les pertes par respiration en 24 heures. On peut arrêter la respiration par du cyanure de potassium et travailler à température plus élevée.

231.3. Mesure du potentiel hydrique.

Il peut se faire avec une bombe à pression. Les feuilles du sommet ont un potentiel plus bas que celles situées près du sol (55).

231.4. L'enroulement des feuilles.

Il s'agit d'une manifestation de défense de la plante retardant la dessiccation de la feuille(1). Avec l'arrivée de l'eau, les feuilles étalent à nouveau avec parfois une nécrose de l'extrémité des feuilles si la sécheresse a été sévère (20). Au début, l'enroulement avait été pris pour une marque de sensibilité à la sécheresse car on notait un enroulement modéré des feuilles pour les variétés résistantes (Agbedé, Miltex, M1-48, Peta) (24). Il semble abandonné comme caractère significatif. On recherche simplement la plasticité dans les deux phases d'enroulement et de déroulement (6) ce qui désavantage les riz à feuille recourbée (1).

L'enroulement et le début de flétrissement des feuilles auraient lieu à 90 % d'hydratation relative de 9 à 16 jours après le début de la sécheresse.

23.2. Mesures de dessèchement.

Il s'agit de mesurer les tissus qui meurent ou ceux qui subsistent lors d'une période de sécheresse, aussi bien leur importance totale que l'ordre de destruction sur la plante.

Normalement les vieilles feuilles sont les premières atteintes du haut et du bord vers le bas avec en précédent un enroulement progressif. Pour estimer la sensibilité à la sécheresse, on détermine sur 30 talles le pourcentage de ceux ayant la troisième feuille à partir du sommet desséchée à plus de 50 %..Il faut prendre garde à une interaction avec la piriculariose (65).

Il peut y avoir mort de certaines talles (9,71). Les variétés précoces sont très affectées par la sécheresse pour le tallage et on constate jusqu'à 50 % de talles mortes (67).

Quelles sont les relations entre les quantités de matière verte restant vivante et les possibilités de fourniture en eau ?

La reprise et le rendement ne sont pas proportionnels au nombre de feuilles vertes restantes. Le coefficient de reprise est mesuré par la différence entre le pourcentage de feuilles mortes 13 jours après la reprise de l'irrigation et celui du jour de la fin de sécheresse (23). Le coefficient de reprise est positif chez 63-83 et I Kong Pao et négatif chez Iguape Cateto, 63-104, OS10 - Morobérékan perd beaucoup de feuilles nécrosées tandis qu'IRAT 13 conserve ses feuilles comme beaucoup de variétés IRRI (REYNIERS).

On estime que les variétés ayant plus de 80 % de dessiccation des feuilles ne peuvent reprendre et meurent (27), alors qu'à 40 %, il y a une bonne reprise après la fin de sécheresse au stade végétatif (28).

Peut être une observation attentive et expérimentale serait-elle nécessaire pour savoir si des conditions naturelles et des conditions artificielles de sécheresse donnent les mêmes effets.

23.3. Modifications de la composition tissulaire.

Les modifications de composition les plus souvent rencontrées à propos de la sécheresse sont l'accroissement du taux de proline, et la stabilité de la chlorophylle. Il n'y a pratiquement pas d'étude sur la composition des parties desséchées par rapport aux parties fraîches.

233.1. Stabilité de la chlorophylle.

La sécheresse diminuerait beaucoup la teneur en chlorophylle des feuilles (59). Les glumes peuvent perdre également de la chlorophylle à la floraison (26).

233.2. Accroissement du taux de proline.

Il avait été noté que les Aristidées pérennes progressent dans les zones d'aridité si leur déséquilibre polygénique conduit à un accroissement de la synthèse de la proline (88). La modification du taux de proline apparaît avec les changements de salinité ou d'humidité. Les déficits hydriques sont associés avec une augmentation totale des amino-acides, glutamine et asparagine et surtout une augmentation marquée en proline, observée également sur feuille excisée pendant le flétrissement (56).

Dans la deuxième feuille du sommet, le taux de proline reste constant si l'humidité est convenable pendant tout le cycle. L'augmentation du taux de proline se produit sur des segments de feuille en contact avec une solution nutritive à différent potentiel pendant 24 heures (27). Le taux normal de proline paraît voisin de 50 µg par gramme de feuille fraîche et peut aller jusqu'à 7 mg/g frais sous forte déficience hydrique. Le taux de proline peut augmenter jusqu'à 79 et 146 fois le taux normal si la tension hydrique du sol est suffisamment élevée (14 bars). Le pourcentage de feuilles desséchées est d'autant plus faible que leur taux de proline est plus élevée jusqu'à 25-30 mg de proline par gramme de feuille sèche (29). Toutefois aucun effet net sur le rôle de la proline pendant la sécheresse n'a été mis en évidence (28).

Le chlorméquat (cycocel) en pulvérisation foliaire atténue les augmentations d'amides dans les feuilles pendant une déficience hydrique, en même temps qu'il diminue le déficit interne de saturation hydrique (58).

On signale que normalement la proline diminue dans les feuilles au moment de la mitose réductrice pendant la formation des cellules-mères du pollen et augmente après épiaison. En parallèle, le pollen a un taux élevé de proline (73), laquelle serait donc transférée dans la panicule aussitôt sa synthèse.

233.3. Autres modifications de composition.

Les autres modifications de composition qui ont été signalées ont trait aux sucres, à l'acide ascorbique, aux enzymes et à l'acide abscissique.

Le sucre des tiges prédomine sous forme non réduite dans le cultivar Lalnakanda 41 résistant à la sécheresse et sous forme réduite dans le cultivar C0-13 susceptible (5).

