

Diagnostic sur les systèmes de riziculture irriguée dans la moyenne vallée aval du fleuve Sénégal

Jean-Christophe Poussin

Introduction

Dans la vallée du Sénégal, la création d'aménagements hydro-agricoles associée à la régulation du débit du fleuve a permis le développement de l'agriculture irriguée. Avec des rendements potentiels de 8 à 12 tonnes/hectare et la possibilité de réaliser deux récoltes par an, la riziculture irriguée figure en bonne place dans la stratégie d'autosuffisance alimentaire des pays riverains, et constitue actuellement la principale culture pour les paysans de la vallée.

Malheureusement, les performances de la riziculture restent en deçà des espérances : les rendements, en moyenne inférieurs à 5 t/ha, sont variables et instables, et la double riziculture est loin d'être systématique. Les coûts de production, par contre, correspondent à ceux d'une culture intensive, et demeurent élevés (l'équivalent de 2,5 à 4 tonnes de paddy par hectare) du fait de l'irrigation par pompage, de l'utilisation d'engrais et d'herbicides, et du recours assez généralisé à la motorisation pour le travail du sol ou, moins fréquemment, la récolte. La dévaluation du franc CFA, même si elle atténue la concurrence entre la production locale et les importations, ne peut qu'aggraver ce constat puisque la presque totalité des intrants agricoles est importée.

Ce constat d'échec, au moins partiel, de la riziculture irriguée dans la vallée du fleuve n'est pas nouveau. Les analyses de l'élaboration des rendements rizicoles effectuées par le passé (Bonfond *et al.*, 1981 ; Jamin & Caneill, 1983) ont permis d'identifier les principales contraintes agronomiques, toutes liées au manque de maîtrise technique : irrigation, enherbement, fertilisation,

etc. Depuis, la Saed, société d'état chargée du développement et de l'encadrement de la riziculture sur le fleuve, s'est progressivement « désengagée », et actuellement tous les périmètres irrigués ont une gestion paysanne.

Au travers d'une étude réalisée dans une micro-région (zone de Nianga - Podor) située en moyenne vallée aval du fleuve Sénégal, nous nous proposons de caractériser les divers systèmes de riziculture irriguée présents, en vérifiant l'actualité du diagnostic agronomique émis dans le passé. Cette caractérisation a pour objectif de révéler les contraintes, et leurs interactions, qui pèsent sur le fonctionnement de ces systèmes de culture, à différentes échelles : parcelle, aménagement, filière de production. Nous discuterons alors des possibilités d'améliorer les performances de ces systèmes de cultures.

■ Critères de distinction des systèmes de riziculture irriguée

La riziculture irriguée sur le fleuve Sénégal est fortement influencée par une organisation structurelle des surfaces cultivées et une organisation sociale des producteurs (Baretteau, 1994 ; Le Gal, 1995). En effet, les parcelles héritent de propriétés hydrauliques liées à l'aménagement hydro-agricole dont elles font partie, et les paysans qui les cultivent sont regroupés en organisation paysanne (OP) non seulement pour la gestion de l'aménagement, mais aussi pour celle des intrants agricoles et de la mécanisation des travaux.

Ceci conduit à distinguer *a priori* les systèmes de riziculture irriguée selon les critères suivants :

- le type d'aménagement, qui tient compte non seulement de ses propriétés hydrauliques mais aussi de son mode de gestion par les OP ;
- la saison et l'intensité culturales ;
- les techniques culturales.

Types d'aménagement

On distingue les aménagements selon leur taille, leur degré de maîtrise de l'eau, et leur mode de gestion (tabl. 1).

- Les « grands aménagements » de plusieurs centaines au millier d'hectares, disposent d'un réseau hydraulique complet (irrigateurs et drains) alimenté par une station de pompage de grosse dimension. Ils sont gérés chacun par plusieurs OP, structurées selon leurs fonctions (gestion du tour d'eau, de la

mécanisation des travaux, de la station de pompage, du crédit...) et hiérarchisées selon leur échelle d'intervention (maille hydraulique, périmètre, village). A l'inverse du delta, ce type d'aménagement est faiblement représenté dans la zone étudiée.

– Les « petits aménagements », d'une surface inférieure à 50 ha, sont plus sommaires (absence de drains) et ne sont gérés chacun que par une seule OP. Ils sont exploités par des paysans issus du même village (périmètres irrigués villageois, noté PIV), voire du même groupe familial (périmètre irrigué privé, noté PIP). A l'intérieur des PIV, deux familles d'aménagements sont particulières : les PIV FED et les IT. Les premiers font partie d'un projet, financé par le Fond européen de développement (FED), préconisant la traction bovine pour la réalisation des travaux de préparation du sol. Les seconds, issus d'un projet italien, permettent l'irrigation des parcelles par siphonage depuis un canal surélevé, et ne nécessitent pas de tour d'eau entre parcelles.

Tableau 1
Les aménagements du département de Podor

	Grands aménagements	Petits aménagements				
		Total	PIV	PIV FED	IT	PIP
Nombre d'aménagements	7	565	280	40	10	235
Nombre d'OP	72	567	280	40	10	237
Surface exploitable en 1994 (ha)	3905	11 395	7 115	1 048	500	2 732
Nombre de paysans attributaires	6411	47 991	33 002	4 822	500	9 667

Sources : base de données Saed

Saisons et intensité culturales

On distingue trois saisons culturales : la saison sèche chaude (ou contre-saison chaude, notée CSC), de février à juin-juillet, l'hivernage (HIV), de juillet à novembre-décembre, et saison sèche fraîche (ou contre-saison fraîche, notée CSF), d'octobre à avril-mai. Le riz constitue la principale culture ; il est cultivé surtout en hivernage et moins souvent en saison chaude (tabl. 2).

Dans le département de Podor, le riz d'hivernage est implanté entre début juillet et début septembre, et récolté entre mi-novembre et début janvier ; le riz de saison chaude est implanté entre mi-février et début avril, et récolté en juillet-août. Compte-tenu de fréquents retards, on observe également une culture dite « d'intersaison », implantée entre fin avril et début juin, et récoltée de fin août à début octobre (les surfaces sont alors comptabilisées comme du riz de saison chaude).

Tableau 2
Pourcentage de mise en valeur des différents aménagements,
entre 1991 et 1995, selon la saison et la culture
(les surfaces sont exprimées en % de la surface exploitable)

		91	92	93	94	95
GP	CSC riz	16,3	0,0	32,7	43,7	0,0
	CSC autre	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	HIV riz	36,5	34,3	38,9	36,6	
	HIV autre	2,5	3,2	1,7	6,7	
	CSF	1,2	3,0	8,0	5,5	
	Total	56,5	40,5	81,3	92,5	
IT	CSC riz	33,6	63,4	45,8	31,6	11,6
	CSC autre	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	HIV riz	51,6	17,4	36,2	71,7	
	HIV autre	8,4	3,2	1,0	0,0	
	CSF	17,4	17,0	27,6	13,4	
	Total	111,0	101,0	110,6	116,7	
PIP	CSC riz	1,9	7,2	4,4	2,6	2,6
	CSC autre	0,0	0,0	0,0	0,4	0,5
	HIV riz	13,0	15,7	18,6	22,6	
	HIV autre	1,4	5,2	3,1	5,5	
	CSF	24,2	18,6	21,9	13,1	
	Total	40,5	46,5	48,0	44,2	
PIV	CSC riz	6,1	5,7	4,8	5,3	2,9
	CSC autre	0,0	0,0	0,0	0,6	0,2
	HIV riz	32,5	29,1	25,8	21,7	
	HIV autre	3,3	5,2	5,1	8,4	
	CSF	14,4	13,8	11	10,8	
	Total	56,3	53,8	46,7	46,8	
PIV FED	CSC riz	43,8	51,0	51,9	76,0	16,8
	CSC autre	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0
	HIV riz	84,3	44,1	64,2	33,3	
	HIV autre	0,8	4,0	8,3	1,7	
	CSF	0,0	3,4	6,7	2,0	
	Total	128,9	102,5	131,1	113,2	

Sources : base de données Saed

La grande majorité des parcelles n'est exploitée annuellement que durant une saison (la surface cultivée est inférieure à la surface exploitable). La double riziculture, qui correspond à la succession annuelle riz de saison chaude - riz d'hivernage sur la même parcelle, est beaucoup moins fréquente : on l'observe sur une partie des surfaces du périmètre de Nianga (70 % en 1993, 50 % en 1994 et 0 % en 1995), ou bien sur quelques PIV FED et IT .

Les différences entre campagne de saison chaude et campagne d'hivernage portent essentiellement sur les risques parasitaires liés aux insectes, qui sont plus élevés en hivernage du fait de la forte humidité en août et septembre, et sur les conséquences du choix du couple variété x date de semis. En effet, en saison chaude, un semis précoce se heurte aux faibles températures qui ralentissent la croissance en début de cycle, alors qu'un semis tardif (intersaison) ou le choix d'une variété relativement tardive empêche la succession par une culture d'hivernage, et présente le risque d'une récolte sous la pluie. De plus, les températures élevées en mai-juin provoquent une stérilité des épillets lorsqu'elles coïncident avec la méiose (Dingkuhn *et al.*, 1994). Pour l'hivernage, les faibles températures n'apparaissent qu'à partir de fin octobre et peuvent provoquer une stérilité des épillets. L'utilisation du logiciel Ridev, qui simule le développement du riz irrigué selon différents scénarios climatiques (Dingkuhn *et al.*, 1995), avec les températures mesurées à Podor, indique un risque de taux stérilité des épillets supérieur à 50 % pour un semis réalisé après le 20 août avec la variété Jaya, variété de cycle moyen généralement implantée en hivernage.

