

CN930003
P421/1955
AFF

ISRA - CNRA
Bibliothèque
BAMBEY

VARIABILITE DES RENDEMENTS DU MIL PLUVIAL EN MILIEU PAYSAN
SENEGALAIS: INFLUENCE DE L'ALIMENTATION HYDRIQUE, DE LA
GESTION DE LA FERTILITE ET DU CONTROLE DE L'ENHERBEMENT. (**)

F.Affholder (*)

Résumé

Date 01/02/93
N° 180/93
Mots-clés
Destinataire JM

A l'aide d'un échantillon de plus de cent parcelles de mil distribuées dans six terroirs répartis selon le gradient pédoclimatique dans le Bassin Arachidier du Sénégal, on a suivi les opérations culturales pratiquées par les agriculteurs et la production de grain au cours de l'hivernage 1990.

Ces données ont été mises en relation avec un indice hydrique déduit du bilan hydrique simulé de chaque situation culturale.

Il ressort que si le potentiel de production, tel qu'il peut être obtenu en station de recherche, est parfois atteint, les rendements sont en général limités par les faibles restitutions d'éléments fertilisants et un mauvais contrôle des adventices.

Dans l'un des sites suivis, l'alimentation hydrique a de plus été mesurée in situ sur des situations fumées et non fumées. Il apparaît que l'apport de fumure peut avoir un effet pervers sur l'ETR de la culture et modifier le risque pris par l'agriculteur, dans des proportions qu'il convient d'évaluer à l'aide de modèles plus élaborés.

Mots-clefs: Bilan hydrique, risque agroclimatique, itinéraires techniques, matière organique, sarclages, mil, Sénégal,

** papier présenté au Séminaire int. Gestion Agroclimatique des précipitations. BAMAKO. 9-13 Dec 1991.

* ISRA/ IRAT-CIRAD. CNRA BP 53 Bambey Sénégal

INTRODUCTION

La grande variabilité interannuelle et spatiale des rendements des cultures est une des caractéristiques majeures de l'agriculture pluviale d'Afrique de l'Ouest.

Identifier et hiérarchiser les causes de cette variabilité est essentiel, à la fois pour se donner les moyens d'estimer la production agricole dans un contexte où les techniques de sondages à travers de vastes territoires se révèlent inefficaces, et pour déterminer les techniques permettant de stabiliser la production au niveau le plus élevé possible.

L'étude présentée ici se veut une contribution à l'explication de la variabilité du rendement de la principale céréale pluviale du Sénégal, le mil, en associant l'étude agronomique de situations culturales observées dans six villages du bassin arachidier Sénégalais, à l'analyse de la consommation hydrique de ces situations, rendue possible par l'utilisation d'un modèle de simulation du bilan hydrique.

La principale limite du modèle utilisé vient de ce qu'il ne rend pas compte des interactions, encore très mal connues, entre certaines pratiques agricoles et l'alimentation hydrique elle-même. Ce problème est discuté à partir du cas particulier de l'influence d'apports de matière organique sur l'alimentation hydrique de la culture, mesurée in situ.

MATERIEL ET METHODES

Le Bassin Arachidier du Sénégal et les villages de l'enquête agronomique

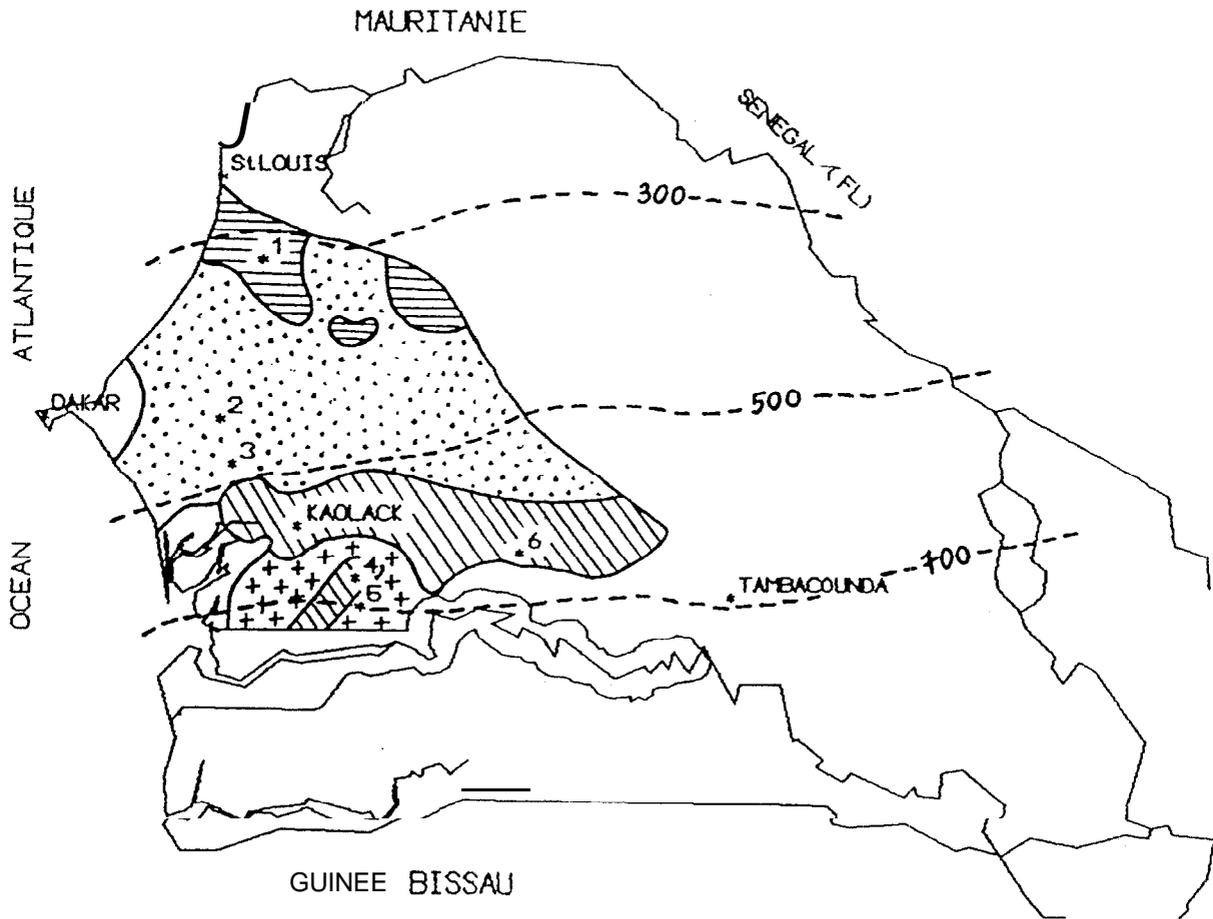
Cette région, qui est la principale zone de production du mil au Sénégal est marquée fortement dans la plupart de ses caractéristiques par l'influence du gradientpedoclimatique Nord-Sud.

