

Effet du système de culture sur la variabilité des rendements dans les sols irrigués sahéliens en voie de salinisation

J.C. Poussin, IRD Dakar / Montpellier

1. Introduction

Au Sahel, l'irrigation permet de lever la principale contrainte pour la production agricole. Mais l'évaporation de l'eau d'irrigation combinée à sa qualité provoque une évolution des sols par salinisation (Bertrand et al., 1999 ; Boivin et al., 1999 ; Marlet et al., 1999), et concomitamment les performances des systèmes irrigués sahéliens restent en deçà des espérances. En effet, la riziculture qui occupe la majeure partie des surfaces aménagées, obtient des rendements bien inférieurs aux potentiels et très variables. Ces résultats ne permettent pas de rentabiliser les aménagements qui par ailleurs se dégradent du fait d'un mauvais entretien.

L'évolution des sols (dégradation par salinisation, baisse de « fertilité » chimique) peut-elle expliquer ces mauvaises performances ? L'analyse des systèmes de cultures (c'est à dire des pratiques des producteurs), associée à une étude pédologique permet d'apporter des éléments de réponse à cette question. L'objet de ce papier est de présenter brièvement la situation des systèmes rizicoles irrigués dans la vallée du Sénégal et à l'Office du Niger, de décrire les méthodes utilisées pour effectuer un diagnostic agronomique et d'exposer les effets des pratiques culturales sur la variabilité des rendements et leur évolution.

2. Quelques caractères des performances agronomiques des systèmes rizicoles irrigués sahéliens

Nos travaux concernent essentiellement les systèmes irrigués dans la vallée du Sénégal (rive sénégalaise et mauritanienne) et secondairement, ceux de l'Office du Niger (Mali).

Au Sénégal, les périmètres irrigués ont été aménagés sur des sols hydromorphes à texture argileuse, contenant 30 à 70% d'argile, et riches en calcium. La présence de nappe ou d'horizon salé à plus ou moins faible profondeur constitue un risque. C'est pourquoi la plupart des « grands aménagements » dispose d'un réseau de collature permettant d'évacuer les eaux concentrées. Par contre, de nombreux périmètres villageois ou privés ne disposent pas d'un tel réseau.

A l'Office du Niger, la situation pédologique est plus risquée du fait de la texture plus sableuse, de la teneur plus faible en calcium, de la qualité des eaux et de l'âge de l'irrigation. L'évolution des sols par alcalinisation est déjà observée (Bertrand et al., 1993 ; PSI-Mali, 1999). L'aménagement dispose d'un réseau de collature, mais son état conjugué à une « mauvaise » gestion de l'eau conduit à un engorgement du réseau à l'aval.

Les rendements potentiels de la riziculture irriguée au Sahel sont très élevés (Dingkuhn, 1996) : ils varient selon la zone, la saison culturale et la variété, entre 6 et 12 t/ha. Compte tenu du climat, il est possible d'effectuer annuellement 2 cycles de culture. Par ailleurs, le riz est une culture relativement tolérante à la salinité (la conductivité électrique peut atteindre 0.30 mS). Néanmoins les variétés améliorées la supportent moins (certaines phases physiologiques sont plus sensibles) et on observe des pertes de rendement pouvant atteindre 50% (ADRAO, 1994).

Les résultats obtenus par cette riziculture dans la vallée du Sénégal sont décevants. Les rendements moyens fluctuent entre 4 et 5 t/ha (SAED, 1998) et de nombreux producteurs sont endettés. En effet, les coûts de productions sont élevés (2,5 tonnes d'équivalent paddy à l'hectare en moyenne) du fait de l'irrigation par pompage, de la mécanisation et de l'emploi d'engrais et d'herbicides.

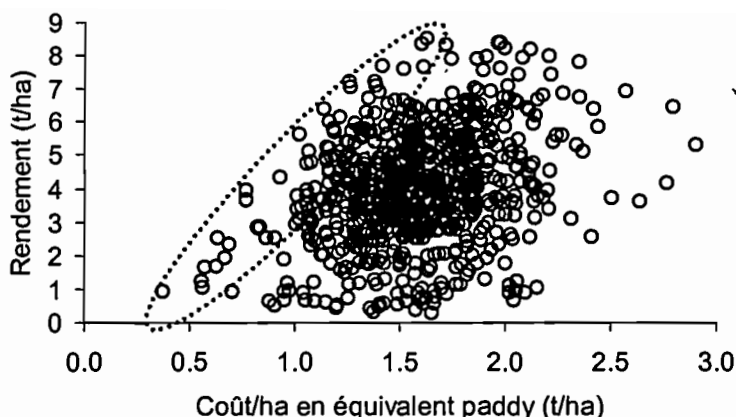


Figure 1 : Rendements obtenus en hivernage 1994, 1995 et 1996 dans les parcelles récoltées de la délégation de Dagana selon le coût/ha hors frais de récolte et de main d'œuvre. (Source : base de données SAED-DPDR). Les coûts sont exprimés en équivalent paddy

Néanmoins, derrière ces « moyennes » se cachent une grande variabilité de situations. Une enquête, effectuée par la SAED entre 1994 et 1996 sur un grand échantillon de producteurs situés principalement dans la zone du delta du Sénégal, montre d'une part que le rendement potentiel peut être atteint (le rendement maximum observé est 9 t/ha), et d'autre part que l'efficacité des coûts de production est extrêmement variable (Fig. 1). En effet, le coût unitaire de production (coût de production d'un kilo de paddy) hors frais de récolte et de main d'œuvre, varie entre 17 FCFA à près de 700 FCFA dans les parcelles récoltées. Néanmoins, dans les parcelles où les coûts sont valorisés au mieux (parcelles situées sur la courbe enveloppe de la relation rendement - coût), ce coût unitaire est inférieur à 30 FCFA par kilo de paddy. Malheureusement, ces parcelles représentent moins de 10% de l'échantillon.