Techniques culturales

On distingue deux grands modèles techniques prédominants, qui diffèrent essentiellement par le mode d'implantation : semis à la volée directement dans la parcelle (semis direct), ou semis en pépinière et repiquage dans la parcelle. Cette dernière technique permet de contrôler l'enherbement en implantant des plantes qui supportent déjà une épaisse lame d'eau. Dans le premier cas, l'installation d'une forte densité de plantes (450 à 600 pieds/m²) constitue également un moyen pour limiter l'enherbement.

Dans les deux cas, la préparation du sol se limite à un travail superficiel à l'aide d'un passage de pulvérisateur lourd (offset) en motorisation, ou d'un labour en culture attelée suivi éventuellement d'une reprise par un cultivateur. Les sols étant dans leur grande majorité assez lourds (Boivin *et al.*, 1995), la pré-irrigation facilite la pénétration des outils.

L'apport de phosphore (100 à 200 kg de 18-46-0), s'effectue avant le travail du sol, ou bien en couverture. Pour la fertilisation azotée, il est conseillé deux

apports de 100 kg d'urée, environ 30 et 60 jours après semis (ces dates correspondent au tallage et à l'initiation paniculaire pour la variété Jaya cultivée en hivernage).

Le désherbage chimique constitue la principale technique utilisée pour lutter contre l'enherbement, surtout dans les parcelles semées directement. Selon le produit utilisé, il est effectué avant semis ou repiquage (pré-émergence), ou bien en post-levée après évacuation de la lame d'eau (assec). Le maintien d'une lame d'eau importante permet également de contrôler l'enherbement, mais nécessite que le riz ait atteint une taille suffisante.

L'irrigation démarre avec la mise en eau de la parcelle et doit être maintenue jusqu'à deux à trois semaines avant la récolte. La présence de drains facilite l'évacuation de l'eau nécessaire aux interventions, sinon l'assec est obtenu par évaporation de la lame d'eau.



Dispositif et méthodes

Dispositif

L'itinéraire technique mis en oeuvre sur une parcelle est la résultante d'un processus de décision qui dépasse l'échelle de la parcelle. Ainsi, le fonctionnement de l'unité de production d'une part, et d'autre part, celui du périmètre géré par des OP, influent sur le choix et la mise en oeuvre des techniques (Poussin, 1995-a). Le dispositif s'appuie donc sur le choix de quelques paysans cultivant plusieurs parcelles de riz dans différents types d'aménagement. Ce choix est guidé par la volonté d'une part d'observer une large gamme de situations, et d'autre part, de se situer chez des acteurs pour lesquels l'agriculture irriguée constitue une activité majeure (notre échantillon « biaisé » ne rend effectivement pas compte des systèmes de riziculture pratiqués certains paysans, notamment agro-pasteurs peuls). Le suivi de toutes les parcelles cultivées par chaque paysan, rizicoles ou non, nous permet de replacer la parcelle (et le système de culture) dans l'ensemble de ses activités agricoles. De même, le suivi des décisions prises par les OP chargées de gérer les aménagements permet d'identifier certains déterminants des pratiques observées à l'échelle de la parcelle. Les caractéristiques des situations suivies en 1994 sont présentés dans le tableau 3.

Pour les six paysans suivis en 1994, sept parcelles sont conduites en double riziculture et douze en simple culture, dont deux en saison chaude et dix en hivernage (la lettre 'C' ou 'H' suivra le code de la parcelle afin d'indiquer la saison de culture).

Tableau 3
Situations suivies en 1994

Périmètre		Parcel.	Surface (ha)	Paysan	Succession	Implantation (csc - hiv)
Grand Périmètre de Nianga	SUMA Guia 3	SG1	0,23	A	D.C.	D - D
		SG2	0,21	A	D.C.	D - D
		SG3	0,43	A	D.C.	D - D
	SUMA Ndiawara	SN2	0,55	B	D.C.	D - D
	Maille commune du casier pilote	CP1	0,70	C	D.C.	D - R
CP2		0,70	D	S.C. hiv	D	
PIV Ndiawara		PN8	0,11	B	S.C. hiv	D
PIV FED Guia 4		G4C	0,55	A	S.C. csc	D
		G4H	1,50	A	S.C. hiv	D
Donaye IT1 (irrigation par siphon, pas de drains)		DJL	0,33	E	D.C.	D - D
		IO1	0,25	E	S.C. hiv	R
		IO2	0,25	E	D.C.	R - D
Donaye IT2 (idem IT1)		IAC	0,16	F	S.C. csc	D
		IAH	0,84	F	S.C. hiv	R
PIP Béké Wéké		BK1	0,10	F	S.C. hiv	R
		BK2	0,26	F	S.C. hiv	D
PIV Donaye 1		DO1	0,10	E	S.C. hiv	D
PIP Betowo (GIE Familial)		GB1	1,40	C	S.C. hiv	R
		GB2	0,80	C	S.C. hiv	R

S.C. : simple culture ; D.C. : double culture ; csc : contre-saison chaude ; hiv : hivernage ; D : semis direct ; R : repiquage

Les sols, tous hydromorphes, sont de texture limono-argileuse à argileuse (vertisols). Ils sont riches en calcium, magnésium et potassium, mais relativement pauvres en phosphore. On remarque des quantités décroissantes de phosphore assimilable avec la profondeur, résultant de la fertilisation et indiquant un lessivage des éléments. Les conductivités électriques mesurées (dans les parcelles et dans les stations) n'indiquent aucun problème important de salinité dans les parcelles suivies.

Un suivi de l'élaboration du rendement du riz a été effectué dans 21 parcelles (quatre en saison chaude et dix-sept en hivernage). Ce suivi est réalisé par l'enregistrement des pratiques culturales, l'observation régulière de l'état de la parcelle, et la mesure de composantes de rendement. Ces composantes sont mesurées dans des « stations de suivi », installées en début de culture dans chaque parcelle (une à quatre stations par parcelle selon sa dimension). Les

composantes sont mesurées (quatre répétitions, ou « placettes », par station) à deux stades de la culture :

- à l'initiation paniculaire (IP), qui correspond au début de la montaison, on mesure les densités de plantes, éventuellement de poquets (repiquage), et de talles, ainsi que la biomasse aérienne ;
- à maturité, on mesure la densité d'épis, d'épillets et de grains, ainsi que le poids de paille et le poids de grains.

Les comptages et prélèvements sont effectués dans des anneaux de 61 cm de diamètre (soit $0,3 \text{ m}^2$). En cas de repiquage, une mesure de la densité de poquets après récolte (deux à quatre répétitions sur 6 m^2) permet de corriger l'éventuelle sur-évaluation de la densité mesurée dans les anneaux.

Méthodes

Schéma d'élaboration du rendement du riz

Le diagnostic agronomique à l'échelle de la parcelle se fonde sur une décomposition du rendement en composantes élaborées durant les différentes phases de développement du riz (Durr, 1984) :

- rendement = nombre de grains/u.s. x poids d'un grain,
avec u.s. = unité de surface ;
- nombre de grain/u.s. = nombre d'épillets/u.s. x taux de fertilité des épillets.

Le poids d'un grain (PG) est borné supérieurement (caractéristique variétale) et dépend des conditions de remplissage. Ce remplissage est favorisé par une bonne croissance des épis (translocation de matières sèche des tiges vers les grains) et la prolongation de la photosynthèse liée à l'état de la dernière feuille après floraison (Dingkuhn *et al.*, 1992-b). Lorsque la densité de grains augmente, PG diminue (phénomène de compensation). L'état de croissance des épis est évalué par le poids de paille (PP) à maturité.

Le taux de fertilité des épillets (TF) traduit à la fois le non-remplissage d'une partie des grains et la stérilité physiologique des épillets induite par des températures extrêmes pendant la méiose. L'emploi du simulateur Ridev nous permettra d'évaluer pour chaque parcelle cette stérilité physiologique.

Le nombre d'épillets, ou fleurs (NF), est lié à la croissance de la culture jusqu'à floraison. Le nombre d'épis (NE), également lié à la croissance jusqu'à floraison, est un bon indicateur du nombre d'épillets.

La croissance de la culture en début de cycle (jusqu'à l'IP), mesuré par la biomasse aérienne (BA), détermine le niveau potentiel du nombre d'épis et

d'épillets. Si les conditions de croissance après IP sont défavorables, les sites initiés régressent.

$$NF_{\text{pot}} = f(\text{BA}) ; NE_{\text{pot}} = g(\text{BA})$$

L'état de la culture à l'IP est évalué par le nombre de plantes (NP), de talles (NT) et la biomasse aérienne (BA).

Analyse des situations

Les premières analyses concernent la variabilité des pratiques culturales, d'états du milieu observés, et de composantes de rendement mesurées. L'analyse de la variabilité des composantes permet de répondre aux questions relatives à la représentativité de l'échantillon, et aux parts relatives de variabilité inter et intra classe, pour les variétés, le mode de semis, les parcelles et les stations.