On se reportera, pour les conditions du milieu physique, à la figure (1). Les sols sont surtout de type ferrugineux tropicaux peu lessivés au Nord à lessivés au Sud. Leur teneur en éléments fins (Argile + Limons fins), inférieure à 10% au Nord atteint 20 à 25% au Sud du Bassin. Les pluviométries moyennes annuelles diminuent régulièrement du Sud au Nord, de 300 à 700mm (moyennes 1970-1987).

Les pratiques agricoles présentent dans cette zone certains traits d'homogénéité remarquables, avec toutefois quelques nuances entre le Nord et le Sud de l'isohyète 540 mm passant à Kaolack.

La rotation biennale mil-arachide, en culture pure, domine très largement, mais une relative diversification apparaît au Sud [coton, maïs, manioc). La jachère est exceptionnelle. Le mil SOUNA de 90 jours, très peu photopériodique, a pratiquement

LE BASSIN ARACHIDIER DU SENEGAL
PLUVIOMETRIE - SOL - VILLAGES DE L'ENQUETE AGRONOMIQUE



- 1 : KEUR BOUMI
- 2 : BAMBAY-SERERE
- 3 : SOB
- 4 : NDIME TABA
- 5 : DAROU KHOUDOS
- 6 : KEUR LAMINE

-  Limite du Bassin Arachidier
-  Isohyètes 1970-1987
-  Zone à prédominance de **sols** bruns sabarides ou bruns rouges sur **sables** colluviaux et alluviaux.
-  Zone à prédominance de **sols** ferrugineux tropicaux faiblement lessivés, lessivés en Fer, sur **sables siliceux** à l'Ouest et **grès argilo-sableux** à l'Est.
-  Zone à prédominance de **sols** ferrugineux tropicaux **lessivés**, sans taches ni **concrétions ferrugineuses** au Nord, avec taches et **concrétions** au Sud, sur **sables** ou **grès sablo-argileux**.
-  Zone à **sols** faiblement ferralitiques dominants, sur **grès sablo-argileux**.

partout remplacé les mils SAN10 de 120 jours devenus inadaptés du fait de la sécheresse.

:La préparation du sol se limite en général à un nettoyage des parcelles, parfois **complété** par un grattage au Sud. Les semis sont réalisés le plus souvent mécaniquement et en humide sur la **première** pluie utile dans la **moitié** sud du bassin, et effectués en sec à la main, mais de plus en plus souvent mécaniquement dans la **moitié** nord. Les sarcla-binages sont réalisés en traction équine ou **asine**, et au sud parfois bovine.

:Les ressources en matière organique d'origine animale sont **limitées** du fait de la saturation de l'espace agricole et de la disparition des zones de parcours, ce dernier phénomène étant particulièrement accentué au centre (pays Serer). Le recours aux engrais et produits phytosanitaires est **exceptionnel** depuis l'**abandon** de la politique de subvention aux **intrants** agricoles.

Les **finages** sont dans toute la région organisés en terroirs concentriques: champs de case à proximité immédiate du village, bénéficiant d'apports fréquents de matière organique et portant en général du mil en culture continue (Pombod Serer et Tol Keur **Wolof**), et champs de brousse, portant la rotation arachide-mil.

Lorsqu'une **réserve** foncière existe encore aux confins du territoire villageois, on trouve en outre à sa lisière quelques parcelles récemment défrichées (Tol Gor).

A ce schéma plan, il faut ajouter, surtout dans la moitié sud du bassin, l'influence du relief: la position d'un champ dans la toposéquence détermine d'éventuels reports d'eau par ruissellement ainsi que la nature du sol et donc sa réserve utile.

Pour cette étude, on s'est efforcé de choisir, parmi des sites susceptibles de représenter les différents milieux de la région, des villages **ayant** fait l'objet d'études en agronomie des systèmes agricoles, afin de faciliter l'échantillonnage des parcelles.

L'échantillon de parcelles agricoles et l'enquête agronomique

L'échelle d'analyse que nous avons retenue est celle de la parcelle culturale, qui est définie comme la partie d'une parcelle foncière sur laquelle l'agriculteur applique un même ensemble de choix et de techniques (JOUVE, 1989).

