

CR000303

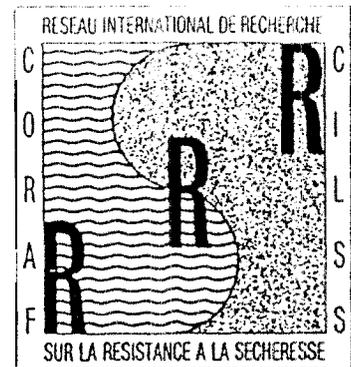
CENTRE D'ETUDE REGIONAL
POUR L'AMELIORATION DE L'ADAPTATION
A LA SECHERESSE

CERAAS

I.S.R.A. - C.N.R.A.

BP 53 Bambey Sénégal

Tél.: 73-60-50



Contrat n° TS2A-0101-M(CD)

5ème Rapport SCIENTIFIQUE.

---000---

1er FEVRIER au 31 JUILLET 1991

ANNEXES

Octobre 1991

ANNEXE
TOME 3

14 203

Caractérisation de la sécheresse agronomique en zone semi-aride.

I. Présentation d'un modèle simple d'évaluation appliqué au cas de l'arachide cultivée au Sénégal

D. J. M. ANNEROSE et M. DIAGNE (1)

Résumé. — La caractérisation des formes de sécheresses agronomiques constitue l'étape préalable indispensable dans la réalisation d'un programme d'amélioration des rendements en zones semi-arides. Dans le cas de l'arachide cultivée au Sénégal, un modèle simplifié associant les concepts d'évapotranspiration et de bilan hydrique à des données élémentaires sur la réponse des plantes à la sécheresse a été développé. Après une présentation de ce modèle, il est montré qu'il permet d'effectuer une simulation satisfaisante du bilan hydrique de cette espèce constituant ainsi un outil performant de diagnostic des types de sécheresse.

INTRODUCTION

Le premier stade d'une démarche visant à améliorer la productivité agricole en zone semi-aride consiste à effectuer une évaluation, la plus fiable possible, des formes de sécheresse auxquelles doivent faire face les espèces végétales cultivées. La précision des informations obtenues à ce stade de l'analyse aide à formuler, de manière réaliste, les principaux objectifs à atteindre pour l'amélioration des rendements dans une zone donnée et peut, ainsi, offrir un gain de temps appréciable dans la recherche du matériel le mieux adapté.

Selon l'utilisation faite de l'eau, selon la région, selon l'activité humaine et notamment les espèces végétales cultivées, la sécheresse apparaît comme un phénomène fréquent qui peut être intense ou faible. Elle reste donc une notion relative et, tout l'évaluation, à un niveau strictement pluviométrique peut se révéler insuffisante. Ceci est particulièrement vrai dans la zone sahélienne pour laquelle des variations annuelles substantielles de la pluviométrie se manifestent.

Dans ces conditions, une évaluation des formes de sécheresse nécessite de privilégier des méthodes dynamiques de diagnostic. C'est ce que permettent de réaliser les modèles mathématiques simulant le bilan hydrique pluriannuel des cultures en prenant en compte la pluviométrie, la demande évaporative, les caractéristiques hydrodynamiques du sol et les effets des techniques culturales sur la disponibilité en eau et la réaction des plantes à cet environnement.

Au Sénégal, pays fortement touché par la sécheresse (Fig. 1) depuis une vingtaine d'années, peu ou pas de données amples sur la réponse de la plante aux variations de la disponibilité en eau ont été intégrées dans les différents modèles développés (Cochemé et Franquin, 1967 ; Hall et Dancette, 1978 ; Forest, 1984). Ce qui ne permet pas de prendre en compte les effets de la sécheresse sur le développement de la culture et réduit l'analyse, tout au long du cycle, à la répartition de l'eau dans le sol et à son extraction sous l'effet de la demande évaporative.

Dans ce premier article, nous allons décrire et évaluer un outil simple de diagnostic de la sécheresse, appliqué au cas de

l'arachide cultivée au Sénégal. Ce modèle essaie d'associer aux concepts bien connus d'évapotranspiration et de bilan hydrique quelques données élémentaires concernant les effets de la sécheresse sur le développement de la culture, l'importance de ses besoins en eau et sa capacité à les satisfaire.

PRÉSENTATION DU MODÈLE

La nature élémentaire des données climatiques disponibles au Sénégal (pluviométrique et évaporation bac) a nécessité d'introduire, dans le modèle présenté, un certain nombre d'hypothèses simplificatrices exposées ci-dessous. Nous avons tenté de profiter de cette contrainte afin de développer un outil pouvant s'adapter à une analyse de la sécheresse agronomique de différentes espèces et dans différentes régions, moyennant uniquement quelques modifications des paramètres d'entrée.

Détermination de la pluie de semis.

Le modèle détermine la date de semis selon la méthode de Dancette *et al.* (1976) et Dancette (1978) simplifiée. À partir de ces données et pour chaque région considérée, une intensité minimale pour la pluie de semis (PMIN) et une pluie de semis optimale (PLOPT) ont été définies pour un jour de semis optimum (JOPT) assurant la meilleure probabilité de réussite du semis et de la culture (Tabl. I).

Chaque pluie (pluie) avant semis est comparée à une pluie de semis idéale (PSEM) calculée selon la fonction :

$$PSEM = \text{jour-JOPT} \times SEM + PLOPT \quad \text{Equ. (1)}$$

avec JOUR étant le jour de manifestation de la pluie et SEM un coefficient permettant de caler PSEM sur les valeurs exprimées par Dancette *et al.* (1976) (Tabl. I).

La décision de semer est prise si la pluie est supérieure ou égale à PSEM et à PMIN ou si la pluie du jour ajoutée à la pluie du jour précédent (jour - 1) est supérieure ou égale à PSEM + 5 et à PMIN. Le facteur 5 exprimé en mm correspond à la quantité moyenne d'eau supposée s'évaporer sur sol nu un jour après une pluie.

Distribution de l'eau dans le sol.

Après une pluie l'eau est distribuée dans le sol selon le concept de teneur en eau à la capacité au champ. La capacité

(1) Physiologiste CIRAD/IRHO détaché à l'ISRA et Bioclimatologiste ISRA - Centre National de Recherches Agronomiques, B.P. 53, Bambey (Sénégal).

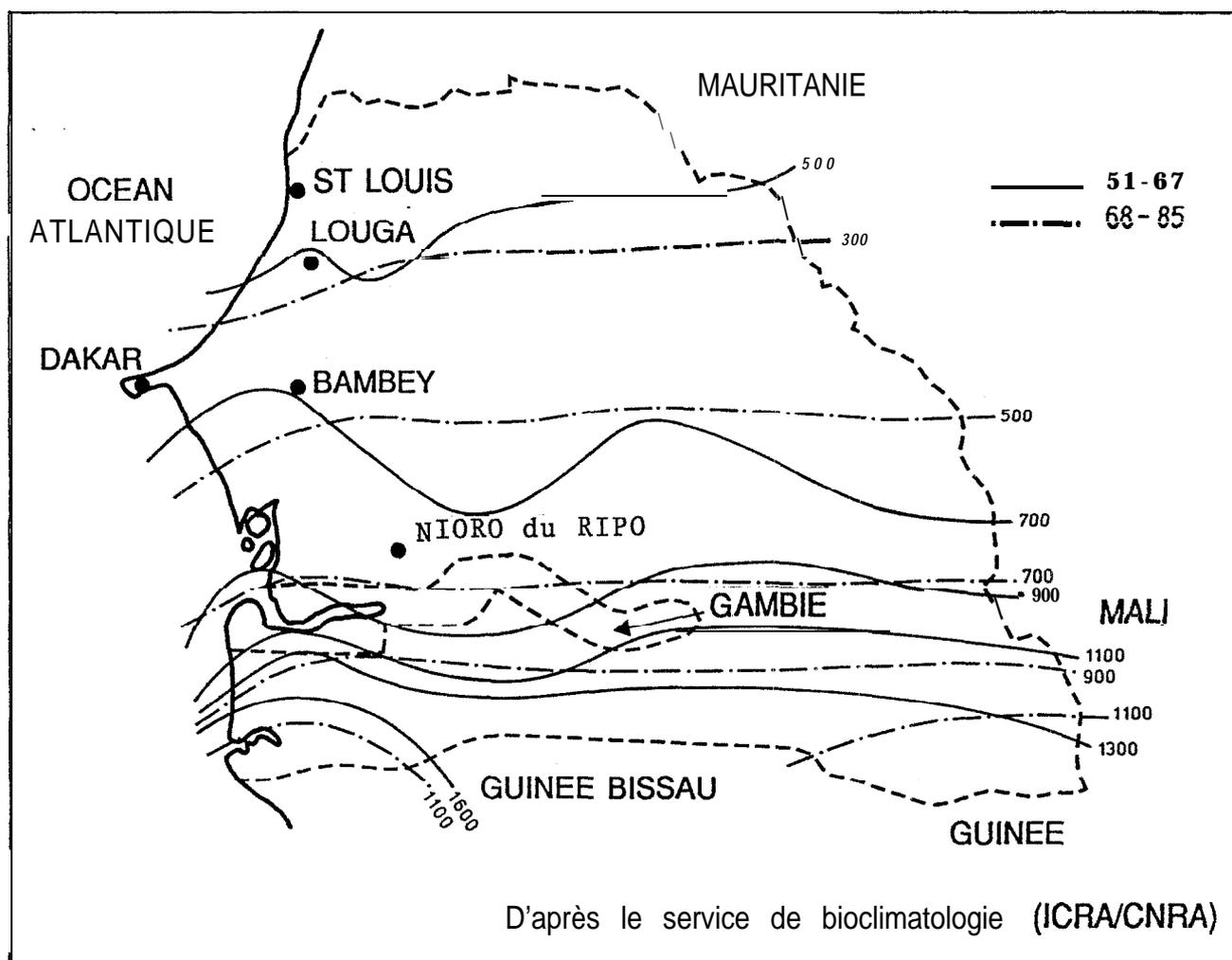


FIG. 1. — Evolution des isohyètes moyens (mm) au Sénégal durant la période 1951-1985. — (Evolution of mean isohyets (mm) in Senegal during the period 1951-1985).

au champ de chaque couche de sol est introduite pour les différents types de sol rencontrés au Sénégal (Dancette, 1969 ; Vachaud *et al.*, 1978 ; M. Diagne, communication personnelle).

Après humectation de la première couche à capacité au champ l'excès d'eau est ajouté à la couche suivante. Le calcul se répète, avec des incréments de 10 cm, jusqu'à la dernière couche fixée à 140 cm. Cette profondeur a été choisie à partir des résultats de Chopart (1980) sur la caractérisation du système racinaire de l'arachide.

Le modèle suppose qu'il n'y a pas de transfert ascendant d'eau dans le profil. L'eau passant sous la couche 140 cm est considérée perdue pour la culture. En fait Vachaud *et al.* (1978) ont montré que la cinétique de distribution de l'eau est réellement stabilisée au bout de 3 jours de ressuyage. Durant ces trois jours le modèle remet donc à la disposition de la culture une partie de l'eau supposée perdue (passée sous la cote 140 cm).

Demande évaporative.

La demande évaporative est estimée à partir de la mesure journalière de l'évaporation bac normalisé classe A

(EVBAC). Lorsque les données d'EVBAC ne sont pas disponibles pour la localité considérée, elles sont calculées relativement à l'EVBAC de Bambeï à partir des coefficients de correction établis par Dancette *et al.* (1979).

Evaporation sol nu.

Après une pluie l'intensité des processus évaporatifs ne permet pas une réhydratation complète des couches superficielles par des transferts d'eau provenant des couches les plus profondes. Ceci a pour conséquence de provoquer une déshydratation des couches superficielles et une réduction de l'évaporation sol nu. L'évaporation journalière potentielle du sol nu (ET) est calculée comme étant une fonction décroissante de la racine carrée du nombre de jours écoulés après la dernière pluie (Baver *et al.*, 1972 ; Hall *et al.*, 1978) :

$$ET = \left((1 - KCOUV) \times KBAC \times EVBAC \right) \cdot (JAP)^{0.5} \quad \text{Equ. 2}$$

avec KCOUV égal à la proportion de sol couvert par la culture, KBAC étant un coefficient de correction de l'EVBAC qui rend compte de la différence des processus évaporatifs entre une lame d'eau et le sol et JAP le nombre de jours après la dernière pluie.

TABLEAU Facteurs de détermination de la pluie de semis utile (PSEM) pour 3 régions du Sénégal.
 $PSEM = |JOUR - JOPT| * SEM + PLOPT - (Factors\ for\ determining\ useful\ sowing\ rainfall\ (SOWR)\ in\ 3\ regions\ in\ Senegal.\ SOWR = |DAY - OPTD| * SOW + OPTR)$

Région	JOPT (OPTD) (jours-jours)	PLOPT (OPTR) (mm)	PMIN (MINR) (mm)	SEM (SOW)	
				JOUR < JOPT (Day < OPTD)	JOUR > JOPT (Day > OPTD)
Nord (North) (Louga)	01/07	30	15 le 30/07	1,0	- 0,909
Centre nord (Centre-north) (Bambey)	20/06	20	15 le 15/07	2,5	- 0,167
Centre sud (Centre-south) (Nioro)	17/06	20	15 le 15/07	2,5	- 0,179

Exemple : Une pluie de 20 mm (PLOPT) tombée le 20/06 (JOPT) à Bambey offre une chance de réussite du semis supérieure à 90 % (Dancette, 1978).
 Dans Arabhy la pluie offrant les mêmes garanties est :
 - le 30/06 : PSEM = |30 - 20| * (- 0,167) + 20 soit 18,3 mm,
 - le 10/06 : PSEM = |10 - 20| * 2,5 + 20 soit 45,0 mm.
 Exemple : 20 mm of rain (OPTR) falling in Bambey on 20/06 (OPTD) offers a 90 % chance of successful sowing (Dancette, 1978).
 At Arabhy, the rainfall offering the same guarantees is :
 - on 30/06 : SOWR = |30 - 20| * (- 0,167) + 20 i.e. 18.3 mm.
 - on 10/06 : SOWR = |10 - 20| * 2,5 + 20 i.e. 45.0 mm.

Seuls les 30 premiers centimètres du profil sont supposés continuer à l'évaporation réelle du sol qui dépend donc de la réserve utile en eau (R.U.) dans cet horizon.

Consommation en eau du couvert.

La quantité d'eau transpirée est supposée proportionnelle au % de sol couvert par la culture (KCOUV) et à la demande évaporative EVBAC. La transpiration potentielle de la culture (ETCULT) est estimée par la fonction :

$$ETCULT = KCOUV * KM < KCUIT * EVBAC \quad \text{Equ. 3}$$

où KCUIT est l'équivalent d'un coefficient cultural. Il est estimé pour une culture d'arachide bien irriguée par le rapport (Dancette, 1981) :

$$KCUIT = \frac{\text{Besoins en eau de la culture}}{\text{EVBAC normalisé classe A}}$$

Ce coefficient varie en fonction de l'espèce considérée, des variétés étudiées et de leur stade de développement.

L'évolution de KCUIT est simulée par une fonction dépendante du nombre de jours après semis qui permet de calculer des valeurs simulées avec celles obtenues par Dancette (1981) pour les différents types variétaux étudiés.

KM est un coefficient qui rend compte des différences de contribution du sol couvert et du sol nu dans les processus évapotranspiratoires de la culture. Il est estimé à chaque instant par la relation :

$$KM = (1 - (KBAC * (1 - KCOUV))) / KCOUV$$

Extraction de l'eau du sol et satisfaction des besoins en eau de la culture.

La profondeur d'extraction hydrique des racines est déterminée par la cote du front racinaire. La limite d'extraction de

chaque couche de sol est fixée par son point de flétrissement permanent (PFP). Comme pour les valeurs de capacité au champ le PFP par couche de sol est fixé pour les principaux types de sols rencontrés au Sénégal.

La quantité d'eau maximale qui peut être extraite de la couche i est donc :

$$EVMAX(i) = TETA(i) * PFP(i) \quad \text{Equ. 4}$$

avec TETA (i) représentant la teneur en eau de cette couche.

Le modèle impose une participation de toutes les couches du profil pour la satisfaction des besoins en eau. Cette condition permet d'éviter la manifestation brutale et peu réaliste de points de rupture dans les profils hydriques.

Pour chaque couche de sol en partant des plus superficielles la quantité d'eau potentielle qui peut être extraite est calculée comme étant :

$$EVPOT(i) = DEVAPO * (N - i + 1) / \sum_{j=i}^N (Y_j + 1) \quad \text{Eq. 5}$$

avec DEVAPO égal à la quantité d'eau restant à extraire pour satisfaire la totalité de la demande évaporative et N le nombre de couches restant à analyser y compris la couche i.

L'absorption réelle de la couche i, EVAR(i), est la valeur minimale entre EVPOT(i) et EVMAX(i). Le calcul est repris pour la couche suivante i + 1 avec :

$$DEVAPO = DEVAPO - EVAR(i) \quad \text{et} \quad N = N - 1 \quad \text{Eq. 6}$$

jusqu'à la cote la plus profonde du profil considéré.

Si à la fin de ce premier cycle de calcul les besoins en eau ne sont pas satisfaits le calcul est repris itérativement au maximum 5 fois afin de déterminer les quantités d'eau réellement évaporées (EVAPOR) et transpirées (TCULT) par la culture.

Cette méthode de calcul permet d'optimiser les variations d'humidité du sol en associant toutes les couches. Elle permet de considérer que la contribution d'une couche donnée est d'autant plus importante qu'elle est humide et est située dans les horizons supérieurs. De plus l'arachide ayant un système racinaire pivotant dont la densité diminue à mesure que l'on atteint les horizons inférieurs (Robertson *et al.*, 1980; Chopart, 1980; Boote, 1982), cette méthode satisfait à l'hypothèse de répartition de l'extraction hydrique par la culture dans les différentes couches de sol en fonction de la densité racinaire relative.

Après détermination de la quantité réelle d'eau perdue par évaporation (EVAPOR) et de la quantité transpirée par les plantes (TCULT) le taux de satisfaction des besoins en eau de la culture est déterminé par le rapport :

$$T S A T = \frac{(EVAPOR + TCULT)}{(ET + ETCULT)} \quad \text{Equ. 7}$$

La culture d'arachide est considérée en situation de stress lorsque TSAT est inférieur à 0,7. Dancette (1981) estime que pour l'ensemble des cultures le seuil d'alerte pour la productivité est situé à 0,8 mais il admet un risque d'erreur de 10 % sur le calcul des besoins en eau. Par ailleurs, son calcul est effectué sur l'ensemble du cycle ce qui n'exclut pas la manifestation des périodes où TSAT journalier serait inférieur à 0,8 pour un TSAT sur le cycle supérieur à cette valeur.

Le choix de fixer le TSAT seuil à la valeur la plus basse (0,7) permet en fait de privilégier une certaine rusticité du matériel végétal dans l'optique d'une stabilisation de la productivité au risque d'une légère perte les années les plus favorables.

Développement de la culture.

Le modèle simule l'évolution de 2 paramètres de développement de la culture : le taux de couverture qui permet de déterminer les besoins en eau de la culture, et la croissance racinaire qui déterminera les dimensions du réservoir de sol exploité.

Taux de couverture.

Trois phases ont été distinguées dans le développement de la culture (Fig. 2).

1) Une phase allant du semis à la levée durant laquelle le taux de couverture est évidemment nul (phase de levée). La date de levée est fixée au 4^e jour après semis ;

2) Une phase allant de la levée jusqu'à la couverture totale du sol par la culture (phase de développement végétatif) ;

3) Une phase allant de la fin de la mise en place définitive du taux de couverture jusqu'à la récolte. Durant cette période le modèle suppose que la défoliation de l'arachide en fin de cycle est faible et ne provoque pas de diminution du taux de couverture. Il considère aussi que la diminution des surfaces transpirantes qui en résulte est déjà prise en compte par la réduction des coefficients culturaux (KCULT) durant cette phase.