La caractérisation des situations en matière d'élaboration du rendement est obtenue à l'aide d'analyses en composantes principales (ACP). Afin d'éliminer l'effet variétal, nous effectuons des ACP intra-classes. La procédure consiste à réaliser une ACP classique (Lebart *et al.*, 1982) sur le tableau des écarts aux moyennes pour chaque variété (Dolédéc & Chessel, 1987).

Du fait des deux dates de prélèvements, et afin de montrer l'impact des conditions d'implantation sur les résultats à maturité, nous effectuons deux ACP intra-classes :

- la première est réalisée sur le tableau des composantes mesurées à l'IP dans chaque placette (192 individus, 3 variables : NP, NT, BA) ;
- la seconde est réalisée sur le tableau des composantes mesurées à maturité dans chaque placette (192 individus, 5 variables : NE, PP, NF, TF, PG).

Ces deux analyses et leur superposition nous permettent de caractériser les situations (nous résumons l'information en effectuant des moyennes par station) en utilisant nos informations concernant l'état des parcelles et des pratiques culturales.

Enfin, l'analyse du déroulement d'une campagne agricole à partir des suivis réalisés aux échelles exploitation et périmètre, nous permet de mettre en évidence l'organisation des décisions prises à différentes échelles (individu, groupement, amont et aval), ainsi que l'origine de diverses contraintes relevées à l'échelle de la parcelle et liées à leur mode de conduite.

Résultats

Variabilité des situations observées

Pratiques culturales et états des parcelles

Les pratiques culturales suivent globalement l'un ou l'autre des deux grands modèles techniques, avec de plus ou moins fortes déviations dans les modalités d'application des techniques (les pratiques culturales et l'état des parcelles sont présentés en détail en annexe).

Implantation

L'implantation par semis direct est majoritaire. Ce choix est fortement lié à la facilité de sa mise en oeuvre (Poussin, 1995-b). Mais l'emploi de cette technique suppose un bon nivellement de la parcelle et un contrôle précoce de l'enherbement, ce qui est rarement le cas.

La préparation du sol est très superficielle (Kanté, 1996) : la profondeur de travail est faible (0 à 6 cm), et le lit de semence est très grossier. Certains périmètres (comme IT1 et IT2 à Donaye) pratiquent la pré-irrigation pour faciliter la pénétration des outils. Cette technique permet en plus de faire lever les adventices (dont le riz précédent) qui seront détruites par le travail du sol (cas de la parcelle IOJ). Elle suppose néanmoins une bonne organisation collective à l'échelle du périmètre, et l'assurance que les matériels interviennent dès que le sol est ressuyé.

Le semis direct est réalisé à la volée dans une lame d'eau de 5 à 20 cm. La quantité de semences utilisée varie de 100 à 200 kg/ha (soit 400 à 800 graines/m²). L'utilisation de semences auto-produites dont le coût est faible (110 à 150 FCFA/ha) et le pouvoir germinatif incertain, explique en partie les sur-dosages. Les semences sont systématiquement pré-germées.

Malgré un rapide planage manuel au râteau lors de la mise en eau, la lame d'eau est d'épaisseur variable (5 à 25 cm). Cette variabilité d'épaisseur traduit les défauts de nivellement de la parcelle (mauvais planage) et le micro-relief lié à la présence de grosses mottes. Elle engendre des conditions de levée assez hétérogènes à l'intérieur des parcelles, surtout pour les semis de saison chaude du fait de la faible température de l'eau d'irrigation. Il en résulte une densité de plantes très variable, entre parcelles et à l'intérieur des parcelles (tabl. 4).

Dans les pépinières, du fait de leur surface réduite, la qualité de la préparation du sol (nivellement, mottes, résidus) est meilleure que dans les parcelles

semées directement. Mais les semences ne sont pas toujours pré-germées afin de prévenir un repiquage tardif. Les conditions de levées ne sont ainsi pas bien meilleures qu'en semis direct.

Tableau 4
Variabilités des densités inter et intra parcelle mesurées dans les placettes

	Plantes / m ² (semis direct)			Poquets / m ² (repiquage)			Plants / poquet (repiquage)		
	global	par parcelle		global	par parcelle		global	par parcelle	
		mini	maxi		mini	maxi		mini	maxi
moy.	321	89	515	24,5	17,9	39,9	3,4	1,7	3,6
mini	34	–	–	10,3	–	–	1,5	–	–
maxi	1 034	–	–	55,0	–	–	11,2	–	–
C.V.	61,2	9,4	59,3	38,7	7,7	29,6	42,7	10,0	57,0
étendue	1 000	13	193	44,7	3,4	30,9	9,7	1,1	9,3

C.V. = coefficient de variation

Un apport d'engrais azoté est effectué avant le repiquage, au stade 3-4 feuilles - début tallage. Du fait du faible coût lié à la superficie réduite des pépinières, cet apport dépasse généralement 100 kg N/ha.

Le repiquage est réalisé dans une lame d'eau de 5 à 20 cm, le plus souvent en foule, rarement en ligne, au plus tôt au stade début tallage, et le plus souvent en plein tallage (5 parcelles sur 7). L'âge avancé des plants induit un stress physiologique plus fort, qui se traduit par un allongement du cycle et un risque de régression des premières talles émises.

La densité de poquets et le nombre de plants/poquet (tabl. 4) sont relativement variables entre parcelles. Dans certaines parcelles, notamment celles où le repiquage est tardif, le nombre de plants/poquets est assez élevé afin de compenser la perte de capacité de tallage, et, du fait d'une quantité de plants limitée, la densité de poquets est faible.

Contrôle de l'enherbement

En semis direct, ce contrôle s'effectue le plus souvent par un désherbage chimique post-levée. Pour être efficace, le traitement doit être effectué lorsque le riz et les adventices sont au stade 2-3 feuilles, en absence d'eau.

Ces conditions sont rarement respectées (Diagne, 1995). La présence de drains facilite l'obtention d'un assec. Mais dans tous les cas, d'une part le défaut de nivellement des parcelles induit un assèchement très irrégulier ; d'autre part, le démarrage des adventices, cypéracées notamment, est très

précoce (malgré la lame d'eau), et leur développement est souvent plus rapide que le riz. De plus, du fait d'un coût élevé (32 000 FCFA/ha), on observe un sous-dosage quasi systématique des produits (6 parcelles sur 9). Et lorsque la dose est correcte, le produit utilisé peut ne pas contenir la matière active annoncée (parcelles SG1H et IOJC).

L'utilisation d'un herbicide de pré-levée pourrait être avantageuse, mais les produits disponibles au Sénégal présentent un risque de phyto-toxicité sur le riz. Ce risque se traduit par une levée très irrégulière et de nombreux manques (SG1H, SG2H, SG3H, IO2H, DO1H), que l'on tente de combler par un repiquage.

Le mauvais contrôle de l'enherbement conduit à pratiquer un désherbage de rattrapage avant le premier apport d'engrais : le désherbage chimique est inefficace à cause du stade des adventices, et le désherbage manuel réduit fortement la densité de plantes du fait de la disposition du peuplement (SG1C).

Dans les parcelles repiquées, le contrôle de l'enherbement est moins crucial car la concurrence pour la lumière et les éléments nutritifs est en faveur du riz dont le stade est largement plus avancé. Il s'effectue généralement soit par un traitement herbicide à la mise en eau, avant repiquage, soit par un désherbage manuel rapide à la montaison.

La situation de l'enherbement des parcelles à l'initiation paniculaire et à maturité est illustrée par la figure 1. Les parcelles repiquées sont moins enherbées que les parcelles semées directement en début de cycle. Mais à maturité, cette différence est moins importante.

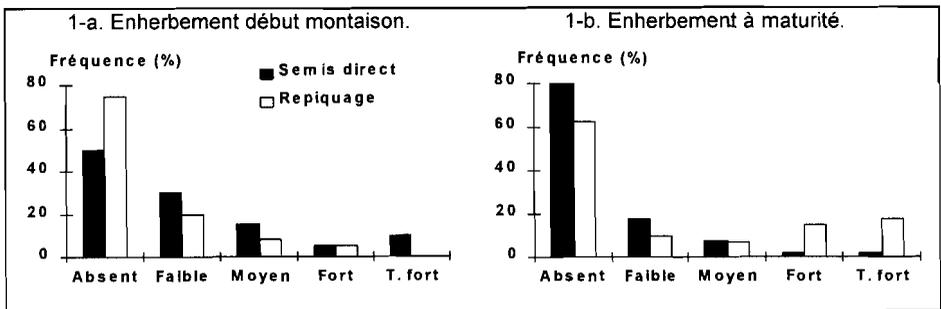


Figure 1 — Enherbement des 48 stations selon le mode d'implantation.

La note d'enherbement est fondée sur le pourcentage de recouvrement des adventices : 0-10 %, 10-20 %, 20-30 %, 30-40 %, >40 %.