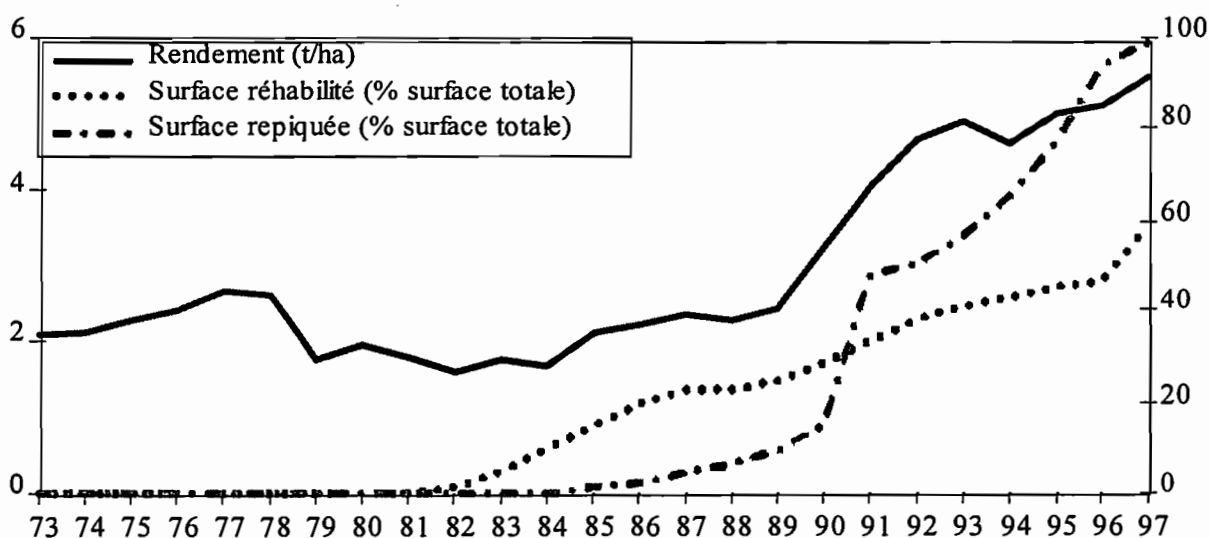


Figure 2: Evolution du rendement moyen pondéré par la surface, des surfaces réhabilitée et repiquée (en % de la surface totale) entre 1973 et 1997 à l'Office du Niger (source : Office du Niger)

A l'Office du Niger, les rendements moyens ont fortement progressé depuis la fin des années 1980 (Fig. 2). Cette forte augmentation est en partie liée aux travaux de réhabilitation des aménagements, mais aussi et surtout à la modification profonde des pratiques culturales avec l'adoption généralisée du repiquage. Cette nette amélioration de la situation (elle est devenue une référence pour les bailleurs de fonds) s'est effectuée malgré une évolution des sols jugée désastreuse. Actuellement, la

« dégradation » des sols est effective, mais elle semble s'exprimer différemment sur la culture selon le mode de conduite de la parcelle (PSI-Mali, 1999).

Par ailleurs, l'intensité culturale, qui est plus forte qu'au Sénégal, peut encore être améliorée : seules 10% des surfaces sont cultivées durant 2 saisons, mais les rendements obtenus sur ces parcelles sont nettement plus faibles.

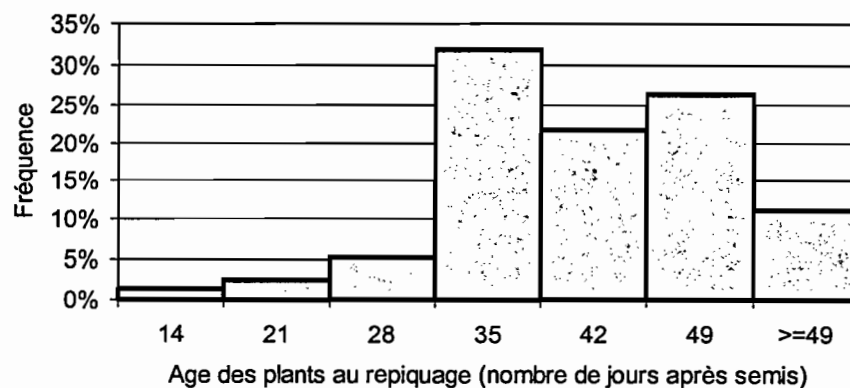


Figure 3 : Histogramme de l'âge des plants au repiquage en hivernage 1998 dans le secteur de Niono (source : F. Ouvry, PSI-Mali)

Nous avons utilisé les résultats d'une enquête effectuée par le PSI Mali concernant toutes les parcelles d'un arroseur du secteur de Niono. Cette enquête indique que plus de 90% des parcelles sont repiquées à plus de 30 jours (Fig. 3). Or un retard sur le repiquage provoque non seulement un allongement du cycle (et donc de la durée d'irrigation) mais aussi une baisse du tallage (et donc de la densité d'épis). On s'aperçoit donc que l'augmentation des rendements observée depuis 1990 peut encore être améliorée.