Si les conditions d'alimentation hydrique sont idéales durant la 2^e phase, le modèle estime que pour une variété de longueur de cycle connue, la couverture du sol par la culture est complète à JPOT (KCOUV = 1). JPOT dépend de la longueur potentielle du cycle de la variété étudiée et de son port (érigé ou rampant), la densité de semis étant supposée

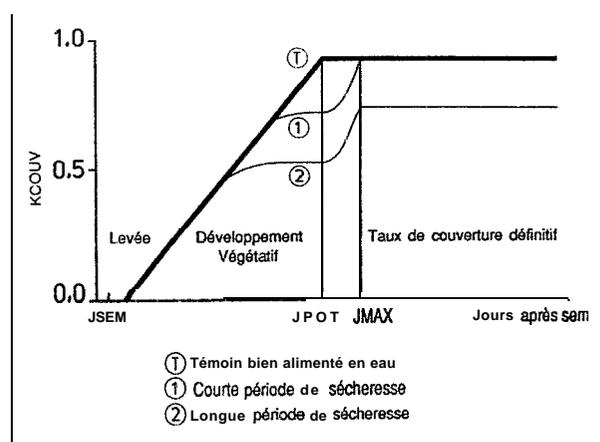


FIG. 2. --- Evolution du taux de couverture du sol par la culture (KCOUV) simulé dans le modèle d'évaluation de la satisfaction des besoins en eau de l'arachide. --- (Evolution in the rate of soil cover by the crop (KCOV), simulated in the model for assessing groundnut water requirement satisfaction).

optimale. L'accroissement journalier maximal de KCOUV est donc :

$$VMKCOUV = 1/(JPOT-3) \quad \text{Equ. 8}$$

La principale conséquence de la réduction de la transpiration en conditions de déficit hydrique est une diminution de la photosynthèse. Durant la phase végétative, les assimilats étant principalement mobilisés en direction de l'appareil végétatif et des racines, le modèle suppose que l'évolution de KCOUV est ralentie en conditions de déficit hydrique (TSAT < 0,7) pour s'annuler 5 jours après le début du stress. Le décalage de la réponse photosynthétique par rapport au début de manifestation de la sécheresse repose sur l'hypothèse que ce mécanisme n'est pas uniquement sous la dépendance des facteurs de régulation stomatique mais dépend aussi de la capacité de tolérance au déficit hydrique de la plante (Ackerson *et al.*, 1981; Bunce, 1977; O'Toole *et al.*, 1976; Matthews *et al.*, 1984).

Une autre hypothèse prise en compte par Arabhy est que l'activation des mécanismes d'adaptation sous l'effet de la sécheresse favorise une reprise rapide lorsque les conditions hydriques redeviennent satisfaisantes (Annerose, 1985). Ceci se traduit par une vitesse de récupération légèrement supérieure à la vitesse d'installation du stress.

Enfin un décalage des phases du développement peut se produire en condition de déficit hydrique chez l'arachide (Annerosc, 1985). Le modèle considère que le décalage maximum de la phase du développement végétatif est de 10 jours (JMAX = JPOT + 10). A cette date le taux de couverture est définitivement fixé et on suppose que les assimilats nouvellement fixés sont mobilisés pour la formation des gousses.

Système racinaire.

Le développement du système racinaire est représenté uniquement par l'avancée du front racinaire. Le modèle considère que la densité racinaire sur l'ensemble du profil permet d'extraire toute l'eau disponible.

Dès le semis et en conditions hydriques favorables la colonisation en profondeur du système racinaire se fait à une

itesse maximale de 2,5 cm/jour (Eca, 1961 ; Chopart, 1980 ; Boote *et al.*, 1982 ; Annerose, 1988).

Si l'humidité de la couche la plus profonde est inférieure au point de flétrissement permanent, l'augmentation de la résistance à la pénétration du sol qui en résulte se traduit par une diminution de la vitesse d'avancée du front racinaire. A partir de ce point l'élongation racinaire diminue de manière linéaire et s'annule pour des humidités volumiques du sol de 15,0 %.

Lorsqu'un déficit hydrique se manifeste, nous avons fixé l'hypothèse que durant le stade végétatif, la plante investit préférentiellement ses assimilats en direction des racines. En fait le modèle considère simplement que l'élongation racinaire ne s'annule que lorsque le taux de couverture n'évolue plus en cas de stress. Cette hypothèse est supportée par les nombreux travaux qui mettent en évidence, chez d'autres espèces, une augmentation du rapport parties racinaires sur parties aériennes lors d'un déficit hydrique durant la phase végétative (Sharma et Ghidyal, 1977 ; Huck *et al.*, 1986 ; Knoch *et al.*, 1987).

A la fin de la phase de développement végétatif, lorsque le taux de couverture maximal est atteint, le modèle considère que les caractéristiques du système racinaire sont définitivement fixées.

Le modèle est écrit en langage BASIC interprété et peut être exécuté sur un ordinateur à configuration de base. Les résultats obtenus sont présentés sous forme de fichiers ASCII et peuvent être ainsi facilement repris et analysés avec des logiciels standards.

Le résultat de ses simulations est évalué à partir de données obtenues sur des essais conduits au champ. Chaque dispositif était constitué de 4 à 6 parcelles de 12 m x 12 m au centre desquelles étaient installés des tubes d'accès pour sondes à neutrons. Les relevés pluviométriques et d'évaporation ont ainsi permis d'établir sur chaque parcelle le bilan hydrique de la culture.

Quelques éléments de validation et discussion.

Etant donné le grand nombre d'hypothèses simplificatrices introduites dans ce modèle sa vocation ne peut être, dans l'état actuel, de simuler précisément le développement d'une variété présentant des caractéristiques particulières d'adaptation à la sécheresse. Par exemple, l'absence de données précises concernant l'effet d'un déficit hydrique sur la transpiration de l'arachide nous a conduit à considérer que ces possibilités de régulation de ce processus étaient réduites. De même le modèle ne prend pas en compte l'existence possible de réserves en eau dans le sol en début de campagne et ne considère que la pluviométrie de la saison pour satisfaire les besoins en eau de la culture.

En fait, avec ce modèle, nous mettons en évidence les périodes de développement de la culture durant lesquelles il est nécessaire que les plantes présentent des mécanismes d'adaptation sans présager de la nature précise de ceux existant dans la variété étudiée.

Ces différentes considérations ajoutées au fait que le modèle procède automatiquement à une optimisation de la date de semis et donc de la durée du cycle compliquent sa validation. Ainsi en 1987, dans le cadre d'un essai de suivi du bilan hydrique d'une culture d'arachide, nous avons pris la décision de semer le 28 juillet une variété de 90 jours, 73-30 (Spanish), après une pluie de 28 mm afin de réduire les risques de sécheresse en début de cycle. Le modèle par contre propose un semis le 20 juillet après une pluie de 16 mm.

En forçant la simulation à démarrer au jour réel de semis on constate, malgré les écarts de la consommation en eau

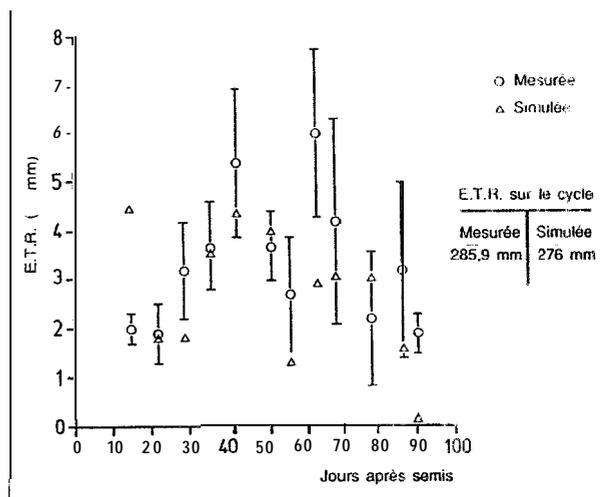


FIG. 3. — Evapotranspiration journalière moyenne mesurée et simulée pour une culture d'arachide durant la saison des pluies en 1987 à Bamby. — (Mean daily evapotranspiration, measured and simulated for a groundnut crop during the 1987 rainy season at Bamby).

observés en début et en fin de cycle, que les valeurs d'évapotranspiration simulées quotidiennement et sur l'ensemble du cycle restent principalement à l'intérieur de l'intervalle de confiance ($\alpha = 5\%$) des valeurs moyennes mesurées (Fig. 3).

Puisque le modèle optimise le choix de la date de semis, la comparaison des valeurs de taux de satisfaction des besoins en eau observés pour une date de semis simulée et réelle fournit une appréciation sur la possibilité d'améliorer les chances de réussite d'une culture en inscrivant mieux son cycle dans la période utile de la saison des pluies.

Les résultats obtenus à Bamby en 1987 indiquent que le choix du semis précoce effectué dans le modèle réduit les risques de sécheresse de fin de cycle qui se manifestent lorsque le semis est effectué le 2X juillet. Le semis précoce aurait permis à la variété de boucler entièrement son cycle tout en consommant un supplément de 30 mm d'eau sur l'ensemble du cycle (Fig. 4). Cependant, la simulation de l'évolution du taux de couverture pour les deux dates de semis indique que les sécheresses de début de cycle ont été suffisamment importantes pour ralentir le développement végétatif de la culture. Le taux de couverture maximal simulé est ainsi de 98 % pour la culture semée le 20/07/90 et de 96 % pour le semis du 28/07/87.

Une évaluation du modèle a été aussi effectuée à partir des valeurs d'évapotranspiration mesurées sur un essai conduit à Nioro-du-Rip avec la variété 73-33 (Virginia 105 jours) durant la saison des pluies 1987 (Fig. 5). Cet essai a été semé un mois après le début des premières pluies. Malgré une valeur d'évapotranspiration simulée sur l'ensemble du cycle de développement de la culture inférieure à celle mesurée, le modèle simule de manière correcte sur de courtes périodes les valeurs d'évapotranspiration mesurées.

Le semis tardif a peu affecté le développement végétatif aérien de la culture (Fig. 6) dont les besoins en eau ont été correctement satisfaits sur l'ensemble du cycle. Le taux de

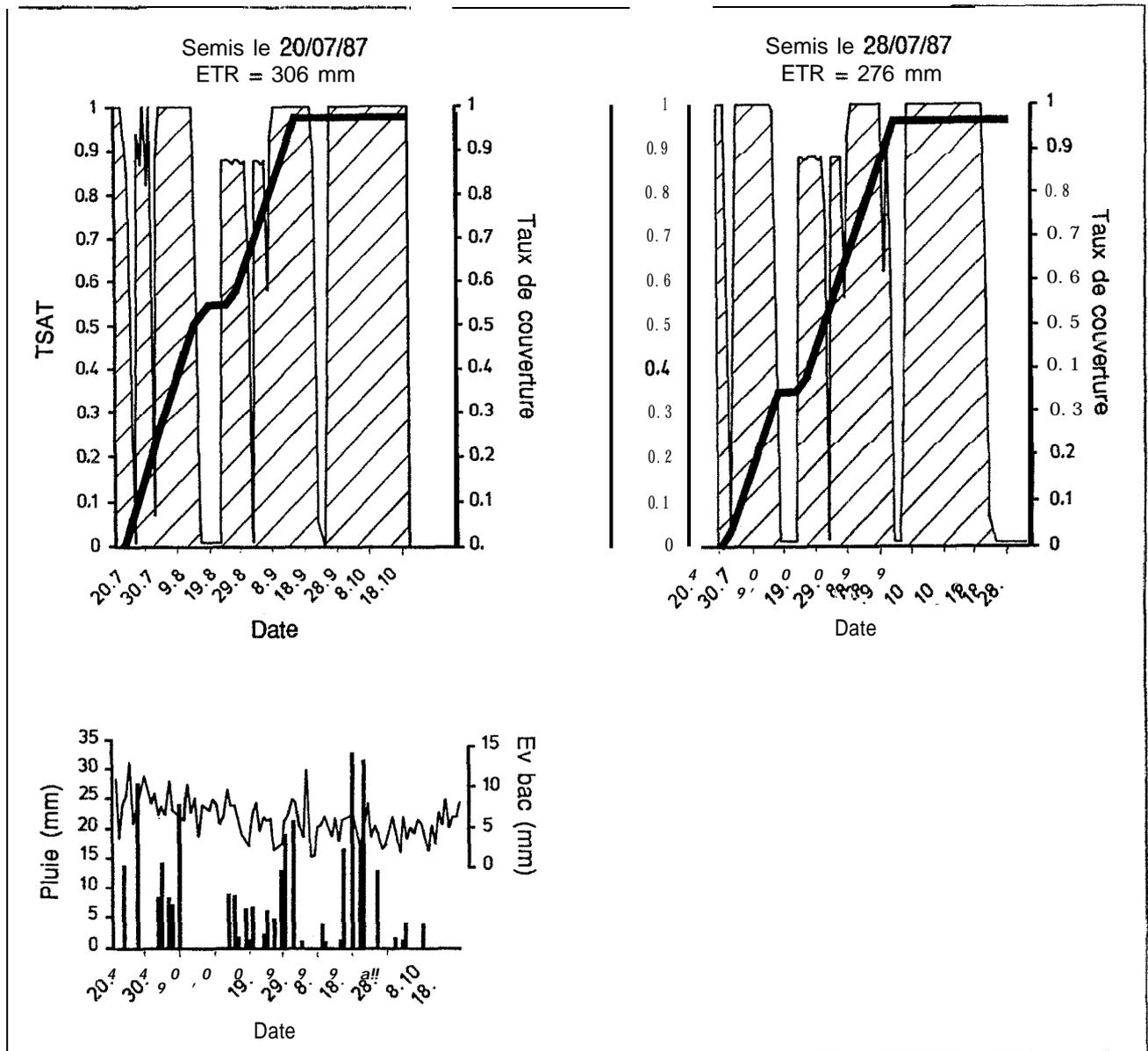


FIG. 4. — Taux de satisfaction des besoins en eau (TSAT) et taux de couverture du sol simulés pour une culture d'arachide à 2 dates de semis durant la saison des pluies 1987 à Bambey. — (Water requirement satisfaction rate (SATR) and soil cover rate simulated for a groundnut crop on 2 sowing dates during the 1987 rainy season at Bambey).

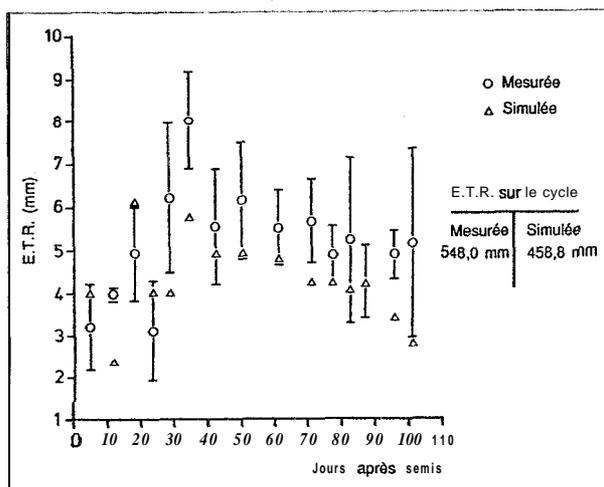


FIG. 5. — Evapotranspiration journalière moyenne mesurée et simulée pour une culture d'arachide durant la saison des pluies en 1987 à Nioro-du-Rip. Variété 73-33 (cycle de 105 jours). — (Mean daily evapotranspiration, measured and simulated for a groundnut crop during the 1987 rainy season at Nioro-du-Rip. Variety 73-33 105 day cycle).

couverture maximale du sol (100 %) est atteint au 54^e jour après semis. La croissance racinaire est ralentie en début de cycle principalement sous l'effet de l'augmentation de la résistance à la pénétration du sol par les racines. La profondeur d'enracinement maximale simulée, 87 cm, a été atteinte au 60^e jour après semis alors que la profondeur d'humectation simulée se situait sous la côte des 140 cm.

A ce stade de développement le modèle en optimisant le choix de la date de semis permet de mieux définir, pour une variété donnée et dans une zone définie, la durée utile de la saison des pluies. Par ailleurs l'évaluation du taux de satisfaction des besoins en eau de la culture permet d'identifier 3 une échelle journalière les périodes de sécheresse qu'elle subit en cours de cycle. Ces deux informations sont indispensables pour la définition des types de sécheresse agronomique rencontrés. Comme nous le verrons dans un prochain article (Annerose, 1991) une méthode de simulation comme celle décrite ici peut constituer un outil pratique de diagnostic des formes de sécheresse à l'échelle régionale. Facilitant ainsi l'identification des objectifs d'amélioration à atteindre pour des cultures conduites en zone aride ou semi-aride.

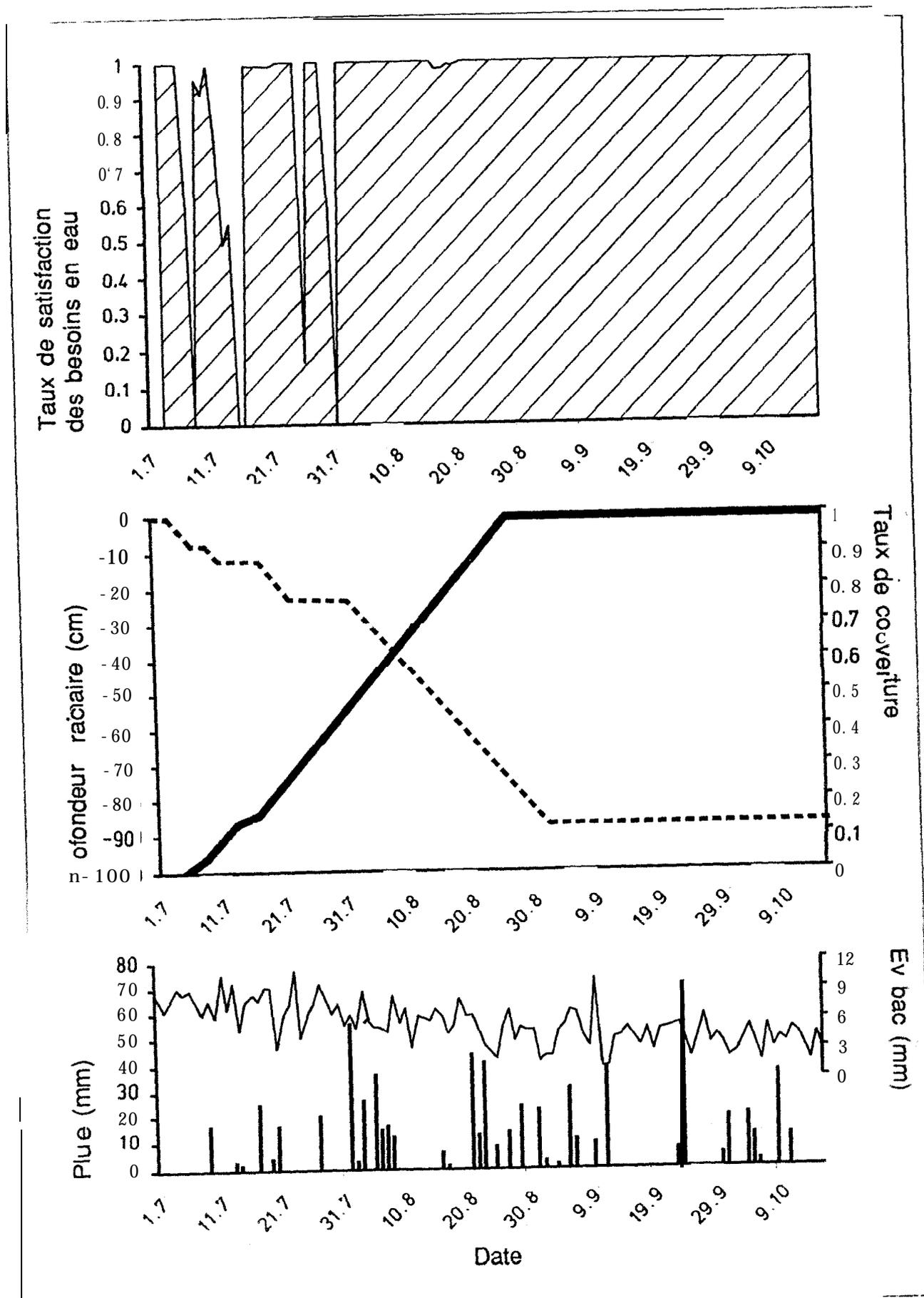


FIG. 6. Taux de satisfaction des besoins en eau, taux de couverture du sol et profondeur d'enracinement simulés pour une culture d'arachide (73-55) durant la saison des pluies 1987 à Nioro-du-Rip (Semis le 3/07/87). (---) (Water requirement satisfaction rate, soil cover rate and root depth simulated for a groundnut crop during the 1987 rainy season at Nioro-du-Rip - Sowed on 03/07/87).