Sur 120 échantillons de riz, la résistance à la déshydratation et à haute température est mesurée par la méthode de chemiluminescence photoinduite. Ce niveau de chemiluminescence varie avec la teneur en acide ascorbique des variétés, lequel déterminerait ainsi le niveau de résistance à la sécheresse (83).

Dans les parties aériennes de plantes soumises à une déficience hydrique croissante, l'activité des isoenzymes peroxydase diminue plus dans les variétés sensibles à la sécheresse (42). Il y a diminution d'activité de la ribonucléase dans les racines, augmentation d'activité des protéases dans les tiges dans la variété résistance (43).

Enfin l'acide abscissique qui est considéré comme un inhibiteur de croissance est synthétisé en cas de manque d'eau (3).

23.4. Modification dans le développement.

Il s'agit essentiellement d'un retard dans l'apparition de l'épi appelé parfois temps de latence. L'importance de ce retard est très variable. La sécheresse installée du maximum de tallage à émergence de la panicule retarde celle-ci d'une semaine (72). Le retard à floraison peut atteindre 10 à 22 jours selon la période et l'importance de la sécheresse dans les expériences en pot (37). S'il y a sécheresse 15 à 20 jours avant épiaison, celle-ci est retardée de 15 jours pour IRAT 13 à 20 jours tel Morobérékan, comme pour Palawan (16-19 jours) alors que d'autres variétés n'ont que 8-9 jours de retard (66).

On note qu'un fort déficit en culture pluviale n'affecte pas le nombre de talles par plant mais diminue le nombre de talles fertiles (19).

3 - ASPECT VARIÉTAL.

Sous ce titre, nous rangeons trois préoccupations distinctes. Il s'agit tout d'abord de recenser les variétés réputées résistantes et si possible de savoir quelles conditions leur ont fait reconnaître ce caractère.

En second lieu, pour classer des variétés, il faut faire des essais, soit en conditions naturelles, soit dans des expériences de laboratoire qui modifient toujours certains paramètres. Il n'est pas indifférent de connaître les diverses méthodes mises au point et d'en discerner éventuellement les faiblesses.

Enfin cet aspect variétal peut englober la recherche de caractères intéressants et de savoir quelles sont les variétés actuelles qui les possèdent et celles qui les transmettent à leur descendance : le but final est une amélioration raisonnée des variétés actuellement à notre disposition en créant de nouvelles variétés combinant au mieux les caractères favorisant la résistance à la sécheresse.

3.1. Liste variétale.

Cette liste représente en fait des variétés ayant une bonne résistance globale à la sécheresse. C'est dire que lors d'une année sèche, ces variétés donneront les meilleurs rendements sans qu'ils soient bien élevés. Une telle liste va évoluer à mesure de la création de variétés.

31.1. Liste de Côte d'Ivoire.

Il y a quelques années, c'étaient des variétés anciennes locales ou introduites qui étaient connues comme tolérantes : Morobérékan puis Palawan. Depuis Morobérékan a perdu sa faveur au profit d'IRAT 13, variété créée par l'IRAT à partir d'une mutation par irradiation de 63-83. Le niveau de rendement est en général plus élevé et au pire équivalent à celui de Morobérékan.

Actuellement de nouvelles hybridations sont testées dans les essais multiloaux.

31.2. Liste asiatique.

C'est l'IRRI qui depuis quelques années donnent un classement de variétés résistantes à la sécheresse. Le classement de 1970 était bouleversé rapidement (24) et en 1973 cinq variétés se distinguaient :

OS 4 - M1-48 - 63-83 - Sankok - Dular

suivies d'une classe de variétés modérément résistantes comprenant (27) :

OS 6	Az mil	Palawan
E 425	Rikuto Norin 21	Khao Lo
Agbede	Hirayama	Moroberekan

La même année, l'hybride IR 1529-430-3 était le plus tolérant à la déficience hydrique. En 1975, la préférence était donnée à de nouveaux croisements dont le plus intéressant était IR 1646-623-2, et certaines introductions étaient classées également comme résistantes (29) :

Ku 70-1	en provenance du Laos
Padi pupurong	d'origine siamoise
N 22	venant des Indes
Cartuna	

Aux Indes, on trouve dans la liste présentant une plus ou moins bonne résistance à la sécheresse, les variétés Peta, Lalnakanda; 41, l'hybride TNI x T65 (4), Bala (46), TKM1 et TKM2 (42), Saket 3 et Cauvery (75), Nagina 22, MTU 17 (49), Sathi 34-36 (33).

31.3. Liste américaine.

Ce sont surtout des variétés brésiliennes dont les deux plus récentes sont IAC 1246 et IAC 5544.

3.2. Méthodologie des comparaisons de variétés.

Comme nous le verrons dans l'aspect adaptation au milieu, la sécheresse, déséquilibre entre la demande d'eau pour la partie aérienne de la plante et la fourniture, peut avoir différentes causes : pouvoir asséchant élevé de l'air, inadéquation du système racinaire à la recherche de l'eau, déficit pluviométrique pendant le cycle cultural dans la région de culture.

La comparaison de variétés exige des méthodes reproductibles d'une année sur l'autre, avec des résultats significatifs et n'exigeant pas un travail démesuré.

Les essais sur le terrain sont souvent coûteux, difficilement reproductibles et exigent de nombreuses répétitions pour tenir compte de la variabilité du sol et donc un matériel végétal important.

La mise au point de test est donc indispensable, aussi bien pour étudier de façon précise les effets de la sécheresse que pour mesurer les caractères des variétés. Il faut viser des essais simples, rapides, permettant de tester uniquement le ou les caractères désirés ; éviter les biais dans les expériences, les mesures et les interprétations.