L'échantillon de **départ** comprenait 130 de ces parcelles réparties dans les différents sites, et à l'**intérieur** de chaque site, dispersées dans les différents terroirs identifiés lors des **études** système précédentes.

Le passé **cultural**, et en particulier les apports **fertilisants antérieurs** ainsi que l'ensemble des interventions des agriculteurs au cours de la campagne ont été suivis.

Les nombreuses observations concernant la fertilisation et les sarclages ont par la suite été **résumées** à l'aide d'indices synthétiques, ifum et isarcl. Ifum est basé sur la fréquence des apports de matière organique sur trois ans (1988 à 1990) et sur le type d'apport de fumure **minérale** ou organique pour l'année en cours. Il augmente avec la **fréquence** des apports et diminue avec leur ancienneté. L'indice Isarcl, quant à lui diminue quand la précocité et le nombre des sarclages augmentent par rapport à la moyenne du village. La présence **d'au** moins un sarclage manuel **immédiatement** après un sarclage mécanique a également été considéré comme un critère de qualité.

$ifum = fmine + forga90 + 1/2(forga89) + 1/3 (forga 88)$

où - fmine = 1 si apport de fumure minérale en 1990, =0 dans le cas contraire:

- forga(n)= présence (1) ou absence (0) d'apport de fumure organique d'origine animale l'année n. Pour l'année de l'étude, 1990, on a donné un point en plus dans le cas de fumure par **parcage** de troupeau sur la parcelle: **forga90=2**.

isarcl = nombre de sarclages réalisés tardivement + nombre de sarclages manquants + itype
avec itype = 0 si l'un des sarclages mécaniques au moins est suivi par un sarclage manuel, = 1 dans le cas contraire.

Le rendement et ses composantes ont été mesurés à l'aide de trois placettes de **25m²** dans chaque parcelle.

Enfin, les parcelles ayant subi des dégâts ou présentant une **donnée manquante** ont été exclues de l'analyse. On a également **éliminé** les situations où des ressemis partiels imbriqués sur la parcelle rendaient impossible la simulation du bilan hydrique. Il en résulte en définitive un échantillon de 109 situations **culturelles**.

13 bilan hydrique **simulé** et **indice hydrique synthétique**

Le modèle utilisé est celui mis au point par FOREST (1980) à la suite des travaux de FRANQUIN et FOREST (1977), dans sa version **"DHC"** (Diagnostic Hydrique de Campagne) permettant de réaliser de nombreuses simulations en série.

Ce modèle est de type déterministe fonctionnel et il a été vérifié qu'il restitue assez **fidèlement** les termes moyens du bilan hydrique d'une situation à partir des valeurs moyennes pour cette situation des paramètres d'entrée (MARCHAND, 1988).

Les paramètres d'entrée sont la pluviométrie journalière, la demande évaporative mesurée au Bac classe A, (Evbac), obtenue à partir de la station agroclimatique la plus proche pour chaque village, la réserve utile du sol sur un mètre, la date du semis et les coefficients cultureux pentadaires (**DANCETTE, 1983**), caractérisant les besoins en eau de la culture.

On obtient en sortie, par pentade et pour les principaux stades phénologiques de la culture, l'évapotranspiration réelle ETR, le drainage sous la zone racinaire, l'évapotranspiration maximale ETM, et l'état du stock hydrique du sol.

La pluviométrie a été mesurée à l'aide de pluviomètres répartis dans le territoire villageois de manière à ce qu'aucune des parcelles suivies soit distante de plus d'un kilomètre d'un pluviomètre.

Les réserves utiles des sols du bassin arachidier sont bien connues et fortement corrélées à leur teneur en éléments fins (HAMON, 1980, IMBERNON, 1981). Elles varient de 50 mm par mètre de sol pour les sols les plus sableux, au nord du bassin arachidier (village de Keur Boumi) à 120mm/m pour les sols plus argileux du Sine Saloum et de la région de Koungheul (villages de Ndimb Taba, Darou Khoudos et Keur Lamine). Au centre elles varient entre 70 et 100mm/m selon qu'on se trouve dans un sol dit Dior (sableux) ou Dek (plus argileux). Pour les villages du sud de la région, on a eu recours à la tarière pour évaluer la profondeur de sol utilisable par les racines, du fait de la présence possible de la cuirasse à moins d'un mètre de la surface.

De nombreuses études ont montré la pertinence des indices de satisfaction des besoins en eau ETR/ETM sur l'ensemble du cycle et à la phase de floraison pour l'explication du rendement des céréales pluviales en Afrique de l'Ouest, en milieu contrôlé.

L'indice que nous avons utilisé est l'indice de rendement potentiel, ou espéré, IRESP, résultant des travaux de FOREST et LIDON (1984), FOREST et REYNIERS (1988), POSS et al. (1988), CORTIER et al.(1988):

IRESP = (ETR/ETM)cycle x (ETR/ETM)phase sensible

où (ETR/ETM)phase sensible est le minimum de (ETR/ETM)floraison et (ETR/ETM)montaison-épiaison.

'Bilan hydrique in situ

Des travaux de station (CISSE, 1986, AFFHOLDER, 1991) ayant mis en évidence une interaction entre la fertilité du sol et l'alimentation hydrique du mil, on a voulu juger de l'importance de ce phénomène, que le modèle utilisé ne prend pas en compte, en milieu paysan.

Un bilan hydrique in situ a donc été réalisé sur l'un des sites; (Sob), par la méthode gravimétrique, sur huit parcelles représentant quatre niveaux d'apports de matière organique et ayant levé à la même date. On s'est attaché à vérifier que la conduite de ces parcelles était par ailleurs homogène.