3. Méthodes utilisées pour le diagnostic agronomique

Le diagnostic agronomique a pour objectif d'identifier les facteurs et conditions (édaphiques ou non) qui limitent le rendement d'une parcelle. Le rendement est le résultat de la croissance de la culture. Il s'agit donc de comparer cette croissance à celle d'une culture conduite « au potentiel ». En pratique, cette comparaison s'effectue pour différents stades phénologiques clés. Les écarts de croissance sont alors attribués à « l'état du milieu » que les pratiques culturales font évoluer.

Les modèles d'élaboration des rendements utilisés classiquement par les agronomes, établissent de manière qualitative les effets des pratiques sur l'état du milieu et la réponse de la culture. La croissance « potentielle » peut être obtenue en utilisant un modèle physiologique. Mais lorsque ce modèle n'existe pas (ce qui est bien souvent le cas), on peut néanmoins comparer la croissance d'une culture sur différentes parcelles, paysannes et expérimentales, dans lesquelles on cherche à conduire « au mieux » la culture.

Nous avons mis en œuvre cette méthode dans la moyenne vallée du Sénégal, où les producteurs attribuaient leurs mauvais rendements à une « fatigue » des sols. Un suivi pédologique a été réalisé sur les mêmes parcelles afin d'identifier une éventuelle « dégradation » du sol (Boivin, 1998). Ne disposant pas de modèle de croissance suffisamment précis (ou ajusté pour la zone de travail et les variétés utilisées), nous nous sommes contentés d'une analyse statistique permettant de comparer l'élaboration du rendement dans les parcelles suivies. La connaissance des pratiques culturales réalisées sur ces parcelles nous permet ensuite d'identifier leurs effets sur l'élaboration des rendements.

Dans certains cas, il n'est pas nécessaire de mettre en place un dispositif de suivi très précis. Il suffit de disposer d'informations fiables quant aux pratiques des producteurs (variétés utilisées, doses d'engrais et d'herbicides appliquées, calendriers culturaux, irrigations) et aux rendements (mesurés et récoltés), complétées par quelques observations qualitatives en cours de culture (infestation par les

adventices, dégâts d'insectes...). C'est ainsi que nous avons procédé pour effectuer un diagnostic sur un périmètre villageois mauritanien.

4. Quelques résultats concernant l'effet du système de culture

La variabilité des rendements observés dans les parcelles paysanne dépasse très largement non seulement celle des sols, mais aussi celle des techniques culturales. En effet, les analyses de sol réalisées dans les parcelles suivies au Sénégal (tab. 1) n'indiquent ni de forte variation de pH, ni de problème de salinité (les sols les plus « légers » sont plus « salés »), ni de carence (forte) en P ou K (les producteurs apportent systématiquement du phosphore en début de cycle). Par ailleurs, le suivi de la solution du sol dans les parcelles suivies indique une concentration en carbonates et corrélativement une élévation du pH en cours de culture, mais pas de forte élévation de la conductivité électrique (Fig. 4).

Type de sol	Nombre de mesures		Arg. (%)	CEC (meq %)	pH eau	CE (mS)	K (meq %)	P total (ppm)	P Olsen-Dabin (ppm)
Holladé	64	Moy.	54.6	24.0	6.4	0.06	0.43	243	15.1
		E.T.	4.4	4.0	0.4	0.03	0.15	56	5.9
Faux Hollaldé	16	Moy.	42.8	18.9	6.5	0.07	0.39	216	16.4
		E.T.	4.3	5.0	0.6	0.04	0.20	55	9.3
Fondé	46	Moy.	28.2	12.0	6.2	0.09	0.25	198	20.7
		E.T.	4.1	2.5	0.5	0.06	0.21	67	15.2

Tableau 1 : Caractéristiques des sols dans les parcelles suivies. Moyennes et écarts types des teneurs en argile, CEC, pH, CE, K, P total et P Olsen-Dabin mesurées dans la couche 0-20 cm exploitée par les racines.

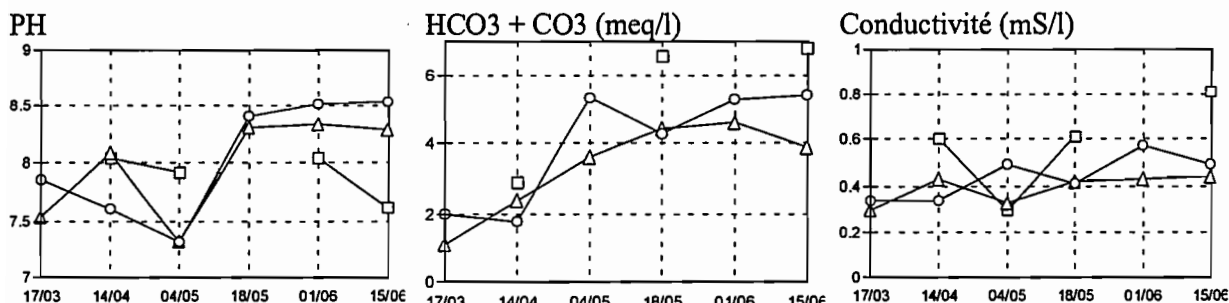


Figure 4 : Evolution de la solution du sol dans l'horizon de surface d'un vertisol irrigué

Au Sénégal et en Mauritanie, 2 types de « paquets techniques » sont utilisés. Ils diffèrent seulement par le mode d'implantation : semis direct dans la parcelle, ou repiquage. Mais, les producteurs mettent en œuvre ces 2 « paquets techniques » de manière extrêmement variée : densité de semis, âge des plants au repiquage, fertilisation, contrôle des adventices, conduite de l'irrigation...