Le facies d'adventices est en majorité composé de petites cypéracées. Mais on trouve également des cypéracées à bulbes et du riz à rhizomes dans certaines

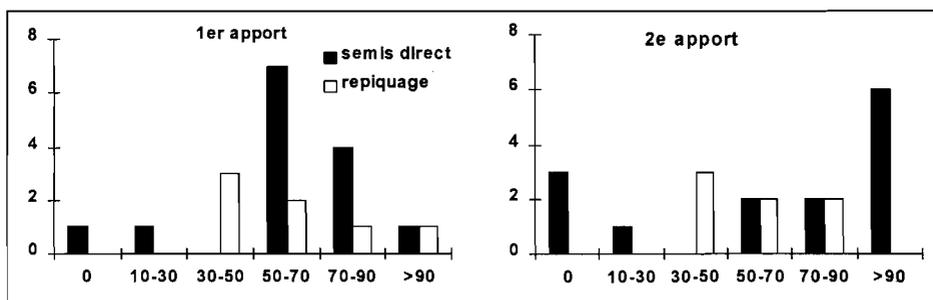
parcelles (CP1H et CP2H). Le «riz rouge» apparaissant pour la première fois dans toutes les parcelles implantée en IR1529, on peut supposer que l'infestation est liée aux semences.

Fertilisation

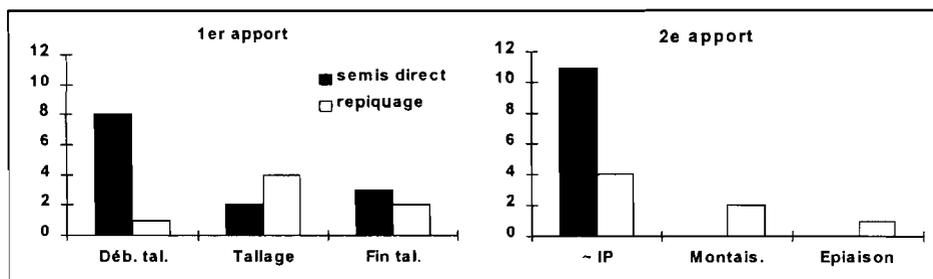
L'apport d'une fumure de fond est rare, les engrais n'étant généralement pas disponibles avant le semis. Ceci évite les pertes par lessivage au moment de la mise en eau (cf. *supra*). La fertilisation (N et P) est effectuée en couverture, dans la lame d'eau, et le plus souvent fractionnée en deux apports (fig. 2).

En semis direct, ces apports sont effectués généralement début tallage et début montaison. La dose du premier apport est beaucoup moins variable entre parcelles que celle du second.

La profondeur de boue permettant le développement des racines influe nettement sur l'efficacité de la fertilisation (Wopereis, communication personnelle). Ainsi, dans une zone de la parcelle SG1C (station G2) où la profondeur de boue était inférieure à 5 cm, et où les plantes prélevées possédaient un appareil racinaire très réduit, le second apport d'azote au début de la montaison n'a eu aucun effet.



2-a : Histogrammes des doses d'azote apportées (nombre de parcelles).



2-b : Histogrammes des dates d'apport (nombre de parcelles).

Figure 2 — Doses et dates des apports d'azote.

En repiquage, un apport supplémentaire est effectué dans les pépinières. Cet apport précoce permet de retarder les deux suivants, car il faut attendre la reprise des plants après transplantation. Les deux apports réalisés sont également très variables entre parcelles, et en moyenne plus faibles qu'en semis direct.

Gestion de l'eau

L'irrigation démarre avec la mise en eau des parcelles. La possibilité d'irriguer est liée à l'état de la station de pompage et au tour d'eau dont la réglementation et le fonctionnement sont propres à chaque aménagement (Barreteau, 1994). De plus, l'état du réseau d'irrigation et des diguettes conditionne fortement l'irrigation de la parcelle. Sur le grand périmètre de Nianga comme dans les PIV, ces structures sont fortement dégradées : l'eau du canal arrive lentement dans les parcelles, et fuit très rapidement par les diguettes. Dans les parcelles suivies, une seule parcelle (DO1H) a subi un arrêt prolongé de l'irrigation (10 jours durant le tallage) dû à une panne du groupe moto-pompe. La même parcelle, et l'ensemble du périmètre dont elle fait partie, ont ensuite été inondés par la crue du fleuve pendant la montaison.

En l'absence de drains, l'assec est obtenu par arrêt de l'irrigation et évaporation de l'eau. Cette évaporation provoque une concentration des sels en surface qui peut induire une stérilité ou mortalité des plants de riz (Dingkuhn *et al.*, 1992-a). Ceci n'a pas été observé dans les parcelles suivies.

Les paysans stoppent les irrigations à maturité. Ce choix a pour conséquence un étalement de maturité des panicules, et retarde d'autant la récolte. Ce retard peut induire une récolte à sur-maturité, avec égrainage et baisse de qualité du paddy (Le Gal, 1995).

Variabilité des composantes

La figure 3 illustre la variabilité des rendements observés sur les 21 parcelles suivies. La gamme des rendements (de 1 à 8 t/ha pour les parcelles, de 0 à 13 t/ha pour les placettes) est du même ordre que pour l'ensemble des surfaces rizicultivées sur la rive gauche du fleuve Sénégal.

L'effet du mode de semis ou de la variété est faible (tabl. 5). En effet, dans les deux cas la variabilité intra-classe est nettement supérieure à la variabilité inter-classe. Par contre, l'effet parcelle ou station, à variété égale, est beaucoup plus fort. Néanmoins, la *variabilité intra-parcelle reste très élevée*.

La densité de plantes dans les parcelles semées directement, ou de poquets et de plants/poquet dans les parcelles repiquées illustrent bien cette variabilité

intra-parcellaire (tabl. 4). Pour le semis direct, la variabilité de densité est non seulement liée à la technique de semis à la volée, mais aussi à l'hétérogénéité du lit de semence. Quant au repiquage, où le contrôle de la densité d'implantation est théoriquement meilleur, la variabilité intra-parcellaire est encore très élevée dans certaines parcelles (CP1H et GB1H notamment).

Tableau 5
Analyse de la variabilité totale selon l'implantation,
la variété, la parcelle ou la station

Stade	Inertie totale	Implantation (SD ou RP)		Variété semée (4 modalités)		Parcelle (21 modalités)		Station (48 modalités)	
		Inter	Intra	Inter	Intra	Inter	Intra	Inter	Intra
Début montaison (NP, NT, BA)	3	0,57	2,43	0,96	2,04	1,48	1,52	2,19	0,81
Maturité (NE, PP, NF, TF, PG)	5	0,43	4,57	0,83	4,17	2,35	2,64	3,69	1,31

N.B.: L'analyse de la variabilité est réalisée sur des tableaux normés. Pour les parcelles et les stations, l'analyse est faite sur la variabilité intra-variété afin d'éliminer l'effet variété.

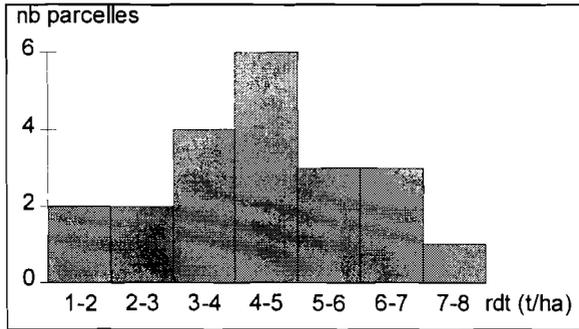
Ne disposant pas de comptages après floraison, le taux de stérilité physiologique des épillets a été calculé par simulation à l'aide du logiciel Ridev. Excepté les parcelles IOJC et SG1C cultivées en saison chaude, la stérilité due aux températures extrêmes est nulle, et la stérilité apparente est donc liée au remplissage des grains. Pour IOJC et SG1C, la stérilité physiologique simulée est inférieure à 12 %. Cette simulation ne tient pas compte de l'effet des vents chauds et secs pendant la floraison. La situation isolée de la parcelle IOJC nous conduit à supposer une sous-estimation du taux de stérilité physiologique des épillets.

Diagnostic à l'échelle de la parcelle cultivée

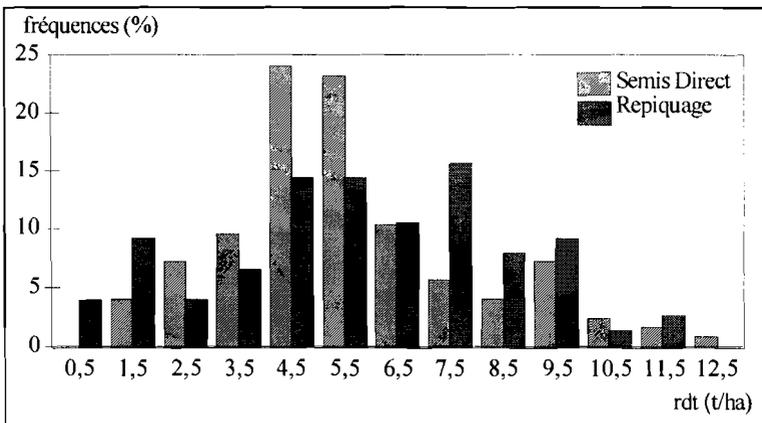
ACP sur composantes à l'initiation paniculaire (ACP1)

Les deux premiers axes factoriels résument 92 % de l'inertie totale. Le facteur 1 (75 % de l'inertie totale) représente la « taille » et traduit la forte corrélation entre variables : plus il y a de plantes, plus il y a de talles et donc de biomasse. Le facteur 2 rend compte de la variabilité de biomasse à densité égale. La figure 4 présente d'une part les coordonnées factorielles des variables (NP, NT et BA) dans le plan 1x2 (1 graphique), et d'autre part les

moyennes par station des coordonnées des placettes dans ce plan 1x2 (les moyennes par station sont regroupées par parcelle, soit 21 graphiques).