RESULTATS

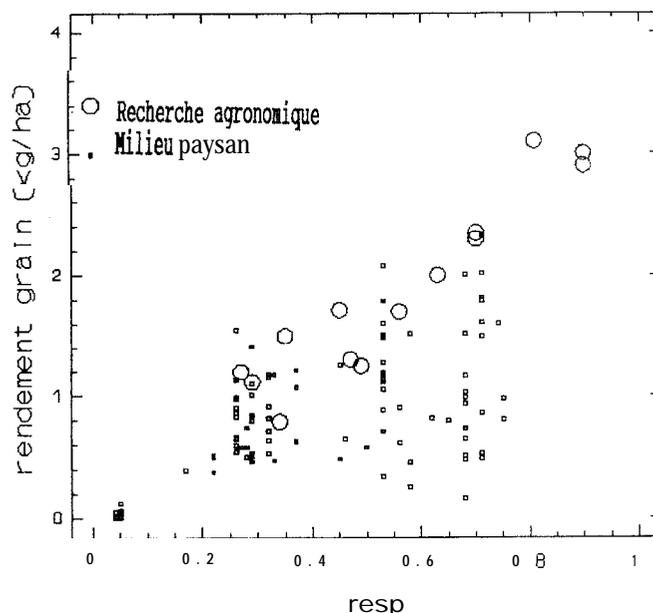
Alimentation hydrique et rendements

La figure 2 donne le rendement en grain du mil en fonction de l'indice hydrique IRESP. Les deux variables sont nettement **corrélées** (coeff.= 0.61 $P < 10^{-6}$) mais **la** variabilité du rendement augmente avec la satisfaction des besoins en eau.

Les meilleurs rendements obtenus sont proches du potentiel, représenté par les rendements des parcelles intensifiées des stations de recherche de l'**ISRA**.

Un rapport de 1 à 10 existe entre les moins bons et les meilleurs rendements lorsque les conditions hydriques ne sont pas limitantes.

FIGURE 2
(x 1000) Indice hydr i que et rendement du mi



Variabilité des situations agricoles

D'une manière générale les résultats de l'enquête confirment la faible variabilité du **précédent culturel** (mil dans les champs de case, arachide dans pratiquement tous les autres cas), de la préparation du sol (simple nettoyage) et de la variété utilisée (SOUNIA).

La situation phytosanitaire a **été** relativement satisfaisante en 1990, et seuls quelques **dégâts** dus aux cantharides sont **signalés**, principalement dans les villages du Sudd.

Les principaux facteurs de différenciation des situations qui apparaissent sont, outre les facteurs pris en compte par la simulation du bilan hydrique; la densité de semis, qui n'a pas été retenue pour l'analyse du fait de sa très faible variabilité intra-site, la qualité des sarclages et du démariage ainsi que la fréquence et l'ancienneté des apports de fumure.

De nombreux auteurs ont montré l'influence de la position des parcelles dans la toposéquence sur le bilan hydrique (ROUSSEAU, 1988, ALBERGEL et al, 1990) et sur le rendement des cultures (GARIN, 1988). Cependant le nombre de situations à ruissellement potentiel est très faible dans notre échantillon par rapport à celui des situations "stables" et ce critère n'a pu être utilisé dans l'analyse.

Influence des pratiques culturales sur la réponse à l'indice hydrique.

Pour évaluer cette influence, on a cherché à tester l'existence de correspondances entre les niveaux de rendement obtenus et les pratiques culturales tout en tenant compte du niveau d'alimentation hydrique. Pour cela, on a découpé le graphique de la figure 2, donnant le rendement grains en fonction de l'indice Iresp, en zones contenant le même nombre de situations, en respectant la symétrie du nuage de points (figure 3). Les situations où Iresp est inférieur à 0.1 ont été regroupées en une seule zone du fait de la très faible variabilité de leur rendement. Les autres situations sont réparties en huit zones d'environ douze points chacune, pour lesquelles on a étudié la distribution des variables décrivant les sarclages (tableau 1) et la fumure (tableau 2).

FIGURE 3: partage en zones du graphe
rendement grains - indice hydrique

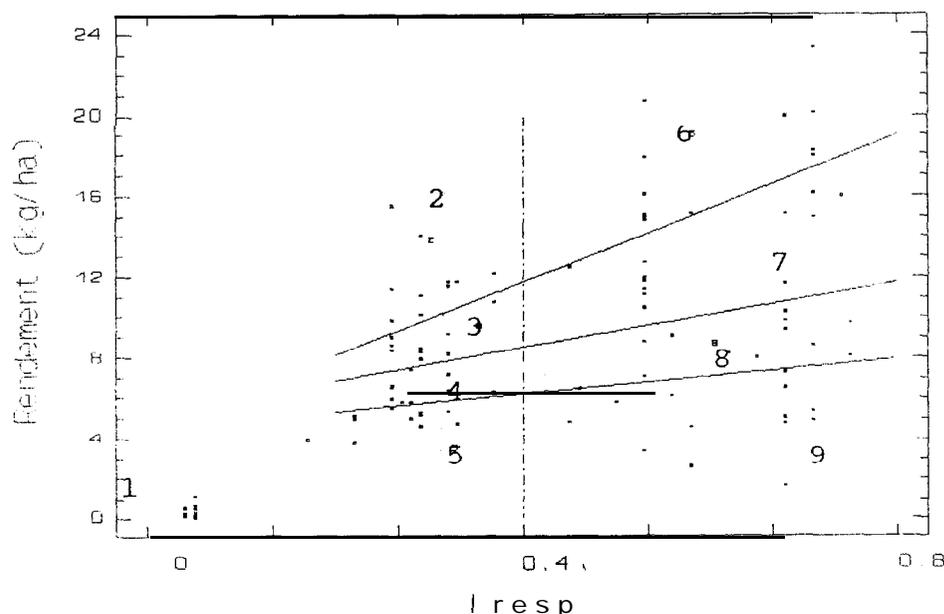


Tableau 1: Proportions (%) des situations par niveaux de l'indice de qualité des sarclages **Isarcl** pour les zones 2 à 9.

