

Scientific registration n° : 1161
Symposium n° : 29
Presentation : poster

**« Nos rendements chutent ! » Fatigue des sols ou fatigue
des hommes ?
‘Our yields drop !’ Drop of soil fertility or human
tiredness ?**

POUSSIN Jean-Christophe, MAEGHT Jean-Luc, BOIVIN Pascal

ORSTOM B.P. 1386 Dakar Sénégal

La riziculture irriguée en moyenne vallée du Sénégal est essentiellement pratiquée sur des sols argileux présentant des caractères vertiques. Cette production pose un problème de conservation des sols, qui ont tendance à se saliniser ou à s'alcaliniser. Depuis quelques années, les paysans s'inquiètent d'une baisse des rendements. « Nos sols sont fatigués » disent-ils.

En réponse à cette interpellation, on présente ici un ensemble de travaux destinés à montrer quelle est l'évolution récente de l'état du sol et son poids sur l'élaboration des rendements en riziculture paysanne. En parcelles paysannes, le fonctionnement hydro-salin du sol et la composition de la solution du sol sont suivis en cours de culture, simultanément à la croissance du riz et aux différentes opérations culturales. L'étude se fonde (i) sur une analyse de l'élaboration du rendement du riz en fonction des pratiques culturales observées, et (ii) la comparaison entre 2 situations : des parcelles gérées par les exploitants habituels, et d'autres, mises à disposition par les paysans, où l'on tente d'optimiser l'emploi des techniques disponibles.

Les résultats permettent de dégager la marge de progression des exploitants à moyens techniques constants, et d'évaluer le poids relatif de l'état du sol dans l'élaboration des rendements. On montre ainsi que les pratiques culturales, à travers la variabilité de mise en œuvre des techniques, induisent une très forte variabilité des rendements. Une conclusion pratique en est tirée : contrairement à l'intuition des exploitants, le niveau des rendements est essentiellement contrôlé par la qualité des pratiques culturales. Une conclusion méthodologique forte est que la mise en évidence de l'impact de la dégradation des sols ne pourrait se faire sans une analyse complète de l'élaboration des rendements.

Mots clés : riziculture irriguée, fertilité des sols, élaboration du rendement
Keywords : irrigated rice, soil fertility, yield elaboration

Scientific registration n° : 1161

Symposium n° : 29

Presentation : poster

« Nos rendements chutent ! » Fatigue des sols ou fatigue des hommes ? ‘Our yields drop !’ Drop of soil fertility or human tiredness ?

POUSSIN Jean-Christophe, MAEGHT Jean-Luc, BOIVIN Pascal

ORSTOM B.P. 1386 Dakar Sénégal

Introduction

Dans la vallée du Sénégal, la mise en place d'aménagements hydro-agricoles associée à la régulation du débit du fleuve a permis le développement de l'agriculture irriguée. Avec un rendement potentiel évalué selon la variété entre 8 et 12 tonnes/hectare et la possibilité de réaliser deux récoltes par an, la riziculture irriguée permet d'envisager une relative indépendance alimentaire et une réduction de l'exode rural. La riziculture irriguée constitue la principale culture pour les paysans de la vallée. Malheureusement, les performances restent en deçà des espérances : les rendements, en moyenne inférieurs à 5 t/ha, sont instables, et la double riziculture est loin d'être systématique.

Dans le département de Podor, en moyenne vallée aval du Sénégal, les paysans s'inquiètent depuis quelques années d'une « chute » des rendements, et s'interrogent sur la fertilité des sols. Et en effet, pratiquée essentiellement sur des sols argileux, à caractère vertique, cette production pose un problème de conservation des sols, qui ont tendance à se saliniser ou à s'alcaliniser.

Comment s'élaborent et évoluent les rendements, quelle est leur variabilité, quelles sont les contraintes agronomiques qui s'expriment, quelle est l'évolution du sol sous culture et a-t-elle des conséquences sur la productivité des parcelles ? C'est à ces questions que tente de répondre cet ensemble de travaux menés essentiellement en milieu paysan.

Matériel et méthodes

- Evolution et variabilité des rendements.