3-a Rendements obtenus dans les 21 parcelles suivies.



3-b Rendements mesurés dans les 192 placettes.

Figure 3 — Histogramme des rendements.

Dans le plan 1x2, on distingue trois situations extrêmes (fig. 4) :

- une densité faible associée à une biomasse moyenne ou faible (IO2C, SG1H, et GB2H), qui permet des potentiels d'épis et d'épillettes moyens à faibles ; cette situation est liée à une faible densité d'implantation (IO2C et GB2H), ou à une réduction de densité liée à l'enherbement (SG1H), qui limitent la biomasse ;
- une densité forte associée à une biomasse forte (PN8H et BK2H), qui permet des potentiels d'épis et d'épillettes forts ; la densité d'implantation est forte (ou le tallage est fort pour BK2H qui est une parcelle repiquée),

l'enherbement est bien contrôlé, et le premier apport d'engrais est effectué précocement ;

– une densité forte associée à une biomasse moyenne à faible (DO1H et partiellement G4H) qui ne permet pas une densité d'épis et d'épillets aussi forte ; la densité d'implantation est forte, mais *l'enherbement (G4H) ou l'absence de fertilisation (DO1H) limite fortement la croissance.*

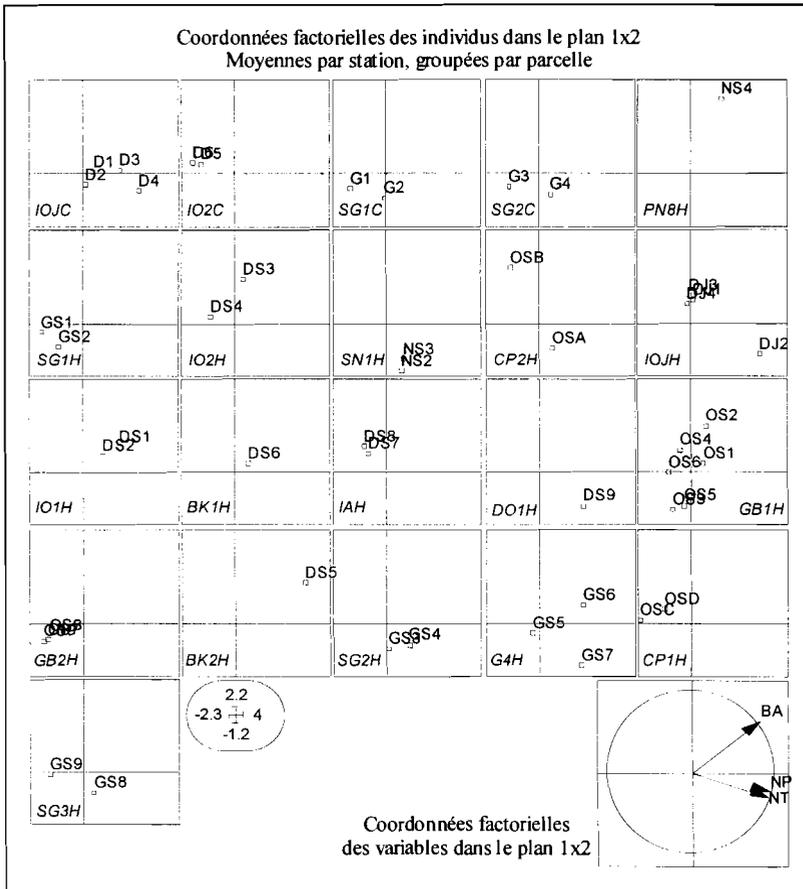


Figure 4 — ACP sur composantes à l'initiation paniculaire.

ACP sur composantes à maturité (ACP2)

Les deux premiers axes factoriels résument 73 % de l'inertie totale. Le facteur 1 (49 % de l'inertie totale) représente également la « taille » : plus il y a d'épis, plus il y a de paille et de fleurs. C'est également dans les

« meilleures » placettes que TF et PG sont les plus forts. Ces deux variables sont mieux représentées sur l'axe 2 (24 % de l'inertie totale) : la corrélation entre TF et PG montre que la fertilité apparente est liée au remplissage des grains.

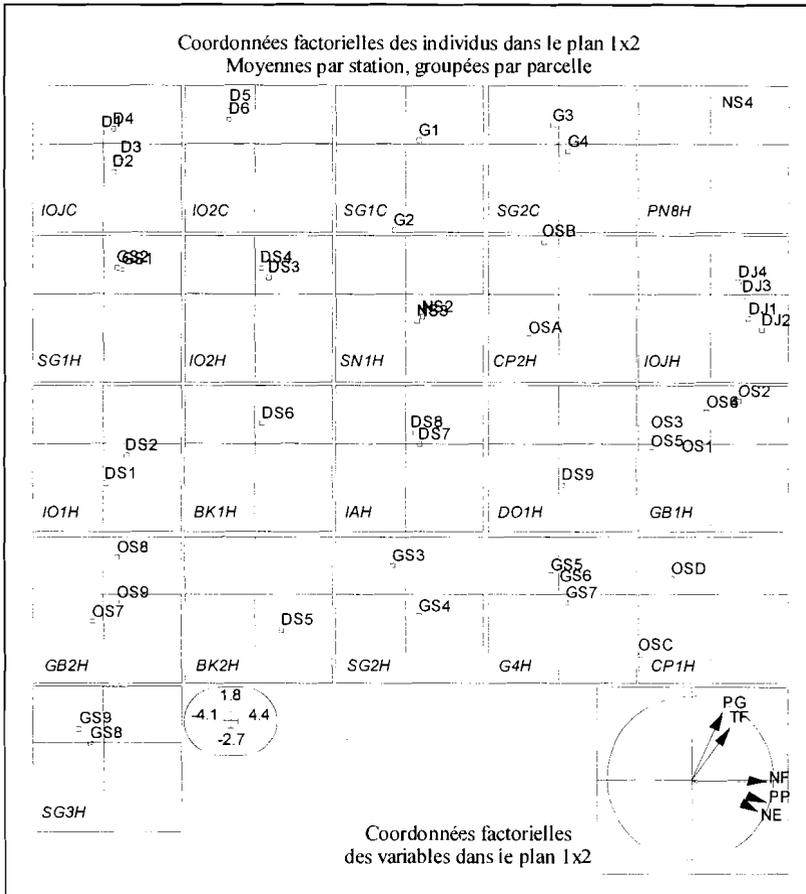


Figure 5 — ACP sur composantes à maturité.

Dans le plan 1x2, on distingue quatre situations extrêmes (fig. 5) :

– une densité d'épis, d'épillets et un poids de paille faibles, associée à un taux de fertilité et un poids d'un grain moyens à faibles (CPIH et partiellement GB1H) ; dans les deux cas, l'enherbement (très fort sur CPIH) associé à fertilisation réduite (GB1H) limite le nombre d'épillets et le remplissage des grains ;

- une densité d'épis, d'épillets et un poids de paille moyens, associé à un taux de fertilité et poids d'un grain élevés (IO2C et PN8H) ; cette situation correspond à une bonne croissance dans la seconde partie du cycle qui favorise le remplissage d'un nombre moyen de grains ; cette croissance élevée est liée à un second apport moyen ou fort associé à l'absence d'enherbement ;
- une densité d'épis, d'épillets et un poids de paille moyens, associé à un taux de fertilité et poids d'un grain faibles (SN1H, IO1H et BK2H) ; cette situation correspond à une croissance insuffisante dans la seconde partie du cycle qui limite le remplissage d'un nombre moyen de grains ; *ce déficit de croissance est lié soit à une fertilisation trop faible (SN1H, IO1H), soit à une forte compétition avec les adventices (BK2H) ;*
- une densité d'épis, d'épillets et un poids de paille forts, associée à un taux de fertilité et un poids d'un grain moyens à faibles (IOJH) ; le défaut de remplissage des grains est sans doute lié au nombre important d'épillets à remplir ; un troisième apport d'azote à l'épiaison afin de favoriser la photosynthèse de la feuille paniculaire aurait peut-être corrigé cette faiblesse (Dingkuhn *et al.*, 1992-b).

Superposition des plans factoriels 1x2 des deux ACP

L'objectif de cette superposition est de relier la situation à maturité à celle obtenue début montaison. Cette superposition est possible puisque les axes factoriels sont normés. La figure 6 est le résultat de cette superposition. Les positions correspondent aux moyennes des placettes d'une même station. Les vecteurs traduisent le déplacement des stations depuis le plan 1x2 de l'ACP1 vers le plan 1x2 de l'ACP2.

Un peu plus de la moitié des stations, quel que soit le mode d'implantation, ne se déplacent presque pas. *Le résultat de l'implantation, mesuré par le niveau de densité et de croissance de la culture à l'IP, est donc un bon indicateur du résultat final* (il détermine les nombres d'épis et de fleurs potentiels).

Les déplacements horizontaux vers la droite indiquent la réalisation des nombres d'épis et d'épillets potentiels, liée à une bonne croissance après IP. C'est le cas des parcelles SG1H, IOJH, et GB2H.

Les déplacements horizontaux vers la gauche indiquent la « réduction » de densités d'épis et d'épillets, liée à un déficit de biomasse à l'IP et une faible croissance ensuite. C'est surtout le cas des stations OS3 et OS5 de la parcelle GB1H, où l'enherbement important mais variable dans la parcelle, est à l'origine de ce déficit de croissance.

