

Influence de la fertilisation sur le comportement du riz pluvial en milieu inondé

J.-F. VIZIER (1), M. PUARD (2)

RÉSUMÉ — Des expérimentations faites en vases de végétation, mettent en évidence l'existence d'interactions entre le sol et la plante. L'inondation est à l'origine d'un déficit en oxygène dans le sol. Ce déficit induit des processus de réduction dont le développement peut être limité par la plante. Ces processus sont limités dans les milieux inondés recevant une fertilisation. Le maintien plus ou moins effectif d'une rhizosphère oxydée, suivant les variétés de riz testées, pluviale ou aquatique, assure la régulation de l'absorption des substances réduites présentes dans la solution du sol saturé d'eau. Cette régulation plus ou moins efficace de l'absorption des substances réduites se répercute sur la composition des plantes et met en évidence le niveau d'adaptation variétale du riz à l'inondation. Dans les milieux inondés non fertilisés, l'absence de limitation des processus de réduction dans la rhizosphère des plantes qui se développent mal et la mauvaise régulation de l'absorption de substances réduites, présentes en abondance dans la solution du sol, se traduisent par des teneurs élevées en fer dans les racines du riz. La composition des plantes et plus particulièrement la teneur en fer des racines, peut donc être utilisée comme test pour sélectionner les variétés de riz pluvial susceptibles de mieux résister à un excès d'eau.

Mots clés : Interaction sol-plante, état d'oxydo-réduction du sol, fertilisation, riz pluvial, résistance à l'inondation.

Les vastes superficies rizicultivées de la cuvette du lac Alaotra présentent des conditions hydrologiques et pédologiques très variées : culture pluviale sur les sols ferrallitiques des collines entourant la plaine, culture irriguée sur des sols limono-argileux hydromorphes, plus ou moins organiques, de la plaine, riziculture fortement inondée sur les tourbes peu évoluées de la bordure du lac (RAUNET, 1984).

A ces conditions naturelles s'ajoutent des contraintes socio-économiques qui augmentent encore la diversité des situations rizicoles observées dans cette région (AHMADI, *et al.*, 1988). Malgré cette diversité, le nombre de variétés de riz cultivées est faible. De nouvelles variétés, mieux adaptées à ces différents types de riziculture, sont recherchées. L'introduction de variétés de

culture pluviale en particulier, répond à un double besoin : sélectionner du matériel végétal adapté aux conditions spécifiques de Madagascar et utiliser ce matériel comme géniteur pour l'amélioration de la « résistance à la sécheresse » dans la culture inondée sans maîtrise de l'eau. Dans cette optique, les variétés de riz pluvial, testées lors d'essais réalisés sur différents sols de cette région, ont mis en évidence une sensibilité de certaines d'entre elles à l'inondation, en début de végétation. Cette sensibilité paraît plus faible lorsque le sol reçoit une fertilisation (AHMADI *et al.*, 1988).

L'explication de ce phénomène a été recherchée par la voie expérimentale en comparant, au laboratoire, le comportement de deux variétés de riz, l'une pluviale, l'autre aquatique, sur un milieu saturé d'eau ou drainé, bénéficiant ou pas d'un apport d'éléments nutritifs pour les plantes.

L'étude expérimentale, effectuée dans le cadre du laboratoire associé CEA-IRAT-ORSTOM de Caradache, a eu pour but d'expliquer les observations faites *in situ*. Une première série d'essais a permis de comparer le développement et le fonctionnement de deux variétés de riz placées dans des conditions de culture différentes (PUARD *et al.*, 1986 a, 1986 b et PUARD *et al.*, 1989). Une deuxième série d'essais permet de comparer la composition des plantes en différents éléments, conséquence de l'absorption réalisée par les racines dans un milieu saturé d'eau ou drainé, enrichi ou pas par un apport de fertilisants. Ce sont ces résultats et l'interprétation qui a pu en être faite qui constituent l'objet de cet article.

Modalités expérimentales

Ces modalités expérimentales visent à permettre l'établissement de relations existant entre la composition des plantes et le milieu de culture.

Matériel d'étude. Les variétés utilisées ont été choisies en raison de leur cycle comparable ; il s'agit de la variété pluviale IAC 55-44 et de la variété aquatique Rojofotsy.

La terre sur laquelle est réalisée cette expérience a été prélevée dans la partie supérieure d'un sol hydromorphe organique de la région (PC 23) du lac Alaotra (tourbe évoluée d'un périmètre aménagé par drainage). Ce prélèvement correspond à l'horizon superficiel du sol, d'une épaisseur de 30 cm environ, dans lequel se développent

(1) Antenne ORSTOM, DB-SRA, CEN de Cadarache, 13108 St Paul lez Durance Cedex, France.

(2) Laboratoire associé CEA-IRAT-ORSTOM, CEN de Caradache, 13108 St Paul lez Durance Cedex -France.

TABLEAU I Composition de la solution nutritive (ajustée à pH 5).