BIBLIOGRAPHIE

- [1] ACKERSON R.C. et HEBERT R. R. (1981). --- Osmoregulation in cotton in response to water stress. I. Alterations in photosynthesis, leaf conductance, translocation, and ultrastructure. *Plant Physiol.*, 67, 484-488.
- [2] ANNEROSE D. J. M. (1985). Réponses d'une variété d'arachide soumise à des sécheresses d'intensité croissante durant différentes phases de son cycle. *Doc. ISRA/CNRA Bambeý*, 41 pages.
- [3] ANNEROSE D. J. M. (1988). Critères physiologiques pour l'amélioration de l'adaptation à la sécheresse de l'arachide. *Oléagineux*, 43, (5), 217-220.
- [4] ANNEROSE D. J. M. (1991). Caractérisation de la sécheresse en zone semi-aride. II. Evaluation des formes de sécheresse agronomique de l'arachide au Sénégal par simulation du bilan hydrique de la culture. *Oléagineux*, à paraître : février 1991.
- [5] BAVER L. D., GARDNER W. A. et GARDNER W. R. (1972). --- Soil physics. John Wiley and Sons, New York, 4th edition, 498 pages.
- [6] BOOTE K. J., STANSELL J. R., SHUBERT A.M. et STONE J. F. (1982). Irrigation, water use and water relations. In « Peanut science and Technology », Patee N. E. et Young C. T. (Eds) A.P.R.E.S., Yoakum Texas 77995, 164-205.
- [7] BUNCE J. A. (1977). --- Non stomatal inhibition of photosynthesis at low water potentials in intact leaves of species from a variety of habitats. *Plant Physiol.*, 59, 348-350.
- [8] CHOPART J. L. (1980). -- Etude au champ des systèmes racinaires des principales cultures pluviales au Sénégal (Arachide Mil-Sorgho-Riz pluvial). Thèse I.N.P. Toulouse, 162.
- [9] COCHÉME J. et FRANQUIN P. (1967). --An agroclimatology survey of a semi-arid area in Africa south of Sahara. *Tech. note world meteorol. organ.*, 86, 1-136.
- [10] DANCETTE C. (1969). -- Détermination au champ de la capacité de rétention après irrigation dans un sol sableux du Sénégal. Intérêt agronomique de cette mesure et application à une culture d'arachide. *Agro. Trop.*, 25, 3.
- [11] DANCETTE C. (1978). --- Estimation des chances de réussite de 3 types d'arachide (90, 105 et 120 jours) à partir de l'analyse pluviométrique. Programme Brunet Moret (ORSTOM). Cas de Bambeý. *Doc. ISRA/CNRA Bambeý Sénégal*, 16 pages.
- [12] DANCETTE C. (1981). --- Méthode pratique d'estimation des besoins en eau des principales cultures pluviales au Sénégal. *Doc. ISRA/CNRA Bambeý Sénégal*, 26 pages.
- [13] DANCETTE C. et HALL A. E. (1979). -- Agroclimatology applied to management in the sudanian and sahelian zones of Africa. In « Agriculture in semi arid environments ». Pages 98-118. *Ecological studies* 34. Hall A. E., Cannell G. H. et Lawton A. W. (eds). Berlin Heidelberg New York. 340 pages.
- [14] DANCETTE C. et SOW C. S. (1976). --- Analyse agroclimatologique de la saison des pluies en vue de faciliter les choix de la recherche et du développement agricoles (Le cas de Niore du Rip). *Doc. ISRA/CNRA Bambeý Sénégal*, 6 pages.
- [15] FOREST F. (1984). -- Simulation du bilan hydrique des cultures pluviales. Présentation et utilisation du logiciel BIP. GERDAT Montpellier.
- [16] HALL A. E. et DANCETTE C. (1978). -- Analysis of fallow farming system in semi-arid Africa using a model to simulate the hydrologic budget. *Agron. J.*, 70, 816-823.
- [17] HUCK M. G., PETERSON C. M., HOOGENBOOM Gerrit et BUSH C. D. (1986). --- Distribution of dry matter between shoots and roots of irrigated and non irrigated determinate soybeans. *Agron. J.*, 78, 813 pages.
- [18] KMOCH H. G., RAMIG R. E., FOX R. L. et KOEHLER F. E. (1957). Root development of winter wheat as influenced by soil moisture and fertilization. *Agron. J.*, 49, 20-25.
- [19] LEA J. D. (1961). --- Studies on depth and rate of root penetration of some annual tropic crops. *Trop. Agric. Trin.*, 38, 93-105.
- [20] MATTHEWS A. M. et BOYER J. S. (1984). --- Acclimation of photosynthesis to low leaf water potentials. *Plant Physiol.*, 74, 161-166.
- [21] O'TOOLE J. C., CROOKSTON R. K., TREHARNE K. J. et OZBUN J. L. (1976). -- Mesophyll resistance and carboxylase activity. *Plant Physiol.*, 57, 465-46X.
- [22] ROBERTSON W. K., HAMMOND L. C., JOHNSON T. T. et BOOTE K. J. (1980). --- Effects of plant-water stress on root distribution of corn, soybeans and peanuts in sandy soil. *Agron. J.*, 72, 548-550.
- [23] SHARMA A. B. et GHILGYAL B. P. (1977). --- Soil water root relation in wheat : water extraction rates of wheat that developed under dry and moist conditions. *Agron. J.*, 69, 231-233.
- [24] VACHAUD G., DANCETTE C., SONKO S. et THONY J. L. (1978). Méthodes de caractérisation hydrodynamique *in situ* d'un sol non saturé. Application à deux types de sol du Sénégal en vue de la détermination des termes du bilan hydrique. *Ann. Agron.*, 29, 1-36.

SUMMARY

Characterization of agricultural drought in semi-arid zones. I. Description of a simple assessment model applied to cultivated groundnut in Senegal.

D. J. M. ANNEROSE and M. DIAGNE, *Oléagineux*, 1990, 45, N° 12, p. 547-557.

Characterization of agricultural drought forms is essential prior to undertaking a yield improvement programme in semi-arid zones. A simplified model combining evapotranspiration and water balance concepts with basic data on plant responses to drought has been developed for cultivated groundnut in Senegal. After describing this model, the article goes on to show that it can be used to provide a satisfactory simulation of this species' water balance, and is therefore an effective tool for diagnosing drought types.

RESUMEN

Caracterización de la sequía agronómica en áreas semiáridas. I. Presentación de un modelo sencillo de evaluación aplicado al caso del maní cultivado en Senegal.

D. J. M. ANNEROSE y M. DIAGNE, *Oléagineux*, 1990, 45, N° 12, p. 547-557.

La caracterización de las formas de sequía agronómica constituye la etapa previa indispensable a la realización de un programa de mejora de los rendimientos en las áreas semiáridas. En el caso del maní cultivado en Senegal, se ha desarrollado un modelo simplificado que asocia los conceptos de evapotranspiración y de balance hídrico con datos elementales sobre la respuesta de las plantas a la sequía. Después de presentar este modelo, se demuestra que permite realizar una simulación satisfactoria del balance hídrico de esta especie que por lo tanto viene a constituir un instrumento eficaz de diagnóstico de los tipos de sequía.

Caractérisation de la sécheresse agronomique en zone semi-aride. II. Evaluation des formes de sécheresse agronomique de l'arachide au Sénégal par simulation du bilan hydrique de la culture

D. J. M. ANNEROSE (1)

Résumé. - Une analyse des formes de sécheresse agronomique de l'arachide rencontrées au Sénégal a été réalisée à partir d'une simulation du développement et des besoins en eau de la culture. Avec les variétés actuellement vulgarisées (90 à 120 jours), trois grandes zones ont été distinguées dans le bassin arachidier sénégalais en fonction de la durée utile de la saison de culture et des risques de manifestation de stress en cours de cycle. A partir de ces données et pour chacune d'entre elles, les premiers objectifs d'un programme d'amélioration de l'adaptation à la sécheresse ont pu être précisés. La nécessité d'une augmentation de la précocité, pour le matériel végétal destiné à la région nord et d'une amélioration des caractères physiologiques d'adaptation à la sécheresse pour les régions centre-nord et centre-sud, a ainsi été mise en évidence.

Mots-clés. Arachide, sécheresse, bilan hydrique, amélioration variétale, précocité, physiologie, pluviométrie.

INTRODUCTION

Lorsqu'on débute un programme d'amélioration de l'adaptation à la sécheresse, il est nécessaire de pouvoir répondre au préalable à 2 questions :

1. quelle est, pour l'espèce étudiée, la durée utile de la saison des pluies ;

2. pour une zone dont la durée utile de la saison des pluies est déterminée, quels sont, en fonction du stade de développement de la plante, les risques de manifestation de périodes de sécheresse.

Les réponses à la première question permettent de fixer pour chaque zone considérée la longueur de cycle à rechercher moyennant une probabilité connue de réussite de la culture. La réponse à la deuxième question permettra, après hiérarchisation des niveaux de sensibilité à la sécheresse des différents stades de développement de la culture considérée, de formuler les premières hypothèses sur la nature des mécanismes d'adaptation qu'il sera souhaitable de retrouver chez cette espèce.

L'intérêt de cette approche peut être illustré par la situation de la culture arachidière au Sénégal depuis la fin des années soixante. Ce pays situé en zone sahélienne connaît, en effet, une période de sécheresse prolongée qui a justifié la mise en place d'un programme d'amélioration de l'adaptation à la sécheresse de l'arachide. La caractérisation de la sécheresse constitue, pour ce type de programme, l'étape préalable indispensable à la définition des actions de recherches à mener (Khalifaoui et Annerose, 1987 ; Annerose, 1988). Généralement cette étude est réalisée à partir d'une analyse pluriannuelle de la pluviométrie (Khalifaoui et Annerose, 1987). Cependant cette approche demeure incomplète pour une appréciation satisfaisante de la sécheresse agronomique. Cette dernière notion est particulièrement importante dans les zones semi-arides, pour lesquelles les variations annuelles substantielles de la sécheresse climatique et les différences de sensibilité à la sécheresse des cultures, en

fonction de leur stade de développement, compliquent l'appréciation des effets de la sécheresse sur la productivité.

Comme nous l'avons illustré précédemment (Annerose et Diagne, 1990), l'intégration de données physiologiques simples sur le fonctionnement de la plante dans la modélisation du bilan hydrique d'une culture peut apporter une précision supplémentaire significative dans l'appréciation de la sécheresse agronomique. Dans ce qui suit nous allons donc procéder à une nouvelle évaluation des formes de sécheresse de l'arachide au Sénégal en essayant d'affiner les objectifs préalablement définis pour l'amélioration de l'adaptation de cette espèce à la sécheresse.

Détermination de la durée utile du cycle de culture.

La durée utile de la saison des pluies, encore appelée hivernage au Sénégal, est déterminée par la période s'écoulant entre la date de manifestation de la première pluie sur laquelle le semis peut s'effectuer (première pluie de semis) et la date à laquelle la réserve utile en eau disponible le long du profil racinaire ne permet plus de satisfaire tout ou partie des besoins hydriques de la culture.

La détermination de la première pluie de semis dépendra :
a - du type de culture : par exemple le mil est fréquemment semé en sec dans la zone sahélienne car il peut germer sur des petites pluies et survivre jusqu'à l'apparition de pluies plus importantes. Les besoins en eau plus importants de l'arachide pour germer et le coût plus élevé de la semence nécessitent par contre, que cette culture soit semée en humide sur des pluies au moins égales à 15 mm (Dancette et coll., 1976) ;

b - de la date de manifestation de la pluie, de son intensité ainsi que de la probabilité qu'elle soit suivie par d'autres pluies permettant à la culture de poursuivre son développement sans risque important de sécheresse en déclin de cycle. Ainsi, après une pluie d'intensité donnée, la décision de semer sera prise plus facilement si elle se manifeste tardivement ;

c - du type de sol et des techniques culturales qui vont déterminer les caractéristiques hydrodynamiques du sol et

(1) Physiologiste CIRAD-IRHO détaché à l'ISRA Centre National de Recherches Agronomiques (C.N.R.A.), B.P. 53, Bambey (Sénégal).

notamment la profondeur d'humectation. Par exemple, les sols très sableux d'origine dunair du Nord-Sénégal ont des capacités de rétention en eau très inférieures à celle des sols argileux du Centre et du Sud et limiteront la quantité d'eau utile pour les cultures. De même Chopart et Nicou (1976) ont montré que le labour de début de cycle permet de réduire l'évaporation de l'eau du sol et favorise le développement racinaire des plantes ;

d — des caractéristiques racinaires et de la dynamique d'enracinement des variétés utilisées qui détermineront le volume de sol colonisé et la quantité d'eau disponible pour la plante.

En intégrant les concepts principalement exposés dans les deux premiers points Dancette (197X) a développé une méthode permettant de déterminer la probabilité de réussite d'une culture en fonction de la date de manifestation et de l'intensité de la pluie de semis. La connaissance des besoins hydriques moyens pour la survie des cultures couplée à une analyse statistique pluriannuelle de la distribution des pluies permet de disposer d'un outil fiable à l'échelle régionale pour la prise de la décision de semer.

La détermination de la date de fin d'hivernage et l'identification des périodes de sécheresse sont plus complexes à réaliser. Elles nécessitent d'utiliser de façon dynamique des informations sur les caractéristiques racinaires, la quantité

d'eau disponible dans le sol et la consommation en eau de la culture. Nous avons pour cela utilisé un modèle de simulation du bilan hydrique de l'arachide qui intègre à la fois les résultats bioclimatologiques disponibles et quelques concepts physiologiques simples sur la réaction de la plante à la sécheresse (Annerose et Diagne, 1990).

Le développement et le taux de satisfaction des besoins en eau d'une culture d'arachide ont été simulés quotidiennement sur la période 1969-1987 dans 27 localités sénégalaises situées au nord de la Gambie.

Pour chacune de ces localités 3 types variétaux ont été considérés :

les variétés à cycle court (90 jours), dites hâtives, qui correspondent aux variétés les plus précoces actuellement vulgarisées ;

-- les variétés à cycle intermédiaire (105 jours), dites semi-hâtives ;

- les variétés à cycle long (120 jours) dites tardives.

La durée utile de la saison des pluies (DUSP) qui détermine la longueur du cycle des variétés à utiliser est calculée comme étant :

$$DUSP = DPSP - NJRPO + A \quad \text{Equ. 7}$$

avec DPSP = durée potentielle de la saison des pluies soit (date de récolte - date de semis),

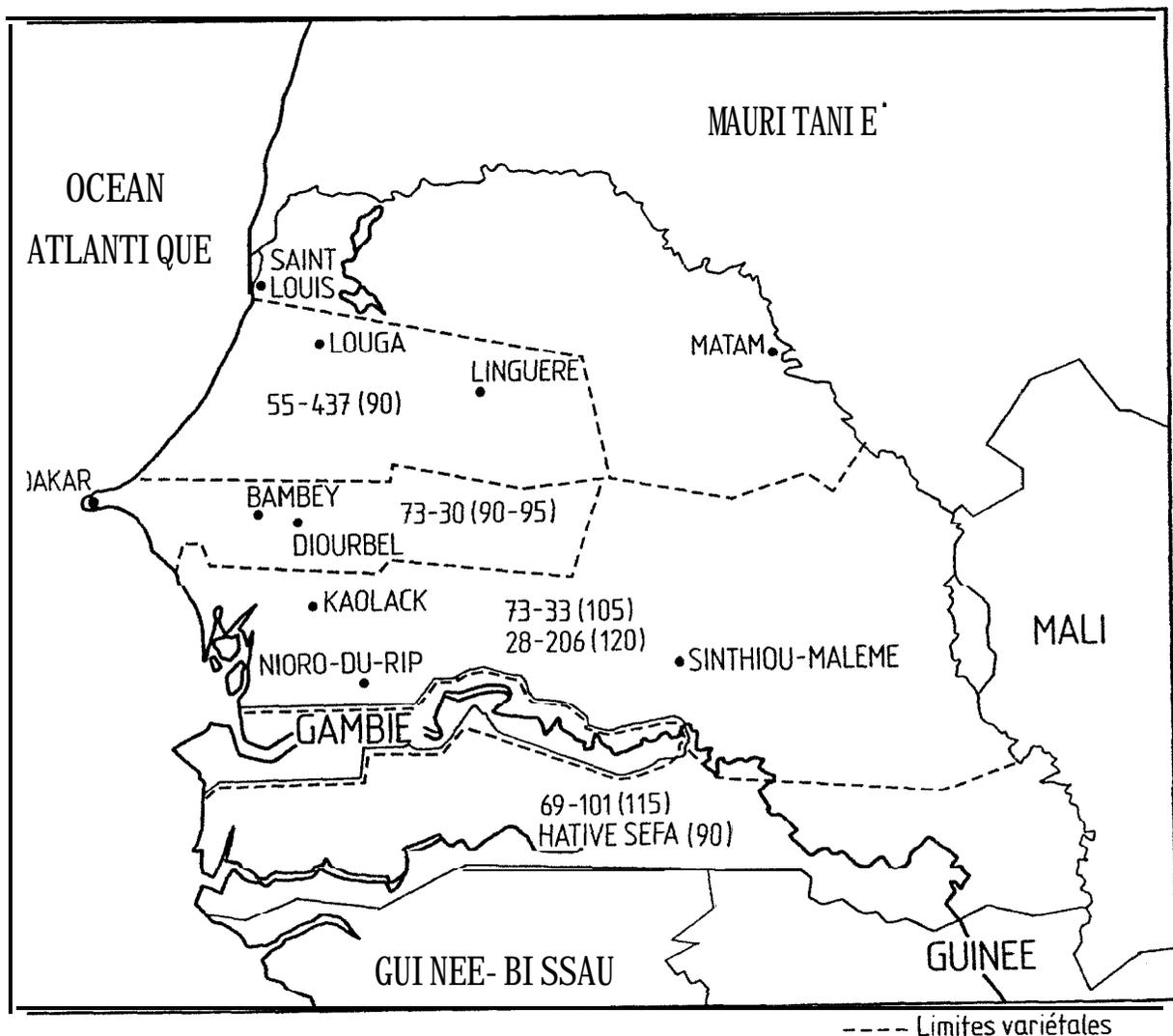


FIG. 1. — Carte actuelle de répartition variétale de l'arachide au Sénégal. Les longueurs de cycle sont indiquées entre parenthèses. -- (Current map of groundnut variety distribution in Senegal Cycle lengths are indicated in brackets).

NJRP0 = nombre de jours à la récolte depuis lesquels la photosynthèse de la culture est nulle, soit 5 jours après le début du stress.

et A = période durant laquelle la plante peut utiliser ses réserves glucidiques pour boucler son cycle lorsque la photosynthèse est nulle avec les conditions limites suivantes :

A max est fixé à 5 jours. Au-delà de cette limite même si des réserves sont encore disponibles la décision de récolter est prise car on considère que l'assèchement des couches superficielles du sol augmente significativement les risques de pertes en terre des gousses lors de l'arrachage ;

si NJRP0 est inférieur à 5 jours alors A est égal à NJRP0.

La distribution fréquentielle des DUSP simulées sur la période pour les différentes localités est ensuite reprise pour effectuer un zonage des durées de cycles satisfaites sur l'ensemble du pays.

A l'examen de la carte de répartition variétale de la région (Fig. 1) et de la carte du zonage des DUSP (Fig. 2) on constate que durant la période considérée la durée du cycle de développement des variétés vulgarisées les plus précoces (90 jours) a été trop longue pour assurer une probabilité satisfaisante de réussite d'une culture d'arachide (> 7 années sur 10) dans la moitié Nord du Sénégal. Dans la zone Centre

adjacente et bordée au Sud par la Gambie les variétés vulgarisées se sont révélées bien adaptées aux DUSP estimées.

La variété la plus précoce existant en collection Chico (Spanish, cycle de 75 jours au Sénégal) a un niveau de performance agronomique négligeable qui ne permet pas sa vulgarisation.