isarcl	zones							
	2	3	4	5	6	7	8	9
0 - 1	63.7	88.9	80	83.4	41.7	28.5	50	21.4
2 - 3	36.4	0	10	8.3	41.7	50	33.4	42.9
4 - 5	0	11.1	10	8.3	16.7	21.4	16.6	35.7

signification moyenne des niveaux de isarcl:

isarcl=0 ou 1: sarclages corrects à **très** corrects
 isarcl=2 ou 3: sarclages tardifs mais tous effectués. Présence en général d'un sarclage manuel après le **2eme** sarclage mécanique.
 isarcl=4 ou 5: sarclages tous tardifs, certains non effectués, absence fréquente du sarclage manuel.

Tableau 2: Proportions des situations par niveaux de l'indice de fumure **Ifum** pour les zones 2 à 9.

ifum	zones								
	2	3	4	5	6	7	8	9	
A	2.5-3.8	18.2	22.2	10	8.3	33.3	7.1	8.3	0
B	1.5-2.3	27.3	11.1	20	8.3	33.3	21.4	33.3	7.1
C	0.5-1.3	54.5	22.2	40	16.7	16.7	50.0	33.3	28.6
D	0 - 0.3	0	44.4	30	66.7	16.7	21.4	25.0	64.3

signification moyenne des niveaux de Ifum:

A: fumure 3 années sur 3, **parcage** ou **parcage** + engrais en 90
 B: fumure 3 années sur 3 sans **parcage** en 90 ou **parcage** en 90 avec fumure une seule des deux autres **années**.
 C: fumure peu fréquente ou ancienne
 D: fumure rare et ancienne

Les zones 2 à 5 ne se différencient pas du point de vue du **calendrier** des sarclages, mais la zone 5 s'oppose aux zones 2 à 4 par le niveau de fertilisation. Les zones 6, 7 et 9 se **différencient** à la fois par la qualité des sarclages et le niveau de fertilisation, **positivement corrélés**. L'analyse plus détaillée de la zone 8 montre qu'elle est surtout **constituée** de situations à sarclages corrects et fumure peu **fréquente** à rare, coexistant avec des situations à sarclages **médiocres** et fumure moyenne.

Ces critères ne permettent pas de bien différencier les zones 2 à 4, même si la zone 2 ne contient aucune parcelle à

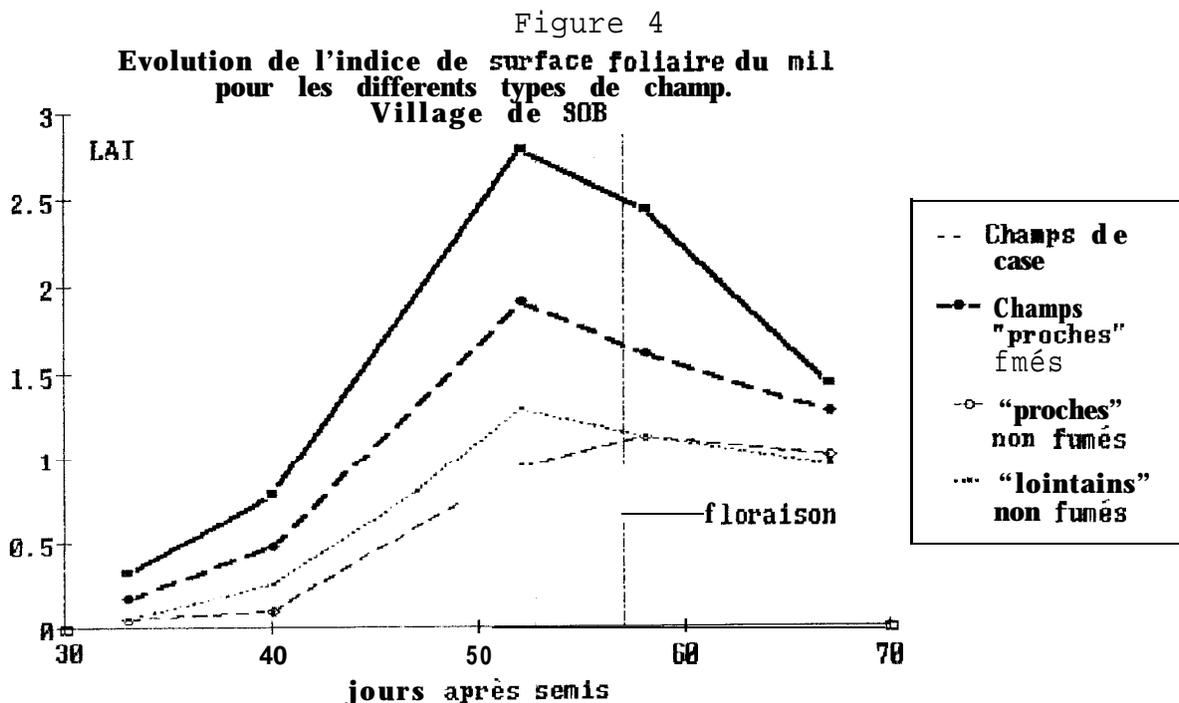
fumure rare et ancienne, contrairement aux deux autres. On peut **souçonner** que l'indice de **qualité** des sarclages est assez imparfait, car il ne tient pas compte, en particulier, du soin apporté à l'opération, qu'on pourrait relier à la durée de chaque **sarclage**. ANGE et FONTANEL (1987) ont montré en effet que cette durée pouvait être très variable, pour des sarclages commencés aux mêmes dates. Cette imperfection s'exprimerait plus dans les villages à conditions hydriques limitantes du fait du nombre plus réduit de sarclages et de la moindre variabilité des dates d'intervention dans ces régions.