Les déplacements verticaux vers le haut indiquent de bonnes conditions de remplissage des grains. Ils ne concernent que des situations où le nombre de

grains à remplir est faible à moyen. C'est le cas de SG1H (désherbage manuel avant de second apport), et partiellement de GB2H et de SG2H (variabilité intra-parcelle liée sans doute à l'enherbement).

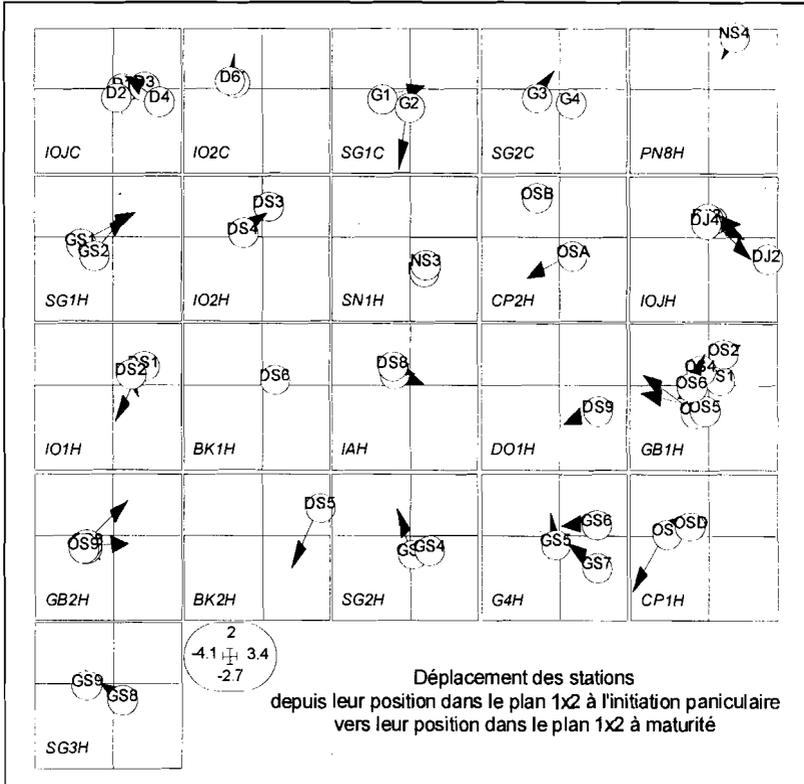


Figure 6 — Superposition des plans 1x2 des deux ACP. Déplacement des stations.
Origine des vecteurs : ACP1

Les déplacements verticaux vers le bas indiquent un déficit de remplissage des grains. C'est le cas lorsque le nombre de grains à remplir est trop important relativement à la croissance des épis (BK2H).

Les contraintes relevées à l'échelle de la parcelle relèvent bien souvent de la *qualité de réalisation des interventions*. On confirme ainsi les diagnostics anciens, en précisant néanmoins l'importance de la phase d'implantation de la culture. La levée de ces contraintes nécessitent moins l'usage de nouvelles techniques, qu'une meilleure intégration des techniques existantes et un plus grand soin apporté à leur réalisation. Ainsi, l'enherbement est une contrainte très forte en semis direct. Son contrôle devient très difficile du fait d'un stock

d'adventices très important et de l'apparition d'espèces difficile à combattre. L'usage de traitements herbicides seuls ne suffit plus (sauf coût prohibitif). Quant à la fertilisation, en dehors de doses parfois insuffisantes et de dates d'apport inadéquates, la faible profondeur d'enracinement et l'enherbement limitent son efficacité.

Processus de production et organisation des décisions

A l'échelle individuelle, les motivations des paysans pour la riziculture irriguée, ainsi que les contraintes qu'ils supportent, sont variables et complexes. Cette variabilité se traduit notamment par l'hétérogénéité des résultats obtenus au sein d'un même aménagement. Néanmoins, pour les six paysans de notre échantillon, dont la taille de la famille, le statut foncier des parcelles qu'ils cultivent et la possibilité de développer d'autres activités sont variés, on remarque une stratégie commune : la production rizicole est avant tout vivrière, et sa répartition sur différents périmètres permet de limiter les risques et d'accroître son autonomie vis-à-vis des OP qui les gèrent.

En effet, le fonctionnement de l'OP et le comportement des acteurs en amont et en aval de la filière pèsent fortement dans le processus de production. C'est ce qu'illustre la figure 7 qui récapitule le déroulement d'une campagne rizicole, depuis le remboursement des charges liées au cycle précédent, jusqu'à la récolte.

Le démarrage d'une campagne est conditionnée par la capacité de financer les avances aux cultures (travail du sol, gas-oil pour l'irrigation, engrais et herbicide). Cette capacité dépend de l'état du fonds de roulement géré par l'OP, ou de l'octroi d'un crédit bancaire. Après la récolte du cycle précédent, les paysans d'un même périmètre doivent rembourser à leur OP les charges de culture du cycle précédent. Le paiement s'effectue en paddy. La commercialisation de ce paddy permet à l'OP de reconstituer le fonds de roulement, ou bien de rembourser l'emprunt, condition nécessaire à l'octroi d'un nouveau prêt.

Le remboursement des charges n'est pas immédiat et induit des tensions internes au sein de l'OP. Il dure plusieurs semaines du fait d'une récolte étalée. Le riz étant avant tout une culture vivrière, les paysans ne remboursent que si la quantité de paddy récoltée est supérieure à celle qu'ils jugent nécessaire pour satisfaire les besoins de leur famille. Le surplus étant variable selon les paysans, l'OP doit alors gérer un endettement entre ses membres.

La commercialisation se fait, depuis 1994, auprès d'opérateurs privés (riziers), qui se chargent d'évacuer la production en engageant des transporteurs.

L'enclavement de certains villages, la disponibilité des camions, ou les retards de paiement par les riziers, ralentissent la reconstitution du fonds de roulement ou le remboursement de l'emprunt.

Paysan	Groupement	Amont et aval
Remboursement (en paddy) des charges de production pour la campagne précédente	Commercialisation du paddy	
		Rizerie : paiement de la production
Décision de réalisation de la campagne (réunion plénière)	Remboursement du crédit ou reconstitution du fond de roulement	
	Montage dossier de crédit	(appui de la Saed)
		Banque : octroi du crédit de campagne
	Réalisation de la préparation du sol (par la SUMA ou par un prestataire privé)	Prestataire : respect des engagements, fiabilité du matériel et qualité du travail réalisé
Mise en eau de la parcelle	Démarrage de la station de pompage Tour d'eau	
Semis		
Réalisation des interventions culturales	Disponibilité des engrais et herbicides Fonctionnement hydraulique de l'aménagement	Fournisseurs : livraison des intrants
Récolte	(Contrat pour la récolte mécanisée)	(Prestataire ou main d'oeuvre extérieure)

Figure 7 — Déroulement d'une campagne rizicole (cas d'un financement sur crédit de campagne et d'un semis direct).

Le temps est représenté verticalement.

L'échelle des décisions/actions est représentée horizontalement.

La décision d'effectuer une campagne de culture est prise en réunion plénière, après la commercialisation. La situation financière du groupement, liée en partie aux résultats de la dernière campagne, et le dynamisme des responsables de l'OP interviennent fortement dans cette décision. De même, l'importance des surfaces cultivées en CSF ou l'opportunité de cultiver en décrue (comme en 1994 et 1995) sont des arguments de poids pour limiter les surfaces cultivées en saison chaude.

L'absence de fonds de roulements nécessite le montage d'un dossier de crédit, avec l'appui de l'encadrement Saed, ce qui exige un nouveau délai (un mois minimum). Les diverses charges sont évaluées selon la surface de culture envisagée. Le niveau du prêt accordé ou du fond de roulement peut limiter les doses d'engrais et d'herbicide. A moins d'un « remembrement » au sein du périmètre, les charges d'irrigation sont difficilement compressibles.

La préparation du sol est réalisée par une entreprise privée ou une OP disposant de matériels. Le paiement de la prestation s'effectuant de moins en moins en nature après la campagne, cette première opération ne peut démarrer avant obtention du crédit de campagne. Les prestataires, qui sont très sollicités, respectent rarement leur « rendez-vous » et les performances des matériels sont diminuées par les fréquentes pannes. Quant à la traction bovine, les faibles performances des chantiers associées à la nécessité d'une irrigation préalable et un coût des prestations relativement élevé (Kanté, 1996) constituent un fort handicap, surtout lorsque s'impose l'urgence de semer.

La mise en eau et le semis des parcelles ne peut intervenir qu'après démarrage de la station de pompage, et donc livraison du gas-oil nécessaire à son fonctionnement. Cette opération est fortement consommatrice d'eau, et nécessite un tour d'eau stricte entre parcelles, voire entre secteurs d'un même aménagement. Les paysans n'étant pas tous prêts à cette période (parcelles cultivées dans d'autres périmètres par exemple) et soucieux de respecter les règles collectives (Baretteau, 1994), la mise en eau est fréquemment perturbée.

Le choix de la variété semée est du seul ressort de l'individu. Ce choix s'effectue selon la saison de culture et la date de semis. Mais la disponibilité en semences pour une variété donnée est une contrainte forte. Du fait des divers retards accumulés, le semis direct est réalisé rapidement après un grossier nivellement au râteau. En cas de repiquage, ces retards se répercutent sur la transplantation (date et densité de poquets).