Un des principaux objectifs est donc d'associer les caractères de précocité de Chico avec les potentialités agronomiques des variétés de 90 jours actuellement vulgarisées. En engageant le programme d'amélioration dans cette voie on peut affiner la caractérisation de la région en ce qui concerne les DUSP et faire la distinction entre 3 grandes zones :

1 -- une zone Centre, comprise entre la Gambie et un axe passant au Nord d'une ligne Dakar-Bambey, pour laquelle la longueur de cycle idéale (120 à 90 jours) existe déjà parmi les variétés vulgarisées ;

2 -- une zone Nord, comprise entre la zone Centre et une ligne passant par Louga, qui pourra être colonisée par les variétés très précoces (90 à 75 jours) nouvellement créées. Bien que la localité de Louga soit située sur une ligne de DUSP égale à 65 jours (Fig. 2) elle a été incluse dans cette zone. Cette décision est dictée par le fait que la DUSP a été déterminée, pour cette localité, en simulant le développement d'une variété de 90 jours dont les besoins en eau à toutes les phases de son cycle doivent être supérieurs à ceux

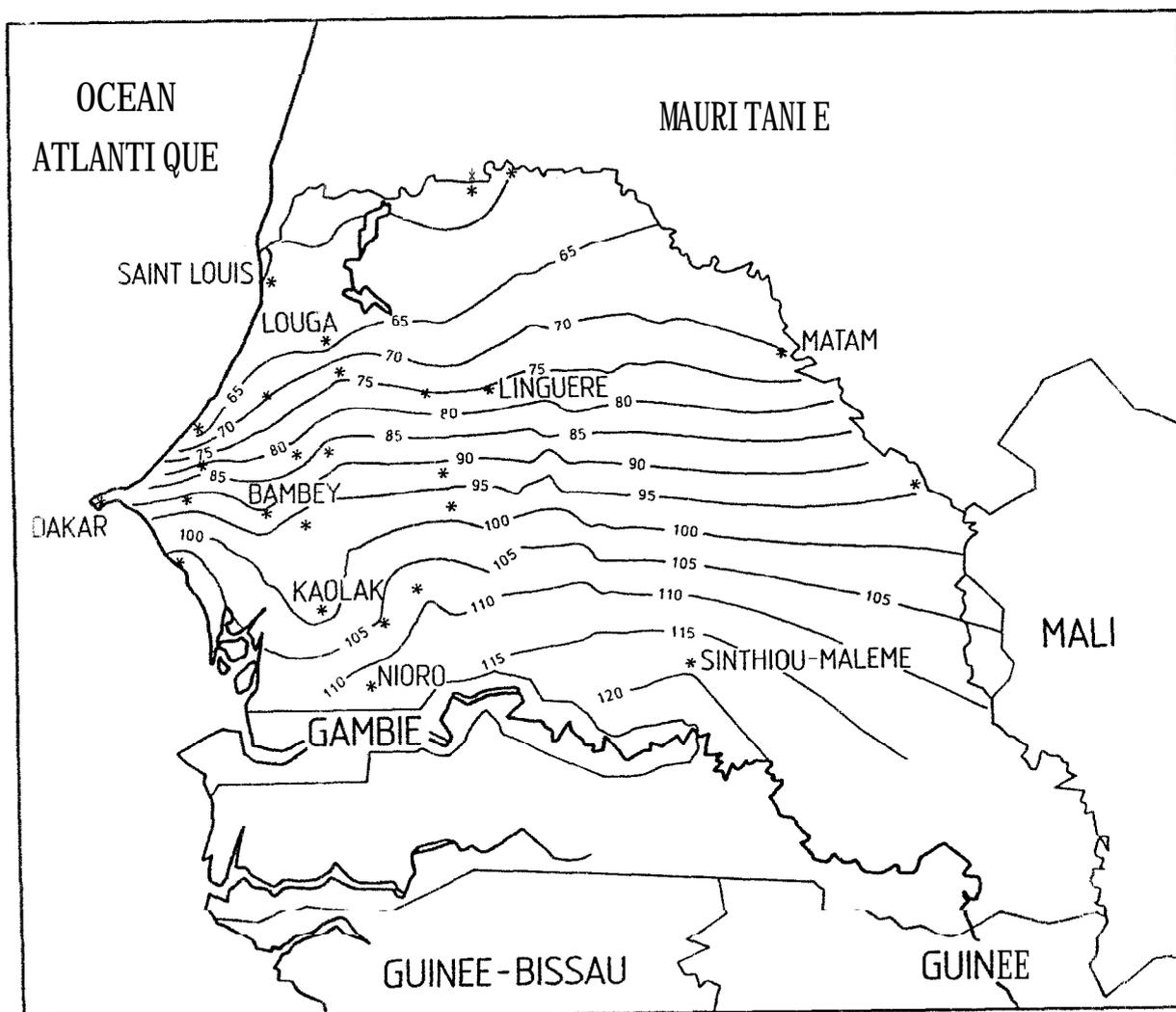


FIG. 2. -- Durée des cycles satisfaites (DUSP) au moins 7 années sur 10 durant la période 1968-1987 pour les variétés d'arachide actuellement vulgarisées au Sénégal. -- Cycle lengths (CLRS) satisfied at least 7 out of 10 years during the 1969-1987 period for the groundnut varieties currently widely available in Senegal.

d'une variété à cycle plus court. Nous avons donc supposé qu'à cette limite de 65 jours de DUSP, pour une variété de 90 jours une variété hypothétique de 75 jours peut boucler son cycle ;

3 — une zone extrême-Nord située au Nord de Louga pour laquelle la précocité souhaitable n'existe pas en collection. Dans cette région, la culture de l'arachide en conditions pluviales ne peut s'envisager, comme c'est le cas actuellement, qu'en acceptant un risque important de production nulle en gousses pour privilégier les caractéristiques de production fourragère de cette culture.

Evaluation des risques de sécheresse en cours de cycle.

Pour chacun des types variétaux étudiés (hâtif, semi-hâtif et tardif) les risques de manifestation de la sécheresse ont été évalués en fonction du stade de développement de la culture. Pour cette analyse un indicateur de sécheresse est positionné durant chaque phase de développement 5 jours après le début du stress ($TSAT < 0,7$), c'est-à-dire au moment où les échanges gazeux au niveau de la culture sont supposés nuls.

Compte tenu de la faible DUSP de la région extrême-Nord l'analyse a été réalisée principalement pour les localités comprises dans les zones Nord et Centre définies précédemment (Tabl. 1).

Dans la zone Nord, la sécheresse agronomique ne s'explique pas uniquement par une inadaptation de la longueur du cycle des variétés, mais aussi par une forte probabilité des risques de sécheresse en cours de cycle. Il faut néanmoins noter que la caractérisation des risques de sécheresse, dans cette région, a été effectuée en simulant le développement de variétés vulgarisées dont la longueur de cycle se révèle trop importante. Or comme nous l'observons pour les localités de Bambey, Kaolack et Niore, où le développement des différents types variétaux a été simulé, l'augmentation de la précocité devrait permettre, non seulement une meilleure adaptation de l'arachide aux DUSP de la région, mais aussi une réduction des risques de sécheresse en cours de cycle.

Pour cette région le programme d'amélioration devra être divisé en 2 phases :

1 - une phase de sélection visant à augmenter la précocité en association avec un bon potentiel de productivité ;

2 — une phase de caractérisation du matériel obtenu qui permettra d'évaluer ses capacités d'adaptation à la région notamment à l'aide d'outils comme le modèle de simulation utilisé. Les résultats de cette analyse permettront de déterminer si la réduction de la durée du cycle est un moyen suffisant pour adapter la culture aux conditions de sécheresse de la région ou s'il est nécessaire de poursuivre la recherche de variétés précoces présentant aussi des caractères physiologiques d'adaptation à la sécheresse.

Pour la zone Centre l'analyse est différente puisque les variétés disponibles sont bien adaptées aux DUSP estimées. Ceci se traduit par une diminution générale des risques de manifestation de la sécheresse en cours de cycle par rapport à ceux observés dans la zone Nord.

Dans cette zone la probabilité d'observer sur une même année une sécheresse durant deux phases de développement de la culture a été de 12 %, pour la période considérée et avec les variétés vulgarisées actuellement, contre 58 % dans la région Nord. Ce résultat signifie que les périodes de sécheresse dans la région Centre se manifestent de manière plus brève sur la durée du cycle de développement de la culture. Le rapprochement de ce résultat avec la distribution des risques de sécheresse en fonction du stade de développement met aussi en évidence la forte variabilité interannuelle des dates de manifestation de la sécheresse dans cette région.

TABLEAU I. Probabilités de manifestation d'une période de sécheresse en cours de cycle pour une culture d'arachide dans 8 localités du Sénégal durant la période 1969-1987. — (Probability of a drought period occurring during the cycle for a groundnut crop at eight sites in Senegal over the period 1969-1987)

Région	Localité (Location)	CLEV (C)	Stades de développement (Development stages)					
			VG (GP) (%)	U (FL) (%)	V (FR) (%)	----- (RI) (%)	MT (TP) (%)	DP (CY) (%)
Nord (North)	Louga	90	26,3	42,1	41,4	84,2	73,7	94,1
	Kebemer	90	33,3	20,0	40,0	73,3	60,0	86,7
	Linguere	90	31,6	15,8	31,6	57,3	47,4	78,9
	Thilmakha	90	31,3	37,5	31,3	37,5	50,0	81,3
	Moyennes (Means)		30,6	28,8	37,6	63,1	57,8	85,4
Centre	Bambey	90*	10,5	15,8	10,5	10,5	10,5	31,6
		105	15,8	10,8	21,1	68,4	31,6	84,2
		120	21,1	10,5	47,4	84,2	63,2	89,5
	Diourbel	90*	9,1	27,3	0,0	9,1	9,1	27,3
		105*	27,3	9,1	0,0	72,7	27,3	72,7
	Kaolack	90	7,7	15,4	7,7	23,1	7,7	46,2
		105*	7,7	15,4	23,1	48,2	23,1	69,2
		120	15,4	15,4	23,1	63,2	30,7	84,6
	Niore	90	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	105*	0,0	0,0	5,3	31,6	5,3	31,6	
	120*	0,0	0,0	5,3	31,6	5,7	31,6	
Moyennes (Means)			6,8	14,6	9,7	24,8	12,0	39,9

DCUV = Durée du cycle de la variété vulgarisée durant la période. Lorsque les données sont fournies pour plusieurs types variétaux la DCUV actuelle est marquée d'un astérisque. — (CLEV = Cycle length of extended variety during the period. When data are given for several varietal types, current CLEV is marked with an asterisk).

VG = Stade végétatif ; FL = Floraison ; FR = Fructification ; MT = Maturation ; DP = Sur deux phases de développement ; CY = Sur l'ensemble du cycle. — (GP = Growth Phase ; FL = Flowering ; FR = Fruiting ; RI = Ripening ; TP = Over 2 development phases ; CY = Over cycle as a whole).

La situation est cependant différente pour la partie Sud de cette région représentée par les localités de Niore et de Sinthiou-Malème puisque cette zone, située à la limite de la zone climatique soudanaise, est caractérisée principalement par des sécheresses de fin de cycle pour les variétés vulgarisées avec de faibles risques sur l'ensemble du cycle.

L'hétérogénéité des données obtenues dans la partie nord de cette zone révèle aussi la difficulté d'effectuer un zonage fin des risques de sécheresse en fonction du stade de développement de la culture dans cette région. Ceci est bien illustré par les résultats obtenus à Bambey et à Diourbel, deux localités situées sur la même latitude et distantes de 25 kilomètres. Bien que ces deux sites se trouvent dans une zone où les risques de sécheresse sur l'ensemble du cycle sont équivalents, à Bambey la distribution des risques a concerné également les différentes phases de développement de la culture tandis qu'à Diourbel les risques de sécheresse ont été importants durant la floraison et nuls durant la fructification.

Dans cette région, la forte variabilité des périodes de sécheresse imposera donc le développement d'un matériel

présentant une bonne plasticité, à travers l'amélioration simultanée des caractères agronomiques et physiologiques d'entente et de tolérance à la sécheresse, afin de privilégier la stabilité des rendements. Puisque les longueurs de cycle idéales sont déjà disponibles parmi les variétés vulgarisées l'objectif sera d'associer dans un même matériel les performances agronomiques des variétés hâtives à tardives déjà vulgarisées à des caractères physiologiques leur permettant d'élargir leur capacité de réaction à la sécheresse.

CONCLUSION

L'intégration des acquis agro-bioclimateologiques et de quelques concepts physiologiques, dans cette étude, a permis de mettre un certain ordre dans la perception que l'on peut avoir de la sécheresse en se basant uniquement sur les observations pluviométriques.

Cette analyse a mis en évidence l'existence d'une grande variation des formes de manifestation de la sécheresse au niveau du bassin arachidier sénégalais qui concerne à la fois la durée utile de la saison de culture et la fréquence de manifestation de périodes de sécheresse en cours de cycle.

Elle a permis de formuler les premiers objectifs de sélection à atteindre pour tenter d'améliorer la productivité de cette espèce. Cependant l'hétérogénéité annuelle et spatiale des formes de sécheresse rencontrées indique que ces objectifs doivent être précisés en complétant l'analyse par une bonne description des effets de la sécheresse, en fonction du stade de développement auquel elles se manifestent, sur la production finale de la culture. La connaissance des niveaux de sensibilité au manque d'eau en fonction du stade de développement devrait ainsi permettre de hiérarchiser l'importance des différentes formes de sécheresse observées et des formes d'adaptation à rechercher.

Ces deux niveaux d'analyse constituent, pour l'amélioration des espèces cultivées en zone sahélienne des étapes indispensables dans la mise en place de programmes d'amélioration de l'adaptation à la sécheresse. Ils ont l'avantage, avec les méthodes décrites ici, d'associer dans des outils de diagnostic cohérents des données souvent éparpillées dont l'intégration facilite la formulation des bonnes questions préalables et des objectifs à atteindre dans ce type de programme.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] ANNEROSE D. J. M. (1988). — Critères physiologiques pour l'amélioration de l'adaptation à la sécheresse de l'arachide. *Oléagineux*, 43, (5), 217-222.
- [2] ANNEROSE D. J. M. et DIAGNE M. (1990). — Caractérisation de la sécheresse en zone semi-aride. I. Présentation d'un modèle simple d'évaluation appliqué au cas de l'arachide cultivée au Sénégal. *Oléagineux*, 45, (12), 547-557.
- [3] CHOPART J. L. et NICOU R. (1976). — Influence du labour sur le développement racinaire de différentes plantes cultivées au Sénégal. Conséquence sur leur alimentation hydrique. *Agro. Trop.*, 31, 7-28.
- [4] DANCETTE C. (1978). — Estimation des chances de réussite de 3 types d'arachide (90, 105 et 120 jours) à partir de l'analyse pluviométrique. Programme Brunet Moret (ORSTOM). Cas de Bambey. Doc ISRA/CNRA Bambey Sénégal, 16 p.
- [5] DANCETTE C. et SOW C. S. (1976). — Analyse agroclimatologique de la saison des pluies en vue de faciliter les choix de la recherche et du développement agricoles (le cas de Nioko du Rip) Doc ISRA/CNRA Bambey Sénégal, 6 p.
- [6] KHALFAOUI J. L. et ANNEROSE D. J. M. (1987). — Création variétale d'arachide adaptée aux contraintes pluviométriques des zones semi-arides. In « Actes du symposium : Agrométéorologie de l'Arachide » ICRISAT, OMN, FAO. Août 1988. Niamey, 127-134.

SUMMARY

Characterization of agricultural drought in semi-arid zones. II. Assessment of agricultural drought forms in Senegal by simulation of the crop's water balance.

D. J. M. ANNEROSE. *Oléagineux*, 1991, 46, N° 2, p. 61-67.

The agricultural drought forms affecting groundnut in Senegal were analyzed using crop development and water requirement simulation. With the current widely available varieties (90 to 120 days) three major zones were defined in the Senegalese groundnut basin depending on the useful length of the growing season and the risk of stress during the growing cycle. For each of the zones, these data were used to determine the initial objectives of an improvement programme for adaptation to drought. The need to improve the precocity of planting material intended for the northern region and to improve physiological drought adaptation characters for the central northern and central southern regions was thus made clear.

RESUMEN

Caracterización de la sequía agronómica en áreas semiáridas. II. Evaluación de las formas de sequía agronómica del maní en Senegal, por simulación del balance hídrico del cultivo.

D. J. M. ANNEROSE, *Oléagineux*, 1991, 46, N° 2, p. 61-67.

Se ha realizado un análisis de las formas de sequía agronómicas del maní encontrado en Senegal, basándose en una simulación del desarrollo y de las necesidades de agua del cultivo. Las variedades ahora divulgadas (de 90 a 120 días) se hallan distribuidas dentro de tres grandes áreas en la cuenca manisera de Senegal, en la base de la duración útil del período de cultivo y del riesgo de producirse « stress » durante el ciclo. A partir de estos datos se ha logrado especificar para cada una los primeros objetivos de un programa de mejora de la adaptación a la sequía. Así se logró evidenciar la necesidad de incrementar la precocidad para el material vegetal destinado a la región Norte, y de mejorar los caracteres fisiológicos de adaptación a la sequía para las regiones centro-norte y centro-sur.

**ETUDE DE LA CROISSANCE RACINAIRE DE SIX
CULTIVARS DE MIL (*Pennisetum americanum* L.)**

(Reçu le 21 janvier 1991. accepté le 6 février 1991)

E. Batcho*, **O. S. Daouda****, **F. Do****, **D. J. hi. Annerose*****
J. L. Khalfaoui***, **A. Fofana******, **D. Laffray***
e t **P. Louguet***

* *Laboratoire de Physiologie Végétale et d'Ecophysiologie Végétale Appliquée
UFR de Sciences Université Paris-Val-de-Marne. Avenue du Général de Gaulle.
94010 Créteil-cedex. France.*

** *Institut des Radio-isotopes de l'Université de Niamey. BP 10727 Niamey-
Niger.*

*** *Centre d'Etude Régional pour l'Amélioration de l'Adaptation à la sécheresse
(CERAASICNRA) Bambey-Sénégal.*

* . ** *Centre National de la Reckrck Agronomique. Institut Sénégalais de la
Reckrck Agronomique. Bwnbey • Sénégal.*

Résumé : *La dynamique de croissance des systèmes racinaires de six cultivars de Mil (*Pennisetum americanum* L.) provenant du Niger et du Sénégal a été comparée en conditions hydriques édaphiques limitantes et en climat sahélien. L'étude qui s'étend de la phase juvénile à la pré-floraison (jusqu'à 41 jours) a porté sur la vitesse d'enracinement, l'allongement, le volume et la répartition racinaire par horizon.*

On peut conclure qu'il existe une stratégie de répartition racinaire permettant de classer les cultivars en 2 groupes principaux :

• Les cultivars à répartition racinaire hétérogène qui favorisent un enracinement de surface en condition humide et un enracinement en profondeur avec une sécheresse modérée.

• Les cultivars à répartition racinaire homogène qui réalisent un enracinement en profondeur quel que soit l'état hydrique du soi.

Mots clés : sécheresse, rhizotron, Niger, Sénégal.

INTRODUCTION

Des études antérieures ont porté sur quatre des six cultivars et ont permis de déterminer quels sont les paramètres physiologiques (Dias da Silva Jr, 1990) morphologiques et agrophysiologiques (Do et al. 1989) qui déterminent le rendement chez le Mil. L'objectif de cette étude est de comparer la croissance racinaire de ces 4 cultivars, plus 2 autres, depuis le stade juvénile et dans différentes conditions d'alimentation en eau.

Les conditions hydriques du sol simulent en partie les situations pluviales en milieu sahélien.

Très peu de données sont disponibles sur le Mil dans la littérature.

MATERIEL VEGETAL ET METHODES

1. Matériel végétal

Le matériel végétal comprend 4 variétés cultivées au Niger et 2 variétés cultivées au Sénégal.

Les 4 variétés provenant du Niger sont décrites par Do et al (1989) :

- *HKP*, variété de référence (sélection IRAT) vulgarisée par l'INRAN dans la zone de Niamey et considérée comme résistante à la sécheresse.
- *ICMVIS 85327 (IC27)* et *ICMVIS 86330 (IC30)* variétés améliorées par l'ICRISAT qui les désignent respectivement comme sensibles et résistantes à une sécheresse terminale post-floraison (expérience ICRISAT, 1988).
- Un Mil sauvage (subspécies *violaceum* Sv.), fourni par les généticiens de l'ORSTOM (Marchais et Tostain).

Les 2 variétés provenant du Sénégal ont été fournies par le service semencier du CNRA/ISRA de Bambey :

- *Souna 3*, récolte de la contre-saison 1990 ; cultivar hatif (dont son nom en langue locale) de 90 jours ; présumé sensible à la sécheresse.
- *IBV 8004*, récolte de 1985, supposée résistante à la sécheresse.

2. Méthodes

2.1. Le rhizotron

Il a été décrit par le CERAAS (Centre d'Etude Régionale pour l'Amélioration de l'Adaptation à La Sécheresse, 1990). Les rhizotrons sont composés de tubes en PVC (H : 100 cm, ϕ : 16 cm) avec une face plane transparente en plexiglass permettant l'observation des racines. Les tubes sont posés en position inclinée à 45° sur un châssis métallique.

Sous l'effet du géotropisme, les racines vont s'appliquer en partie contre le plexiglass permettant ainsi leur observation.

Le remplissage des tubes se fait en deux fois : le sol local dit DIOR. Ce sol sableux, ferrugineux, contenant 0,4% de matière organique et 2% d'argile, doit être sec et tamisé finement afin d'avoir une homogénéité de texture. On mélange l'engrais en poudre de préférence de façon homogène. La dose pour le Mil PSI de 4g/tube de NPK = 10-21-21. Au remplissage, il faut tasser le sol à une densité voisine de

celle du sol au champ soit 1,45 à 1,65. Pour les tubes des conditions 1 et 2, l'eau est apportée par fraction de 400 ml pour atteindre la capacité au champ.

Le remplissage des tubes de la condition 3 a été fait en 2 étapes, technique que nous avons du mettre au point.

