

# Riziculture irriguée et évolution des sols dans la vallée du Sénégal

Jean-Christophe POUSSIN\*, Pascal BOIVIN\*\*, Claude HAMMECKER\*\*\*, Jean-Luc MAEGHT\*\*\*

\* IRD, BP 64501, 34394 Montpellier Cédex 5, France

\*\* EPFL, 1015 Lausanne, Suisse

\*\*\* IRD, BP 1386 Dakar, Sénégal

## Résumé

Riziculture irriguée et évolution des sols dans la vallée du Sénégal. Au Sahel, l'irrigation permet de lever la principale contrainte pour la production, mais elle engendre également des risques pour l'évolution des sols : salinisation liée à l'évaporation ou à la remontée des nappes, baisse de fertilité chimique liée à la mise en culture continue... L'objectif de cette communication est de présenter un panorama des travaux réalisés dans la vallée du Sénégal par une équipe de l'IRD et ses partenaires, concernant l'évolution récente des sols et ses interactions avec la conduite de la riziculture. Les résultats de ces travaux montrent notamment que la riziculture irriguée permet d'éliminer les sels accumulés en surface lorsque l'irrigation et le « drainage » sont bien conduits. Dans les sols vertiques, la vitesse de percolation est extrêmement faible et le lessivage des sels s'effectue latéralement. L'enrichissement des horizons superficiels dans les sols cultivés peut être mis en relation avec la culture continue combinée à la fertilisation (N et P) et à l'absence d'exportation des pailles. Enfin, les pratiques culturales expliquent l'essentiel de la variabilité des rendements. A court terme, la riziculture irriguée n'a donc pas d'impact aussi négatif que ceux supposés sur l'évolution des sols et des nappes dans la vallée du Sénégal. Néanmoins, l'exportation des pailles pour le développement de l'élevage, l'extension des cultures de diversification exondées, l'absence de réseau d'évacuation des sels lessivés, ou l'augmentation de l'intensité culturale peuvent déstabiliser cette situation fragile.

## Abstract

Irrigated rice and soil evolution in the Senegal River valley. Irrigation allows in the Sahel to get ride of the main constrain for agricultural production. Netherless, it leads a risk of soil degradation, especially salinization due to evaporation or rise of the table water and fertility drop due to permanent cropping... This communication describes several works by IRD and partners on soil evolution in interaction with irrigated rice management in the Senegal River Valley. Irrigated rice allows to leach salts in topsoil when irrigation and drainage are well managed. Clay soils have very low permeability. Infiltration rates are negligible and leaching is mainly horizontal. Use of N and P fertilizer combined with no export of straw allow to improve organic matter and nutrient content of topsoil. Crop practices are the major factors driving rice yield variability in farmers fields. Therefore, irrigated rice has not in the short term a negative effect on soil fertility and salinity. Netherless, export of straw linked with breeding development, development of unflooded crop, lack of drainage network, or increase of crop intensity can destabilize this fragile situation.

## Introduction

Au Sahel, l'irrigation permet de lever la principale contrainte pour la production, mais elle engendre également des risques de dégradation des sols : salinisation neutre ou alcaline liée à l'évaporation et/ou à la remontée de nappes salées due à la percolation, appauvrissement du sol en éléments minéraux et en matière organique liée à la mise en culture continue... Ce risque de salinisation et de baisse de fertilité des sols est souvent mis en parallèle aux résultats décevants qu'enregistre l'agriculture irriguée, notamment la riziculture qui occupe la majeure partie des surfaces aménagées.

L'objectif de cette communication est de présenter un panorama de travaux réalisés dans la vallée du Sénégal par une équipe de l'IRD et ses partenaires, concernant l'évolution récente des sols et ses interactions avec la conduite de la riziculture. On s'intéresse notamment aux comparaisons entre sols cultivés et non cultivés au plan de leur salinité, aux teneurs des horizons superficiels en éléments nutritifs et en matière organique. On s'intéresse également à rechercher les principales causes de la variabilité des rendements dans les parcelles paysannes.