Une enquête rétrospective a été menée sur un échantillon de 60 paysans, répartis dans 6 villages et 18 aménagements du département de Podor. Ce travail a permis de collecter les rendements obtenus par ces producteurs lors des 10 dernières campagnes, saison chaude et hivernage, de 1989 à 1994.

- Caractérisation des sols et évolution sous culture.

Tous les sites suivis ont fait l'objet d'un minimum de caractérisation analytique : granulométrie des trois horizons principaux, carbone et azote totaux, phosphore total et assimilable, bases échangeables et sels solubles dans l'extrait 1/5^e, pH et conductivité de

l'extrait, ainsi que mesures du pH in situ et du potentiel d'oxydo-réduction durant le cycle cultural.

Sur deux parcelles cultivées par nos soins, et représentatives des deux principaux types de sol rizicultivés, un suivi de la solution du sol (prélèvement par bougies poreuses) et un bilan hydro-salin ont été effectués. A trois reprises durant le cycle cultural, les caractéristiques chimiques et de fertilité des sols ont été déterminées sur un maillage de 10 prélèvements à 3 profondeurs.

Sur un échantillon plus important représentatif de l'ensemble des aménagements de la région, les caractéristiques des sols (sels solubles, bases échangeables, pH, carbonates totaux, pH in situ, sur extrait aqueux et KCl) ont été déterminées (Boivin, 1997) et comparées à celles des sols non cultivés environnants.

- Diagnostic agronomique.

Les diagnostics antérieurs (Bonfond *et al.*, 1981 ; Jamin & Caneill, 1983) indiquent un poids majeur des pratiques (irrigation, désherbage, fertilisation azotée) sur les rendements du riz. Notre objectif est de vérifier l'actualité de ces diagnostics en suivant l'élaboration du rendement du riz dans 21 parcelles durant 4 campagnes, en 1994 et 1995. La qualité de réalisation des techniques culturales influant sur l'élaboration des rendements (Sebillotte, 1978), nous avons cultivé 2 parcelles test, prêtées par les paysans, en tentant d'y optimiser les interventions.

Pour décrire l'élaboration du rendement, nous enregistrons les pratiques culturales et l'état de chaque parcelle, et nous mesurons le niveau de croissance du riz, au travers des composantes de rendement, dans des "placettes" installées en début de culture dans chaque parcelle (1 à 4 placettes par parcelle selon sa dimension, 4 répétitions par placette). Ces mesures sont effectuées à deux stades clés : l'initiation paniculaire (IP) et la maturité. Le diagnostic se fonde sur un modèle qualitatif reliant les diverses composantes, en indiquant les effets de l'état de la parcelle et des pratiques culturales (Durr, 1984 ; Barbier, 1994).

La caractérisation des situations est obtenue à l'aide d'analyses en composantes principales (ACP). Afin d'éliminer l'effet variétal, les ACP sont effectuées sur le tableau des écarts aux moyennes pour chaque variété (Dolédec & Chessel, 1987) :

- La première (ACP1) est réalisée sur le tableau des composantes mesurées à l'IP comprenant 83 placettes, et 3 variables : la densité de plantes (NP), de talles (NT) et la biomasse aérienne (BA).

- La seconde (ACP2) est réalisée sur le tableau des composantes mesurées à maturité comprenant 83 placettes, et 5 variables : la densité d'épis (NE), d'épillets (NF), le poids de paille (PP), le taux de fertilité des épillets (%F) et le poids d'un grain (PIG). Le rendement est projeté en variable supplémentaire.

Pour montrer l'impact des conditions d'implantation sur les résultats à maturité, on réalise une analyse de co-inertie (Dolédec & Chessel, 1994). Cette analyse met en évidence la structure commune aux 2 tableaux, en construisant des axes d'inertie communs. Chaque placette possède 1 couple de coordonnées pour chacun des axes de co-inertie: l'une correspond à IP, l'autre à la maturité. On étudie alors les « trajectoires » de IP à maturité des placettes selon les pratiques culturales.

Résultats

- Evolution du sol sous culture

On distingue 2 types de sols selon leur teneur en argile : des sols lourds, contenant plus de 45% d'argile, et des sols à texture mélangée, contenant moins de 40% d'argile. Les parcelles apparaissent ainsi représentatives des sols de la région (Boivin et al, 1995).