Il faut successivement :

- remplir le tube à moitié (9 dm³ de sol) et arroser à la capacité au champ avec 2 l d'eau.
- déposer une couche de gravillons de 5 cm d'épaisseur.
- pour remplir la moitié supérieure du tube, disposer 3 tuyaux le long de sa paroi. Chaque tuyau plastique (diamètre 1,5 cm et longueur 30 cm environ), sera perforé à son extrémité inférieure de 6 trous et l'orifice bouché. Les extrémités inférieures des tuyaux sont disposées à 13 cm de hauteur les unes des autres. On verse par l'orifice supérieur de chaque tuyau, 334 ml d'eau (à l'aide d'un entonnoir si nécessaire), car il faut 4 dm³ d'eau pour atteindre la capacité au champ de 18 dm³ de sol soit 1 l (c. 334 ml x 3) pour atteindre la moitié de cette capacité pour 9 dm³. Par cette méthode, toute la couche de sol s'humecte par capillarité jusqu'à l'homogénéisation.

Un arrosage superficiel avec 1 l n'humecte qu'une épaisseur de 20 cm à un lieu de 50 cm.

Le tube est enveloppé d'un fourreau en plastique noir afin de maintenir les racines à l'obscurité.

Le semis se fait à 1,3 cm de la plaque de plexiglass avec 7 semences de Mil enfoncées à 2 cm. Le paillage de la couche de semis accélère la germination qui a lieu 24h après. Ce paillage empêche l'effet des températures trop élevées qui inhibent la germination. Ces observations nous ont conduit à réaliser des tests de germination (Baicho et al, à paraître).

Le démarrage à une plante par tube se fait 2 à 3 jours après l'émergence.

2.2. Dispositif expérimental et traitements hydriques

Les 6 variétés ont été étudiées dans 3 conditions hydriques avec 6 répétitions par traitement soit 6 x 3 x 6 = 108 tubes. Dès le démarrage, tous les tubes ont été randomisés totalement.

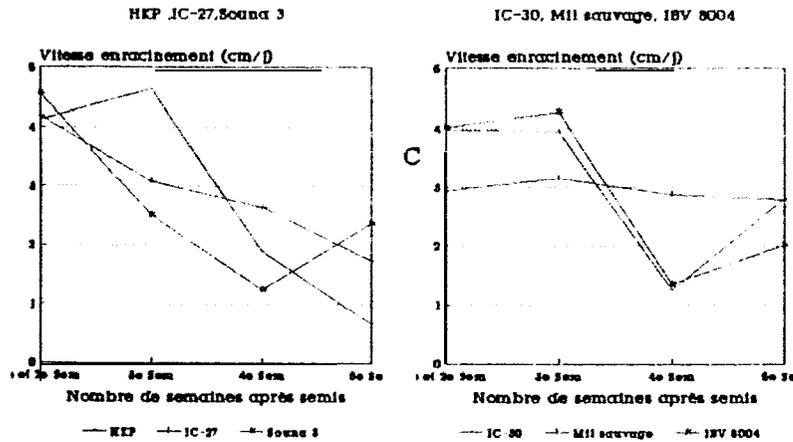
2.3. Conditions de culture et traitements hydriques

La culture a été faite en rhizotron installé en plein air en condition climatique sahélienne de saison pluvieuse, avec une température moyenne journalière de 38 à 41°C.

Les 3 régimes hydriques testés sont :

- a) Condition normale (1) : correspondant à un arrosage pumalier.
- b) Condition de contrainte hydrique (2) : le sol est humidifié initialement jusqu'à saturation, correspondant à la capacité au champ et on n'arrose plus jusqu'à la fin du test, (durée totale 6 semaines environ).
- c) Contrainte hydrique partielle (3) : le sol du tube est à deux niveaux d'humidité. A la capacité au champ au fond du tube (moitié inférieure) et 50% de cette capacité au champ à la moitié supérieure.

Figure 1c - Vitesse d'enracinement en condition 3



c) Des vitesses d'enracinement plus élevées dans la condition 3 (sol mi-sec en surface et humide au fond) sauf pour le Mil sauvage, fig.1c. A la 3^e semaine, la vitesse décroît chez tous les cultivars sauf pour le Mil sauvage où la vitesse est restée pratiquement constante dans la condition 3.

1.2. Comparaison intervariétale des vitesses d'enracinement

La vitesse de croissance et d'enfoncement racinaire serait-elle un critère de sélection des cultivars de Mil ?

L'étude statistique par l'analyse de variance des effets des 3 conditions d'humidité du sol, sur la vitesse d'enracinement au cours du temps a présenté des différences significatives dans 2 situations :

1.2.1. Condition 1 (arrosage journalier)

A la 2^e semaine, le classement des 6 variétés est dans l'ordre (suivant Student-Newman-Keul's Test):

Mil	IC27	HKP	Souna3	IC30	IBV	sauvage
Classement	A			AB		B
Vitesse(cm/j)	3,65	3,41	3,12	3,03	2,94	2,44

1.2.2. Condition 2 (sans arrosage)

Les 6 variétés ont montré des rythmes de croissance comparables jusqu'à la 4^e semaine où on a observé la discrimination suivante:

Mil	IC27	HKP	Souna3	IC30	IBV	sauvage
Classement	A			AB		B
Vitesse(cm/j)	5,35	4,48	4,40	3,65	3,13	1,29

Il n'y a pas eu de différence significative (pour le test utilisé) entre les 6 variétés pour la condition 3; bien que sur toute la durée de l'essai, les effets des traitements, ont été hautement significatifs sur la croissance racinaire.

semaines	classement		
	(condition de vitesse moyenne de croissance en cm/J)		
1 à 2	C3 (3.96)	C1 (3.09)	C2 (2.97)
3 ^e	C3 (3.61)	C2 (1.59)	C1 (0.97)

Au delà de la 3^e semaine, la condition 2 est la plus favorable à l'enracinement.

Il y a une relation positive entre le stress hydrique du sol et la vitesse de croissance racinaire dans les conditions de nos essais.

Cependant la condition 3, qui montre la meilleure vitesse de croissance ne nous a pas permis de discriminer les 6 cultivars.

2. L'allongement racinaire maximum

Ce paramètre permet d'apprécier la profondeur atteinte par le front racinaire.

Les plus longues racines mesurées sont celles de la condition 3 où le sol est à 50% de la capacité au champ dans la couche de semis.

Les mesures de l'allongement des racines dès les premiers jours de la germination dans le cas du Mil sont difficiles à cause de l'absence d'une racine pivot.

A la 2^e semaine après le semis, les racines de la condition 3 atteignent 60 cm chez les variétés IC-27, HKP, Souna 3 et 40 cm dans les conditions 1 et 2 où le sol est assez humide. Les racines des variétés IC-30, IBV et du Mil sauvage sont également plus longues en condition 3 que dans les conditions 1 et 2.

L'effet "favorable" du sol demi sec et aussi de la présence d'un sol humide en profondeur sur l'allongement racinaire (condition 3) se maintient jusqu'au 29^e jour (fig 2). A ce moment les racines ont atteint le fond des tubes (97cm), sauf dans le cas du Mil sauvage

2.4. Méthode d'étude de la croissance racinaire

2.4.1. Méthode non destructive

Le tube est virtuellement divisé en 5 horizons de 20 cm. On détermine la densité racinaire pour chacun de ces horizons. Une note subjective de 1 à 5 est donnée, 1 pour la plus faible densité à la date de mesure et 5 pour la plus forte. Il existe une bonne corrélation entre la densité observée et la proportion de racines à l'intérieur du volume de sol correspondant ; la répartition racinaire par horizon est déterminée en pourcentage de la densité totale. On compte le nombre de racines se terminant dans chaque horizon et on mesure la longueur des racines les plus longues.

2.4.2. Méthode destructive

Le dépotage se fait par 2 méthodes :
 1ère méthode
 A la fin du test, on vide les tubes avec précaution à l'aide d'un jet d'eau envoyé au fond du tube par un tuyau. La racine intacte est débarrassée du sol par lavage.
 2ème méthode
 Taper sur le tube extérieurement après renversement de celui-ci et on démoule le sol entier, puis on découpe en horizons de 20 cm d'épaisseur si nécessaire.

Mesures des paramètres racinaires :

- Mesure du volume racinaire (en cm³)
 - On plonge la racine dans une éprouvette graduée remplie à moitié et on mesure le déplacement ou la variation de volume qui correspond au volume de la racine.
 - On compte le nombre de racines dans l'horizon 0-20 cm
 - On mesure la longueur totale de la racine entière.
 - On détermine la longueur des radicelles et leur diamètre en utilisant la technique appelée "ROOT BOX" qui utilise l'appareil permettant de mesurer la surface foliaire, "LEAF AREA" de Delta T. Nous avons adapté cette technique à la mesure de la longueur et du diamètre des racines "chevelues" du Mil. Mais la technique est difficilement applicable à un grand nombre d'échantillons.

RESULTATS ET DISCUSSION

1. La vitesse d'enracinement

1. 1. Cinétique de l'enracinement en fonction des conditions hydriques du milieu.

L'étude de la vitesse d'enracinement en cm/j selon la variété et le type d'alimentation hydrique du milieu (fig 1a, 1b, 1c) indique :

- a) Une vitesse d'enracinement assez rapide chez le Mil, plus de 4 cm/j, obtenue dans nos essais.
- b) Une diminution de la vitesse d'enracinement des six variétés sur un sol très humide. C'est ce que nous observons sur la fig. 1a et 1b dans les conditions 1 et 2 où le sol est à une humidité proche de la capacité du champ. Cette diminution

est observée jusqu'à la 3^e semaine. Au-delà nous observons un palier puis une augmentation de la vitesse.

Figure 1a - Vitesse d'enracinement en condition 1

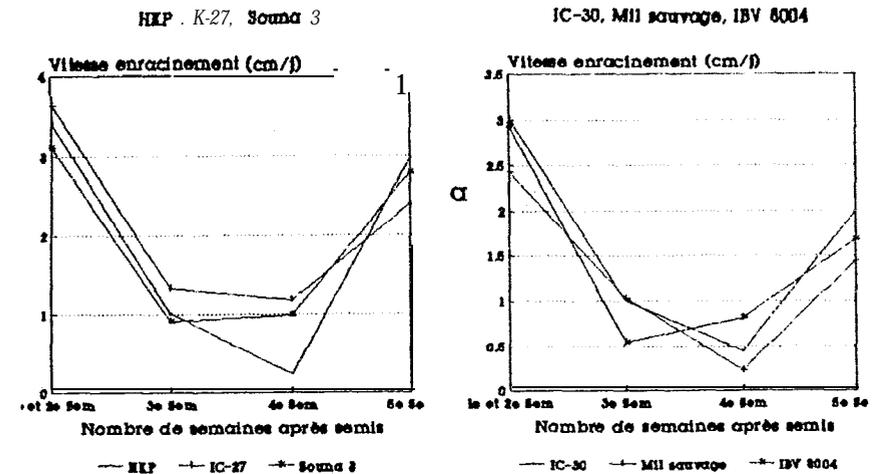
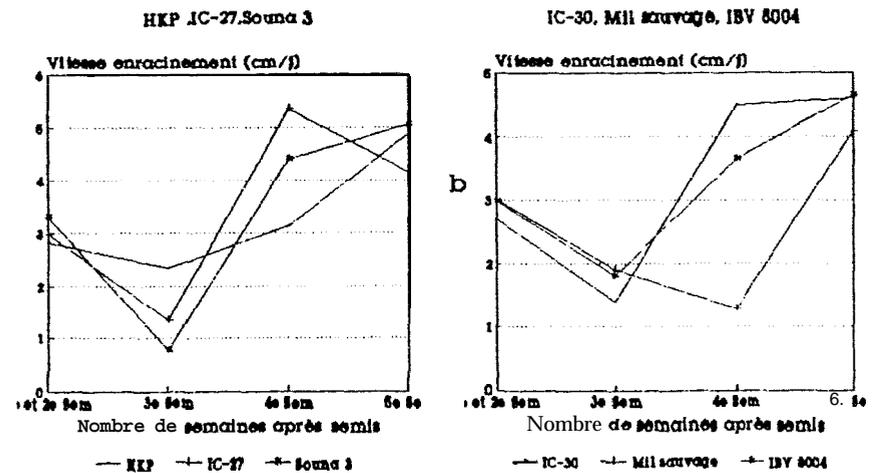


Figure 1b - Vitesse d'enracinement en condition 2



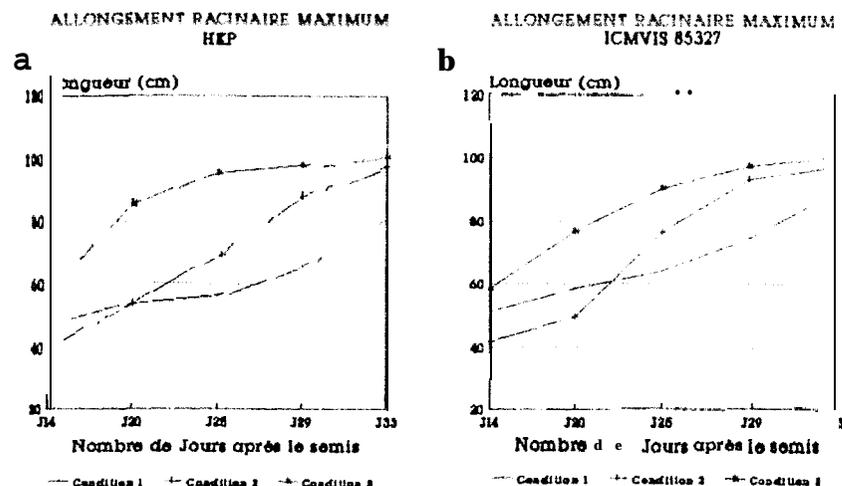


Fig. 2

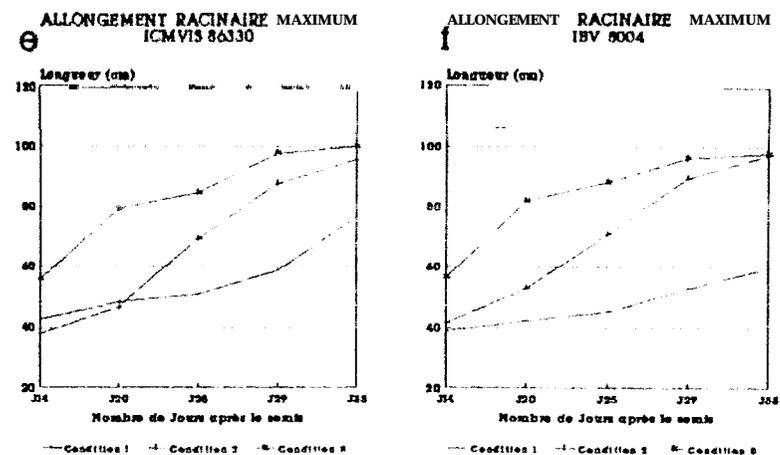
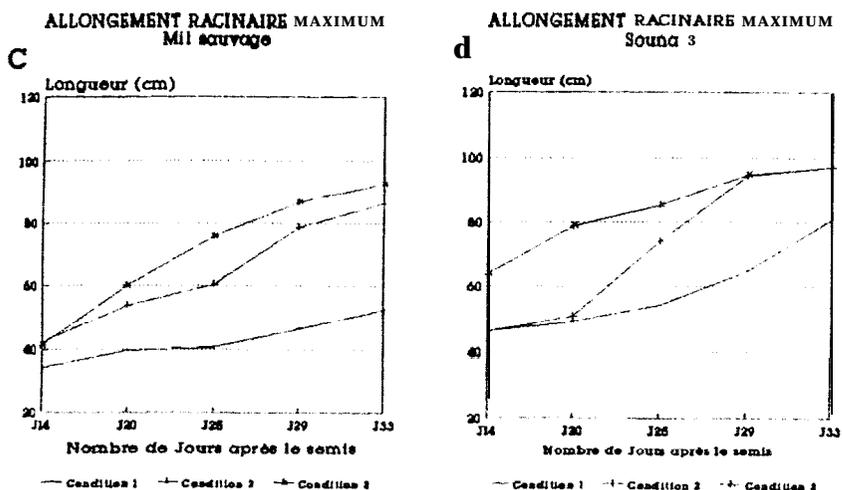


Fig. 2



Cet effet traduit la recherche du front d'humidité par les jeunes racines. Les surplus d'allongement en condition 2 et 3 par rapport à la condition 1 (humide) donnés au tableau (1) montrent :

- que le Mil sauvage a le plus grand allongement en condition 3 (+78%) .
- que la variété IC27 présente la plus faible augmentation d'allongement 10% (3/1).

3. Répartition racinaire par horizon

La répartition racinaire de chaque variété dans les différentes conditions hydriques du sol (fig 3) donne les indications suivantes :

- Une repartition homogène sans influence de la condition hydrique édaphique (humide ou demi-sec). C'est le cas des variétés IC-27 et IBV 8004, fig 3f et 3b respectivement. Ceci traduirait une adaptation des 2 cultivars à la fois aux sols humides et demi-secs

Une répartition homogène en condition humide, avec une croissance racinaire en profondeur plus forte en condition 3 et 2 que dans la condition 1. C'est le cas de HKP et Souna 3, fig 3e et 3a.

Tableau 1. Caractéristiques racinaires enfin de test à J 41

Variétés	Conditions	V(cm3)	Var.%C1	Lcm	Var.%C1	N. Rac(20)
HKP	C1	121		79		77
	c 2	57	-53	97	23	45
	c 3	57	-53	97	23	38
IC 27	C1	151		88		66
	c 2	69	-54	97	10	47
	c 3	63	-58	97	10	45
IC 30	C1	102		76		48
	C2	60	-41	95	25	45
	c 3	60	-41	97	28	42
Mil Sv	C1	77		51		66
	c 2	50	-35	86	68	49
	c 3	34	-55	91	78	35
Souna 3	C1	150		79		87
	c 2	69	-54	96	22	48
	c 3	55	-63	97	23	41
IBV8004	C1	108		58		47
	c 2	67	-38	95	64	45
	c 3	57	-47	98	69	38

V(cm3) = volume racinaire est cm3; Var.%C1=variation en % de C1 pour V ou L; L(cm) = longueur en cm; N.Rac(20) = nombre de racines dans l'horizon 0-20 cm.

- Une répartition hétérogène tout le long du tube avec une prédominance de la répartition superficielle dans la couche 0 à 40 cm en condition 1; mais en condition de contrainte hydrique édaphique (condition 2 et 3), la répartition devient plus homogène et se fait beaucoup plus en profondeur.

C'est le cas du cultivar IC-30 et du Mil sauvage, fig 3c et 3d.

Ces deux cultivars développeraient 2 systèmes d'enracinement en fonction des conditions hydriques du sol. Un enracinement hétérogène en surface, abondant entre 0 et 40 cm, dans un sol humide et un enracinement en profondeur et homogène dans un sol demi-sec.

4. Les caractéristiques racinaires en fin de test

4.1. Le volume racinaire (en cm3)

Les volumes racinaires obtenus par variété et par condition figurent au tableau (1) :

- On observe un volume racinaire plus important dans la condition 1 (arrosage quotidien) pour tous les cultivars. Les variétés K-27 et Souna 3 présentant les plus grands volumes.

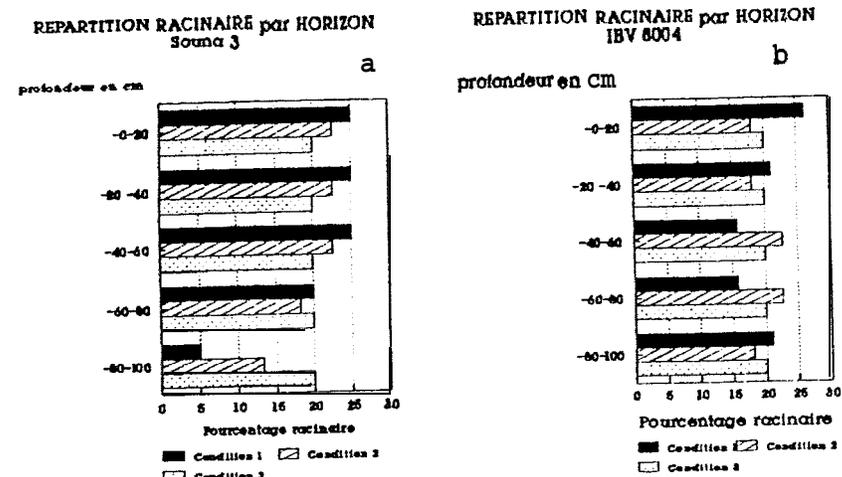
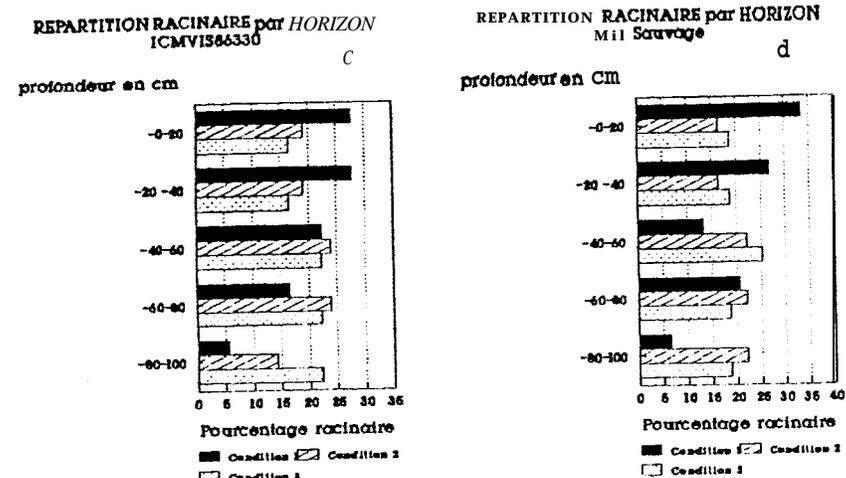


Fig. 3



CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

1. Résultats principaux

1.1. La vitesse d'enracinement est stimulée chez le Mil en milieu demi-sec.

Cette observation a été vérifiée pour tous les cultivars. Les différences intervariétales de vitesse d'enracinement sont obtenues en milieu humide, ce qui traduit des spécificités variétales d'adaptation à ce type de milieu. C'est le cas de *IC27*, *HKP* qui ont des vitesses d'enracinement rapides à la fois sur sol humide et demi-sec. Ceci signifierait que ces cultivars s'adaptent à des aires de culture de moyennes et faibles pluviométries ou à des zones humides et semi-arides.