Le traitement herbicide et l'apport d'engrais effectués individuellement dans chaque parcelle sont également contraints par des fonctionnements collectifs ou externes : les doses sont fixées par les achats collectifs (à moins d'acheter individuellement des produits), et la date d'application est contrainte par celle de livraison des produits. Quant à la gestion de l'eau, elle dépend non seulement du fonctionnement de la station de pompage mais aussi de l'état du réseau d'irrigation et des diguettes séparant les parcelles, dont l'entretien est sous responsabilité collective.

En matière de gestion collective, les responsables d'une OP ont concentré leurs efforts sur les fonctions financières et commerciales. Ainsi pour les paysans, le « crédit » constitue l'obstacle majeur au bon déroulement de la

campagne. Mais il nous semble que le manque, voire l'absence, de prévision et de planification constitue le noeud du problème. Ce défaut de planification est en partie dû aux incertitudes qui pèsent sur le processus de production (Le Gal, 1995). Le premier travail est d'éclairer ces incertitudes : les unes concernent le comportement des acteurs « externes » (banques, commerçants, prestataires...), les autres sont relatives aux acteurs « internes » (paysans et responsables).

Pour faire face aux premières, une solution pour les OP consiste à établir de manière plus précoce des liens contractuels avec ces acteurs externes, et les entretenir au cours du temps. Par ailleurs, les « unions » d'OP peuvent également peser sur les décideurs institutionnels qui contrôlent le fonctionnement des filières. Quant aux secondes, elles traduisent l'hétérogénéité de motivation des individus pour la riziculture et déterminent le niveau de cohésion du groupement. La justification technique des règles collectives et leurs conséquences au plan des résultats individuels pourrait sans doute améliorer cette cohésion.

Conclusion

Les conditions d'implantation (qualité du nivellement et de la préparation du sol, qualité du semis et du repiquage, contrôle précoce de l'enherbement, fertilisation) constituent les principales contraintes qui limitent les rendements des parcelles. Les voies d'amélioration existent mais ne sont pas appliquées, car difficilement applicables.

En effet, bon nombre d'interventions réalisées par le paysan à l'échelle de sa parcelle doivent être planifiées par le groupement à l'échelle de l'aménagement, et font appel à des acteurs externes. Ainsi la pré-irrigation, par exemple, constituerait un moyen efficace pour améliorer la qualité du travail du sol et le contrôle de l'enherbement. Sa réalisation nécessite une planification stricte (tour entre parcelles) à l'échelle de l'aménagement, en tenant compte du temps nécessaire à la mise en eau des parcelles, de leur délai de ressuyage, et des performances des équipements de travail du sol. Il faut également que les paysans irriguent leur parcelle de façon uniforme (la présence de drains est un atout), que le prestataire de service mécanisé respecte son « rendez-vous », et qu'aucune panne ne perturbe les performances des équipements (Le Gal, 1995 ; Kanté, 1996).

La maîtrise du processus de production impose une planification des actions. Aucune planification à l'échelle individuelle ne peut être envisagée sans planification à l'échelle collective et sans contrôle des acteurs en amont et en

aval de la filière. Des incertitudes de tout ordre empreignent les comportements de ces trois types d'acteurs (paysan, groupement, amont et aval), et se répercutent d'un niveau à l'autre. Dans ce contexte, la planification des actions semble très difficilement accessible. Néanmoins, il est nécessaire d'analyser les rôles des OP et leur fonctionnement d'une part, et d'autre part les sources d'incertitudes qui perturbent le processus de production.

Références bibliographiques

- BARRETEAU O., 1994 –
Des pratiques de gestion à la consommation d'eau d'un périmètre irrigué. Le cas du périmètre de Nianga. DEA national d'hydrologie. Engref, Paris, 47 pages + annexes.
- BOIVIN P., BRUNET D., GASCUEL C., ZANTE P., NDIAYE J.P., 1995 –
Les sols argileux de la région de Nianga –
Podor : répartition, caractéristiques, aptitudes et risques de dégradation sous irrigation. *In* : Boivin *et al.* (éd.), pp. 67-82.
- BOIVIN P., DIA I., LERICOLLAS A., POUSSIN J.-C., SANTOIR C., SECK S.M. (éd.), 1995 –
Nianga, laboratoire de l'agriculture irriguée en moyenne vallée du Sénégal. Paris, Orstom, Coll. *Colloques et séminaires*, 562 pages.
- BONNEFOND P., CANEILL J., AURIOL O., N'DIAYE M., MENVIELLE J., CLEMENT A., 1981 –
Etude des unités de production de paysans pratiquant la culture irriguée dans le cadre de la Saed. Doc. multigraphié, 3 tomes, Isra-Orstom-Irat-INA P-G.
- DIAGNE M., 1995 –
L'enherbement des rizières irriguées de la moyenne vallée du fleuve Sénégal. Situation actuelle et perspectives de recherche *In* : Boivin *et al.* (éd.). pp.189-204.
- DINGKUHN M., ASH F., MIEZAN K., 1992-a –
Tolérance des variétés du riz irrigué à la salinité dans le Sahel. *In* : Adrao : *Rapport Annuel.* Bouaké, pp. 3-12.
- DINGKUHN M., DE DATA S.K., JAVELLANA C., PAMPLONA R., SCHNIER H.F., 1992-b –
Effect of late-season N fertilization on photosynthesis and yield of transplanted and direct-seeded tropical flooded rice. I. Growth dynamics. *Field Crops Res.*, 28 : 223-234.
- DINGKUHN M., SOW A., SAMB A., DIACK S., ASCH F., 1994 –
Climatic determinants of irrigated rice performance in the Sahel. I. Photothermal and micro-climatic responses of flowering. *Agr. Syst.*, 48 : 385-410.
- DINGKUHN M., LE GAL P.Y., POUSSIN J.C., 1995 –
Ridev, un modèle de développement du riz pour le choix des variétés et des calendriers. *In* : Boivin *et al.* (éd.). pp. 205-222
- DOLEDEC S., CHESSEL D., 1987 –
Rythmes saisonniers et composantes stationnelles en milieu aquatique. I. Description d'un plan d'observation complet par projection de variables. *Acta Oecologica. Oecol. Gener.*, 8 : 403-426.
- DURR C., 1984 –
Systèmes de culture et élaboration du rendement du riz (Oryza sativa L.) en Camargue. Thèse de Doctorat. Paris, INA P-G. 195 pages.
- JAMIN J.Y., CANEILL J., 1983 –
Diagnostic sur les systèmes de culture pratiqués dans le cadre de la Saed sur la rive gauche du fleuve Sénégal. T.3 : Etude des

systèmes de culture irriguée. St Louis, Isra-Cirad-INA P-G, 285 pages + annexes.

KANTE S., 1996 –

Gestion de la mécanisation pour la préparation du sol. In : *Opération de recherche - développement pour l'amélioration de la production rizicole et la préservation de la ressource en sols. Rapport final 1995*. Orstom - Isra - PSI - Saed - FED, Dakar, pp. 26-42.

LEBART L., MORINEAU A.,

FENELON J.P., 1982 –

Traitement des données statistiques. Méthodes et programmes. Dunod, 2^e édition, Paris, 518 pages.

LE GAL P.Y., 1995 –

Gestion collective des systèmes de culture en situation d'incertitude : cas de l'organisation du travail en double culture dans le delta du fleuve Sénégal. Thèse de doctorat. Paris, INA P-G, Cirad. 213 pages + annexes.

POUSSIN J.C., 1995-a –

Gestion technique de la riziculture irriguée. In : Boivin *et al.* (éd.). pp. 153-170.

POUSSIN J.C., 1995-b –

Direct seeding or transplanting ? The example of the Senegal middle valley. Atelier international sur la riziculture irriguée au Sahel. WARDA, Ndiaye, Senegal, March 27-31 1995. Actes à paraître.