Variabilité des rendements et de ses composantes au Sénégal

Les parcelles expérimentales que nous avons conduites sur les différents types de sols durant ces 2 années (semis direct en 1994 et repiquage en 1995) en cherchant à appliquer au mieux les techniques culturales, ont obtenu les meilleurs rendements. Excepté en saison sèche chaude 1994, l'amplitude de variation des rendements mesurés dans nos placettes (Fig. 5) est extrêmement forte (0 à 13 t/ha, soit le rendement potentiel). Le semis direct permet des rendements équivalents au repiquage en 1994, mais donne de moins bons résultats en 1995. L'analyse des composantes de rendement permet d'aller plus loin pour expliquer cette variabilité.

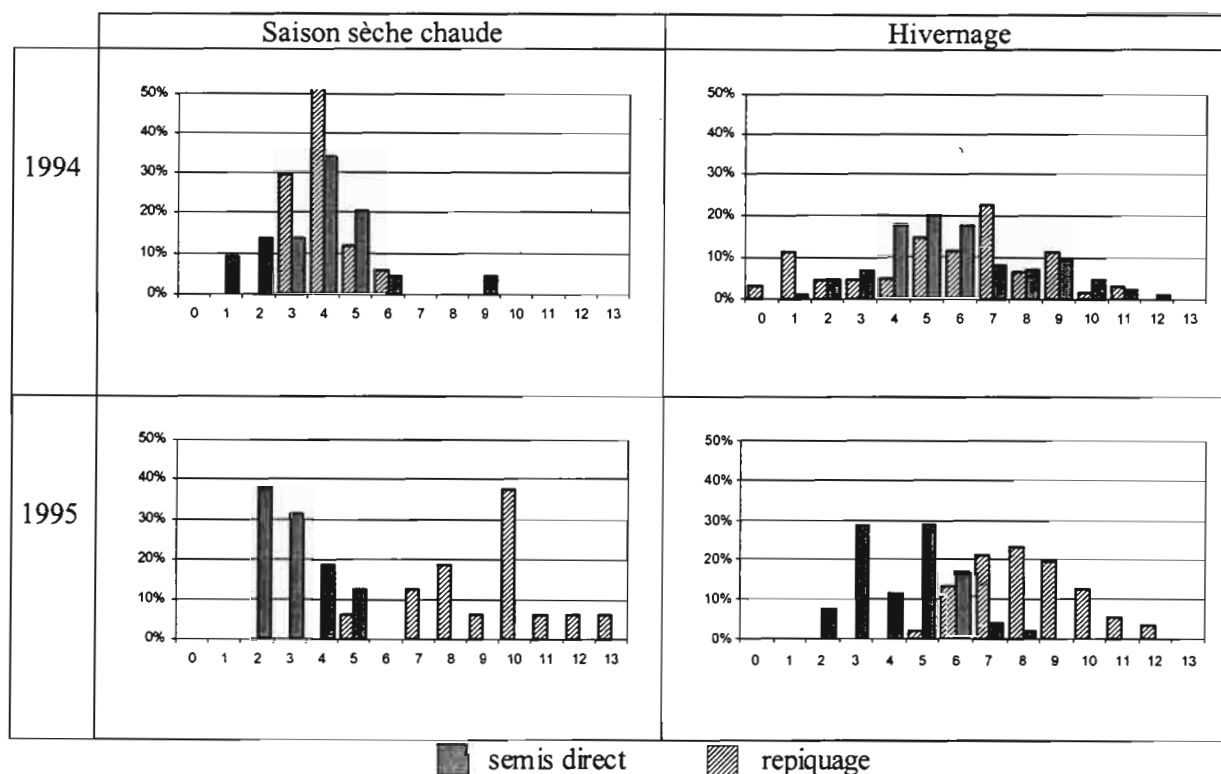


Figure 5 : Histogrammes des rendements mesurés dans les placettes selon l'année, la saison et le mode d'implantation

Notre analyse se fonde sur deux analyses en composantes principales suivies d'une analyse de co-inertie. Les 2 tableaux de données comportent en ligne les placettes, et en colonne l'état de la culture à la fin de l'implantation (densité de plantes, de talles et biomasse aérienne) pour le premier (ACP1), et les composantes de rendements mesurées à maturité (densité d'épis et d'épillets, poids de paille, fertilité des épillets et poids d'un grain) pour le second (ACP2). L'analyse de co-inertie est réalisée entre ces 2 tableaux. Elle permet d'en étudier la co-structure, c'est à dire le lien entre l'état de croissance mesuré à la fin de l'implantation et les composantes de rendement.