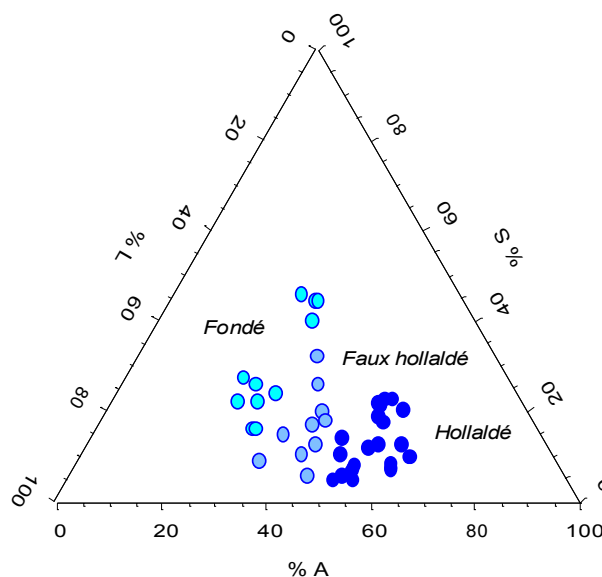
## Les sols de la vallée du Sénégal

De nombreux auteurs (Meynard, 1960 ; Michel, 1973 ; Le Brusq, 1980 ; Loyer, 1989 ; Boivin *et al.* ; 1995) ont présenté les caractéristiques des sols du delta et de la vallée. Dans la moyenne vallée, on retiendra la distinction entre des sols argileux, contenant plus de 45 % d'argile, et des sols à dominante sablo-limoneuse, contenant néanmoins environ 25 % d'argile. Tous ces sols sont hydromorphes et présentent à une profondeur d'environ 1 m, sous un horizon argileux, une terrasse marine constituée de sables fins. Cette dernière caractéristique a pour conséquence un risque de salinisation de l'horizon de surface par remontée de la nappe située à plus d'un mètre de profondeur.

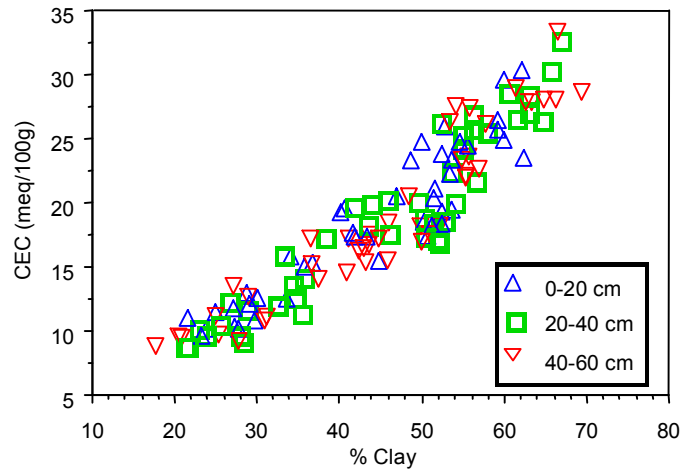
Le niveau de CEC est fortement corrélée à la teneur en argile (figure 2). Au plan chimique, la CEC est essentiellement saturée par du calcium et du magnésium en proportion égale, et la teneur en sodium échangeable est extrêmement variable.

Les sols non cultivés présentent une salinité chlorurée totalement saturée par du sodium en profondeur et partagée de façon égale entre sodium, calcium et magnésium en surface (figure 3).

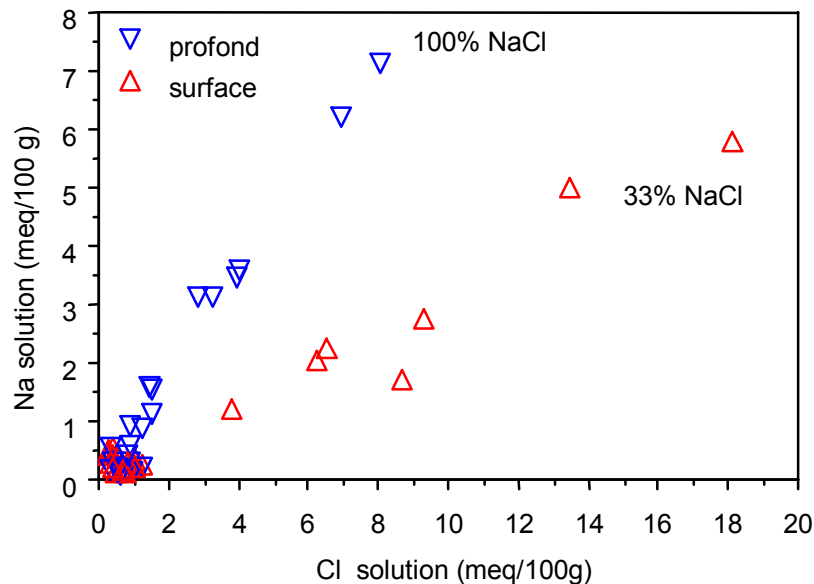
**Figure 1. Texture des sols (horizon 0-20 cm)**