Comme le montrent Boivin (1997) et Boivin et al (1998), il convient de distinguer l'évolution inter-annuelle des sols de leur évolution intra-saisonnière. L'évolution inter-annuelle montre une tendance à la salinisation, qui ne se fait pas sentir en riziculture dans la mesure où elle est pratiquée par submersion. On constate également une augmentation de la teneur en carbonates, sans pour autant que cela représente des quantités susceptibles de modifier la qualité du sol. Face à ces évolutions négatives, il est important de mentionner une amélioration de la structure des horizons de surface, une augmentation de leur teneur en matières organiques (enfouissement des pailles dans les fentes de retrait), et une augmentation de leur teneur en phosphore assimilable.

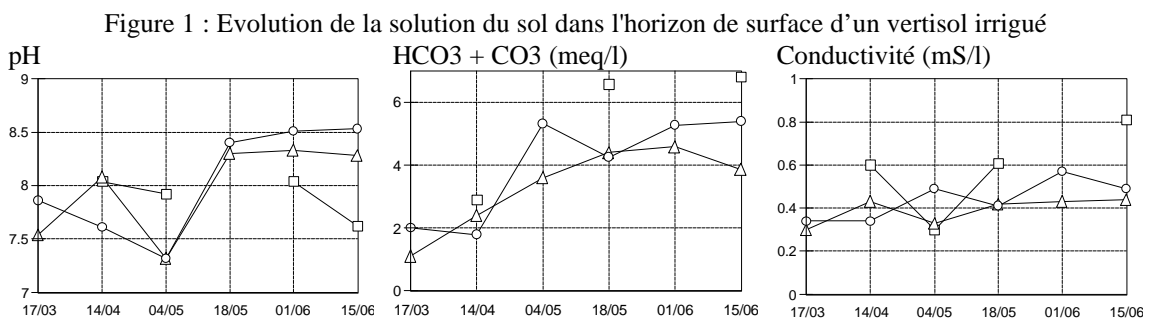
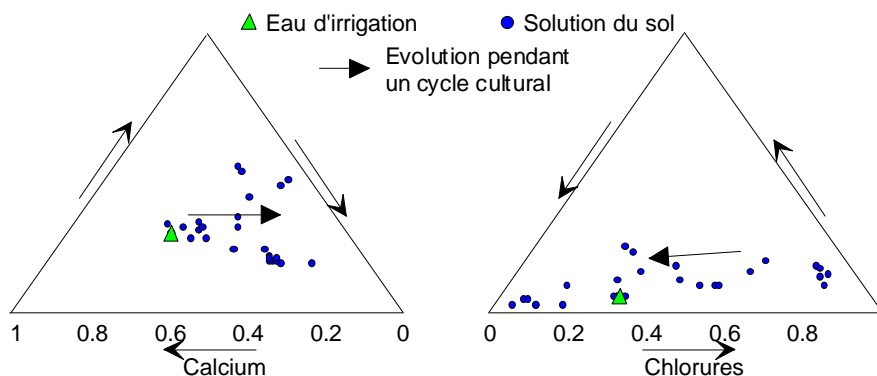


Figure 2 : Diagrammes de piper
Evolution de la solution du sol pour un vertisol rizicultivé, au cours de la période de submersion



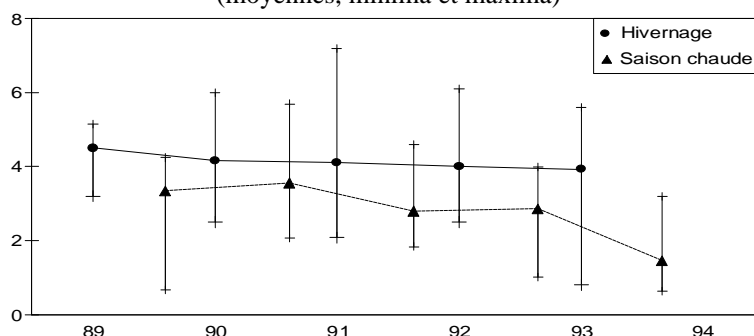
L'évolution intra-saisonnière est plus importante. On constate (figures 1 et 2) une évolution vers le pôle carbonaté sodique de la solution du sol. En début de culture, la solution du sol est neutre, dominée soit par le chlorure de sodium soit par le sulfate de calcium. Au cours du temps, et principalement en fin de cycle, elle devient alcaline et nettement carbonatée-sodique. Le pH atteint des valeurs de l'ordre de 8,4. La conductivité électrique augmente légèrement. Cette évolution fait craindre un processus d'alcalinisation, mais on observe en inter-culture un retour à la situation initiale. Favre et al (1998) montrent que la réduction du fer du réseau cristallin des argiles au cours de la