Produits	Poids moléculaires (g ·)	Solution mère g · l ⁻¹	Dose d'utilisation ml · l ⁻¹	(ppm)
Mg SO ₄ , 7 H ₂ O	246,49	135	2	N = 125
(NH ₄) ₂ SO ₄	132,07	36,3	2	P = 60
Na Cl	58,44	5	2	Ca = 117
Ca (NO ₃) ₂ , 4 H ₂ O	236,16	345	2	Mg = 27
KNO ₃	101,11	101	2	S = 53
K ₂ H PO ₄ , 3 H ₂ O	228,17	96	2	Na = 4
KH ₂ PO ₄	136,09	75	2	Fe = 3
Fe EDTA	367,05	10	2	Cl = 6
(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ , 4H ₂ O	1 235,58	0,50	0,2	Zn = 0,2
Mn SO ₄ , H ₂ O	169,02	3,80	0,2	Mn = 0,2
Zn SO ₄ , 7 H ₂ O	287,55	4,41	0,2	B = 0,1
H ₃ BO ₃	61,84	2,82	0,2	Cu = 0,05
Cu SO ₄ , 5 H ₂ O	249,68	0,98	0,2	Mo = 0,05

nutritive de type Hoagland (tableau I) ou en vases de végétation contenant chacun 4 kg de terre (densité apparente de 1,3).

En culture hydroponique, la graine est mise à germer dans un pot rempli de sables grossiers siliceux, arrosés avec de l'eau distillée pendant 10 jours puis de la solution nutritive diluée 10 fois, pendant dix autres jours. Après 20 jours de développement, la plante est dépotée avec précaution pour éviter de blesser les racines ; un tampon de laine de verre disposé autour du collet permet de placer la plante sur une fiole, de façon à ce que les racines trempent dans la solution nutritive, renouvelée en permanence par un système de trop-plein.

Dans les vases de végétation, la graine est semée à 1 cm de profondeur dans un sol préalablement saturé avec de l'eau distillée. L'humidité de la terre est ensuite maintenue à un niveau relativement constant par des apports réguliers d'eau distillée ou de solution nutritive, pendant les 45 premiers jours du cycle (hv = 40 % pour une porosité de 50 %). Un dispositif de drainage ouvert à la base des vases permet d'éviter la saturation de la terre par l'eau. Au delà du 45^e jour, la saturation du sol est réalisée dans un vase de végétation sur deux, après fermeture du dispositif de drainage. Une lame d'eau de 2 cm, 5 cm, puis 10 cm est progressivement établie au-dessus de la surface de la terre, au fur et à mesure que les plantes se développent.

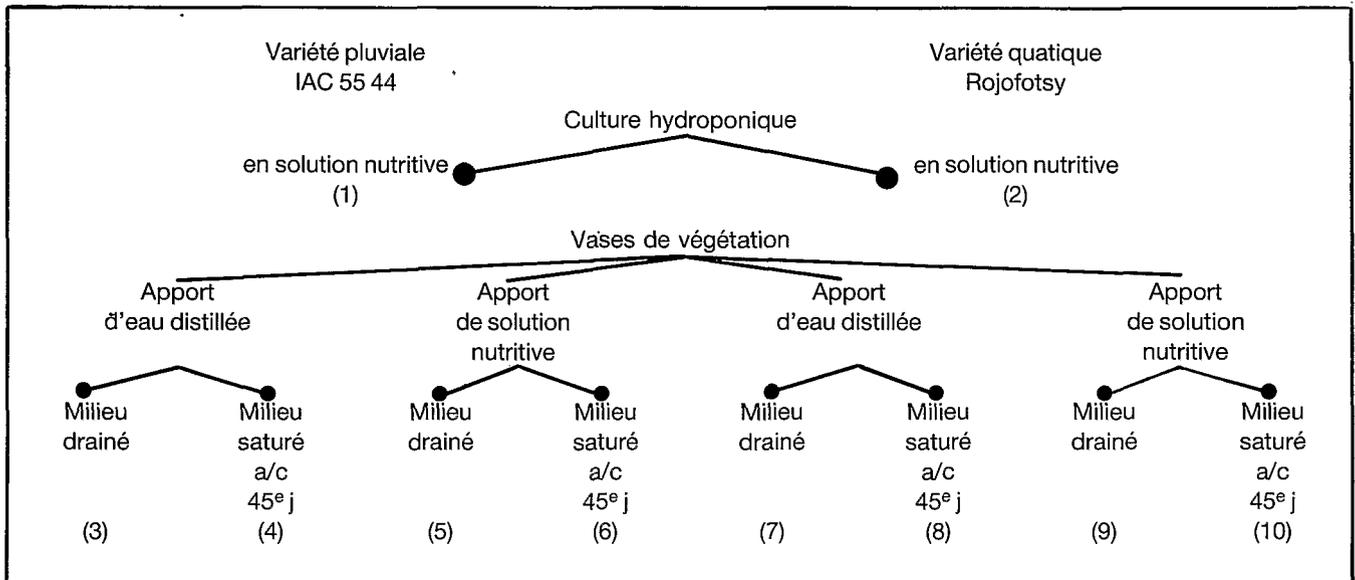
les racines du riz. Il s'agit d'un horizon finement limoneux (17 % d'argile, 42 % de limon fin, 15 % de limon grossier et 26 % de sable), bien pourvu en matière organique (14 % de matière organique totale, C/N de 16), et qui se caractérise par son acidité (pH légèrement inférieur à 5), avec un faible taux de saturation en bases échangeables de son complexe absorbant (environ 5 %). Les horizons sous jacents sont argileux (RAUNET, 1984).