1.2. Les modalités de la répartition racinaire observées permettent de classer les cultivars en 2 groupes :

Ces cultivars 3 répartition racinaire hétérogène. Ces cultivars favorisent un enracinement de surface en condition humide et un enracinement de profondeur en condition de sol demi-sec. Cas de *IC-30* et du Mil sauvage.

Les cultivars à répartition racinaire homogène qui développent des racines sur toute la profondeur du sol (humide ou demi-sec).

Cas de *IC-27* et *IBV 8004* ; ou avec une croissance racinaire en profondeur plus forte en condition 3 et 2 que dans la condition 1. Cas de *HKP* et *Souna 3*.

1.3. Le nombre de racines formées dans l'horizon 0-20 cm par un plant de Mil avec ses talles (40 jours après le semis) peut atteindre 80 en condition hydrique édaphique normale et la profondeur d'enracinement 80 cm au moins.

Ceci semble suffisant pour assurer la stabilité d'enracinement de la tige principale et des talles d'un poquet. La verse observée en culture pluviale chez beaucoup de variétés de Mil ne serait pas due à une verse de défaut d'enracinement comme cela se produit chez une variété de Sorgho (Brétaudeau et al., 1990). Mais ce serait plutôt une verse de tiges trop longues (parfois 3m) qui plieraient sous l'effet de leur propre poids et/ou du vent.

Il est aussi possible que suite à une compétition, trois à quatre tiges principales et leurs talles (15 à 20 tiges par trou) dans un poquet en culture pluviale ne développent pas suffisamment de racines pouvant supporter toutes les tiges.

2. Perspectives et recherches

2.1. Certains résultats sont en cours d'analyse:

l'étude des effets de la température et de l'humidité sur la germination des six cultivars.

- l'étude du rapport de la matière sèche aérienne sur la matière sèche racinaire.
- les études morphologique et physiologique des parties aériennes dans les trois conditions hydriques édaphiques.

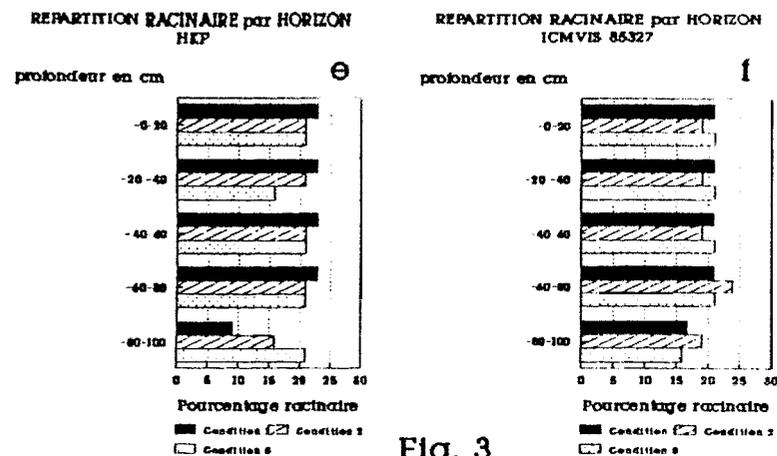


Fig. 3

- Les cultivars qui présentent les plus fortes diminutions de volume en condition 2 et 3 par rapport à la condition 1 sont *Souna 3* en condition 3 (-63%), *IC-27* en condition 3 (-58%) et *HKP* en condition 2 et 3 (-53%).

4.2. Le nombre de racines dans l'horizon 0-20 cm

Le nombre de racines compté dans l'horizon 0-20 cm à partir d'un plant de Mil est très élevé comme chez la plupart des céréales.

Les différences observées sont hautement significatives pour les conditions testées et significatives pour l'effet variétal avec un coefficient de variation de 29%.

En condition 1 (arrosage quotidien) il s'est formé un plus grand nombre de racines dans les premiers 20 cm (87 racines chez *Souna 3*, 77 chez *HKP*). Il y a eu moins de racines en condition 2 et 3 (tableau 1).

Chez les cultivars *IC-30* et *IBV 8004*, le nombre de racines formées est peu influencé par le type de contrainte hydrique édaphique.

2.2.

Il serait intéressant de mieux caractériser les vitesses d'enracinement dès la germination qui a lieu 24h après le semis dans nos conditions expérimentales en rhizotron et en plein air après paillage. Selon Hall et al. (1979), la vitesse d'installation du système racinaire est importante en zone semi-aride en phase de germination. C'est à ce stade que les variétés précoces accentueraient leurs caractéristiques d'enracinement, c'est le cas de l'Arachide selon les travaux récents d'Annerose (1990).

Malgré l'absence de pivot racinaire chez le Mil et les Céréales en général, il serait intéressant d'approfondir cet aspect en conditions d'humidité édaphique différentes.

2.3.

Il serait important de suivre la transpiration globale afin de déterminer les variations d'efficacité de l'absorption des racines en fonction de leurs diamètres dans des conditions d'humidité édaphique variées.

2.4.

Le dispositif expérimental permet d'étudier également l'influence des conditions du milieu sur l'enracinement (pH, teneur en aluminium du sol, teneur en calcium dans l'eau qui facilite la croissance), selon Reyniers (Comm. Ateliers CERAAS, 1990).

Dans notre cas, nous avons mesuré le pH en début et en fin d'expérience, celui-ci n'a subi aucune modification significative.

Z.S.

Des expériences complémentaires permettront de connaître le comportement racinaire en conditions hydriques édaphiques différentes dans la phase post-florale.

2.6.

En fonction des modalités de répartition racinaire observées, il semblerait que les conditions de culture (taux d'humidité du sol) déterminent le mode d'enracinement de certains cultivars. Il serait intéressant de relier cette caractéristique aux réponses variables de sensibilité à la sécheresse observées chez IC-30 au cours des essais en plein champ au Niger.

Remerciements : Ce travail a été réalisé au CERAAS (Centre d'Etudes Régional pour l'Amélioration de l'Adaptation à la Sécheresse), situé au CNRA/ISRA (Centre National de la Recherche Agronomique/Institut Sénégalais de la Recherche Agronomique) à Bambey au Sénégal et s'est déroulé d'août à octobre 1990. Nous remercions tout le personnel de ces deux Centres pour leur accueil et pour leur aimable collaboration.

BIBLIOGRAPHIE

- ANNEROSE D.J.M., 1990 - Recherches sur les mécanismes physiologiques d'adaptation à la sécheresse. Application au cas de l'Arachide (Arachis hypogea L.) cultivée au Sénégal. Thèse de Doctorat en Sciences Nat. Univ. Paris VII, 281p.
- BRETAUDEAU A., ANNEROSE D.J.M. et KHALFAOUI J.-L., 1990 - Programme d'Amélioration du Sorgho. CERAAS Bambey, Sénégal.
- CERAAS (Centre d'Etude Régional pour l'Amélioration de l'Adaptation à la Sécheresse), 1990 - Technique d'Utilisation des rhizotrons. Doc. Ateliers CERAAS, 5-9 nov. 1990.
- DIAS DA SILVA Jr C., 1990 Etude des variations de quelques paramètres physiologiques de deux variétés de Mil et de Sorgho lors d'une contrainte hydrique contrôlée. D.E.A. Univ. Paris VII.
- DO F., DAOUDA O.S. et MARINI P., 1989 - Etude agrophysiologique des mécanismes de résistance du Mil à la sécheresse (cas d'un stress hydrique terminal). *Rev. Rés. Amélior. Prod. Agr. Milieu Aride*, 1, 57-74.
- HALL A. E., FORSTER R.W. et WAINES J.G., 1979 - Crop adaptation to semi arid environments. In *Agriculture in semi arid environments* : 148-179p, Hall A.E., Cannell G.H. et Lawton A.W. (Eds) Berlin, Heidelberg, New York. Ecological Studies, 34, 340p.
- REYNIERS, F.N., 1990 - Agrophysiologie et sélection pour la tolérance à la sécheresse. Programme climat, plante, production IRAT/CIRAD ; Comm. Ateliers CERAAS 5-9 nov. 1990 ; 5p.

CENTRE D'ETUDE REGIONAL
POUR L'AMELIORATION DE L'ADAPTATION
A LA SECHERESSE

CERAAS

I.S.R.A. -C.N.R.A.

BP 53 Bambey Sénégal

Tél.: 73-60-50

**REUNION SUR LE RENFORCEMENT
DU
CENTRE D'ETUDE REGIONAL POUR
L'AMELIORATION DE L'ADAPTATION
A LA SECHERESSE
(C.E.R.A.A.S.)
--(Q-J---
26 Juin 1991 - Yaoundé**

Juillet 1991

La réunion comportait les institutions et les personnes suivantes :

- ISRA :**
- Limamoulaye CISSE :
 - . Représentant le Directeur Général
 - . Directeur du Département des Productions Végétales
 - . Chef du CNRA de Bambey
 - Daniel **ANNEROSE** et Jean-Luc KHALFAOUI :
 - . Responsables scientifiques du CERAAS
 - . animateurs du Projet Fédérateur n° 5/ Parcelle du Réseau **R3S**

- INSAH :**
- Laomaibao NETOYO :
 - . Coordonnateur du Réseau **R3S**

- CORAF :**
- François-Noël REYNIERS :
 - . Correspondant du Réseau **R3S**

Commission des Communautés Européennes (CCE):

- Alain DARTHENUCQ :
 - . Représentant de la DG 12.

1 - OBJECTIFS DE LA REUNION

La première phase de financement du CERAAS arrive à son terme en 1992 et une deuxième phase est à présent envisagée. La réunion de l'assemblée générale de la CORAF, organisée du 24 au 29 Juin 1991 à **YAOUNDE** (Cameroun), a été l'occasion pour les différents partenaires impliqués **dans cette** deuxième phase d'examiner les modalités de poursuite et de renforcement des activités du CERAAS afin de lui permettre de répondre plus efficacement à la demande régionale dans le domaine de l'amélioration variétale de l'adaptation à la sécheresse. L'avant projet présenté par **l'ISRA**, le CILSS et le **R3S/CORAF** a servi de base aux discussions que ces partenaires ont eu avec la CCE.

II - EXAMEN DE L'AVANT PROJET

1 - Résumé du projet

Le CERAAS trouve son origine en 1983 avec la création par **l'ISRA** d'un nouveau programme sur le thème de l'amélioration de l'adaptation à la sécheresse des plantes cultivées. L'objectif de ce programme est d'améliorer la productivité en zones sèches **grâce** à la création de variétés mieux adaptées aux conditions pluviométriques, Il s'est développé autour d'une approche pluridisciplinaire associant la physiologie et la sélection dont l'originalité et les résultats ont valu à **l'ISRA** la reconnaissance de ses compétences par les différentes structures nationales de recherche africaines et européennes. C'est ainsi que les instituts de recherches nationaux africains associés au sein du Réseau **R3S** (Réseau de Recherche sur la Résistance à la Sécheresse) de la CORAF (Conférence des Responsables de Recherche Agronomique Africains) et leur pays respectif appartenant au CILSS (Comité Permanent Inter-Etats de lutte contre la Sécheresse dans le Sahel) ont confié un mandat à ce programme national de **l'ISRA** pour développer ses compétences et les mettre à la disposition des instituts de la région, afin **d'"intensifier** et de coordonner les efforts de recherche" dans ce domaine. Les moyens nécessaires pour donner à ce laboratoire national une vocation régionale ont fait l'objet d'un projet présenté à la DG **XII/CCE** qui a accepté de financer en 1989 avec **l'ISRA**, la mise en place et les quatre premières années de fonctionnement du CERAAS.

Les deux premières années d'activités du CERAAS confirment l'intérêt de cette démarche au niveau régional puisque le Centre en répondant à 40 % des demandes de mission de recherche (17 missions sur 43) formulées par des chercheurs de 15 pays différents a réalisé 85 % des missions initialement prévues sur la durée totale du projet (4 ans). Ce résultat, associé aux besoins maintenant nécessaires pour poursuivre les études avec les chercheurs dont la collaboration est la plus avancée avec le Centre, montre que la demande et les besoins régionaux sont largement supérieurs aux moyens actuels du CERAAS.

Le projet propose un renforcement du CERAAS afin d'adapter sa capacité d'accueil scientifique et technique aux besoins régionaux en matière d'infrastructure, de recherche, de formation et d'information dans le domaine de la physiologie et de la sélection de l'adaptation à la sécheresse des espèces cultivées. Le développement et l'élargissement des collaborations établies avec les équipes des organismes de recherches nationaux, régionaux ou internationaux africains est prise en compte à travers le renforcement du dispositif en place. Les liaisons avec les organismes du Nord seront également développées.

2 - Actions à développer

Les actions à développer ont été discutées. Elles sont au nombre de deux :

La recherche:

- renforcer les capacités techniques permettant aux chercheurs de mener des études physiologiques et des programmes de sélection à l'aide de techniques trop onéreuses pour être diffusées et rentabilisées dans chacun des pays
- susciter les rencontres entre les chercheurs des différents pays africains afin de briser leur isolement et permettre l'élaboration et la conduite d'actions de recherches régionales coordonnées ;
- permettre un transfert vers les pays du Sud des résultats obtenus par les unités de recherche du Nord, en particulier européennes, à travers des échanges de chercheurs, de techniques et de connaissances.

La Formation et l'Information:

- assurer aux chercheurs des institutions nationales **africaines** et aux étudiants une formation de haut niveau grâce à des séjours d'étude au CERAAS et dans d'autres institutions, notamment du Nord, et grâce à l'organisation d'ateliers de formation ;
- animer une réflexion sur les résultats obtenus dans chacun des domaines de la recherche considérée grâce à la tenue de symposiums et la publication **d'ouvrages** de synthèse ;
- favoriser la diffusion de l'information sous forme de documentations scientifiques et techniques publiées par des tiers ou par le CERAAS, en liaison avec le comité de coordination documentaire du Réseau **R3S**.

3 - Cadre Institutionnel

La réunion a permis d'aborder le cadre institutionnel de ce renforcement.

Le CERAAS est un laboratoire de l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA) spécialisé dans le domaine de l'amélioration de l'adaptation à la sécheresse des **espèces** cultivées. **L'ISRA** a été mandaté par les institutions nationales du Réseau International de Recherches sur la Résistance à la sécheresse (**R3S**), pour assurer au profit de l'ensemble des

institutions nationales l'animation scientifique et la gestion du CERAAS nécessaires à la mise en place **d'une** recherche à dimension régionale.

Ce mandat régional s'exécutera dans le cadre de contrats passés avec. le CILSS et la CORAF conformément à leur mandat de coordination inter-états et inter-institutions. L'action régionale du CERAAS s'effectuera en s'appuyant sur l'organe de coordination scientifique inter-institutions que ces deux organisations ont mis en place en matière de lutte contre la sécheresse, à savoir le Réseau **R3S**. Dans le cadre de cette organisation, le CERAAS constituera un laboratoire national à vocation régionale appelé "**base-centre**", selon la Charte de la CORAF signée par les responsables de la recherche agronomique de 16 pays africains. Conformément à cette charte, qui définit les objectifs, l'organisation et le fonctionnement des réseaux et de leurs bases-centres, le Réseau **R3S** veillera au bon fonctionnement scientifique et administratif du CERAAS grâce à un suivi effectué par le Comité Directeur du Réseau, auquel seront associés des représentants des bailleurs de fonds.

4 - Participations permanentes d'experts africains

Les participants à la réunion ont examiné les possibilités et les conditions de renforcement des moyens humains nécessaires au projet et notamment de l'équipe de recherche de base.

Elle sera constituée de chercheurs de **l'ISRA** et de chercheurs d'autres institutions africaines désignés par le Comité Directeur et mis à la disposition du CERAAS pour une durée limitée (**un** an renouvelable). Ils auront la charge d'assurer le développement des travaux de recherches selon le plan d'action défini par le CERAAS.

Afin de faciliter la gestion de ces experts africains pendant leurs périodes d'activité scientifique au CERAAS, ils seront détachés à **l'INSAH** par leur institution nationale puis mis à la disposition du CERAAS. Leur gestion financière sera assurée par **l'INSAH**.

5 - Aspects financiers du pro-jet

Les participants ont procédé à un premier examen des besoins financiers du projet en fonction des actions à entreprendre et en conformité avec les moyens financiers **susceptibles** d'être mis en oeuvre par la CCE. Après concertation au niveau du Réseau **R3S** et avec la CCE (DG 8 et DG 12), un budget détaillé sera arrêté.

La discussion a également portée sur les modalités de gestion des moyens attribués au **CERAAS** dont le cadre général est précisé dans la charte des Réseaux et des Bases-Centres.

III. ELABORATION ET SOUMISSION DE REQUÊTES A LA CCE.

Cette réunion a permis de définir les modalités d'élaboration et de soumission de ce projet de renforcement à la CCE.

1 - Présentation en 2 projets

Il a été retenu de diviser le projet global de renforcement du CERAAS en 2 projets mais complémentaire et conditionnellement liés. Chaque projet couvrira l'un des deux champs d'action: la formation sera soumise à la DG 8 et la recherche à la DG 12. Les deux actions **nécessiteront** une infrastructure de base commune qui sera affectée au projet soumis à la DG 8.

1.2 - Projet adressé à la DG 8

Le rôle de formation de chercheurs accueillis pour des séjours d'étude de courte durée (3 à 4 mois) sera élargi à l'accueil des futurs ou de jeunes chercheurs dans le cadre d'une formation diplômante dans le domaine de la physiologie et de la génétique. Cette formation sera assurée en liaison avec les instituts nationaux, les structures de formation, les universités africaines et européennes et les laboratoires européens. La deuxième action de formation pris en compte dans ce projet sera constituée par la tenue d'ateliers et la diffusion de **l'information** scientifique.

La conduite de cette action de formation nécessitera la mise en place d'une structure de base qui permettra également la réalisation des actions de recherches régionale prévues dans le deuxième projet. Cette mise en place comprendra la construction de laboratoires équipés et de bureaux, l'aménagement de terrain d'essais et de serres, l'acquisition de moyens de transport, de calcul, de gestion et de communication et enfin, l'affectation de moyens humains. Les coûts de fonctionnement de la structure de base seront aussi pris en compte dans ce projet.

1.3 - Projet adressé à la DG 12

Le projet adressé à la DG 12 comprendra l'ensemble des actions de recherches conduit au **CERAAS** en collaboration avec: les institutions nationales concernées.

De plus, l'expérience acquise au CERAAS a montré que les travaux qui y sont menés ne trouveront leur pleine utilisation que dans la mesure où des moyens seront mis à la disposition ces différentes équipes intervenant au CERAAS pour qu'elles puissent conduire les travaux à réaliser dans leurs conditions locales de sécheresse. Ces moyens seront pris en compte dans ce deuxième projet qui sera élaboré en concertation avec les équipes des institutions participant au Réseau **R3S**.

Ce projet assurera le développement des collaborations Sud-Sud et également Sud-Nord en particulier avec les laboratoires européens.

2 - Démarches

Les institutions partenaires se chargeront de sensibiliser les ministères concernés de leur pays respectif afin d'inscrire la recherche "**secteurs**" prioritaires de leur coopération avec la CGE. Ceci permettra la présentation à la CCE entre autres de ce projet.

Les discussions entre le CERAAS et la Délégation des Communautés Européennes de Dakar devront être entamées afin de développer et finaliser le projet qui sera présenté à la DG 8.