**Figure 2. Relation entre la CEC et la teneur en argile**



**Figure 3. Salinité chlorurée en surface et en profondeur dans les sols non cultivés**



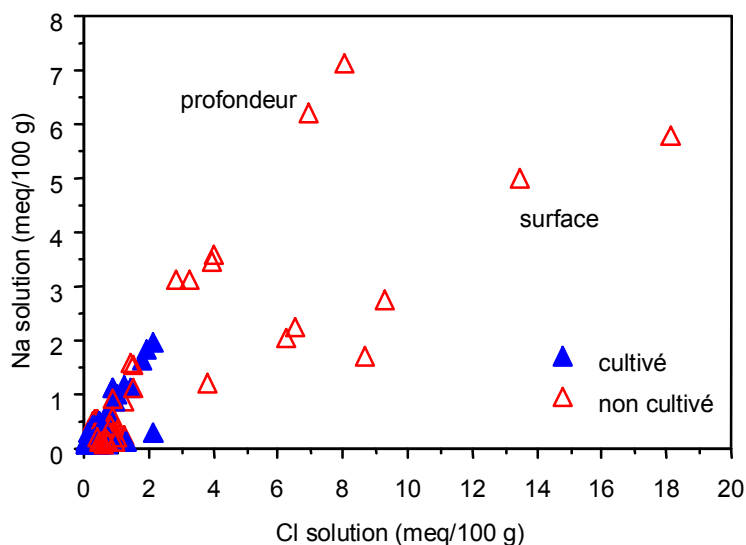
## Effet de l'irrigation sur l'évolution de la salinité

Une première prospection (de Poitevin, 1993), réalisée à l'aide d'un conductivimètre électromagnétique EM38, avait conclu à une forte augmentation de la conductivité électrique dans les périmètres irrigués du département de Podor. Néanmoins, les résultats des travaux réalisés par la suite (Charollais et Wéber, 1994) contredisent ce premier diagnostic. Ils indiquent en effet une diminution très significative de la conductivité électrique en surface et en profondeur dans les sols cultivés, sans évolution significative de l'ESP (tableau I). Cette diminution de conductivité est bien illustrée par l'évolution des chlorures et du sodium en solution (figure 4). Parallèlement à cette diminution du sodium en solution, la teneur en sodium échangeable n'évolue pas de manière significative (figure 5). En revanche, on observe une baisse significative de la teneur en potassium échangeable.

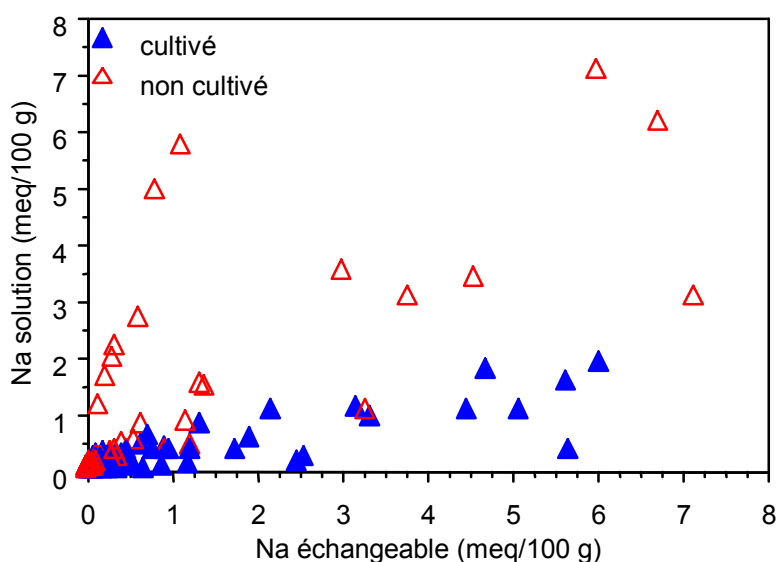
**Tableau I. Conductivité électrique (70 échantillons à 2 profondeurs)**