Les différents traitements correspondant à ces protocoles expérimentaux sont récapitulés dans le tableau II.

Protocoles expérimentaux. L'expérimentation est réalisée en phytotron, avec une température et un degré hygrométrique qui sont respectivement de 27 °C et 60 % le jour, 22 °C et 85 % la nuit. La photopériode est de 11 h 30 sur 24 heures et l'éclairement de 450 μM · m⁻² · s⁻¹. Le développement des plantes s'effectue en milieu hydroponique avec apport d'une solution

Mesures et dosages. Dans le sol : à partir du 45^e jour, des mesures de Eh et de pH sont réalisées dans la terre des vases de végétation, saturée soit par apport d'eau distillée, soit par apport de solution nutritive (traitements n° 4, 6, 8 et 10, tableau II). On peut signaler que de telles mesures ont également été faites dans les vases de végétation drainés ; l'apport régulier d'eau distillée ou de solution nutritive, nécessaire au maintien de l'humidité de la terre, permet une réalisation correcte de ces

TABLEAU II Protocoles expérimentaux. Les différents traitements.



mesures (bon contact entre la solution du sol et les électrodes).

Sur les plantes : après 92 jours de croissance, soit environ 30 jours après l'initiation paniculaire, les plantes sont prélevées, séchées à 80 °C pendant 24 heures puis expédiées au laboratoire des sols du CIRAD pour analyses. En ce qui concerne les traitements 1 et 2 (culture hydroponique) et 3, 4, 7 et 8 (vases avec apport d'eau distillée), on a analysé séparément racines et parties aériennes ; dans ce dernier cas, par insuffisance de matériel végétal, on a regroupé en un seul échantillon l'ensemble des racines d'une part et des parties aériennes d'autre part. Pour chacun des traitements 5, 6, 9 et 10 (vases avec apport de solution nutritive), on a seulement prélevé et analysé les parties aériennes, l'extraction des racines s'avérant délicate.

Remarques sur les protocoles expérimentaux, les mesures et les dosages réalisés. La première remarque concerne la solution nutritive utilisée. Par sa composition, elle diffère de l'apport réalisé *in situ* (NPK apporté sous forme d'urée, d'hyper Réno et de KCl, avec la formule 90-240-160 U/ha, plus 1 000 kg de dolomie et des oligo-éléments) ; mais comme l'apport d'engrais, elle est destinée à mettre le riz dans des conditions optimales d'alimentation minérale.

La deuxième remarque concerne le moment du cycle à partir duquel le sol est saturé d'eau (traitements 4, 6, 8 et 10). Au 45^e jour de culture en phytotron, les plantes ont un développement morphologique correspondant au début du tallage, comparable à ce qui peut être observé au 30^e jour sur le terrain. A ce stade, les plantes, qui après épuisement des réserves de la graine passent de la phase hétérotrophe à la phase autotrophe, sont plus vulnérables et subissent davantage les conditions du milieu de culture.

Il faut signaler enfin que dans ce type d'expérimentation, les difficultés rencontrées pour obtenir un développement correct des plantes dans les milieux non fertilisés, parfois pour prélever les racines, ne permettent pas d'effectuer une simple comparaison de la composition des parties aériennes ou des racines des deux variétés testées, avec ou sans apport d'éléments fertilisants, dans un milieu saturé d'eau ou drainé. En dépit de ces diffi-

cultés et de l'absence de répétitions, les variations les plus nettes observées dans la composition des plantes récoltées dans des milieux de culture différents apportent une information sur le comportement des variétés testées.

Résultats

Variations des conditions physico-chimiques de la terre saturée dans les vases de végétation. Pour les deux variétés de riz testées, les résultats se rapportant aux traitements correspondant à une saturation par de l'eau distillée ou de la solution nutritive sont présentés dans le tableau III.

En raison de l'hétérogénéité des conditions physico-chimiques existant dans chaque vase de culture et de la réalisation d'une seule mesure de pH et de Eh pour un temps de saturation donné, on a parfois regroupé les résultats obtenus pendant deux ou trois jours consécutifs (calcul de la valeur moyenne). La valeur de $pe + pH$ ($pe = Eh \text{ mV}/59,2$) a été calculée ; elle permet d'apprécier globalement les conditions physico-chimiques d'un milieu.

Les variations de pH, sur une période de saturation de 39 jours, sont faibles (0,2 à 0,3 unité pH). Ces valeurs varient de 5,0 à 5,3 lorsque la saturation est assurée par des apports d'eau distillée et de 4,5 à 4,7 lorsque la saturation est due à des apports de solution nutritive.

Les variations de Eh sont plus sensibles. La baisse du potentiel d'oxydoréduction est plus forte dans la terre des vases de végétation saturée avec de l'eau distillée (de 600 mV à 320-360 mV après 39 jours de saturation), que dans la terre des vases saturée par la solution nutritive (dans ce cas les valeurs minimales sont de 420 à 430 mV).