Mais on peut également avancer l'hypothèse, annoncée précédemment, d'une interaction entre niveau de fumure et alimentation hydrique qui "**brouillerait**" le classement des situations en fonction de l'indice Iresp, calculé par un modèle ne tenant pas compte d'une telle interaction.

Suivi hydrique in situ pour différents niveaux de fumure:

Le dispositif mis en place sur des parcelles **fumées** et non fumées du village de Sob, où l'Iresp variait entre 0.2 et 0.5 en 1990, permet d'examiner plus avant la **validité** de cette hypothèse.

La figure 4 montre que **la** fumure a eu un effet positif sur l'indice de surface foliaire (LAI) pendant les 50 premiers jours du cycle. On assiste ensuite à une baisse sensible du LAI dans les parcelles fumées, particulièrement **marquée** dans les champs de case qui sont les plus fumés, tandis qu'il se stabilise dans les parcelles sans fumure.



L'analyse de l'alimentation hydrique permet d'interpréter ce phénomène (figures 5 et 6). Pendant la première partie du cycle, jusque vers 50 jours après semis, la fumure favorise l'extraction de l'eau du sol. Les précipitations étant limitantes, on se trouve au stade de la floraison avec une réserve hydrique sous les parcelles fumées nettement plus faible qu'en l'absence d'apports de matière organique, et l'ETR chute à 1.5 mm/jour alors qu'elle reste proche de 4mm/jour dans les parcelles non fumées.

Figure 5: ETR du mil avec et sans fumure à Sob

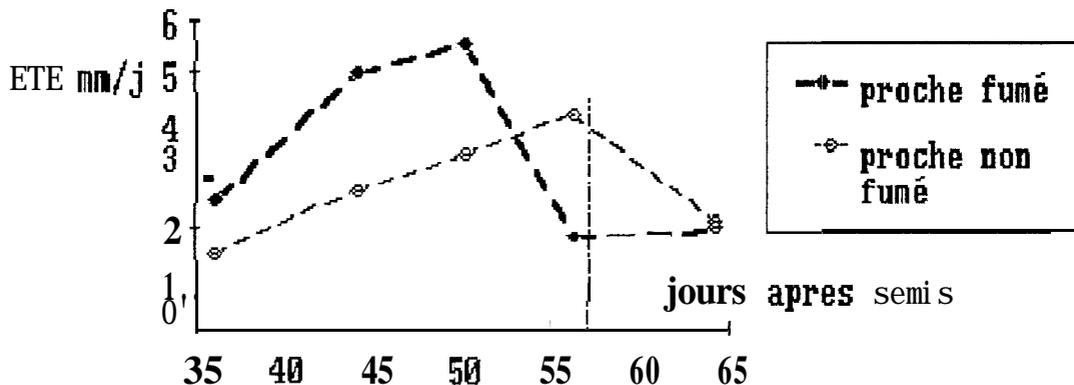
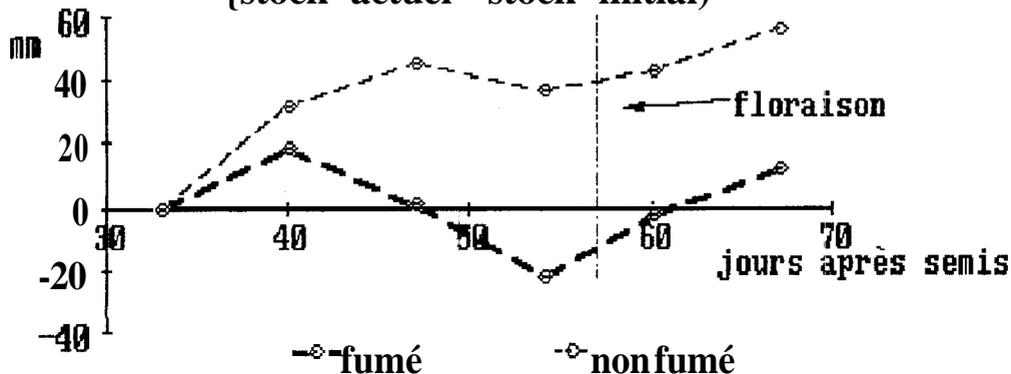


Figure 6: Stock hydrique sous culture avec et sans fumure (stock actuel - stock initial)



L'extraction intense de l'eau du sol permise par la fumure pendant la phase de développement végétatif a, dans ce cas de figure favorisé l'apparition d'un stress hydrique à la floraison, qui a provoqué un flétrissement de feuilles, entraînant la chute de LAI observée à la figure 4.

Les rendements des parcelles fumées (1000 kg/ha) restent malgré cela doubles de ceux des champs non fumés (500 kg/ha), le stress hydrique de floraison semblant avoir été mieux que compensé par la meilleure alimentation hydrique de la phase végétative et par une probablement meilleure alimentation minérale.

Mais on peut supposer que des situations plus défavorables peuvent se produire, où le gain de production lié à la fertilisation, **réduit** par l'effet mis en **évidence**, peut au moins ne pas suffire à couvrir le coût de **l'intrant** employé, qu'il s'agisse d'un coût en travail ou d'un coût monétaire.