Annexe 1-a
Pratiques culturales et états des 14 parcelles semées directement

		SG1C	SG2C	IOJC	SG1H	SG2H	SG3H	G4H
<i>Pré-irrig.</i>	<i>date</i>	-	-	-21	-	-	-	-
Préparation du sol	<i>date</i>	-17	-17	-8	-17	-17	-17	-9
	<i>mode</i>	offset x 2	offset x 1	offset x 2	offset x 1	offset x 1	offset x 1	offset x 1
<i>Etat du sol</i>		<i>assez fin</i>	<i>motteux</i>	<i>assez fin</i>	<i>motteux</i>	<i>motteux</i>	<i>motteux</i>	<i>motteux</i>
Engrais de fond	<i>date</i>	-	-	-	-	-	-	-8
	<i>dose</i>	-	-	-	-	-	-	23-58-0
Désherbage pré-lévée	<i>date</i>	-	-	-	-7	-7	-7	-
	<i>dose</i>	-	-	-	ok	faible	faible	-
Semis	<i>date</i>	01/03	01/03	02/03	24/08	24/08	24/08	18/06
	<i>variété</i>	Aïwu (pg)	Aïwu (pg)	Aïwu (pg)	Jaya (pg)	Jaya (pg)	Jaya (pg)	Jaya (pg)
	<i>dose</i>	140	200	140	140	170	160	200
Lévée	<i>date</i>	15-25	15-25	15-25	8-15	8-15	8-15	8-15
	<i>observ.</i>	<i>homog.</i>	<i>homog.</i>	<i>homog.</i>	<i>très hétér.</i>	<i>très hétér.</i>	<i>très hétér.</i>	<i>hétérog.</i>
	<i>démar. adv.</i>	<i>démar. adv.</i>	<i>démar. adv.</i>	<i>peu d'adv.</i>	<i>nbx vides</i>	<i>nbx vides</i>	<i>nbx vides</i>	<i>démar. adv.</i>
Désherbage post-lévée	<i>date</i>	30	30	27	-	-	-	29
	<i>dose</i>	ok	faible	ok	-	-	-	faible
Repiquage des vides	<i>date</i>	-	-	-	27-30	33-35	14-15	-
	<i>stade</i>	-	-	-	tallage	tallage	levée	-
1er apport d'engrais	<i>date</i>	32	36	29	31	47	47	41
	<i>stade</i>	deb. tal.	deb. tal.	deb. tal.	tal. - fin tal	fin tal. - IP	fin tal. - IP	fin tal.
	<i>dose</i>	64-46-0	64-16-0	64-46-0	64-46-0	80-0-0	70-0-0	52-10-0
2e désherbage	<i>date</i>	38-49	46	-	27-30	-	-	-
	<i>mode</i>	manuel	chim. (ok)	-	manuel	-	-	-
<i>Initiation paniculaire</i>	<i>date</i>	60-65	60-65	60-65	45-60	45-60	45-55	50-55
	<i>observ.</i>	<i>densité faible</i>	-	-	<i>stade hétér.</i>	<i>stade hétér.</i>	<i>stade hétér.</i>	-
	<i>enherb.</i>	10-30 %	20-30 %	< 10 %	10-30 %	10-30 %	10-30 %	20-40 %
2e apport d'engrais	<i>date</i>	60	62	58	50	-	-	64
	<i>stade</i>	IP	IP	IP	IP +/- 8j	-	-	IP+10j
	<i>dose</i>	92-0-0	80-0-0	92-0-0	74-0-0	-	-	52-10-0
<i>Floraison</i>	<i>date</i>	80-85	80-85	80-85	75-90	75-90	75-90	75-85
	<i>% steril.</i>	0-12 %	0-12 %	0-12 %	0 %	0 %	0 %	0 %
<i>Maturité</i>	<i>date</i>	130	130	130	110-120	110-130	110-130	120
	<i>enherb.</i>	10-40 %	20-40 %	0-20 %	0-20 %	20-40 %	20-30 %	20-40 %
	<i>observ.</i>	<i>densité hétér.</i>	-	-	<i>stade hétér.</i>	<i>stade hétér.</i>	<i>stade hétér.</i>	-
Début récolte	<i>date</i>	135	140	135	120	131	136	149
		14/07	19/07	15/07	22/12	02/01	07/01	14/11

Annexe 1-a
(suite)

	SN1H	PN8H	BK2H	IO2H	IOJH	DO1H	CP2H
Pré-irrig. date	-	-	-	-	-23	-	-
Préparation du sol mode	-8 offset x 1	-8 offset x 1	-18 offset x 1	-29 offset x 1	-4 offset x 1	-23 offset x 1	-7 offset x 1
<i>Etat du sol</i>	<i>motteux</i>	<i>motteux</i>	<i>motteux</i>	<i>motteux</i>	<i>motteux</i>	<i>motteux</i>	<i>motteux</i>
Engrais de fond date dose	-	-	-	-	-	-	-
Désherbage pré-levée date dose	-	-	-	-2 faible	-	-4 faible	-
Semis date variété dose	21/08 IKP (pg) 145	15/09 Aiwu (pg) 120	03/08 IR1529 (pg) 155	04/08 IKP (pg) 105	31/07 Jaya (pg) 135	07/08 IR1529 (pg) 160	25/08 IKP 170
Levée date observ.	5-10 <i>hétérog.</i>	5-10 <i>hétérog.</i>	5-10 <i>hétérog.</i>	5-10 <i>très hétér.</i>	5-10 <i>homog.</i>	5-10 <i>très hétér.</i>	5-10 <i>hétérog.</i>
	<i>démar. adv.</i>	<i>démar. adv.</i>	<i>démar. adv.</i>	<i>nbx vides</i>	<i>démar. adv.</i>	<i>nbx vides</i>	<i>démar. adv.</i>
Désherbage post-levée date dose	23 très faible	10 faible	15 faible	- -	23 ok	- -	32 très faible
Repiquage des vides date stade	- -	- -	- -	20-22 deb. tall.	- -	17 3-4f	- -
1er apport d'engrais date stade dose	28 deb. tal. 58-42-0	18 Deb. tal. 72-55-0	20 deb. tal. 123-89-0	25 deb. tal. 80-48-0	25 deb. tal. 64-46-0	- -	35 tallage 18-46-0
2e désherbage date mode	- -	30-35 manuel	- -	- -	45-50 manuel	48-53 manuel	50-60 manuel
<i>Initiation paniculaire</i> date observ. enherb.	40-45 - 10-40 %	40-45 - <10 %	45-50 - 10-30 %	40-45 - 10-30 %	50-55 - 0-20 %	45-60 <i>carence N</i> 10-30 %	45-55 <i>carence N</i> 20-40 %
2e apport d'engrais date stade dose	- - -	52 IP+10j 92-0-0	63 IP+8j 134-0-0	48 IP 58-24-0	53 IP 92-0-0	53 IP 160-115-0	56 IP 18-46-0
<i>Floraison</i> date % steril.	65-85 0 %	75-85 0 %	80-90 0 %	70-80 0 %	85-90 0 %	85-95 0 %	70-80 0 %
<i>Maturité</i> date enherb. observ.	105 20-40 % <i>Riz Rouge</i>	100 <10 % -	110 20-30 % <i>Riz Rouge</i>	100 10-40 % -	115 0-20 % -	120 10-30 % <i>Riz Rouge</i>	104 20-40 % <i>Très hétér.</i>
Début récolte date	126 25/12	110 03/01	120 01/12	110 22/11	127 05/12	137 22/12	117 20/12

Annexe 1-b
Pratiques culturales et états des sept parcelles repiquées

		IO2C	BK1H	IAH	IO1H	GB1H	GB2H	CP1H
P E	Semis date	26/02	30/06	03/07	30/06	11/07	11/07	11/07
	variété	Aiwu pg	IR1529 pg	IR1529	IR1529	IR1529	IR1529	Jaya
P	Désherbage mode	-	-	manuel	-	-	-	-
I N.	Engrais type	urée	urée	urée	urée	urée	urée	urée
				+ 18-46-0				
P A R C E L E	Pré-irrig. date	-16	-	-	-	-	-	-
	Préparation du sol date	-3	-18	-18	6	22	22	38
	mode	offset x 1	offset x 1	offset x 1				
	Etat du sol	<i>motteux</i>	<i>motteux</i>	<i>motteux</i>	<i>motteux</i>	<i>motteux</i>	<i>motteux</i>	<i>motteux</i>
	Engrais de fond date	-	-	-	-	-	-	-
	dose	-	-	-	-	-	-	-
	Désherbage pré-levée date	51	-	-	27	-	-	-
	dose	faible	-	-	faible	-	-	-
	Repiquage date	53	22	40-48	32	31-38	40-45	52
	stade	tallage	deb tal.	tallage	tallage	tallage	tallage	fin tallage
	Désherbage post-levée date	-	-	63	-	56	58	77
	dose	-	-	faible	-	faible	faible	très faible
	1er apport d'engrais date	68	38	69	52	72	75	81
	stade	fin tal.	tallage	IP-10j	tallage	IP	IP	IP-8j
	dose	107-97-0	64-46-0	32-82-0	79-79-0	40-35-0	40-35-0	60-70-0
	2e apport d'engrais date	-	53-55	72-98	-	-	80-85	89-100
	désherbage mode	-	manuel	manuel	-	-	manuel	manuel
	Initiation paniculaire date	85-90	65-70	75-80	70-75	70-75	75-80	80-90
	observ.	<i>homog.</i>	<i>homog.</i>	<i>homog.</i>	<i>homog.</i>	<i>hétérog.</i>	<i>hétérog.</i>	<i>très hétérog.</i>
	enherb.	10-20 %	10-30 %	<10 %	0-20 %	20-40 %	20-40 %	30-50 %
2e apport d'engrais date	95	64	89	79	98	98	100	
stade	IP+5j	IP	IP+10j	IP+5j	épiaison	épiaison	fin mont.	
dose	53-0-0	70-0-0	55-0-0	48-0-0	30-0-0	30-0-0	70-0-0	
Floraison date	105-110	85-95	110-115	105-110	100-115	105-120	120-135	
% steri.	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	
Maturité date	130-135	125-135	135-140	130-140	130-145	140-160	140-160	
enherb.	0-20 %	20-30 %	0-20 %	0-10 %	20-50 %	10-30 %	30-50 %	
observ.	-	<i>Riz Rouge</i>	-					
Début récolte date	136	127	160	148	143	158	152	
		11/07	07/12	10/12	25/11	01/12	16/12	10/12

- les dates sont exprimées en nombre de jours après semis
- pg signifie que les semences ont subi une pré-germination
- les doses d'engrais sont notées dans l'ordre N-P-K
- l'enherbement est noté en pourcentage de recouvrement
- le taux de stérilité des épillets (% steri) a été calculé par simulation à l'aide du logiciel RIDEV