Les situations expérimentales qui vont recréer des tensions hydriques dans le milieu ambiant, ou des déséquilibres dans la plante, s'inspireront du facteur principal limitant dans la région.

Il faut se rappeler qu'une plante met en évidence ses caractères intéressants seulement si les conditions adverses sont présentes. Donc les tests ou les essais finaux devront se faire en présence de toutes les conditions adverses standardisées.

32.1. Essais de caractérisation de la plante.

321.1. Système racinaire.

Pour caractériser le système racinaire, le choix doit être fait entre une croissance dans un milieu artificiel ou reconstitué et celle dans un milieu normal c'est à dire un sol en place.

Le milieu artificiel peut être un brouillard artificiel, un milieu liquide, un sable ou une couche de terre. Cette couche de terre peut être dans un bac normal ou dans un rhizotron qui permet de suivre la vitesse de croissance des racines.

Le sol naturel en place exige ensuite un gros travail pour extraire les racines, ou il faut seulement se contenter de sondages. Des essais ont eu lieu pour utiliser des monolithes de terre en place : l'inconvénient est dans la présence de racines s'enfonçant par préférence le long des parois et accroissant ainsi le pourcentage de racines profondes. Divers procédés ont été ou pourraient être essayé pour faire disparaître cet artéfact : coller des cailloux grossiers le long des parois, disposer une couche de cailloux grossiers entre le monolithe et les parois, passer fortement le sol près des parois, empêcher l'humectation du monolithe près des parois à la partie supérieure.

Outre les sondages pour connaître la répartition des racines sans extraire la totalité de la plante, il est possible de caractériser l'importance de l'activité racinaire au moyen de radio-isotopes.

En aéroponie, les variétés 63-83 et Morobérékan ont des racines longues, traçantes et peu de racines secondaires. Au contraire IRAT 13 est plus ramifié. IRAT 9 présente des racines primaires fines. (TRUONG BINH).

Les procédés en milieu artificiel ou reconstitué ne permettent pas de juger de la force de pénétration des racines dans un milieu tassé et confiné.

Les procédés en sol naturel sont plus intéressants mais il faut trouver un moyen permettant de travailler sur un échantillon restreint sans introduire de biais dénaturant les résultats.

Le procédé par radioisotope ne paraît pas suffisamment précis faute de connaître parfaitement le fonctionnement des racines et la relation entre quantité de racines et activité racinaire dans un milieu complexe comme le sol.

La caractérisation du système racinaire ne peut se faire uniquement en fonction du sol comme un taux des racines mais doit considérer aussi les caractères propres du système racinaire : répartition en longueur, grosseur, ramifications, force de pénétration, possibilité d'absorption, et modification en fonction de la partie aérienne de la plante.

321.2. Système aérien.

La caractérisation du système aérien paraît plus aisée et beaucoup plus commune : poids, surface foliaire, nombre de tiges ne posent pas de problème. Le plus délicat sera d'apprécier le grossissement des plantes sans multiplier les répétitions et le nombre de plantes en essai pour mesurer l'influence de la sécheresse sur la croissance.

32.2. Classement des techniques selon le mode d'établissement de la sécheresse.

La sécheresse peut s'établir progressivement comme c'est le cas dans la nature en absence de pluie. Les variations vont venir de la profondeur du sol et du retour périodique ou non de l'eau.

Un autre type d'essai est de travailler avec un niveau de sécheresse constant soit par tension hydrique du sol maintenue constante, soit par un apport d'eau à un niveau constant, soit par un même effet sur la plante.

Enfin le troisième type d'essai correspond à une arrivée brutale de la sécheresse, soit au niveau aérien par un air extrêmement desséchant, soit au niveau racinaire en restreignant les racines fonctionnelles.

322.1. Système à sécheresse progressive continue ou discontinue.

Souvent ces essais utilisent des pots qui accentuent la rapidité de la sécheresse. Ils ont surtout pour but l'observation des effets de la sécheresse sur le système aérien (59). On observe le flétrissement temporaire ou permanent au bout d'un certain temps (48).

322.2. Système à niveau de sécheresse constant.

L'IRRI a mis au point en seau (26) puis avec un montage automatique, une installation maintenant une tension hydrique constante (27) qu'il a améliorée et simplifiée ensuite (28).

D'un autre côté, l'IRRI a employé une méthode donnant l'humidité à profondeur constante. Il s'agissait d'un niveau d'eau maintenu constant soit à 45 cm sous la surface du sol (28), soit à diverses profondeurs de 30 cm à 1 m (29). Un système analogue mais plus complet a récemment été utilisé avec un bassin contenant 1 m de sol au dessus de 35 cm de sable et de gravier pour le drainage. L'irrigation peut se faire en surface ou par le sous sol et des tensiomètres mesurent l'humidité du sol (30).

L'IRAT a utilisé un cylindre profond où le sol pouvait être amené à capacité au champ tous les jours à partir d'un niveau prédéterminé (8). Souvent des essais en pots sont effectués avec une tension d'eau maintenue constante (4 - 27 - 34 - 72).

L'IRAT a aussi utilisé le test de ROBELIN en ajoutant suffisamment d'eau journallement pour que la transpiration des plantes en essai soit à 50 % de la transpiration normale des plantes témoin.

Ces différents systèmes ont l'inconvénient d'employer un sol remanié et le système racinaire des plantes est différent de celui qui serait observé dans un sol en place tassé. Le résultat ne peut que favoriser les plantes n'ayant pas normalement un enracinement profond.