submersion modifie considérablement leur capacité d'échange qui peut doubler. Il n'est donc pas possible d'interpréter l'évolution de la solution du sol en ne faisant intervenir que les transferts (très limités), ou la précipitation - dissolution des sels.

- Evolution et variabilité des rendements rizi­coles

En moyenne, les rendements du riz d'hivernage évoluent peu. En saison chaude, ils sont plus faibles, et diminuent de moitié entre 1991 et 1994. Malgré une relative homogénéité des techniques culturales employées (Poussin, 1995), les rendements varient d'un facteur 3 ou 4 selon les paysans (Figure 3).

Figure 3 : Evolution et variabilité des rendements (t/ha) selon la saison culturale entre 1989 et 1994 (moyennes, minima et maxima)



- Diagnostic agronomique

Le plan factoriel 1x2 de l'ACP1 résume 92% de l'inertie totale. Le premier axe (78% de l'inertie) traduit l'effet taille (forte corrélation entre NP, NT et BA). Le plan factoriel 1x2 de l'ACP2 résume 68% de l'inertie totale. Le premier axe (43% de l'inertie) traduit la forte corrélation entre NE, PP et NF. La projection du rendement montre une forte corrélation avec l'axe 1 : la variabilité des densités explique en majeure partie celle des rendements. Le second axe (25% de l'inertie) traduit une forte corrélation entre %F et PIG : la stérilité apparente est liée au mauvais remplissage des grains plutôt qu'à un stress thermique. Du point de vue des techniques culturales employées, on distingue les parcelles selon leur mode d'implantation (Poussin, 1997): semis direct ou repiquage. La représentation des placettes dans les plans 1x2 des deux ACP1 selon le mode d'implantation (fig. 4) 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 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.

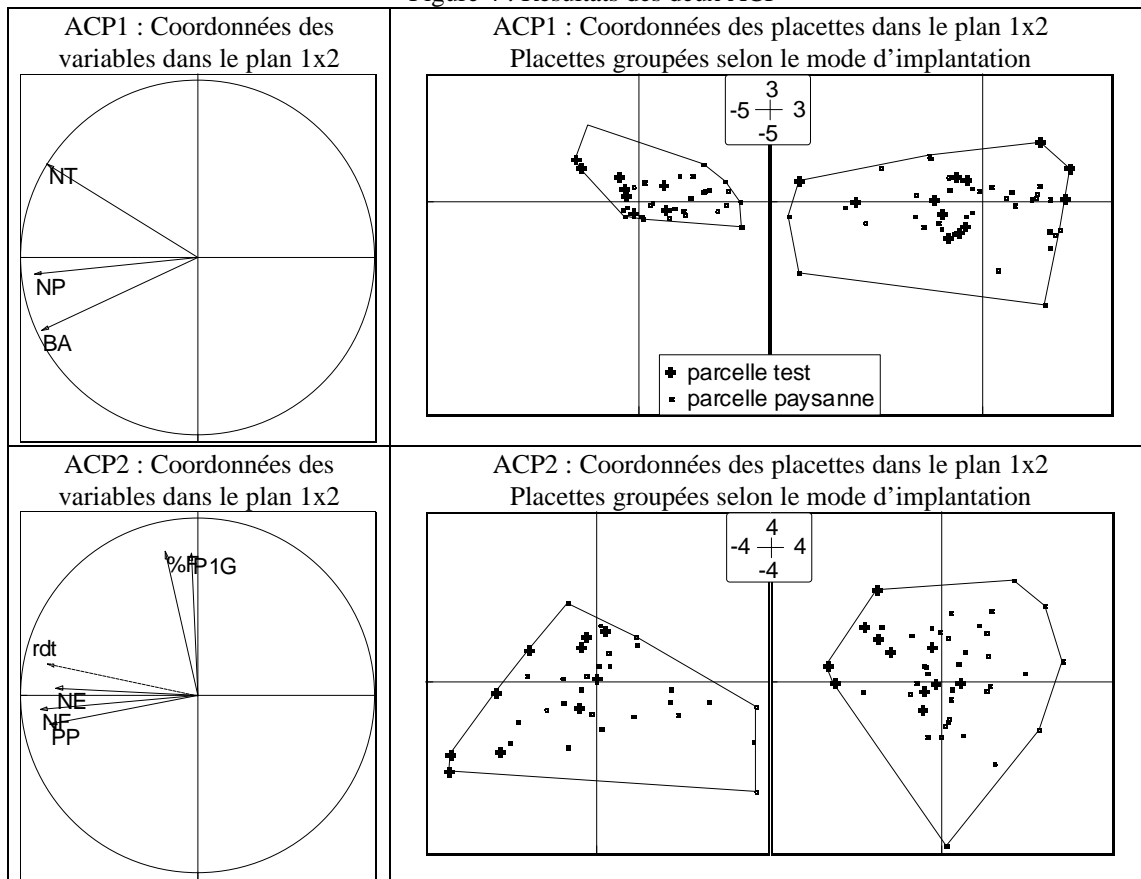
Les résultats obtenus dans les parcelles test sont parmi les meilleurs. Ceci montre l'impact de la qualité des interventions.