Les variations des valeurs de $pe + pH$ en fonction de la durée de saturation sont représentées sur la figure 1. Leur interprétation se réfère à la dynamique du fer, en raison du rôle qui peut être attribué à cet élément pour

TABLEAU III Variations de Eh, pH et des valeurs de $pe + pH$ en fonction de la durée de saturation.

Jours de saturation	Variété IAC 55.44 sol saturé par						Variété Rojofotsy sol saturé par					
	Apport d'eau distillée			Apport de solution nutritive			Apport d'eau distillée			Apport de solution nutritive		
	Eh	pH	pe + pH	Eh	pH	pe + pH	Eh	pH	pe + pH	Eh	pH	pe + pH
1 à 4	591	5,10	15,0	602	4,52	14,6	579	5,03	14,7	606	4,57	14,7
8 à 11	561	5,08	14,4	559	4,65	14,0	541	5,00	14,0	569	4,60	14,1
14	476	5,07	13,0	497	4,66	12,9	464	5,10	12,8	512	4,57	13,1
22 à 25	422	5,16	12,2	447	4,61	12,1	420	5,16	12,2	453	4,47	12,0
28 à 30	358	5,12	11,1	417	4,62	11,6	363	5,10	11,2	439	4,69	12,0
39	356	5,16	11,1	418	4,63	11,6	321	5,22	10,6	474	4,59	12,5
	362	5,07	11,1	417	4,60	11,5	326	5,28	10,7	429	4,62	11,8

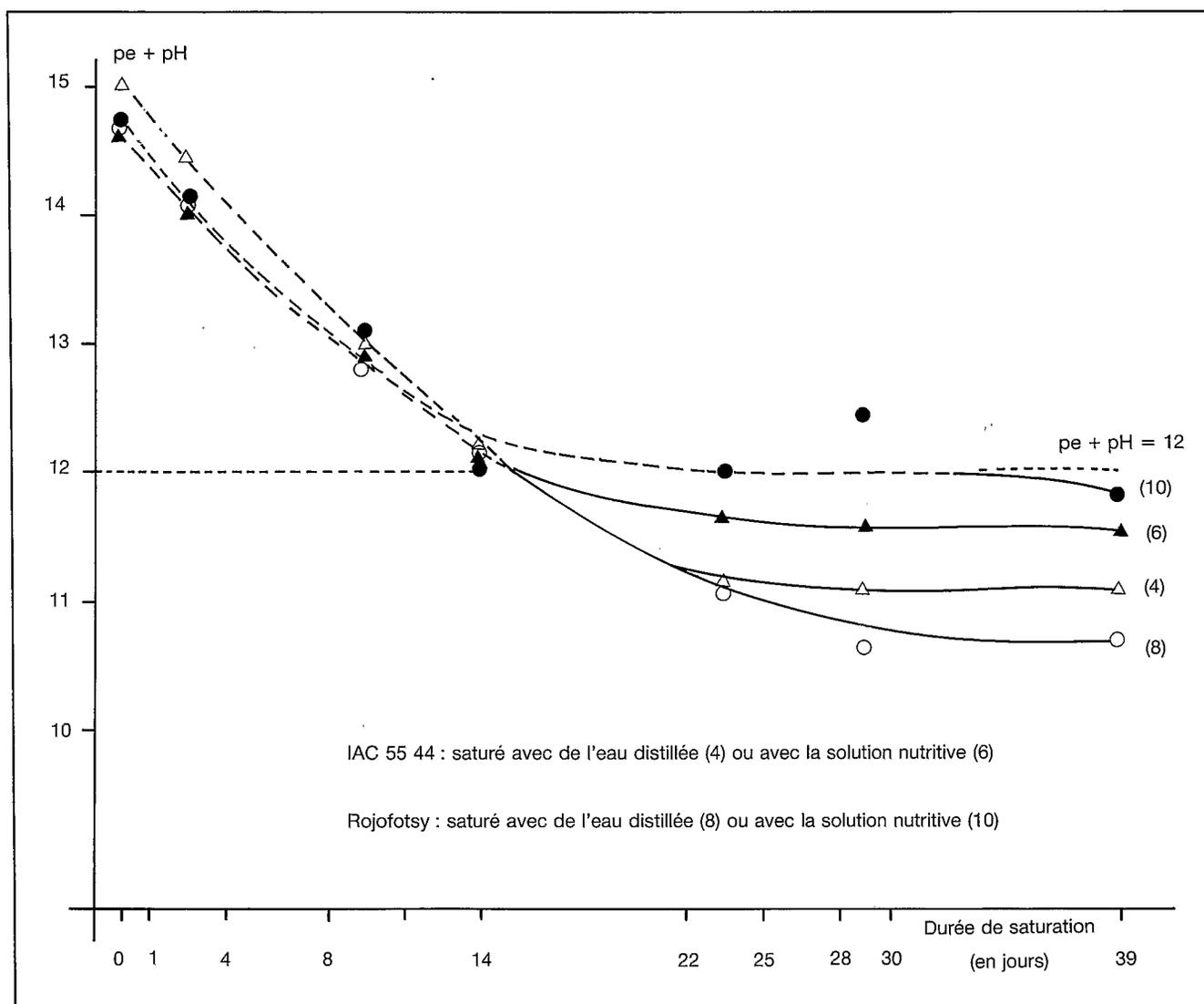


FIGURE 1 : Variations des valeurs de $pe + pH$ en fonction de la durée de saturation.