Il n'est pas interdit d'imaginer des systèmes analogues mais avec l'emploi d'un sol en place.

322.3. Système à sécheresse brutale.

Ces systèmes sont rarement signalés car ils correspondent à des cas particuliers dans la nature. Ils peuvent provoquer la sécheresse soit en augmentant considérablement les besoins au niveau aérien en soufflant un air sec et chaud et en restreignant les possibilités de fourniture d'eau, soit en diminuant fortement le système racinaire fonctionnel.

Leur avantage est de pouvoir étudier l'effet de la sécheresse à un stade précis du développement de la plante et pendant un laps de temps restreint si cela est nécessaire.

La diminution du système racinaire fonctionnel peut être faible par ablation d'une partie des racines, ou en ne mettant qu'une partie des racines en contact avec l'eau. Ce dernier procédé oblige à sortir les racines du sol où il n'est pas possible d'installer brutalement un phénomène de sécheresse.

3.3. Recherche des caractères intéressants.

Une fois que la liste des variétés résistant globalement à la sécheresse est connue, il faut rechercher pour chacune quels sont les caractères utiles. En outre, parmi les variétés ainsi déterminées ne se trouvent pas nécessairement la variation maximum du caractère utile, ni la variété transmettant le mieux ce caractère à sa descendance.

Donc il va falloir dresser une première liste des variétés à mettre en essai, à laquelle viendra s'adjoindre par la suite des variétés manifestant le caractère jugé intéressant à un haut degré d'efficacité.

Pour les essais en Côte d'Ivoire, la liste des variétés pourrait comprendre :

- Les variétés résistantes dans ce pays et leur proche parent soit : IRAT 13 avec Mutant 50/4 et la variété mère 63-83
Morobérékan et Palawan
Réunion HN et 13 à 5

- Une variété assez sensible très employée : Iguape Cateto
- A ces variétés de base pour les essais pourraient être ajoutées avec le développement des travaux des variétés réputées résistantes dans d'autres pays telles :

Padi pupurong	KU 70-1	TKM 1	Sathi 34-36
MTU - 17	Nagina 22	TKM 2	Bala
IAC 1246	Peta	Lalnakanda 41	Cauvery
IAC 5544	Cartuna	Saket 3	

- Des variétés présentant des caractères particuliers bien développés comme :

Racines épaisses : RT 1095 et Rikuto Norin 21

Racines longues : OS 4

Résistance foliaire à la diffusion : M1-48

Activité racinaire profonde : Lac 23 - Lac 48

Mort rapide après ablation partielle des racines : IAC 25

- Des variétés souvent utilisées dans les croisements telles
63-104
RT 1031-69

A mesure que les recherches avanceront, la liste des variétés qui seront essayées ira en croissant, surtout lorsque les caractères réellement intéressants pour la résistance à la sécheresse seront mieux connus.

La recherche des caractères intéressants peut s'orienter en tenant compte des caractères spécifiques de la culture du riz pluvial en Côte d'Ivoire : sols assez profonds, sécheresse par absence de pluie mais avec évapotranspiration faible, et en sériant les problèmes avec le stade de croissance de la plante: semis - végétation - épiaison et maturation.

Les facteurs intéressants auront trait à l'enracinement, à l'utilisation de l'eau par la partie aérienne, à l'équilibre entre racines et végétation aérienne, à la migration et utilisation préférentielle de la matière sèche.

4 - ASPECT CULTURAL.

Les deux derniers aspects du problème de la résistance à la sécheresse sont étrangers à l'opération de l'ORSTOM qui étudie particulièrement les caractères physiomorphologiques des racines. Mais des recoupements auront lieu avec le programme étudiant les contraintes agronomiques dans les systèmes d'exploitation du Centre de la Côte d'Ivoire et avec un des programmes de la Bioclimatologie. C'est pourquoi ils seront évoqués brièvement.

Sous la dénomination d'aspect cultural sont regroupés les problèmes propres à l'installation de la plante et ceux concernant la préparation du sol aussi bien que la rotation culturale.

En culture pure, au vu de l'aspect des cultures dans les années à déficit pluviométrique, les plantes à écartement plus important résiste mieux. Il est possible que la densité de semis soit à revoir dans les régions avec la moitié des années à caractère de déficience hydrique, ou bien que l'importance du tallage par pied soit réduite.

La culture mixte du riz existe également et des mises au point tenant compte des ressources en eau sont peut être nécessaires.

Quelle est l'influence de la place du riz dans la succession d'une rotation, de l'effet d'une jachère, de la concurrence des herbes sur l'approvisionnement hydrique du riz pluvial ?

De même labour de fin de cycle, profondeur du labour, fréquence du labour, travail superficiel du sol ont une influence sur l'importance de l'enracinement du riz et les réserves hydriques à sa disposition.

5 - ASPECT ADAPTATION AU MILIEU.

C'est l'étude du climat et des conséquences possibles sur la culture du riz pluvial et l'eau dans le sol.

On trouve les études fréquentielles des pluies : GIGOU (18) l'analyse des besoins en eau (DANCETTE, KALMS) le calage régional du cycle cultural en fonction des pluies (DANCETTE, GIGOU), l'étude des conséquences d'une radiation solaire faible (POSNER). La caractérisation hydrodynamique du sol a été faite par KALMS.

Dans la région Centre qui paraît actuellement la plus délicate pour la fréquence de la sécheresse au cours du cycle cultural du riz pluvial, les sols sont considérés comme assez profonds et c'est surtout le manque de pluie qui est en cause. Le sol assez profond permet un développement en profondeur de l'enracinement pour la recherche de l'eau. Actuellement pendant la saison sèche à Bouaké, le début des symptômes de souffrance à la sécheresse apparaît au bout de 6 jours, et à 12 jours, il existe un déficit accentué.