	Hors aménagement	Cultivé	Test de Fisher
Horizon 0-20 cm	0,73 (1,00) mS	0,06 (0,07) mS	P < 0,0001
Horizon 40-60 cm	0,45 (0,53) mS	0,11 (0,11) mS	P < 0,0001

**Figure 4. Relation entre Na en solution et chlorures solubles**



**Figure 5. Relation entre Na échangeable et Na en solution**



Cette diminution de conductivité électrique a également été observée dans le delta du Sénégal. Les travaux de Samba Diene (1998) et Ceuppens et Wopereis (1999) ont confirmé que la riziculture irriguée, en double ou simple culture, drainée ou pas, permet un dessalement de l'horizon superficiel. En effet, en riziculture irriguée, la présence d'une nappe

d'eau en surface, de concentration plus faible, permet l'évacuation latérale des sels et le blocage des remontées capillaires salines depuis la nappe salée profonde.

Mais que se passe-t-il sous une culture irriguée exondée comme la tomate et l'oignon ? Ces cultures de « diversification » sont majoritairement cultivées dans les périmètres irrigués villageois ou privés, dont la plupart ne disposent pas de réseau de drainage. Malgré leurs sols filtrants, et donc « inaptes » à la riziculture irriguée d'après les conseillers agricoles et les agents des projets de développement, les paysans cultivent parfois du riz... Ce qui permet de lessiver les sels accumulés après quelques années de maraîchage. Un « essai de drainage » réalisé sur un PIV du même type du département de Podor (Hammecker et al., 1999) a confirmé que le lessivage des sels s'effectuait essentiellement dans la lame d'eau superficielle et a montré l'effet d'un cycle « inondation-évacuation » avant la mise en place de la culture sur l'évolution de la salinité de l'horizon superficiel. Mais un autre effet a également pu être observé : le lessivage du potassium contenu dans le brûlis des pailles de riz...

## Evolution de fertilité des sols

Nous ne disposons pas de comparaisons entre sol cultivé et non cultivés... En effet, les analyses effectuées hors de périmètres ne donnent aucune indication sur les teneurs en carbone, azote et phosphore des sols non cultivés... Néanmoins, en nous fondant sur des analyses de sol effectuées dans les divers types de périmètres (aux plans du sol et du mode d'aménagement) du département de Podor, on observe les résultats suivants (tableau II) :

**Tableau II. Résultats d'analyses de sol sur 126 carottes à 3 profondeurs**

	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	Test de Fisher
N total (mg/g)	4,94 (2,15)	3,13 (1,59)	2,43 (1,20)	P < 0,001
C total (mg/g)	0,52 (0,20)	0,35 (0,17)	0,29 (0,13)	P < 0,001
P total (ppm)	223 (64)	193 (66)	171 (73)	P = 0,41
P Olsen-Dabin (ppm)	17,2 (10,9)	10,8 (7,9)	8,3 (5,6)	P = 0,02
K échangeable (meq%)	0,36 (0,20)	0,31 (0,16)	0,30 (0,17)	P = 0,11
Saturation CEC (%)	91,3 (11,4)	96,4 (11,3)	95,5 (11,4)	P < 0,001
Conductivité (mS)	0,07 (0,05)	0,32 (1,95)	0,36 (2,03)	P = 0,04
pH eau	6,3 (0,5)	6,8 (0,5)	6,7 (0,5)	
pH KCl	4,7 (0,4)	5,0 (0,5)	4,8 (0,5)	