évaluer l'intensité des processus d'oxydoréduction induits par le déficit en oxygène résultant de la saturation d'un milieu par l'eau (VIZIER, 1988 a).

Pendant les quatorze premiers jours de saturation, ces valeurs diminuent de 15 à 12 environ ; les écarts entre les différents traitements sont faibles. Pour le fer, des valeurs de $pe + pH$ inférieures à 12 se traduisent par une augmentation de la solubilité et de la disponibilité de cet élément pour la plante, liée au développement de processus de réduction dans la terre saturée d'eau (LINDSAY et SCHWAB, 1982). Jusqu'au 14^e jour, les conditions demeurent donc peu réductrices pour le fer.

Au-delà du 14^e jour de saturation, on peut observer trois niveaux de valeurs de $pe + pH$, différents suivant les traitements.

Dans le traitement « milieu saturé par la solution nutritive - variété aquatique » (10), la baisse des valeurs de $pe + pH$ est très faible et le minimum obtenu (11,8) indique le maintien de conditions faiblement réductrices pour le fer.*

Dans le traitement « milieu saturé par la solution nutritive - variété pluviale » (6), la baisse des valeurs de $pe + pH$ est un peu plus forte ; celles-ci se stabilisent autour de 11,5 valeurs indicatrice de conditions moyennement réductrices pour le fer.

Dans les traitements « milieu saturé par l'eau distillée - variétés pluviale ou aquatique » (4 ou 8), la baisse des valeurs de $pe + pH$ est plus forte ; celles-ci, inférieures ou égales à 11,2 au-delà de 22 jours de saturation, sont indicatrices de conditions plus nettement réductrices pour le fer.

Ces résultats mettent en évidence l'influence du développement de la plante sur l'évolution des conditions physico-chimiques des milieux saturés d'eau¹. Dans un milieu saturé d'eau et bien pourvu en éléments nutritifs les plantes, qui se développent bien, limitent les processus de réduction. Vis-à-vis du fer, le maintien de conditions faiblement réductrices est bien assuré par la variété

(1) Sans plante, on ne note pas de différences nettes dans cette expérimentation entre les valeurs du potentiel d'oxydoréduction de la terre saturée par de l'eau distillée ou de la solution nutritive.

TABLEAU IV Composition des plantes obtenues en culture hydroponique.

Variétés de riz	Variété pluviale IAC 55 44		Variété aquatique Rojofotsy	
N° Traitement	(1)		(2)	
Parties analysées	Parties aériennes	racines	Parties aériennes	racines
N%	3,55	2,11	3,44	1,86
P%	0,89	2,17	0,74	1,69
K%	4,94	4,38	4,61	3,42
Ca%	0,77	2,78	0,59	2,10
Mg%	0,45	0,18	0,43	0,21
S%	0,51	0,73	0,41	0,65
Fe ppm	201	978	157	547
Mn ppm	66	50	117	26
Zn ppm	31	64	26	42
Cu ppm	10	24	14	26
B ppm	19	1	23	1

aquatique, un peu moins par la variété pluviale. Dans un milieu saturé d'eau et pauvre en éléments nutritifs les plantes, qui se développent mal, ne limitent pas les processus de réduction. Les conditions nettement réductrices qui prévalent au-delà de 22 jours de saturation, permettent un accroissement important de la solubilité et de la disponibilité du fer pour les plantes (pe + pH inférieur à 11,2).

Ces résultats mettent en évidence l'influence du développement de la plante sur l'évolution des conditions physico-chimiques des milieux saturés d'eau (1). Dans un milieu saturé d'eau et bien pourvu en éléments nutritifs les plantes, qui se développent bien, limitent les processus de réduction. Vis-à-vis du fer, le maintien de conditions faiblement réductrices est bien assuré par la variété aquatique, un peu moins par la variété pluviale. Dans un milieu saturé d'eau et pauvre en éléments nutritifs les plantes, qui se développent mal, ne limitent pas les processus de réduction. Les conditions nettement réductrices qui prévalent au-delà de 22 jours de saturation, permettent un accroissement important de la solubilité et de la disponibilité du fer pour les plantes (pe + pH inférieur à 11,2).

Les résultats obtenus en milieu drainé ne sont pas présentés, mais on peut signaler que les valeurs de pe + pH, proches de 14 à 15 pendant toute la durée des expériences, sont indicatrices d'une stabilité des conditions physico-chimiques et du maintien d'un milieu non réducteur pour le fer.

Variations de la composition des plantes en fonction des milieux de culture et des variétés testées. Une première comparaison peut être faite entre la composition des plantes placées dans des conditions supposées optimales sur le plan de la nutrition minérale (culture hydroponique ; cf tableau IV et vases de végétation avec apport de solution nutritive ; cf tableau V) et les teneurs en différents éléments généralement obtenues dans les végétaux (CALLOT *et al.*, 1982). On note que :

TABLEAU V Composition des plantes obtenues en vase de végétation, avec apport de solution nutritive.