Si le vent chaud ou la siccité de l'air ne sont pas en cause dans le Centre de la Côte d'Ivoire, par contre au Sinkiang en Chine, on signale un cultivar de riz résistant à la sécheresse car poussant avec une humidité relative de l'air inférieure à 50 % (80).

6 - SCHÉMA DE TRAVAIL DES AGRONOMES DE L'ORSTOM.

Si l'on regarde les résultats des vingt dernières années de recherche du point de vue de la résistance à la sécheresse de la plante, on constate un effort de classification des connaissances, une description plus approfondie des mécanismes de régulation de l'eau dans la plante, des résultats pratiques acquis par la pression de sélection du milieu.

L'attitude des agronomes est de compléter la connaissance des mécanismes de régulation de l'eau dans la plante en les intégrant dans l'ensemble "plante" et en pesant la valeur respective de chacun pour le but final d'une résistance de la plante à la sécheresse.

Il s'agit d'isoler progressivement chaque mécanisme favorable, d'effectuer des comparaisons variétales par des tests appropriés et de collaborer avec des généticiens pour essayer de faire une synthèse des facteurs intéressants.

La recherche doit donc partir de l'ensemble plante, puis déterminer pour une variété donnée si les qualités intéressantes appartiennent au système racinaire absorbant ou au système aérien transpirant ou encore à un équilibre excellent de deux systèmes.

Une fois la détermination effectuée des variétés à caractères racinaires favorables à la résistance à la sécheresse, il faudra reconnaître le ou les caractères racinaires avantageux et établir des comparaisons avec des racines ayant les mêmes caractères sans que le plant soit résistant à la sécheresse. Cette comparaison doit permettre de fixer des limites au caractère à sélectionner. Il sera peut être utile de connaître le mécanisme faisant apparaître ce caractère avantageux.

Le même travail peut être effectué sur la partie aérienne si le besoin s'en fait sentir.

Il s'agit là d'un schéma d'ensemble. Mais il est bien certain que déjà, uniquement pour fixer dans une variété si les caractères intéressants appartiennent au système racinaire plutôt qu'au système aérien, de nombreuses expériences préliminaires sont à effectuer et que des limitations du champ de recherche sont à observer.

L'effet de la sécheresse est différent au semis, au tallage à l'épiaison ou à la maturation. Bien que le stade de l'épiaison soit le plus critique, les conditions d'Adiopodoumé ne sont pas favorables à son étude, et il paraît préférable de se consacrer aux périodes de tallage ou de montaison dans cette localité.

Il semble que dans cette différenciation des parties aériennes et racinaires, il faut toujours effectuer des mesures déterminant leurs rapports et précisant comment le fonctionnement de l'une des parties dépend des possibilités de l'autre. C'est en fixant à quelles valeurs de leurs rapports le fonctionnement de l'un devient défavorable que l'on pourra éventuellement trouver des différences dans les variétés.

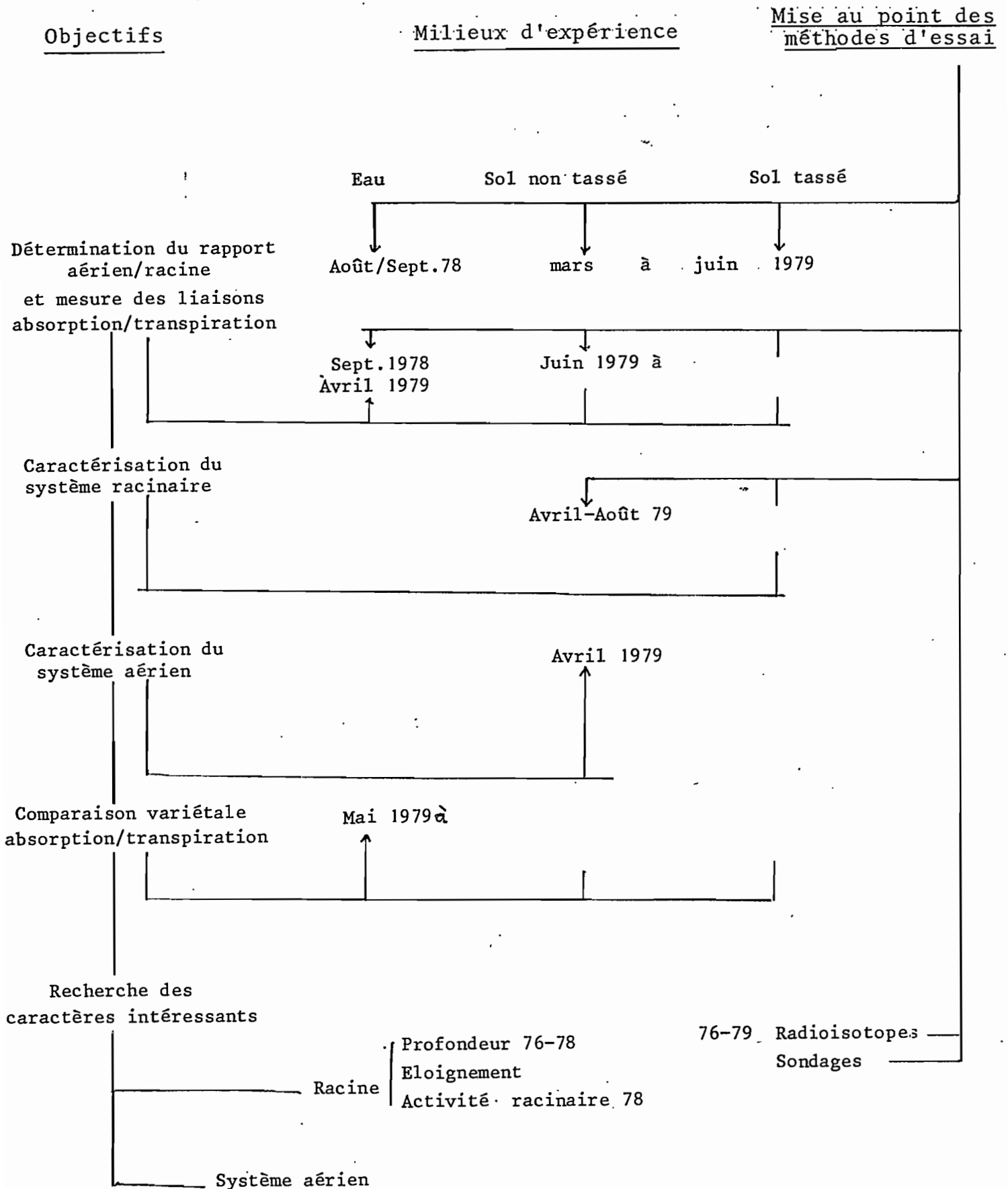
Encore faut-il savoir comment expérimenter et tout un travail préliminaire paraît utile pour passer du simple au complexe et mettre au point les mesures nécessaires. Trois milieux pour le système racinaire paraissent convenir pour les études : l'eau pour les mesures potentielles, le sol non tassé pour l'obtention facile de systèmes racinaires pour toutes les mesures de mise au point, le sol en place pour les mesures définitives.