Enfin, le tableau 3 montre que la fumure a entraîné une baisse de 20% de l'indice Iresp calculé à partir du bilan hydrique **in situ**, lorsque l'indice obtenu par simulation ne permet pas de distinguer les deux situations.

Tableau 3: Indice hydrique Iresp mesuré et simulé pour les parcelles fumées et non fumées.

parcelles	Iresp	
	simulé	in situ
fumées	0.26	0.17
non fumées	0.26	0.22

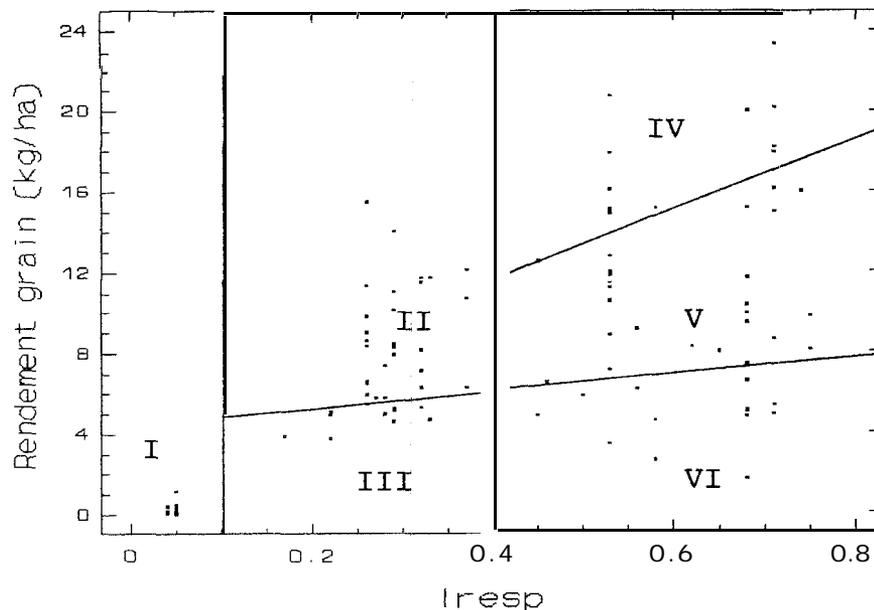
Dans le cas étudié, la réponse du rendement à l'indice hydrique est **améliorée** par la prise en compte de l'interaction entre alimentation hydrique et niveau de fumure, et l'on est **tenté** de supposer qu'on retrouverait, en calculant un tel indice à l'aide d'un modèle plus élaboré, un classement des rendements en **fonction** de la fertilité pour chaque niveau **d'Iresp**.

Typologie des situations agricoles en fonction de l'alimentation hydrique et des pratiques culturales.

En définitive, et à la lumière de ce qui précède, une **typologie** des situations culturales peut être proposée, dont on a représenté les catégories sur le graphique iresp-rendement (figure 7):

- catégorie 1: Iresp < 0.1 : Conditions hydriques extrêmement limitantes. Variabilité très faible **des** rendements, production ne suffisant en **général** pas à couvrir les frais de récolte.
- catégorie IX: conditions hydriques limitantes avec emploi régulier de fumure. Influence parfois perverse de la fertilisation sur la réponse aux conditions climatiques. **Productions** proches du potentiel à inférieures au potentiel (de 100% à 50%).
- **catégorie III**: conditions hydriques limitantes. Recours à la fumure moins d'une année sur trois. Rendements très inférieurs au potentiel (<50%).
- catégorie IV: conditions hydriques moyennement limitantes à peu limitantes. Fertilisation organique et parfois **minérale**

FIGURE 7 catégories de la typologie
des situations culturelles
(x100)



deux à trois années sur trois. Calendrier de sarclages correct. Rendements très proches du potentiel.

- catégorie V: conditions hydriques moyennement limitantes à peu limitantes. Fertilisation **régulière** mais peu fréquente (une année sur trois) et sarclages tardifs, ou fertilisation plus **fréquent** mais sarclages nettement bâclés, ou fertilisation plus rare mais sarclages mieux conduits. Rendements, inférieurs au potentiel (80 à 30 % du potentiel). Influence très probable sur **les** rendements de la situation de la parcelle vis à vis du ruissellement.

- catégorie VI: conditions hydriques moyennement limitantes à peu limitantes. Recours à la fertilisation organique moins **d'une** année sur trois et **sarclages** bâclés. Rendements très inférieurs au potentiel (<30% du potentiel).

CONCLUSION

Il apparaît que les agriculteurs Sénégalais atteignent sur (certaines parcelles le potentiel de production du mil **correspondant** aux conditions climatiques du lieu.

Mais lorsque ces conditions sont moyennement à faiblement limitantes, les rendements sont dans la plupart des cas limités par le faible niveau de restitutions, l'absence de recours aux engrais et un mauvais contrôle des adventices. Plusieurs études en agronomie des **systèmes** agraires effectuées dans le Bassin Arachidier Sénégalais (**GARIN et al., 1990, ANGE et FONTANEL, 1987, GARIN, 1989**), montrent que la qualité de la gestion de la fertilité et du contrôle de **l'enherbement** est limitée par les

ressources en matière organique, réduites par la disparition des parcours et des jachères, et par les difficultés d'accès au matériel de culture attelée.

Lorsque les conditions hydriques sont plus défavorables, le calendrier d'exécution des sarclages est moins variable. Si l'absence de restitutions mène à coup sûr à des rendements très inférieurs au potentiel, la valorisation d'apports de fumure n'est pas pour autant garantie.