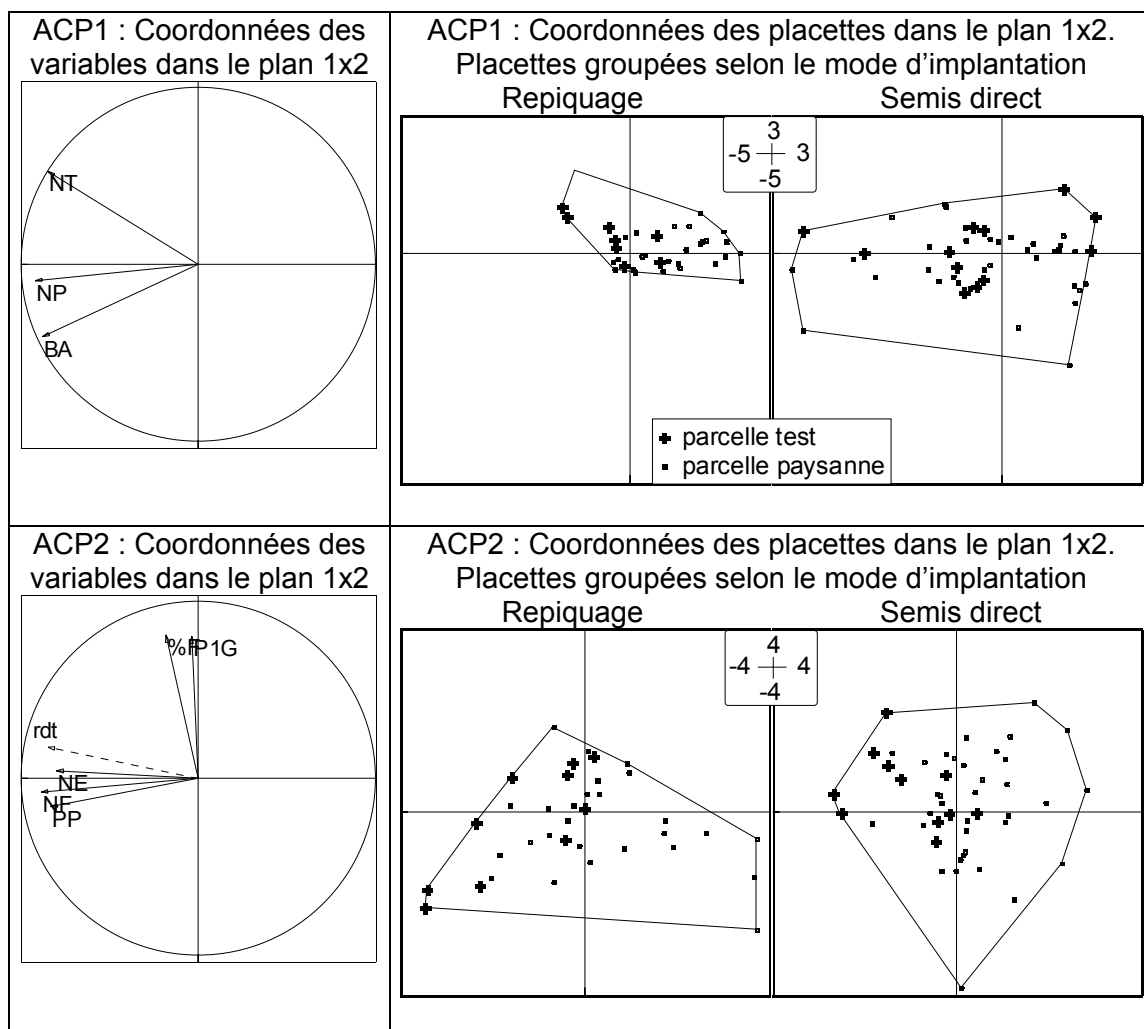
- Il n'y a pas d'appauvrissement de l'horizon superficiel par minéralisation de la matière organique. Le travail du sol qui est superficiel (moins de 10 cm) n'entraîne pas de dilution de la matière organique. Par ailleurs, les résidus de culture (riz et maraîchage) ne sont pas (encore) exportés et l'accès des troupeaux dans les aménagements est limité à cause des dégâts qu'ils provoquent sur les canaux et les diguettes.
- Les teneurs en P Olsen-Dabin et K échangeable de l'horizon superficiel sont juste supérieures aux teneurs critiques (Dobermann et al., 1995). Mais ce statut peut évoluer très rapidement. En Mauritanie par exemple, suite à l'absence prolongée de fertilisation phosphatée par défaut de disponibilité des engrais, des carences en phosphore apparaissent (Haefele *et al.*, 2001). Sur la rive Sénégalaise, le développement de l'élevage bovin dans le delta s'accompagne d'exportation des pailles de riz qui contiennent l'essentiel du potassium absorbé par la culture.
- La désaturation de la CEC et la baisse de conductivité (moyenne et variance) en surface confirme les observations faites précédemment sur l'évolution de la salinité.

- Les niveaux de conductivité électrique et de pH de l'horizon superficiel ne constituent pas une contrainte pour la riziculture (Asch et Wopereis, 2000).