Variétés de riz	Variété pluviale IAC 55 44		Variété aquatique Rojofotsy	
N° traitement	Sol drainé (5)	Sol saturé a/c 45° j (6)	Sol drainé (9)	Sol saturé a/c 45° j (10)
Parties analysées	Parties aériennes			
N%	2,97	3,05	3,16	3,56
P%	0,34	0,42	0,38	0,53
K%	3,62	3,76	3,82	4,24
Ca%	0,47	0,39	0,47	0,57
Mg%	0,50	0,39	0,54	0,51
S%	0,38	0,40	0,38	0,49
Fe ppm	214	405	336	318
Mn ppm	1 722	1 039	976	702
Zn ppm	61	41	53	53
Cu ppm	12	22	12	18
B ppm	4	20	14	26

– les teneurs en éléments majeurs N, P, K, Ca, Mg, S correspondent à des valeurs considérées comme normales, toutefois celles de P sont deux fois plus fortes en culture hydroponique qu'en vase de végétation ;

– les teneurs en éléments mineurs Fe, Mn, Zn, Cu, B correspondent à des valeurs considérées comme normales si l'on excepte celles de Mn qui sont dix à vingt fois plus élevées en vase de végétation ; celles de Fe, Zn et Cu sont un peu plus fortes en vase de végétation.

Les fortes valeurs en Mn des plantes cultivées en vase de végétation, sont sans doute dues à des teneurs élevées en cet élément dans le sol et au pH acide qui favorise, même en milieu non saturé d'eau, la mobilisation du manganèse et son absorption par les plantes (VAN DER VORM et VAN DIEST, 1979). Cette forte absorption de

TABLEAU VI Composition des plantes obtenues en vases de végétation, sans apport d'éléments nutritifs (eau distillée).

Variétés de riz	Variété pluviale IAC 55 44 et variété aquatique Rojofotsy	
N° Traitement	(3) (4) (7) (8)	
Parties analysées	Parties aériennes	Parties racines
N%	2,09	1,59
P%	0,08	0,08
K%	2,57	0,76
Ca%	0,57	0,21
Mg%	0,20	0,08
S%	0,41	-
Fe ppm	224	9 200
Mn ppm	1 293	367
Zn ppm	44	367
Cu ppm	18	65
B ppm	5	-

manganèse n'est pas préjudiciable au riz qui peut en receler jusqu'à 7 000 ppm sans présenter de symptôme de toxicité (CHENG et QUELLETTE, 1971).

Une deuxième comparaison peut être faite entre les compositions des parties aériennes et des racines de plantes obtenues dans des conditions de culture extrêmement différentes sur le plan de l'alimentation minérale : culture hydroponique d'une part (tableau IV) et vase de végétation sans apport d'éléments nutritifs d'autre part (tableau VI).

Pour les éléments majeurs, on note que les teneurs sont plus faibles dans les plantes cultivées en vase de végétation sans apport d'éléments nutritifs. Les écarts les plus nets concernent le phosphore sur l'ensemble de la plante et, au niveau des racines, le calcium et à un degré moindre le potassium.

Pour les éléments mineurs, on note de fortes teneurs en Mn dans les parties aériennes des plantes cultivées en vase de végétation, mais surtout de très fortes teneurs en fer dans les racines, indicatrices d'une absorption importante de fer ferreux (VIZIER, 1988 b). Le fer n'est pas aussi abondant dans les parties aériennes (teneurs inférieures à 300 ppm), ce qui peut expliquer l'absence de symptômes foliaires attribuables à une toxicité ferreuse (TANAKA *et al.*, 1966).

Par rapport aux plantes cultivées dans des conditions d'alimentation minérale optimales, celles récoltées en vase de végétation sans apport d'éléments nutritifs présentent, toutes variétés confondues, une très forte carence en phosphore sur l'ensemble de la plante et une carence en calcium et potassium dans les racines. Ces carences, associées à la forte absorption de fer observée au niveau des racines, révèlent un important déséquilibre nutritionnel.

Une troisième comparaison peut être faite entre la composition de plantes se développant en milieu saturé ou drainé, dans des conditions considérées par ailleurs comme étant optimales sur le plan de l'alimentation minérale (vases de végétation avec apport de solution nutritive, tableau V). Pour chacune des deux variétés, on compare la composition des parties aériennes de la plan-

TABLEAU VII Effets de la saturation du sol par l'eau, sur l'absorption et le transfert vers les parties aériennes, des différents éléments minéraux.

Éléments	Variété pluviale IAC 55 44		Variété aquatique Rojofotsy	
	Teneurs des p.a. moins fortes en milieu saturé	Teneurs des p.a. plus fortes en milieu saturé	Teneurs des p.a. moins fortes en milieu saturé	Teneurs des p.a. plus fortes en milieu saturé
N		+ 2,7%		+ 12,7%
P		+ 23,5%		+ 39,4%
K		+ 3,9%		+ 11,0%
Ca	- 17,0%			+ 21,3%
Mg	- 22,0%		- 5,6%	
S		+ 5,3%		+ 28,9%
Fe		+ 89,3%	- 5,4%	
Mn	- 39,7%		- 28,1%	