Le plan 1x2 de co-inertie (fig. 5) résume 97% du plan 1x2 de l'ACP1, et 76% du plan 1x2 de l'ACP2. La structure commune aux 2 tableaux traduit la forte 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 fortes densités d'épis et de fleurs.

Figure 4 : Résultats des deux ACP



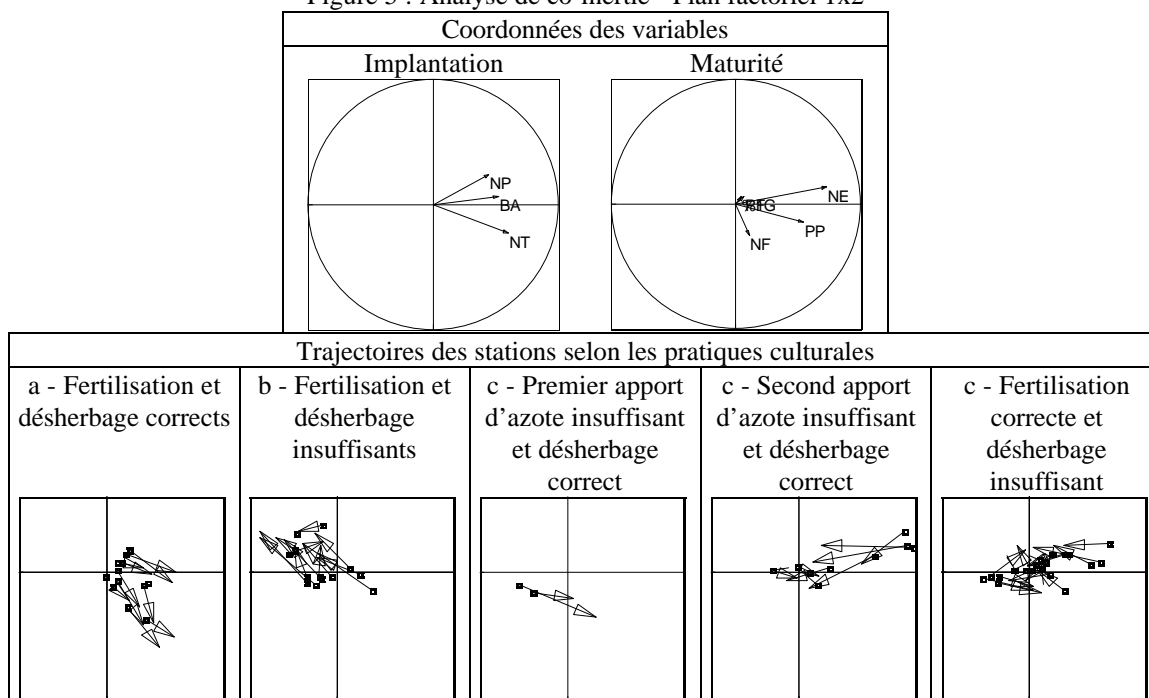
b) Fertilisation et désherbage insuffisants limitent les densités d'épis et de fleurs.