Lors de la prochaine assemblée du Réseau **R3S** qui se tiendra à Dakar en septembre 1992, un avant-projet destiné à la DG 12 sera présenté et discuté en vue d'une soumission rapide au premier appel **d'offre** du Programme STD 3.

Une concertation avec les DG 8 et DG 12 permettra, en cas d'acceptation des deux projets, de faire coïncider la date de leur mise en place.

C:ENTRE D'ETUDE REGIONAL
POUR L'AMELIORATION DE L'ADAPTATION
A LA SECHERESSE

CERAAS

I.S.R.A. -C.N.R.A.

BP 53 Bambey Sénégal

Tél: 73-60-50

ETUDE SUR LA RESISTANCE PROTOPLASMIQUE
DU MIL (Pennisitum Americanum L.)
A LA CHALEUR ET A LA DESSICCATION.

Sigisbert DOSSOU-YOVO
D.R.A./Bénin

Etude réalisée au CERAAS
Rapport préliminaire
Mai - Juin 1991.

I) GENERALITES

Dans le but d'avoir une bonne approche méthodologique pour l'étude des mécanismes d'adaptation du sorgho et du mil aux différentes formes de sécheresse en cours dans le Nord du Bénin, le Centre d'Etude Régional pour l'Amélioration l'Adaptation à la Sécheresse (CERAAS) nous a offert l'opportunité de venir effectuer un stage dans son centre de Bambey, pour faciliter par la suite nos recherches sur le terrain.

Notre séjour actuel est une première mission de prise de contact, d'initiation et de familiarisation avec les différentes techniques d'étude utilisées au CER AAS. Une seconde mission, qui sera effectuée à partir de la mi-septembre, doit nous permettre de réaliser des travaux en rhizotrons et en conditions naturelles.

Ces recherches seront effectuées sur le sorgho, conjointement avec Monsieur Kodjo LABARE de la Direction de la Recherche Agronomique du Togo.

II) PLACE DU SORGHO ET DU MIL AU BENIN

Le sorgho et le mil occupent une place importante dans la production agricole béninoise et se placent respectivement en 2ème et 3ème position après le maïs. Leur zone de prédilection se situe surtout dans 'le Nord du Bénin, où ils constituent les céréales majeures et l'alimentation de base de la population locale. Ces deux céréales sont cultivées souvent en association avec le maïs, le niébé et l'arachide ou le vouandzou [Nord Ouest). Malgré la concurrence du maïs, devenu culture de rente dans la région, ces deux céréales ont tendance à se maintenir et, nous assistons même ces dernières années à une augmentation des superficies emblavées.

L'essentiel des recherches sur le sorgho et le mil, se fait à la station de recherches sur les cultures vivrières d'Ina (fig. 1). Cette station est située à 9°58' Nord de latitude et 2°44' Est de longitude, à une altitude de 358 m et à 70 km de Parakou (capitale départementale) dans Le Sud-Bougou, sur l'axe routier inter-état Parakou-Niamey, dans la zone de savane Nord-guinéenne.

Les sols sont exondés de type ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions formés sur matériaux kaoliniques issus de granit calco-alcalin. Ce sont des sols fragiles et sensibles à l'érosion, mais rarement indurés et qui conviennent bien aux cultures annuelles.

La station d'Ina s'étend sur plus de 250 ha, dont 50 ha sont annuellement cultivés. Elle dispose de différentes infrastructures, de matériels agricoles et d'un petit laboratoire, dont l'activité principale à l'heure actuelle demeure les études sur la qualité des semences. La station possède plus de 13 sites expérimentaux répartis dans les diverses zones agropédoclimatiques du Nord-Bénin.

Le régime pluviométrique du Nord-Bénin est de type monomodal avec des précipitations situées en saison normale entre 1100 et 1200 mm dans la zone de savane Nord-guinéenne, 800 à 1000 mm dans la zone de savane soudanienne et de 600 mm dans la zone soudano-sahélienne (extrême Nord). Les pluies débutent à Ina, à partir de la mi-avril et finissent durant la première décade d'octobre. Plus au Nord, la durée des pluies est plus réduite. Celles-ci commencent en mai et s'arrêtent à la mi-septembre.

III) CONTRAINTES A LA PRODUCTION DU SORGHO ET DU MIL

Les contraintes majeures sont de différents ordres:

- matériel végétal: manque de semences améliorées vulgarisées, du fait de l'**inexistence** d'un service semencier adéquat au niveau des cultures **vivrières**.
- sols: trop pauvres, du fait de la culture **répétée** du mil et du sorgho, sur les mêmes sols et du raccourcissement de la jachère.
- absence de protection phytosanitaire: les insectes (foreurs de tige), maladies (**charbon**, mildiou) et mauvaises herbes (striga hermontica), constitue un **sérieux** handicap pour la production **céréalière**.
- sécheresse: C'est avec le striga, la contrainte majeure. La baisse de la pluviométrie de ces 20 dernières **années**, due essentiellement à l'installation tardive des pluies et à leur irrégularité **caractérisée** par une réduction du nombre de jours de pluviosité (Tableau 1) et à leur arrêt brusque en pleine floraison des plantes (fig. 2), a réduit considérablement la production agricole et engendre parfois des déficits alimentaires chroniques.

IV) PROGRAMME DE SEJOUR

IV. 1) PRISE DE CONTACT

Dès notre arrivée le **15/05/91**, nous avons rencontré M. D. ANNEROSE, responsable du CERAAS, les chercheurs et le personnel technique du CERAAS. Nous avons visité le laboratoire, les serres et les différentes infrastructures du CERAAS.

Messieurs F. MARIE et C. **MATHIEU** nous ont entretenu sur les **différentes** techniques mises en oeuvre au CERAAS, les recherches et les perspectives d'avenir.

Notre **visite** de la **bibliothèque** du CERAAS, nous a permis d'être mieux informé sur les **progrès réalisés** dans le domaine de la lutte contre la **sécheresse** et nous en avons profité pour faire une revue bibliographique. Ce contact a **été** renforcé par la visite de la bibliothèque du Centre National de Recherches Agronomiques (CNRA) de Bambo. Nous avons aussi rencontré la direction du CNRA et eu des échanges **très** fructueux avec les chercheurs et les techniciens du centre, en particulier avec nos collègues des programmes mil et sorgho.

IV.2) INITIATION AUX DIFFERENTES TECHNIQUES D'ETUDE DES MECANISMES PHYSIOLOGIQUES D'ADAPTATION A LA SECHERESSE

Nous avons été initié aux différentes méthodes d'études physiologiques de la résistance à la sécheresse, mise au point au CERAAS. Nous avons tour à tour été initié aux techniques:

- d'étude de la dynamique racinaire en rhyzotrons
- de mesure de photosynthèse (analyseur de CO₂ ADC, type LCA3 portable)
- de mesure de la transpiration de la plante in situ (Pesée des pots de culture)
- de mesure de la résistance stomatique (porométrie)
- d'étude du potentiel hydrique foliaire (presse à membrane graduée en PSI)
- d'étude de la résistance protoplasmique.

Compte-tenu de la spécificité des recherches que nous devons entreprendre en septembre prochain, nous avons réalisé des études préliminaires de résistance protoplasmique du mil. afin de mieux situer par la suite, les paramètres d'étude.

IV.3) ETUDE PRELIMINAIRE DE LA RESISTANCE DU MIL A LA CHALEUR ET A LA DESSICATION

a) Matériel et méthodes

Le dispositif expérimental est un essai en randomisation totale avec deux variétés de mil (ICSV-30 et Souna 3). Les plants sont cultivés en pot de 28 cm de hauteur et 34 cm de diamètre, avec un niveau d'alimentation hydrique déterminé en fonction des pertes -journalières estimées par pesées successives des pots. La dose de fumure est de 150 kg/ha de 10-20-20 (N-P-K). Nous avons procédé au prélèvement des feuilles de rang 7 et 8 sur 6 pots environ et sur des plantes âgées de 44 jours.

Les mesures de résistance protoplasmique (choc thermique et osmotique), ont été réalisées suivant la méthode précédemment décrite par MBAYE et al (1991) et reprise par LABARE (1991) pour le mil. Pour le choc thermique, la température de travail est comprise entre 40° et 65°c avec des incréments de 2° entre 45 et 60°c. Pour ce qui concerne le choc osmotique, la durée de la flottaison est de 24 heures entre 150 g/l et 375 g/l (-10.47 bars et -52.44 bars) à température ambiante. La répartition des disques foliaires est de 10 dans chaque tube à raison de 2 répétitions par niveau de température ou de concentration en PEG.

b) Résultats

L'analyse des résultats montre que le pourcentage de dégâts membranaire (50 % de dégâts) subi par le mil soumis à un choc thermique se situe au voisinage de 49 °c (fig. 3 et tableau 2), tandis que la détermination de ces dégâts après un choc osmotique est de -35.29 bars (300 g/l de PEG) (fig. 4 et tableau 3).

b) Discussion

Ces résultats confirment ceux obtenus par LABARE (1991) sur du mil âgé de 29 jours, soumis au même choc thermique et dans les mêmes conditions. Pour ce qui concerne la tolérance au choc osmotique, le niveau de tolérance membranaire semble ici plus élevé (300 g/l au lieu de 240 g/l, soit -35.29 bars au lieu de -23.24 bars).

c) Conclusion

Nos résultats semblent indiquer que dans les conditions normales d'alimentation hydrique, le mil a un seuil de tolérance relativement plus faible, que la plupart des plantes étudiées jusqu'à présent (MBAYE et al 1991).

La méthode de dosage des électrolytes libérés après un choc thermique ou osmotique, nous a permis de mettre en évidence, dans des conditions normales d'alimentation hydrique, le niveau de tolérance à la chaleur ou à la dessiccation du mil au stade jeune.

Cette étude préliminaire, nous a aussi permis de définir la méthodologie de travail pour les recherches à effectuer sur le mil et le sorgho, au cours de la campagne 1991-92.

IV.4) PROTOCOLE D'ESSAI POUR LA CAMPAGNE 1991-92

Nous avons discuté avec Messieurs ANNEROSE, MATHIEU et KODJO, du protocole d'essai à mettre en place durant l'hivernage 1991. Ces essais se feront sur le sorgho de préférence, avec des possibilités éventuelles pour le mil. Les plantes seront cultivées en pots et en randomisation complète. L'essai comprendra 3 traitements : 1 témoin (non stressé), 1 stress durant la montaison et 1 stress à l'épiaison. Deux variétés togolaise, deux variétés béninoise et un témoin (variété sénégalaise) seront utilisés.

Le semis aura lieu en juillet, et divers paramètres de caractérisation de la résistance à la sécheresse seront étudiés.

En vue de faciliter la réalisation et la réussite de cet essai, M. LABARE viendra à Bambey au début juillet, pour débiter les manipulations sur le stress à la montaison, tandis que M. S. DOSSOIJ-YOVO se rendra à Bambey en début septembre pour le reste

IV.5) REMERCIEMENTS

La présente mission a pu s'effectuer grâce au concours du CERAAS. Nous remercions très sincèrement Messieurs **D. ANNEROSE** et **J.L. KHALFAOUI**, pour avoir accepté de nous accueillir dans leur centre et, offert la **possibilité** de mieux nous informer et de nous initier sur techniques mises en oeuvre au CERAAS.

Durant notre séjour, nous avons **été** l'objet de beaucoup d'attention de la part de M. ANNEROSE. Ses différentes explications sur le fonctionnement des mécanismes d'adaptation **à la sécheresse**, ses conseils pratiques et les **échanges** très fructueux que nous avons eu avec lui, sont autant de facteurs qui ont rendu notre séjour **agréable**.

Dès notre arrivée, nous avons été pris en charge par Messieurs **Frédéric MARIE** et **Cyrille MATHIEU**. **Grâce** à leur concours, nous avons pu nous initier en un temps relativement court, **à** la manipulation de différentes techniques et **à** la méthodologie d'approche **nécessaire** à notre travail. Qu'ils trouvent ici, l'expression de mes sincères remerciements.

Nous ne saurions terminer, sans exprimer toute notre gratitude au personnel technique, qui nous a adopté et, notamment **à M. Abdou FAYE**, dont la contribution nous a **été** fort utile.

BIBLIOGRAPHIE:

- MBAYE Alain, **Frédéric** MARIE, Daniel ANNEROSE, 1991. Etude sur la résistance protoplasmique du manioc (*manihot esculenta crants*) à la chaleur et à la dessiccation. Rapport • CERAAS, janv 1991, 8 pages.
- LABARE Kodjo, 1991. Etude sur la résistance protoplasmique du mil (*Pennisetum americanum* L.) à la chaleur et à la dessiccation. Rapport de stage au CERAAS • Barnbey du 07 au 23/05/91.

TABLEAU I : Evolution de la pluviométrie à Ina.

Année	Pluviométrie mm	Moyenne annuelle mm	Différence mm	Nombre de jours de pluie
1983	693	1200	- 507	63
1984	960	"	- 240	83
1985	1118	"	- 82	80
1986	846	"	- 354	75
1987	843	"	- 357	75
1988	1357	"	+ 157	77
1989	1280	"	+ 80	84
1990	874	"	- 326	68

TABLEAU II : Pourcentage d'intégrité relative et de dégâts membranaire après un choc thermique sur des feuilles de mil âgées de 44 jours

Traitement (°c)	CI,	CT	PIa	PIr	PD
Témoin	19.3	145.0	86.2	100.0	0.0
40.0	23.8	138.3	82.7	95.9	4.0
42.5	24.1	140.1	82.7	95.9	4.0
45.0	41.2	129.4	68.3	79.2	20.8
47.5	64.3	143.0	55.2	64.0	36.0
49.0	74.7	84.1	44.3	51.4	48.6
51.0	126.6	136.2	7.1	8.2	91.8
53.0	126.7	135.0	6.1	7.1	92.9
55.0	131.5	133.9	1.8	2.1	97.9
57.0	128.3	136.1	5.7	6.6	93.3
60.0	132.3	132.6	0.2	0.3	99.7
65.0	133.0	139.5	4.6	5.4	95.0

TABLEAU III : Pourcentage d'intégrité relative et de dégâts membranaires après un choc osmotique au PEG 600 sur des feuilles âgées de 44 jours

Traitements (g/l)	CL	CT	PIa	PIr	PD
Témoin	14.1	128.8	90.0	100.0	0.0
150	15.8	72.9	87.6	98.4	1.6
200	28.4	120.3	76.4	85.7	14.2
210	34.8	122.6	71.6	80.3	19.6
220	38.1	119.4	68.0	76.3	23.6
230	43.6	121.0	63.9	71.7	28.3
240	48.3	120.6	60.0	67.3	32.7
250	45.8	116.7	60.6	68.0	31.9
275	51.4	112.7	53.6	60.1	39.9
300	62.4	108.3	42.3	47.5	52.5
325	58.5	96.7	39.5	44.3	55.7
350	65.5	97.4	32.5	36.5	63.5
375	65.2	106.1	37.1	41.6	58.4

FIGURE 1: Carte du Bénin montrant les 2 départements septentrionaux

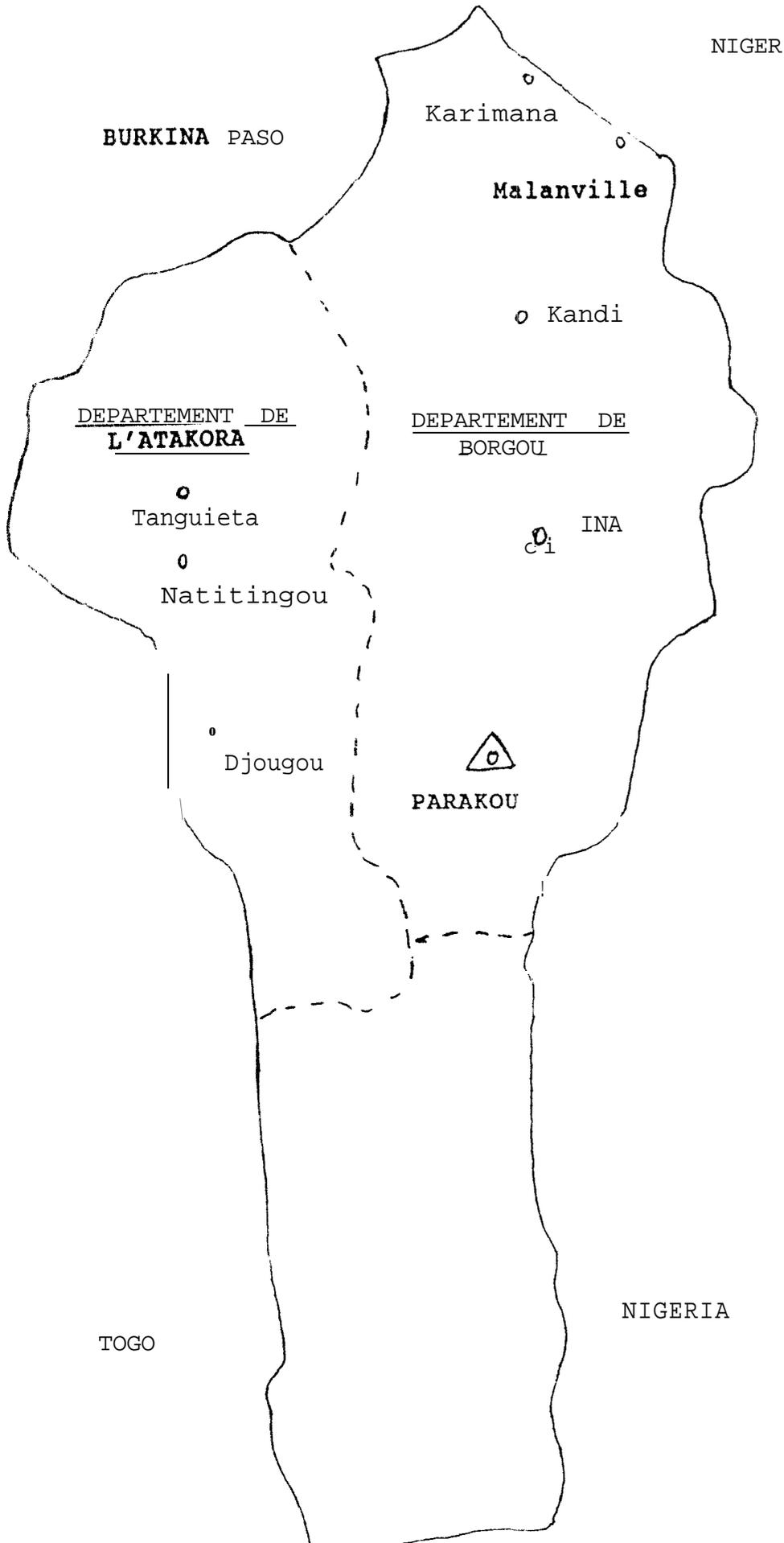


Fig. 2: Analyse comparative de la pluviométrie des années 1989-1990 par rapport à la normale à Ina (Bénin)

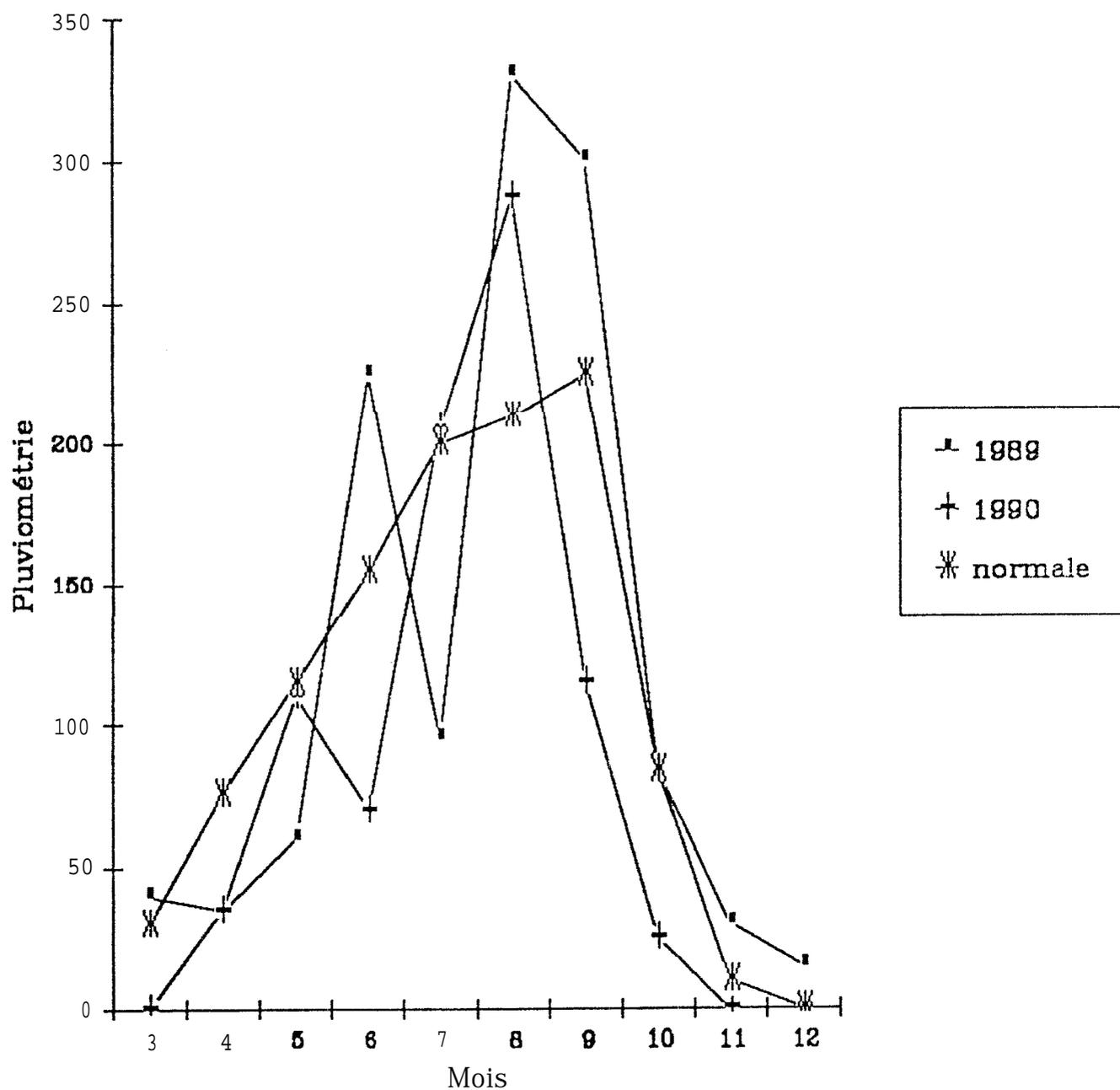


Fig. 3: Résistance protoplasmique membranaire à la chaleur du mil mesurée chez des plantes âgées de 44 jours.