Quant aux mesures à effectuer, des essais semblent indispensables pour établir les relations intéressantes et les mesures subséquentes. De plus pour caractériser le système racinaire d'une variété par des valeurs chiffrées, une approche expérimentale préalable est également indispensable.

Ce n'est qu'après cet ensemble de mises au point que les comparaisons variétales pourront commencer, puis qu'à la suite des différences reconnues entre variétés, la recherche et la mesure des caractères intéressants seront entreprises par le système racinaire et éventuellement le système aérien s'il en est besoin.

Cette approche méthodique n'exclut pas l'étude de techniques ou de caractères que le bon sens indique comme favorables au but de la recherche. Les résultats en seront intégrés à l'ensemble lorsque cette étape sera abordée.

Le déroulement des travaux peut se schématiser comme suit :



7 - BIBLIOGRAPHIE

1. ALLURI, K., VERGARA, B.S. - 1976 - Sabrao J1, vol. n°1, pp. 41-46 (FCA 1977 abs 4583).
2. ANGLADETTE, A. - 1966 - Le riz. 330 p. Ed. Maisonneuve et Larose. Paris.
3. BERINGER, H. - 1978 - Revue de la Potasse, Section 16, 78 suite, 9 p.
4. BHATTACHARJEE, D.P., KRISHNAYYA, G.R., GHOSH, A.K. - 1973 - Oryza, vol. n°2, pp. 15-28 (FCA, 1976 abs. 4687).
5. BHATTACHARJEE, D.P., RAMAKRISHNAYYA, G., PAUL, S.C. - 1971 - Oryza vol. 8, n°2, pp. 61-68 (FCA 1976 abs 627).
6. CHANG, T.T., LORESTO, C.C., TAGUMPAY, O. - 1974 - Sabrao J1. Vol.6 n°1, pp. 9-16 (FCA 1975 abs 176).
7. CHARREAU, C., NICOU, R. - 1971 - Agro Trop. vol 26, n°5, pp. 565-627.
8. CHOPART, J.L., NICOU, R. - 1976 - Agro Trop. vol 31, n°1, pp. 7-28.
9. DE DATTA, S.K., CHANG, T.T., YOSHIDA, S. - 1975 - pp. 101-106 in Major research in upland rice. Ed. IRRI. 255 p.
10. DOBELMAN, J.P., RAKOTOSON, L. - 1971 - Agro Trop. vol 26, n°10, pp. 1136-1139.
11. DUPRIEZ, G.L. - 1964 - Publ INEAC, Ser. Scient. n° 106, 106 p. L'évaporation et les besoins en eau des différentes cultures dans la région de MVUAZI (Bas Congo).
12. FORESTIER, J. - 1979 - Observations pour la connaissance du riz pluvial. Centre ORSTOM d'Adiopodoumé, 11 p. + graph.
13. FORESTIER, J., KOUAME, I. - 1979 - Transpiration et absorption d'eau par le riz pluvial. Expériences en milieu liquide avec IRAT 13 - Centre ORSTOM Adiopodoumé, p.
14. FORESTIER, J., KOUAME, I. - 1979 - Caractérisation morphologique des racines du riz. Centre ORSTOM Adiopodoumé, 5 p.
15. GARG, R.C., MEHROTRA, O.N. - 1973 - Plant Science. vol 5, pp. 112-116 (FCA 1976 abs 176).
16. GERMEK, E.B., INFORZATO-FRANCO, C.M - 1950 - Bragantia pp. 89-91 Agro Trop 1952 abs 84).
17. GHILDYAL, B.P., TOMAR, V.S. - 1976 - Pantnagar J1 Res., vol 1, n°1 pp 16-20 (FCA 1977 abs 3319).