La représentation des placettes groupées selon le mode d'implantation dans les plans 1x2 des deux ACP (Fig. 6) montre que :

- La variabilité des densités dans les parcelles semées directement est extrêmement forte. Qualité du lit de semence, semis à la volée et défaut de planage des parcelles sont à l'origine de cette forte variabilité.
- Les densités plus importantes à l'implantation dans les parcelles semées directement ne conduisent pas systématiquement à des densités d'épis et de fleurs plus importantes. En revanche, les fortes densités d'épis et de fleurs dans les parcelles repiquées correspondent aux densités de repiquage les plus fortes.
- Les résultats obtenus dans les parcelles expérimentales sont parmi les meilleurs. Ceci montre l'impact de la qualité des interventions.

Le plan 1x2 de co-inertie (Fig. 7) résume 97% du plan 1x2 de l'ACP1, et 76% du plan 1x2 de l'ACP2. La structure commune aux deux tableaux traduit la forte co-variabilité des densités. Dans ce plan, les trajectoires des placettes, depuis leur position à l'implantation vers celle à maturité, sont différentes selon les pratiques culturales. On distingue 5 cas typiques :

- a) Fertilisation et désherbage corrects permettent de traduire les fortes densités de plantes et de talles en fortes densités d'épis et de fleurs (réalisation des potentiels définis après l'implantation).
- b) Fertilisation et désherbage insuffisants limitent les densités d'épis et de fleurs (réduction des potentiels).
- c) Un premier apport d'azote trop faible ou tardif limite les densités et la biomasse à l'implantation, mais on observe un rattrapage en fin de cycle.

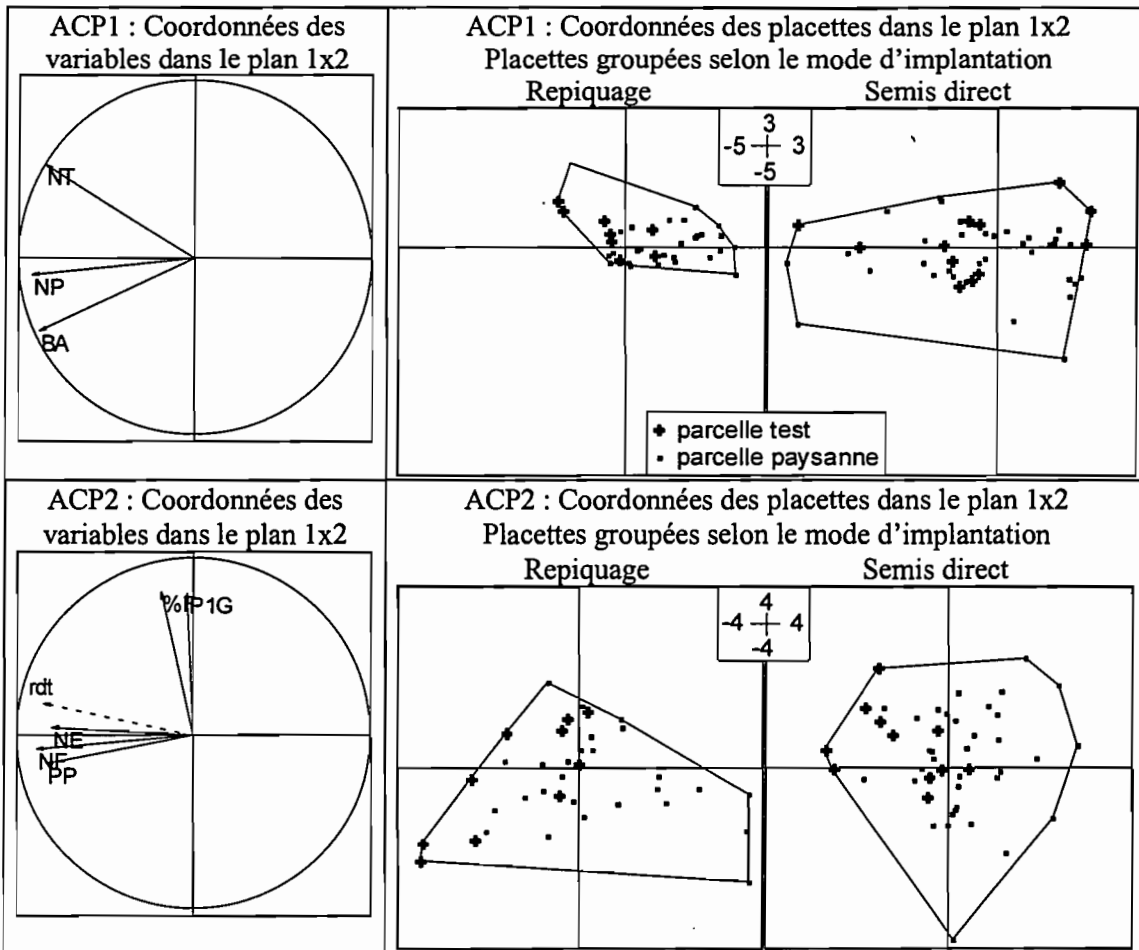


Figure 6 : Résultats des deux ACP.