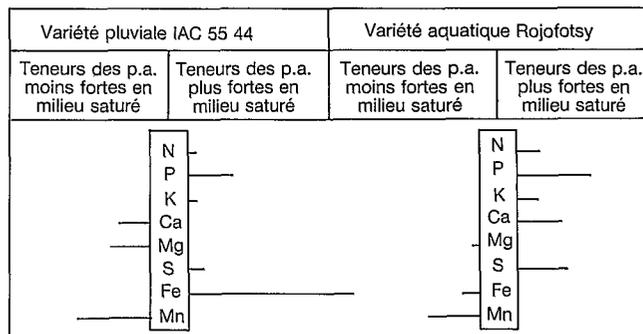


FIGURE 2 : Schéma représentant les variations des teneurs en différents éléments des parties aériennes des plantes se développant en milieu saturé par rapport aux teneurs des plantes se développant en milieu drainé.

te cultivée en milieu saturé à celle de la plante cultivée en milieu drainé. Pour chaque élément, les variations exprimées en pourcentage sont considérées comme étant positives lorsque la teneur est supérieure en milieu saturé à celle obtenue en milieu drainé et négatives dans le cas contraire. Les résultats de ces calculs sont donnés dans le tableau VII et représentés schématiquement sur la figure 2. Cette comparaison vise à mettre en évidence, pour chaque variété de riz, l'effet de la saturation du sol par l'eau sur l'absorption puis le transfert des éléments minéraux vers les parties aériennes des plantes.

Le phosphore est absorbé et transféré vers les parties aériennes des plantes en plus fortes quantités lorsque le milieu est saturé d'eau, aussi bien pour la variété aquatique (+ 39,4 %) que pour la variété pluviale (+ 23,5 %), ce qui dénote une plus faible immobilisation de cet élément dans un milieu saturé d'eau.

Le manganèse est mieux absorbé et transféré vers les parties aériennes des plantes lorsque le milieu est drainé, quelle que soit la variété de riz (- 39,75 % pour la variété aquatique et - 28,1 % pour la variété pluviale). L'absorption de Mn facilitée par l'acidité du milieu est sans doute aussi favorisée par la forte proportion de nitrate présente dans la solution nutritive (MENGEL et KIRKBY, 1978), forme de l'azote qui disparaît dès que le milieu saturé d'eau devient modérément réducteur.

Concernant le fer enfin, il existe une forte différence entre les deux variétés de riz testées. En milieu saturé, cet élément est absorbé et transféré vers les parties aériennes en plus fortes quantités par la variété pluviale (+ 89,3 %). Cette forte absorption est à rapprocher des valeurs plus faibles de $p_e + pH$ obtenues dans ce cas (traitement 6) et qui correspondent à la plus faible capacité de la variété pluviale à maintenir une rhizosphère oxydée, du fait d'un moins bon transfert d'oxygène des parties aériennes vers les racines (PUARD *et al.*, 1986 a).

Conclusions

Les résultats obtenus lors de ces expérimentations corroborent les observations faites *in situ*, en mettant en évidence le niveau d'adaptation variétal du riz à l'inondation.

Lorsque le milieu est pauvre, les plantes se développent mal et il n'a pas été possible de différencier le comportement des deux variétés de riz testées. Cependant, on peut noter que lorsque la terre est saturée d'eau, le milieu devient nettement réducteur pour certains éléments tels que le fer. La composition des plantes, obtenues dans ces conditions, traduit un important déséquilibre nutritionnel. Ce déséquilibre qui se manifeste par diverses carences et d'importantes teneurs en fer dans les racines, est dû à la pauvreté du milieu mais témoigne aussi de la faible résistance du riz à absorber massivement de fortes quantités de substances réduites présentes dans le milieu saturé d'eau et réducteur.

Lorsque le milieu est bien pourvu en éléments nutritifs pour la plante, celle-ci se développe bien et son comportement en milieu saturé d'eau est bon. Ce comportement est cependant meilleur avec la variété aquatique qui assure le maintien d'une rhizosphère oxydée (pe + pH voisin de 12), qu'avec la variété pluviale. La moins bonne limitation du développement des processus de réduction dans la rhizosphère du riz pluvial se traduit par une absorption sensiblement plus forte de fer.

Le comportement du riz face à la saturation du sol par l'eau et à l'inondation dépend donc surtout de la richesse du milieu en éléments nutritifs. Par ailleurs, le riz aquatique de par ses caractères morphologiques (aérenchymes permettant le transport d'oxygène des parties aériennes vers les racines), résiste bien à cette situation hydrique particulière en maintenant une rhizosphère oxydée. L'absorption modérée de fer qui en résulte, constitue un bon révélateur de l'adaptation de la plante à l'inondation. De ce fait, la teneur en fer des racines peut être choisie comme test permettant de sélectionner, parmi les variétés de riz pluvial, celles qui sont susceptibles de mieux résister à un excès d'eau.

PUARD M., COUCHAT P., LASCEVE G., 1989. Etude des mécanismes physiologiques d'adaptation du riz (*Oryza sativa* L.) aux contraintes du milieu. I - Modification anatomique des racines. *L'Agron. Trop.*, (44) 3.