18. GIGOU, J. - 1973 - Agro Trop vol 28, n°9, pp. 858-875.
19. GIUDICE, R.M. del, BRANDAO, S.S., GALVAO, J.D., GOMES, F.R. -
1974 - Experientiae, vol 18, n°5, pp. 103-123.
(FCA 1975 abs 3480).
20. HADDAD, G., SEGUY, L. - 1972 - Agro Trop 27, n°4, pp 419-460.
21. IRAT, 1971 - Rapport annuel 1969 - Agro Trop, vol 26, N°1,
pp. 32-63.
22. IRAT, 1972 - Rapport annuel 1970 - Agro Trop, vol 27, N°1,
pp. 26-59.
23. IRAT, 1974 - Rapport annuel 1973 de l'IRAT.
24. IRRI, 1971 - Rapport annuel 1970, p. 155, 214
25. IRRI, 1972 - Rapport annuel 1971, p. 197, 212
26. IRRI, 1973 - Rapport annuel 1972, p. 60, 158, 213
27. IRRI, 1974 - Rapport annuel 1973, p. 53, 83, 122, 157, 175
28. IRRI, 1975 - Rapport annuel 1974, p. 20-23, 154-159, 173-175.
29. IRRI, 1976 - Rapport annuel 1975, p. 18, 154
30. IRRI, 1977 - Rapport annuel 1976, p. 77, 88
31. JONES, C.A., GUIMARAES, C.M. - 1977 - Comm. Conference IITA.
Ibadan, Dec. 1977 sur "Conditions physiques des sols et
réaction des plantes", 15 p.
32. JONES, C.A., TAN, N.V., ZIMMERMANN, F.J.P. - 1977 - Comm. Conferen-
ce IITA. Ibadan, Dec. 1977 sur "Conditions physiques des
sols et réaction des plantes".
33. JOSHI, S.N. - 1969 - Ind. J1 Agric. Sci., vol 39, n°6, pp. 500-
505 (FCA 1970 abs 2238).
34. KAR, S., VERADE, S.B. - 1974 - Oryza, vol 11, n°2, pp. 53-58
(FCA 1977 abs 7570).
35. KATO, I. - 1967 - Publ. Tokai-kinki nat. agric. Exp. Stat. 14 p.
(FCA 1968 abs 1332).
36. KATO, I., NAITO, Y., TANIGUCHI, R., KAMOTA, F. - 1962 - Bulletin
Tokai-kinki, 2nd Agron Div. n°3, pp. 60-84 (FCA 1963 abs
709).
37. KHAN, M.A.A., HAMID, S.A., HUSSAIN, M.A. - 1969 - Pakistan J1
Biol. Agric. Sci., vol 12, n° 1, pp. 1-22.
(FCA 1972 abs 1885).
38. KRUPP, H.K., ABILAY, W.P., ALVAREZ, E.I. - 1972 - Rice Breeding
pp. 633-675 (FCA 1974 abs 2683).
39. LE BUANEC, B. - 1975 - Agro Trop, vol 30, n°3, pp. 276-287.
40. LE BUANEC, B. - 1975 - Agro Trop, vol 30, n°4, pp. 358-381.
41. MAHAPATRA, I.C., -1964- Andhra Agric. J1, vol 11, n°1, pp. 16-21
(FCA 1965 abs 175).

42. MALI, P.C., MEHTA, S.L. - 1977 - *Phytochemistry*, vol 16, n°6, pp. 643-646 (FCA 1977 abs 6122).
43. MALI, P.C., METHA, S.L. - 1977 - *Phytochemistry*, vol 16, n°9, pp. 1355-1357.
44. MATSUSHIMA, S. - 1962 - Bull 112 Div Agric Min. Agric. Crops, Fdn Malaya (FCA 1963 abs 1775).
45. MATSHUSHIMA, S. - 1967 - pp. 61-81 in Symposium on problems in development and ripening of rice grain, IIè Pacific Science Congress. Tokyo 1966. Ed. Intern Rice Commission Newsletter.
46. MAURYA, P.R., GHILDYAL, B.P. - 1976 - *Riso* vol 25, n°4 pp. 357-365 (FCA 1977 abs 3316).
47. MITSUI, S. - 1965 - pp. 53-62 in The mineral nutrition of the rice plant. Symposium IRRI, Feb. 1964.
48. MUKHERJEE, R.K., NARALE, R.P. - 1973 - *Riso*, vol 22, n°1, pp. 51-53 (FCA 1973 abs 6456).
49. MURTY, K.S., SRINIVASULU, K. - 1968 - *Oryza*. vol 5, n°1, pp. 45-48 (FCA 1970 abs 1217).
50. NAGAI, T., HIROTA, H. - 1958 - *Proc Crop Sci Soc. Jap.*, vol 27, n°2, pp. 217-220 (FCA 1962 abs 156).
51. NAKAYAMA, K. - 1973 - *J1 Centr Agric. Expl Stat. Jap* n°19, pp. 61-100 (FCA 1975 abs 5489).
52. NICOU, R., SEGUY, L., HADDAD, G. - 1970 - *Agro Trop*, vol 25, n°8, pp. 639-657.
53. NISHINO, T. - 1961 - *Proc Crop Sci Soc Jap*. vol 29, n°2, pp. 210-212 (FCA 1961 abs 1715).
54. NOMURA, Y. - 1974 - *Bull Fac Agric, Tohori Univ.*; vol 26, pp. 86-99 (FCA 1975 abs 3508).
55. PAL, D., VARADE, S.B. - 1974 - *Ind. J1 Agric Sci*, vol 44, n°5, pp. 259-261 (FCA 1977 abs 3321).
56. PALFI, G., JUHASZ, J. - 1968 - *Agrokém. Talajt*, vol 17, n°3, pp. 243-254 (FCA 1969 abs 1672).
57. PARAO, F.T., PANINGBATÁN, E.J., YOSHIDA, S. - 1976 - *Philip J1 Crop Sci.*, vol 1, n°1, pp 50-55 (FCA 1978 abs 6769).
58. PARICHA, P.C., GHOSH, B.K., SAHOO, N.C. - 1977 - *Sci Cult*. vol 43, n°5, pp. 230-231 (FCA 1978 abs 5271).
59. PARICHA, P., PERUMA, K.R. - 1974 - *Sci Cult*. vol 40, n°4, pp. 165-166 (FCA 1975 abs 5498).
60. PARICHA, P.C., SAHOO, P. - 1975 - *Oryza*, vol 12, N°2, pp. 73-81 (FCA 1978 abs 5281).
61. PELERENTS, C. - 1958 - *Bull. Agric. Congo Belge*, vol 49, n°5, pp. 1269-1289.