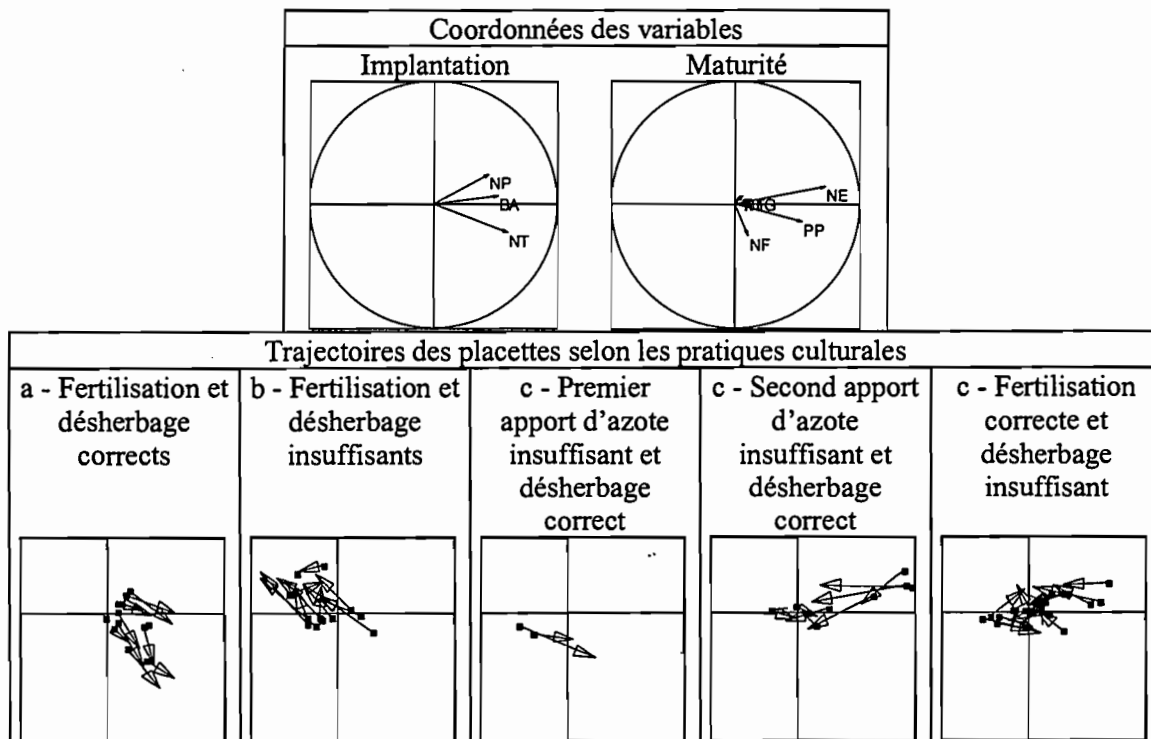


Figure 7 : Analyse de co-inertie - Plan factoriel 1x2

- d) Un second apport d'azote trop faible ou tardif limite la croissance des épis lorsque la densité d'implantation est forte.
- e) Un désherbage insuffisant ne permet pas des densités d'épis et de fleurs importantes.

La variabilité de mise en œuvre des techniques culturales, en influant directement sur la densité et la croissance à l'implantation, et la réalisation de la densité potentielle d'épis permis par cette implantation, explique l'essentiel de la variance des rendements. Dans la vallée du Sénégal, l'évolution des rendements influe directement sur les capacités financières des producteurs : un crédit de campagne n'est octroyé que si le précédent est remboursé. La baisse des rendements s'auto-entretient voire s'aggrave, car les moyens de production diminuent. L'impact de l'évolution du sol, s'il existe, n'est pas direct. En effet, l'élévation du pH observée en cours de cycle peut influencer sur l'efficacité de la fertilisation azotée en augmentant les pertes par volatilisation. Par ailleurs, le type de sol, sans conditionner directement le résultat, peut amplifier l'effet de mauvaises pratiques culturales : sur les sols très argileux, le travail du sol, réalisé généralement en conditions sèches, est plus difficile, tandis que sur les autres, la dégradation du réseau d'irrigation est plus rapide.

Effets du nombre d'irrigation et des retards des interventions culturales sur le rendement (Mauritanie)

Ce diagnostic a été effectué pour la campagne hivernale 1998 sur un petit périmètre irrigué villageois mauritanien, aménagé sur des sols de type hollaldé et faux hollaldé et ne disposant pas de réseau de collature. Nous disposons pour chacune des 120 parcelles de ce périmètre des informations suivantes :

- la position de la parcelle dans l'aménagement ;
- le type de sol (hollaldé ou faux hollaldé) ;
- la date de semis (semis direct) et la variété ;
- les dates, qualité et quantité des engrais apportés ;
- la date et dose d'herbicide appliqué ;
- le nombre d'irrigations (du semis à la maturité) ;
- le rendement de la parcelle mesuré dans un carré de 4 m de côté.