Comblant le "Gap technologique" de cette agriculture passe donc par une politique de soutien à l'acquisition d'intrants et de matériel, et par une optimisation de la gestion des ressources en matière organique. Cependant il convient d'être prudent dans l'utilisation de fertilisants dans les régions où les années à indice hydrique Iresp faible sont fréquentes.

Il est nécessaire de poursuivre les recherches sur les interactions entre pratiques culturales et alimentation hydrique afin de mettre au point des modèles permettant, par des analyses fréquentielles, d'évaluer avec précision pour chaque région le risque agricole lié à l'utilisation d'intrants.

Bibliographie

AFFHOLDER F., 1991. Influence d'apports de compost sur l'alimentation hydrique du mil. in REYNIERS F.N., 1991. 3eme rapport d'avancement de l'ATP "Croissance et fonctionnement hydrique des racines en sols dégradés" IRAT CIRAD.

ALBERGEL J., PEREZ P., VASKMANN. M., 1990. Gestion agricole des pluies au Sahel. Une méthode d'estimation de ruissellement dans le bilan hydrique des cultures. Journées hydrologiques de Montpellier 1990. ORSTOM 12p

ANGE A., FONTANEL, P. 1987. La contrainte enherbement et sa gestion dans le sud Saloum au Sénégal. Une analyse connexe de l'organisation du travail et de ses résultats agronomiques. Séminaire MESRU/CIRAD, Septembre 1987. 15 p.

CISSE L., 1986. Etude des effets d'apports de matière organique sur : Les bilans hydriques et minéraux et la production du mil et de l'arachide sur un sol sableux dégradé du Centre - Nord du SENEGAL. Thèse de doct. en Sciences Agron. Inst.Nat. Polytechnique de Lorraine. 184 p.

CORTIER B., POCHIER, G., IMBERNON, J. 1988. Le maïs au Sénégal: effets des techniques culturales et des conditions hydriques en culture pluviale. Agr. Trop. 1988, 43-2 pp. 85-90.

DANCETTE C., 1983. Estimation des besoins en eau des principales cultures pluviales en zone soudano-sahélienne. L'Agron. Trop., 38 (4):pp 281-294.

DOUMOIRO J.P., 1987. Etude de la variabilité du rendement du mil dans la région de MARADI (Niger), pour l'obtention du Diplôme d'Agronomie Tropicale (DAT) DSA/CIRAD Montpellier, 121 p.

FRANQUIN P., FOREST F., 1977. Des programmes pour l'évaluation et l'analyse fréquentielle des termes du bilan hydrique. L'Agron. Trop., 32 (1), pp 7-11.

FOREST F., LIDON B., 1982. Influence of the rainfall pattern on fluctuations in an intensified sorghum Crop Yield. **Agrometeorology of Sorghum and Millet in the Semi-Arid Tropics: Proceedings of the International Symposium, 15-20 nov 1982, ICRISAT.** pp. 261-273.

GARIN P., 1988. Itinéraires techniques et rendement de l'arachide à Sob, village du Sine en 1987. **DRSAER/ISRA - CIRAD/DSA Montpellier.** DSA 1989/17 30 p. Annexes et graph.

GARIN P., 1989. Eléments d'analyse de la gestion des moyens de production au sein d'une communauté villageoise du Sine-Saloum. Le cas de Ndimb Taba. Document de travail, **CIRAD/DSA Montpellier** 51 p. + annexes et graph.

GARIN P., FAYE A., LERICOLLAIS A., SISSOKHO M., 1990. Evolution du rôle du bétail dans la gestion de la fertilité des terroirs séreer au SENEGAL. Les cahiers de la Recherche **Développement n° 26 - Juin 1990. Dossier n° 2 : Gestion des terroirs.** pp. 65-84.

HAMON G., 1980. Mise en oeuvre et critique de méthodes de **caractérisation** hydrodynamique de la zone non saturée du sol. Application aux sols de culture du **Sénégal.** Thèse de Doct. Ing., Institut de **mécanique**, Grenoble, 136p.

IMBERNON J., 1981. Variabilité spatiale des **caractéristiques** hydrodynamiques d'un sol du Sénégal. Application au calcul d'un bilan sous culture. **Thèse de doctorat 3ème cycle présenté à l'Université Scientifique et médicale et l'INP de GRENOBLE,** soutenu le 27 Avril 1981. 152 p. + annexes et graph.

JOUVE P., 1989. L'analyse agronomique de situations culturales. **Lab. Syst. Prod. - DSA CIRAD - Montpellier.** 11 p.

MARCHAND D., 1988. **Modélisation** fonctionnelle du bilan hydrique sur sol cultivé : approche déterministe ou stochastique. Thèse doctorat soutenu à l'Université Joseph FOURIER - GRENOBLE 1, INP/GRENOBLE, 246 p.

IPOSS R., SARAGONI H., IMBERNON J., 1988. Bilan simulé du maïs au Togo méridional. L'Agron. Trop., 43 (1), pp 18-29.

REYNIERS F.N, FOREST F., 1988. Améliorer l'alimentation hydrique et son efficacité en agriculture pluviale en Afrique au Sud du Sahara. **Séminaire ILRI/CTA du 25 au 29 Avril 1988 à HARARE,** 25p.

ROUSSEAU V., 1988. Suivi hydrique à l'échelle d'une toposequence et ajustement d'un **modèle** de simulation du bilan hydrique. Utilisation agricole de l'eau, maîtrise du milieu et production. Diplôme d'agronomie tropicale. **ENSAM/CNEARC.** Novembre 1988, 40p.