62. PICARD, D., JACQUOT, M., - 1976 - Agro Trop, vol 31, n°2, pp. 159-169.
63. RAJAGOPALAN, K. - 1957 - Rice News Tell, vol 5, n°1, pp. 10-12 (FCA 1959 abs 684).
64. RAO, S.R., APPAIAH, K.M., KRISHNASASTRY, K.S. - 1972 - pp. 275-281 in Research Series, Univ. Agric. Sci., Bangalore n°14 - 363 p. (FCA 1973 abs 6018).
65. REYNIERS, F.N. - 1973 - Rapport annuel 1972 du laboratoire de Physiologie de l'IRAT à Bouaké - Côte d'Ivoire.
66. REYNIERS, F.N. - 1976 - Rapport annuel 1974-1975 du laboratoire de Physiologie de l'IRAT à Bouaké.
67. REYNIERS, F.N. - 1977 - Rapport d'activité 1976, Section Physiologie, IRAT Bouaké. Opération résistance à la sécheresse du riz.
68. REYNIERS, F.N., KALMS, J.M., RIDDERS, J. - 1976 - Agro Trop vol 31, n°2, pp. 179-187.
69. REYNIERS, F.N., TRUONG BINH - 1977 - Confer. IITA. "Le riz en Afrique".
70. REYNIERS, F.N., TRUONG BINH, BOIS, J.F., BONNIN, E., THOMIN, G. - 1978 - Caractérisation de l'enracinement du riz pluvial *in situ* avec le phosphore ³²P. in Colloque International FAO/AIEA sur l'emploi des isotopes et des rayonnements dans la recherche en phytopédologie. Colombo. Sri Lanka. 11-15 déc. 1978.
71. SAHU, B.N., RAO, B.J.M. - 1974 - Oryza, vol 11, n°2, pp. 53-58 (FCA 1977 abs 7570).
72. SAHU, B.N., RAO, B.J.M. - 1974 - Oryza, vol 11, n°2, pp. 59-65 (FCA 1977 abs 7571).
73. SAMUKAVA, K., YAMAGUTI, M. - 1975 - Fiziologiya Rastenii, vol 22, n°2, pp. 295-299 (FCA 1977 abs 1525).
74. SEGUY, L., NICOU, R., HADDAD, G. - 1970 - IRAT Sénégal. Multigr., 20 p. (cité dans réf. 7).
75. SINGH, M.K. - 1976 - Ind. Jl. Agric. Sci., vol 46, n°10, pp. 476-483 (FCA 1978 abs 350).
76. SUGIMOTO, K. - 1971 - Techn. Bull Trop Agric Res Center, Jap, n°1, 80 p. (FCA 1974 abs 6205).
77. SUGIMOTO, K. - 1973 - Jap. Jl. Trop. Agric. vol 16, n°4, pp. 260-264 (FCA 1974 abs 241).
78. SUGIMOTO, K. - 1975 - Jap. Jl. Trop. Agric. vol 18, n°3, pp. 131-136 (FCA 1976 abs 933).
79. TAKAHASHI, J. - 1965 - pp. 271-293 in The mineral nutrition of the rice plant. Symposium IRRI, Feb. 1964.
80. TING, Y. - 1964 - Crop Sci., Peking, vol 3, N°4, pp. 357-364 (FCA 1965 abs 1839).

81. TOMAR, V.S., GHILDYAL, B.P. - 1973 - Ind J1 Agric Sci, Vol 43, n°8, pp 754-759 (FCA 1977 bas 1532).
82. TSAI, W.F., TANG, W.T. - 1969 - J1 Agric Assoc China, vol 65 pp. 6-14 (FCA 1970 abs 1216).
83. TSOI, K.M., LYAKHOVKIN, A.G. - 1973 - Trudy Vsesoyuznogo Institute Risa, Kraonodar n°3, pp 74-78 (FCA 1975 abs 5560).
84. TU TZE CHANG, VERGARA, B.S. - 1975 - pp 72-90 in Major research in Upland Rice. Ed IRRI. 255 p.
85. VEKI, K., SHANMUGA RATNAM, N. - 1973 - Memoirs Fac Agric Kagoshima Univ, vol 9, pp 29-40 (FCA 1974 abs 1217).
86. VIEIRA da SILVA, J.B. - 1970 - Recherches sur diverses manifestations de la résistance à la secheresse chez les cotonniers. Thèse Doctorat Univ. Paris, Orsay, 193 p.
87. WHITE, E.M. - 1977 - Agron. J1, vol 69, n°3, pp 437-439.
88. WHYTE, R.O. - 1974 - Agron. Trop. vol 29, n°6-7, pp 742-748.
89. YOSHIDA, S. - 1975 - pp 46-71 in Major research in Upland rice Ed IRRI, 255 p.