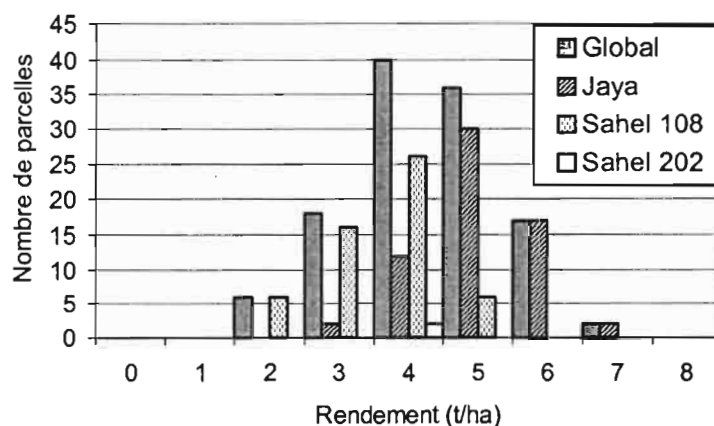


Figure 8 : Histogrammes des rendements

Malgré l'emploi de techniques culturales identiques (mode de semis, travail du sol, fertilisation...) et la faible variété de sols, l'histogramme des rendements indique une forte dispersion (Fig. 8) ainsi qu'une forte influence de la variété semée.

Le nombre d'irrigations sur chaque parcelle varie de 5 à 10, soit un intervalle entre 2 irrigations variant entre 10 et 20 jours. Or la variété Sahel 108 a été semée majoritairement dans les parcelles situées à l'aval du réseau, et qui sont irriguées moins souvent du fait du tour d'eau choisi par les producteurs et de la dégradation des canaux.

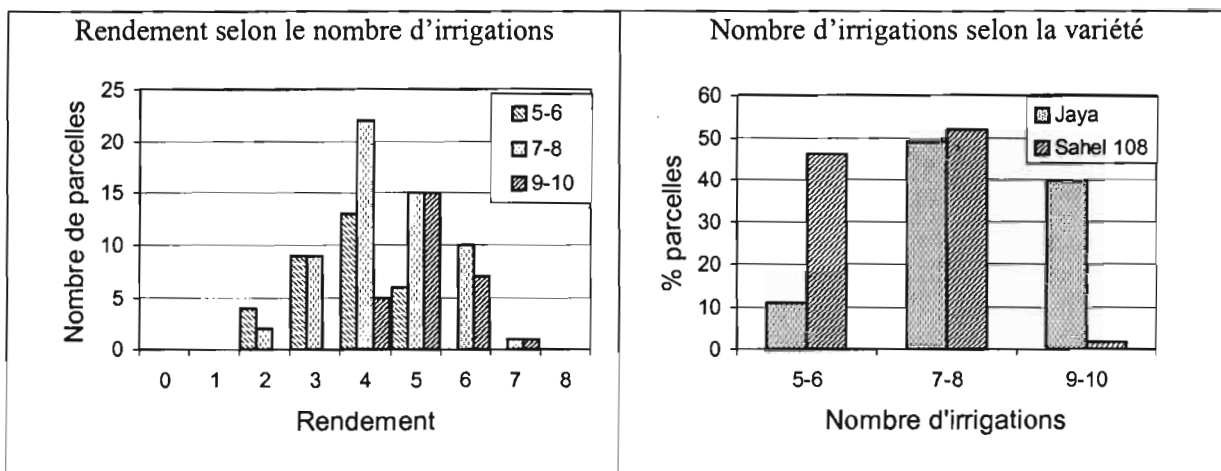


Figure 9 : Fréquence d'irrigation, variété semée et rendement

L'histogramme des rendements selon le nombre d'irrigations (Fig. 9) montre clairement l'influence de la fréquence d'irrigation sur les rendements. La comparaison des rendements (test de Scheffé) selon le nombre d'irrigations (5-6, 7-8, 9-10) est hautement significative. Et l'histogramme du nombre d'irrigation selon la variété confirme une fréquence d'irrigation plus faible dans les parcelles semées avec Sahel 108.

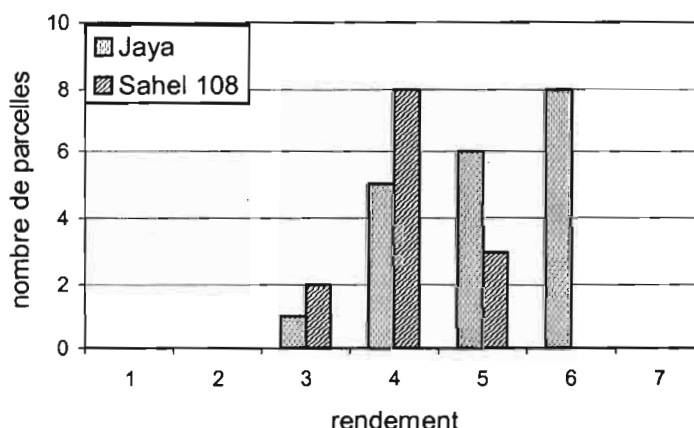
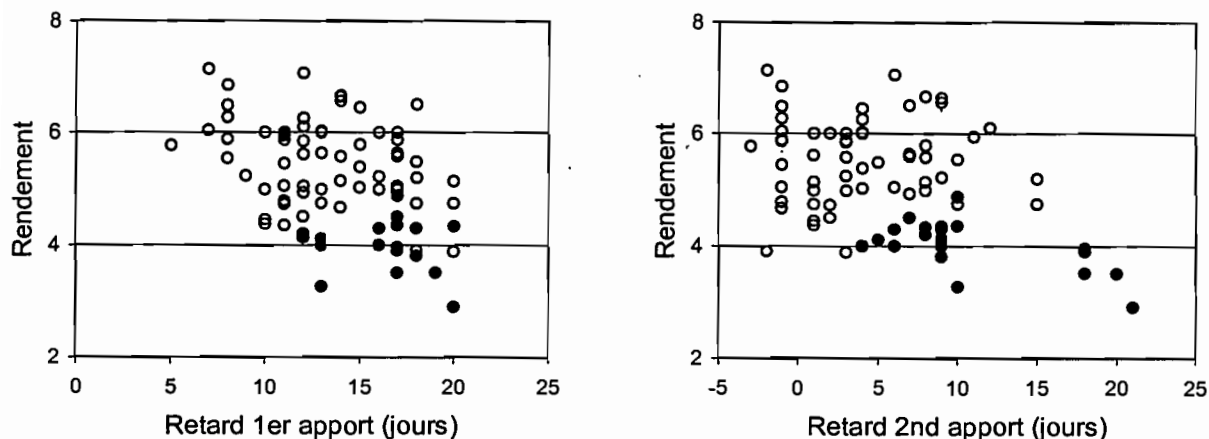