PUARD M., COUCHAT P., LASCEVE G., 1989. Etude des mécanismes physiologiques d'adaptation du riz (*Oryza sativa* L.) aux contraintes du milieu. II - Effets de la nutrition azotée sur la consommation d'oxygène par les racines et l'évolution de l'acidité. *L'Agron. Trop.*, (44) 3.

RAUNET M., 1984. Le milieu physique de la région du lac Alaotra (Madagascar) : aptitudes à la mise en valeur agricole ; système et structure. Montpellier, IRAT, 226 p.

TANAKA A., LOE R., NAVASERO S.A., 1966. Some mechanisms involved in the development of iron toxicity symptoms in the rice plant. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 12 (4) : 32-38.

VAN DER VORM P.D.J., VAN DIEST A., 1979. Aspects of the Fe and Mn nutrition of rice plants. I - Iron and manganese uptake by rice plants, grown under aerobic and anaerobic conditions. *Plant Soil*, 51 (2) : 233-246.

VIZIER J.-F., 1988 a. Le fer indicateur de l'hydromorphie. Etude de sa dynamique dans les sols subissant un excès d'eau. *Bulletin du GFHN*, n° 23 : 25-38.

VIZIER J.-F., 1988 b. La toxicité ferreuse dans les sols de rizières. Importance du problème, causes et mécanismes mis en jeu, conséquences pour l'utilisation des sols. Cadarache, ORSTOM, 13 p.

Références bibliographiques

AHMADI N., CHARPENTIER H., FEAU C., RABARY E., 1988. Amélioration variétale du riz pour la région du lac Alaotra à Madagascar. *L'Agron. Trop.*, (43) 2 : 91-98.

CALLOT G., CHAMAYOU H., MAERTENS C., SALSAC L., 1982. Les interactions sol-racines. Incidence sur la nutrition minérale. Paris, INRA, 325 p.

CHENG B.T., QUELLETTE G.J., 1971. Manganese availability in soils. *Soils and Fert.* 34 : 589-595.

LINDSAY W.L., SCHWAB A.P., 1982. The chemistry of iron in soils and its availability to plants. *J. Plant Nutr.*, 5 (4-7) : 821-840.

MENGEL K., KIRKBY E.A., 1978. Iron. In : *Principles of plant nutrition*. Bern, IPI : 425-439.

PUARD M., COUCHAT P., LASCEVE G., 1986 a. Importance de l'oxygénation des racines du riz (*Oryza sativa*) en culture inondée. *L'Agron. Trop.*, (41) 2 : 119-123.

PUARD M., COUCHAT P., BOSSY J.-P., 1986 b. Modifications anatomiques induites dans les racines séminales du riz (*Oryza sativa*) par les conditions de culture. *L'Agron. Trop.* (41) 2 : 124-126.

Summary

VIZIER J.-F., PUARD A. – **The effect of fertilization on upland rice behaviour in flooded conditions.**

Pot experiments point out soil-plant interactions. Flooding is responsible for oxygen deficiency in the soil. This deficiency causes reduction processes which can be limited by the plant. These processes are restricted in flooded environments where fertilizers are applied. The more or less effective maintenance of an oxidized rhizosphere, depending on the upland or aquatic test rice varieties, regulates the reduced substance uptake in the waterlogged soil solution. This more or less good regulation of reduced substance uptake has an effect on the plant composition and shows the level of rice variety adaptation to flooding. In flooded environments without fertilizer use, the absence of reduction process limitation in the rhizosphere of unthrifty plants and bad uptake regulation of abundant reduced substances in the soil solution result in the high iron contents of rice roots. So the plant composition and, more particularly the iron content of roots, can be used as a test for breeding upland rice varieties likely to show a better resistance to excess water.

Key words : Soil-plant interactions, soil oxidation-reduction, fertilization, upland rice, flood resistance.

Resumen

VIZIER J.-F., PUARD M. – **Influencia de la fertilización sobre el comportamiento del arroz de secano en un medio anegado.**

Unas experimentaciones realizadas en macetas ponen de manifiesto la existencia de interacciones entre el suelo y la planta. El anegamiento provoca un déficit de oxígeno en el suelo. Ese déficit induce unos procesos de reducción cuyo desarrollo puede limitar la planta. La limitación de estos procesos se verifica en los medios anegados que reciben fertilización. El mantenimiento más o menos efectivo de una rizósfera oxidada, según las variedades de secano o acuáticas de arroz probadas, permite la regulación de la absorción de las sustancias reducidas que se encuentran en la solución del suelo saturado de agua. Esa regulación más o menos buena de la absorción de las sustancias reducidas se repercute en la composición de las plantas y revela el grado de adaptación de la variedad de arroz al anegamiento. En los medios anegados sin fertilización, la ausencia de limitación de los procesos de reducción en la rizósfera de plantas que se desarrollan mal y la regulación deficiente de la absorción de sustancias reducidas que abundan en la solución del suelo, se traducen por altos contenidos de hierro en las raíces del arroz. La composición de las plantas, y en particular el contenido de hierro de las raíces, se puede utilizar por consiguiente como prueba para seleccionar las variedades de arroz de secano de resistir mejor a un exceso de agua.

Palabras-clave : Interacción suelo-planta, estado de oxidorreducción del suelo, fertilización, arroz de secano, resistencia al anegamiento.