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.

d) Un second apport d'azote trop faible 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.

Figure 5 : Analyse de co-inertie - Plan factoriel 1x2



Conclusion

L'impact des pratiques culturales est 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'entretient ainsi d'elle-même, 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.

Le caractère fertile d'un sol signifie sa capacité à produire, **toutes choses égales par ailleurs**. Bien souvent, les agriculteurs sont capables d'évaluer ces capacités : leurs pratiques (notamment la fertilisation comme sur le projet Retail au Mali) évoluent, et lorsqu'ils ont le choix, les paysans donnent la priorité aux parcelles les plus « fertiles » et abandonnent celles qui le sont moins. Statuer sur l'évolution de fertilité des sols ne peut donc se faire sans rendre compte de celle des pratiques paysannes.

Références bibliographiques

- Barbier, J.M., 1994. Elaboration du rendement chez le riz. In « Elaboration du rendement des principales cultures annuelles », INRA Ed., Paris, 1994, 53-71.
- Boivin, P., I.Dia, A. Lericolais, J.C. Poussin, C. Santoir and S.M. Seck, 1995. Nianga, laboratoire de l'agriculture irriguée en moyenne vallée du Sénégal. Ateliers

- ORSTOM-ISRA à Saint-Louis, Sénégal, 19-21 October 1993. ORSTOM éditions, ISBN 2 7099 1272 4, 562 pp.
- Boivin P., 1997 Soil degradation in irrigation schemes in the Senegal River middle valley: Mechanisms, characterisation methods and actual situation. . p37-49. *In Irrigated rice in Sahel: Prospects for sustainable development. International Symposium, WARDA N'Diaye, Senegal (27-30March 1995)*
- Boivin, P., Maeght, J.L., Hammecker, H., Barbiero, L. and Favre, F.,1998, Evolution of irrigated soils in the Senegal river valley : alkaline or neutral salinisation process ? Proceedings of the 16th AISS Symposium, Montpellier, Aout 1998.
- Bonnefond, P., Caneill, J., Auriol, O., N'Diaye, M., Menvielle, J., Clément, A., 1981. Etude des unités de production de paysans pratiquant la culture irriguée dans le cadre de la SAED. ISRA-ORSTOM-IRAT-INA-PG, St-Louis, 294 p.
- Dingkuhn, M., 1993. Contraintes de rendement dans un périmètre irrigué du Sahel. In "Rapport Annuel 1992", ADRAO, Bouaké, 40.
- Dolédec, S. & Chessel, D., 1994. Co-inertia analysis : an alternative method for studying species-environment relationships. *Freshwater biology*, 31, 277-294.
- Dolédec, 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 Docteur-Ingénieur. Paris, INA-PG. 195 p.
- Favre, F., Tessier, D. and Boivin, P.,1998. Clay mineralogy and related properties of irrigated soils in middle valley river of Senegal. Proceedings of the 16th AISS Symposium, Montpellier, Août 1998.
- 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-PG, 285 p. + annexes.
- Poussin, J.C., 1995. Gestion technique de la riziculture irriguée. In "Nianga, laboratoire de l'agriculture irriguée en moyenne vallée du Sénégal", ORSTOM, coll. "Colloques et Séminaires", Dakar, 153-170.
- Poussin, J.C., 1997. Direct seeding or transplanting ? The example of the Senegal middle valley. In "Irrigated rice in the Sahel : prospects for sustainable development", WARDA, Dakar, 191-200.
- Sebillotte, M., 1978. Itinéraire technique et évolution de la pensée agronomique. *CR. Acad. Agri. Fr.* 64, 906-914.

Mots clés : riziculture irriguée, fertilité des sols, élaboration du rendement
 Keywords : irrigated rice, soil fertility, yield elaboration