## Variabilité des rendements

Les critiques faites aux systèmes irrigués installés dans la vallée du Sénégal proviennent de leur faible productivité : le rendement moyen du riz irrigué stagne entre 4 et 5 t/ha, soit environ la moitié du rendement potentiel, alors que les coûts de production sont relativement élevés (entre 1 et 3 t/ha d'équivalent paddy). De plus, l'intensité culturale (surface cultivée annuellement / surface exploitable) est inférieure à 1. Cette faible productivité ne permet pas de rentabiliser les aménagements ni même de les entretenir, et parallèlement, on observe une salinisation des parcelles et des aménagements abandonnés.

**Figure 6. Résultats de deux ACP réalisées sur les densités de peuplement à l'initiation paniculaire (ACP1) et sur les composantes de rendement à maturité (ACP2). Les parcelles « test » ont été conduites en tentant de respecter au mieux les densités d'implantation et le calendrier cultural**



Un diagnostic agronomique a été effectué dans les divers types de périmètres du département de Podor (Poussin, 1998). Il conclut à l'effet déterminant des pratiques culturales, notamment le mode et la densité d'implantation (semis direct ou repiquage), le contrôle des adventices et la gestion de la fertilisation azotée, sur la variabilité des rendements (figure 6). Le respect du calendrier cultural et l'augmentation de la densité pour

le repiquage permettent un accroissement de rendement d'environ 2 t/ha par rapport au rendement moyen.

Les organisations paysannes font majoritairement appel au crédit bancaire pour financer une campagne de culture. L'emprunt n'étant accordé qu'après remboursement de l'emprunt précédent, la succession annuelle de deux cycles de culture est difficile et une mauvaise récolte engendre souvent l'arrêt de la mise en culture pour une voire plusieurs années... A moins que l'Etat n'intervienne et mette en place un moratoire.

Les pratiques culturales observées à l'échelle de la parcelle sont fortement contraintes par l'organisation à l'échelle de l'aménagement : tour d'eau, achat et livraison des intrants, réalisation des travaux mécanisés... Une expérience d'amélioration a été menée dans le cadre du Pôle régional de recherche sur les systèmes irrigués (PSI-WECARD/CORAF) dans un périmètre irrigué villageois mauritanien situé en moyenne vallée du Sénégal (Diallo *et al.*, 2000). La modification de l'organisation collective au plan de l'irrigation et du calendrier des opérations culturales a permis, sans accroissement des coûts, d'atteindre un rendement moyen de 8,2 t/ha en hivernage 2000.

## Conclusion

A court terme et à petite échelle (la parcelle et l'aménagement), la riziculture irriguée dans la vallée du Sénégal n'engendre pas de salinisation des sols si elle est bien conduite, mais elle permet au contraire d'éliminer les sels accumulés en surface. Les résultats médiocres qu'elle enregistre depuis plus de 10 ans sont moins liées à des problèmes de dégradation des sols qu'aux pratiques paysannes. Ces mêmes mauvais résultats sont à l'origine de l'abandon de la mise en culture des parcelles et aménagements, qui engendre la salinisation de l'horizon de surface. L'excès d'eau pour l'irrigation de la riziculture explique ce dessalement superficiel par évacuation latérale des sels. Mais en cas de culture exondée, comme la tomate et l'oignon qui occupent une place de plus en plus importante dans les périmètres, la « fraction de lessivage » est moindre et le risque d'accumulation des sels en surface est fort (Zante, 1998). Par ailleurs, le statut du phosphore et du potassium, qui sont pour le moment juste au dessus des seuils critiques, peuvent évoluer rapidement en cas d'exportation des pailles (ou d'un cycle irrigation-drainage lorsque les pailles sont brûlées) ou d'absence de fertilisation.

Néanmoins, le relèvement de la cote du fleuve pour le développement de l'irrigation a pour effet direct le relèvement des nappes (Ceuppens, 2000), et si l'irrigation « excessive » du riz permet l'élimination superficielle des sels, il s'agit ensuite d'évacuer les eaux de « drainage ».

L'évolution d'une agriculture irriguée encore mal maîtrisée (par les producteurs ou les décideurs) nécessite donc une grande vigilance.

## Bibliographie

MAYMARD J., 1960. Etudes pédologiques dans la vallée alluviale du Sénégal. Multig. MAS, Division agronomique, bull. 122, 38 p.