Figure 10 : Histogramme des rendements selon la variété dans les parcelles irriguées 7 ou 8 fois

La très faible fréquence d'irrigation dans près de la moitié des parcelles semées en Sahel 108 explique en grande partie les faibles rendements obtenus avec cette variété. Néanmoins, dans les parcelles irriguées 7 ou 8 fois les rendements obtenus avec Jaya demeurent plus élevés que ceux obtenus avec Sahel 108 (Fig. 10). Les faibles performances de Sahel 108 pourraient alors être liées à la salinité, car ce périmètre ne dispose pas de réseau de collature et la variété Sahel 108 est plus sensible que la variété Jaya. Des mesures de conductivité électrique permettraient de confirmer cette hypothèse.

Comme dans la plupart des périmètres irrigués de la vallée du Sénégal (ou de l'Office du Niger), les interventions culturales sont souvent réalisées en retard. Dans notre cas, les 120 parcelles ont toutes reçu les mêmes doses d'engrais, mais les dates d'apports ne sont pas bien calées sur le stade de la culture (début tallage pour le premier apport, et début montaison pour le second). La figure 11 illustre l'effet du retard de l'apport sur le rendement du riz, selon la variété, dans les parcelles irriguées 7 ou 8 fois. Le rendement maximum obtenu décroît avec l'augmentation du retard.



○ Jaya ● Sahel 108

Figure 11 : Effet du retard d'application d'urée sur le rendement

Ce retard est plus important dans les parcelles semées en Sahel 108. En effet, cette variété récemment diffusée chez les producteurs est plus précoce que Jaya (une dizaine de jours en hivernage). Mais les recommandations techniques concernent des variétés de cycle moyen comme Jaya : « 1^{er} apport 30 jours après semis », « 2nd apport 60 jours après semis ». Les producteurs ont relativement bien respecté des recommandations impropres à la variété Sahel 108 (et impropres également à Jaya lorsqu'elle est cultivée en saison sèche chaude !).

5. Conclusion

Le caractère fertile d'un sol signifie sa capacité à produire, **toutes choses égales par ailleurs**. Bien souvent, les agriculteurs sont capables d'évaluer cette capacité. Comme à l'Office du Niger, leurs pratiques (le « système de culture ») évoluent, et lorsqu'ils ont le choix, les producteurs donnent la priorité aux parcelles les plus « fertiles » et abandonnent celles qui le sont moins. Statuer sur l'état de fertilité des sols et son évolution ne peut donc se faire sans tenir compte des pratiques paysannes, de leurs conséquences et sans doute aussi de leurs causes.

L'évolution des propriétés bio-physico-chimiques des sols a sans nul doute des répercussions sur ses capacités à produire. Ainsi, le développement de l'irrigation au Sahel a profondément modifié le fonctionnement hydrique des sols et génère de graves risques pour leur conservation. Néanmoins, l'impact de cette évolution, tant qu'elle n'a pas atteint de « seuil critique » (et bien souvent irrémédiable) pour la production agricole, n'est pas évident car les pratiques des producteurs, dont la maîtrise technique est encore faible, expliquent l'essentiel de la variabilité des rendements. Ce défaut de maîtrise technique est la principale cause des contre-performances des systèmes irrigués dans la vallée du Sénégal : non-compétitivité du riz local, faible intensité culturale, endettement des producteurs, abandon des aménagements... Il est aussi bien souvent à l'origine de la dégradation de sols (appauvrissement en éléments minéraux par défaut de fertilisation, salinisation par défaut de drainage...).

Nos propositions en matière de conservation des sols doivent converger afin d'éviter d'atteindre ce « seuil critique ». Mais pour être opérationnelles, c'est à dire mises en œuvre par les producteurs, elles doivent être cohérentes avec les stratégies des producteurs. Ainsi, la mise en jachère permet de reconstituer le stock de matière organique d'un sol et constitue un moyen efficace de lutte contre les mauvaises herbes. Cependant, si 5 ans de jachère permettent de doubler le rendement la première année, les producteurs n'omettent pas dans leur calcul l'absence de production durant 5 ans !

ONZIÈME RÉUNION DU GROUPE DE RÉFLEXION
SUR L'ÉTUDE DE LA SOLUTION DU SOL
EN RELATION AVEC L'ALIMENTATION DES PLANTES
(GRESSAP)

IRD Montpellier - 14 septembre 1999