LE BRUSQ, J.Y., 1980. Etude pédologique des cuvettes de la vallée du Lampar. Multig. ORSTOM Dakar, Sénégal, 76 p. + annexes.

LOYER J.Y., 1989. Les sols salés de la basse vallée du fleuve Sénégal. ORSTOM, collection Etudes et Thèses, Paris, France, 137 p.

BOIVIN P., BRUNET D, GASCUEL C., ZANTE P., NDIAYE J.P., 1995. Les sols argileux de la région de Nianga-Podor : répartition, caractéristiques, aptitude et risques de dégradation sous irrigation. In Nianga, laboratoire de l'agriculture irriguée dans la moyenne vallée du fleuve Sénégal, ORSTOM, coll. Colloques et Séminaires, Paris, France, pp. 67-81.

MICHEL P., 1973. Les bassins des fleuves Sénégal et Gambie, étude géomorphologique. Mémoires ORSTOM, 3 tomes, Paris, France, 752 p.

POITEVIN DE F., 1993. Etude d'impact des techniques culturales sur les aménagements hydro-agricoles dans la région de Podor (Sénégal). Mémoire de 4<sup>ème</sup> année de l'ESAP, multig. ORSTOM Dakar, Sénégal, 53 p. + annexes.

CHAROLLAIS M., WÉBER V., 1994. Evolution des sols irrigués dans la moyenne vallée du fleuve Sénégal. Sodisation/Alcalinisation. Mémoire de fin d'étude EPFL, d

SAMBA DIENE R., 1998. Riziculture et dégradation des sols en vallée du fleuve Sénégal : analyse comparée des fonctionnements hydro-salins des sols du delta et de la moyenne vallée en simple et double riziculture. Thèse de Doctorat, Université Cheikh Anta Diop, Dakar, Sénégal, 221 p. + annexes.

CEUPPENS J., WOPEREIS M.C.S., 1999. Impact of non-drained irrigated rice cropping on soil salinization in the Senegal River Delta. *Geoderma*, 92 : 125-140.

HAMMECKER C., MAEGHT J.L., WADE M., 1999. Essai de drainage sur le périmètre de Donaye 8. PSI-CORAF, multig. ORSTOM Dakar, Sénégal, 11 p.

HAEFELE S.M., WOPEREIS M.C.S., DONOVAN C., MAUBUISSON J., 2001. Improving the productivity and profitability of irrigated rice production in Mauritania. *European Journal of Agronomy*, 14 : 181-196.

DOBERMANN A., CASSMAN K.G., STA CRUZ P.C., NEUE H.U., SKOGLEY E.O., PAMPOLINO M.F., ADVIENTO M.A.A., 1995. Dynamic soil tests for rice. In : *Fragile Lives in Fragile Ecosystems. Proceedings of the International Rice Research Conference*, 13-17 February 1995. IRRI, Manila, Philippines, pp. 343-365.

ASCH F., WOPEREIS M.C.S., 2000. Responses of field-grown irrigated rice cultivars to varying levels of floodwater salinity in a semi-arid environment. *Field Crops Research*, 70 : 127-137.

POUSSIN J.C., 1998. Diagnostic sur les systèmes de riziculture irriguée dans la moyenne vallée aval du fleuve Sénégal. In : A. Biarnes (ed.), *La conduite du champ cultivé. Points de vue d'agronomes*. ORSTOM, coll. « Colloques et séminaires », Paris, France, pp. 133-161

CEUPPENS J., 2000. Water and salinity management for irrigated rice in the Senegal River delta. Dissertationes de agricultura, Université Catholique de Louvain, Belgique, 232 p. + annexes.

DIALLO Y., LEGOUPIL J.C., WADE M., NGAIDE H., POUSSIN J.C., LIDON B., 2000. Amélioration des performances des petits périmètres irrigués villageois par la mise en place d'un système d'information et de suivi des pratiques agricoles. In *Pour un développement durable de l'agriculture irriguée dans la zone soudano-sahélienne*, PSI-WECARD/CORAF, Dakar, Sénégal, pp. 304-322.

ZANTE, P., 1994. Culture irriguée et évolution de sols argileux de la moyenne vallée du fleuve Sénégal : essai de caractérisation physique. Mémoire de DESS Gestion des Systèmes Agro-Sylvo-Pastoraux en Zones Tropicales, Université Paris 12, Créteil, France, 86p.