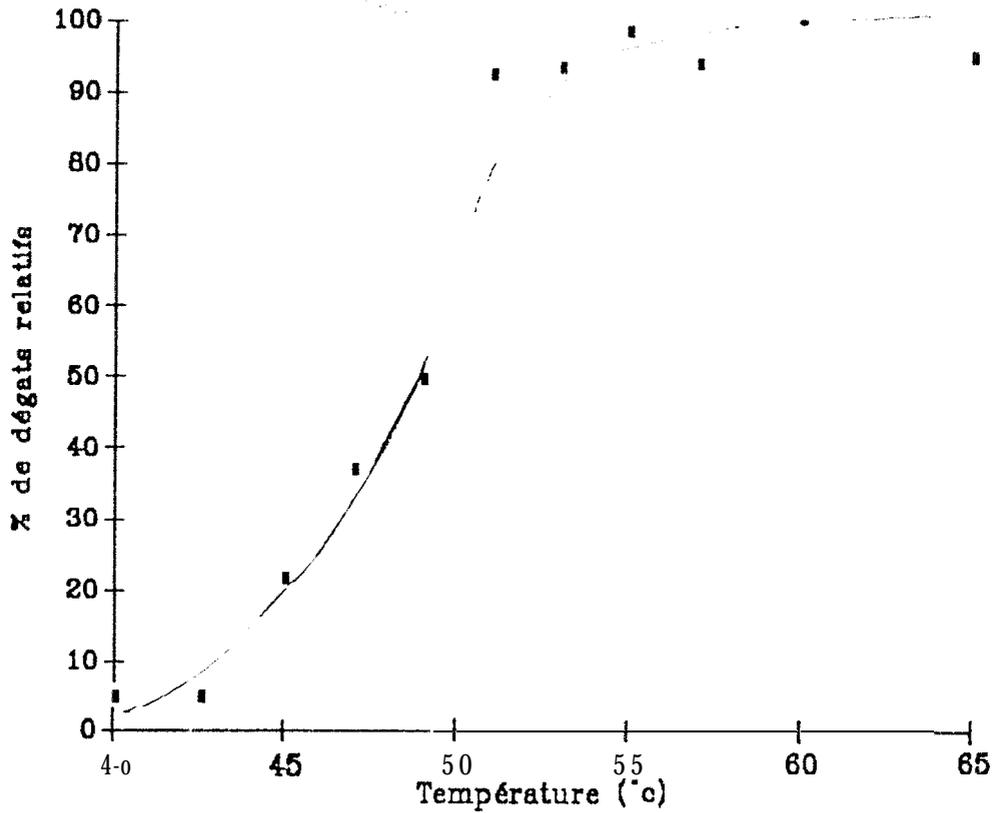
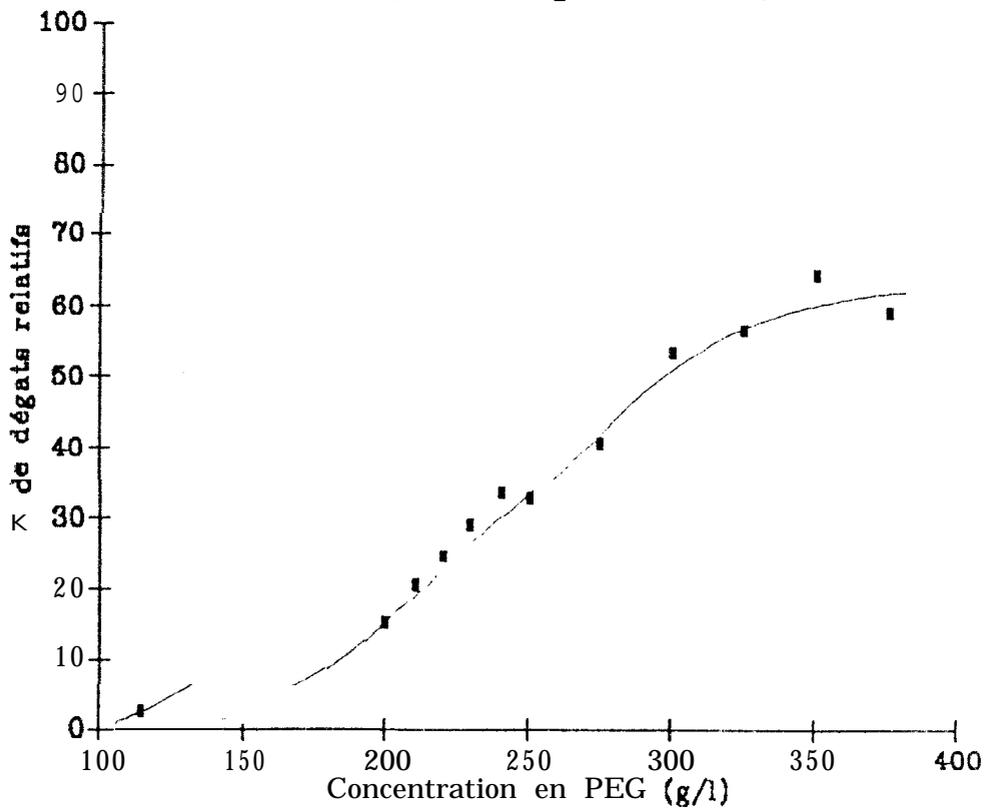


Fig. 4: Résistance protoplasmique membranaire à la dessiccation du mil chez des plantes âgées de 44 jours.



CENTRE D'ETUDE REGIONAL
POUR L'AMELIORATION DE L'ADAPTATION
A LA SECHERESSE;

CERAAS

I.S.R.A. - C.N.R.A.

BP 53 Bambey Sénégal

Tél.: 73-60-50

**ETUDE IN SITU DE LA CROISSANCE RACINAIRE
PAR INJECTION D'HERBICIDE
RESULTATS PRELIMINAIRES DE MISE AU POINT SUR LE MAIS**

J.P. GAY
ISRA / S^t Louis

Etude réalisée avec le CERAAS
Rapport d'Essai
Février 1991.

I) OBJECTIFS:

Il s'agit d'un essai préliminaire destiné à tester sur le maïs une méthode utilisée avec succès sur arachide et sur niébé pour apprécier la vitesse d'enracinement au champ.

Les principales questions posées sont:

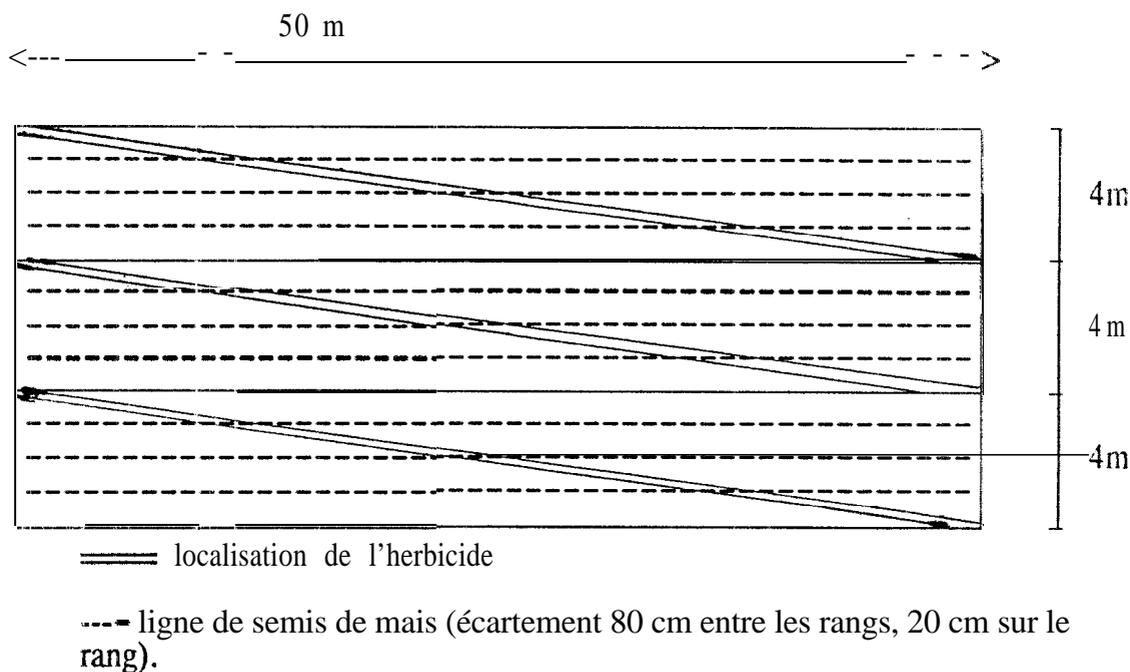
- est ce que l'herbicide utilisé sur arachide est efficace sur maïs.
- à quelle profondeur faut-il localiser l'herbicide et à quelle distance par rapport à la rangée de semis.

II) MATERIELS ET METHODES:

Le principe de l'essai consiste à localiser en profondeur, avant le semis du maïs, un herbicide non sélectif.

- Une même variété a été utilisée pour l'ensemble de l'essai.
- Produit testé: SENCORAL 35 (Matière active: Metribuzine); à la dose de: 2 g de PC/l.
- Profondeurs testées: 40 cm, 50 cm, 60 cm, 70 cm.
- Localisation par rapport au rang: le dispositif choisi (voir schéma) à permis de localiser le produit entre 0 et 40 cm par rapport au rang (écartement entre les rangs de 80 cm).
- Irrigation avant la localisation.
- Localisation réalisée le 11/12/90 à l'aide d'un tracteur de 80 CV à 4 roues motrices.
- Appareil de localisation mis au point par l'équipe machinisme de l'ISRA et par le CERAAS.
- Notation: un observateur passait tous les matins dans la parcelle et notait sur un plan les plantes présentant des symptômes.

PLAN DE L'ESSAI:



III) RESULTATS:

Le semis a été effectué le 11/12/90, les notations journalières ont été réalisées jusqu'au 62ème jour après semis (11/02/91).

A. Symptômes:

Sur des maïs au stade 4 feuilles l'herbicide provoque un dessèchement des feuilles de la base, débutant par la pointe et les bordures. En quelques jours la plante meure.

Sur un maïs au stade 8-10 feuilles l'herbicide provoque un dessèchement des feuilles les plus âgées et, la plupart du temps la mort de la plante.

* premiers symptômes observés au 28ème jour après semis pour la profondeur de localisation de 60 cm et pour des plantes situées à la verticale du sillon de localisation (stade 4 - 5 feuilles).

* Au 41ème jour après semis (stade 8 - 10 feuilles) observation des premiers symptômes sur les plantes situées à 40 cm du sillon de localisation pour les profondeurs de 60 cm.

IV) CONCLUSIONS:

- Le produit testé est efficace sur maïs Le test mis au point sur niébé et arachide peut donc être adapté au maïs.

- Pour la localisation de l'herbicide la profondeur retenue est de 50 cm.

- Le sillon de localisation doit se situer à 40 cm du rang de maïs, c'est à dire au centre de l'inter-rang.
- Ce dispositif expérimental sera reconduit au cours de la prochaine contre saison.

Determination of potential lengths of the crop growing period in semi-arid regions of Senegal

J.-L.B. Khalfaoui

Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA), CNRA, Bambey, Senegal

(Received 8 August 1990; revision accepted 19 November 1990)

ABSTRACT

Khalfaoui, J.-L.B., 1991. Determination of potential lengths of the crop growing period in semi-arid regions of Senegal. *Agric. For. Meteorol.*, 55: 251-263.

A study of rainfall data from the Senegal semi-arid region shows that one of the major components of the deterioration in rainfall in the Sahel is the very marked reduction in the length of the rainy season since 1970. This reduction means that lengths of the crop growing period have to be reviewed for each region. A study method is described which takes into account the inherent climatic, economic and technical constraints in Sahelian agriculture. It enables potential lengths of the growing period to be determined, adapted to each region. Among the various means used to study drought, this method, in particular, enables the setting of plant breeding targets. It has been applied to the case of the Senegal semi-arid region.

INTRODUCTION

Rainfall totals since the start of the 1940s show that in India, the drought is the result of significant rainfall fluctuations from year to year, with no overall drop. However, for the Sudan-Sahel region of Africa and for Australia, a tendency towards lower rainfall began during the 1950s, with an apparent stabilisation from 1972-1973 onwards. This also applies to North and South America, particularly northeastern Brazil, since 1945, and, more recently, for eastern and southern Africa (UNESCO, 1984).

In Africa, there is statistical evidence for a degree of periodicity as regards series of rainfall figures. The previous two dry periods occurred during the 1930s and 1940s, both of which lasted for a shorter time than the current drought. Nonetheless, this periodicity is of no value in forecasting, owing to random phase modifications of these chronological series (UNESCO, 1984).

The dynamic causes of drought are little known, as climatologists still have great difficulties distinguishing causes from correlated effects which may be synergistic. Some partial explanations have been put forward, such as in-

creased soil reflectivity and variations in the surface temperature of the oceans, the latter being a result of modifications in ocean current dynamics.

It is now established that human activity, through overgrazing, deforestation and poor farming practices, plays a decisive role in the drought and desertification process. It seems that such adverse activity may lead to an irreversible deterioration in the Sahel.

Taking the case of the Senegal semi-arid region, which stretches northwards to Gambia, this article sets out (i) to show that one of the major components of the drought in the Sahel is the shortening of the rainy season, (ii) to examine the consequences of this on determining lengths of the crop growing period, with the use of a simple study model.

DISCUSSION

The rainfall data used in this study have been provided by the Agroclimatology Service of ISRA. They represent 36 years, from 1953 to 1988, and have been collected from ten different locations with very few missing values.

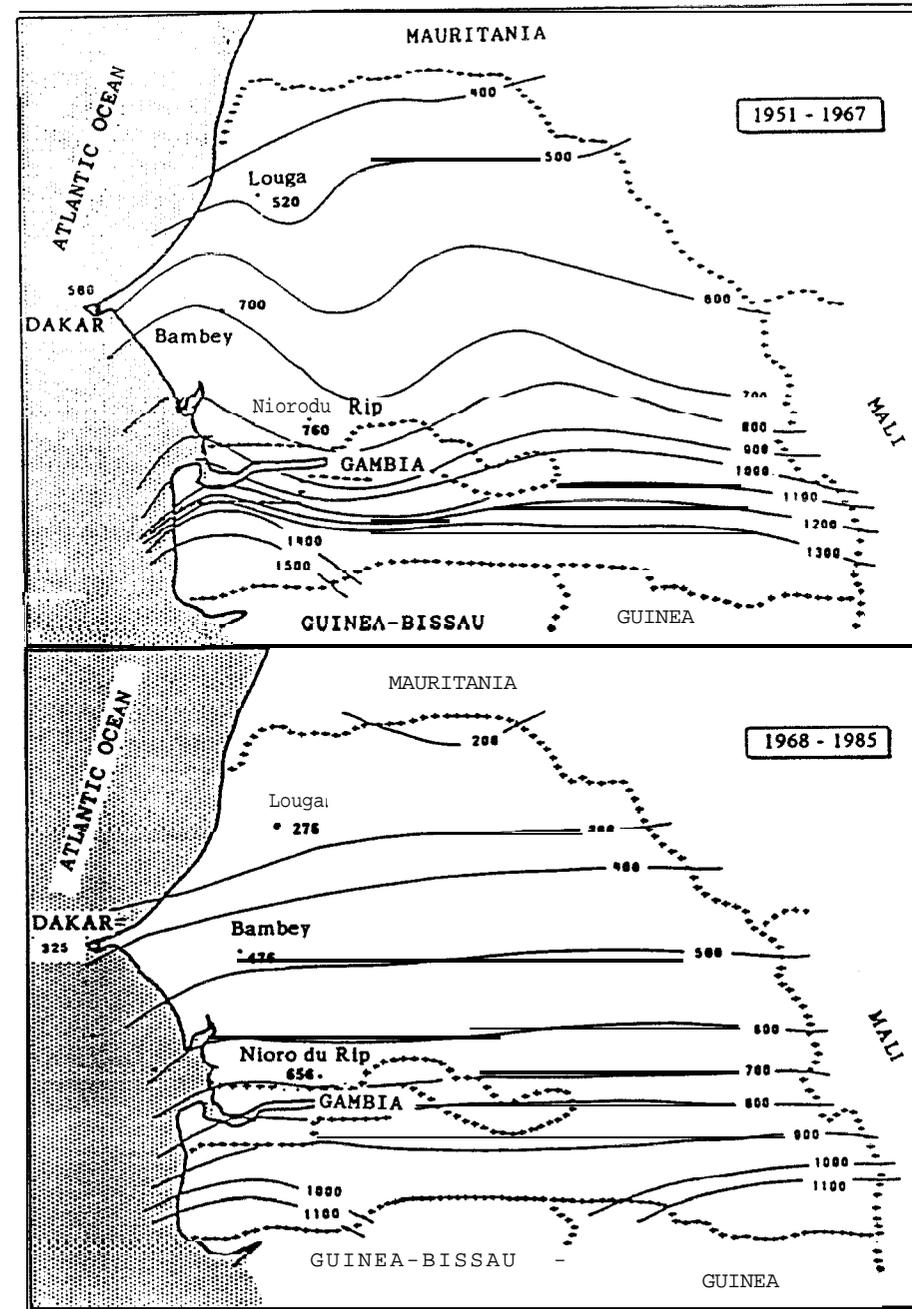
Reductions in annual rainfall

For Senegal, a comparison of the isohyet chart for the period 1951-1967 with that for the period 1968-1985 (Fig. 1) shows a north-south slide, corresponding to an overall reduction in rainfall (Diagne, 1988).

Figure 2 gives mean annual rainfall figures for ten sites representative of the dry region in Senegal, for the years 1953-1986. It is clear that the drop in rainfall began around 1970. The inter-annual mean fell from 588 mm during the 'wet period' to 410 mm during the 'dry period', i.e. a drop of 178 mm, representing a 30% reduction. A statistical comparison of these two means indicates that the difference is very highly significant ($P < 0.001$). However, a comparison of variances for the two periods shows that they are not significantly different. Inter-annual variation is therefore the same for the two periods. This indicates that the drop in rainfall does not stem from the appearance of extremely dry years, but rather from a general decrease in the level of rainfall.

Reduction in the 'useful length' of the rainy season

In the semi-arid region in Senegal, rainfall data over 36 years (1953-1988) for three locations (Louga in the north, Bambej in the central-north region and Nioro-du-Rip in the central-south region; Fig. 1) serve to illustrate the phenomenon of the reduced 'useful length' of the rainy season. The so-called 'useful length' (Khalifaoui and Annerose, 1987) is defined as the number of days between 'the first rain enabling sowing' and 'the last useful rainfall'.



(Source: Bioclimatology Service (ISRA))

Fig. 1. Isohyet chart for Senegal for the periods 1951-1967 and 1968-1985 (mm).

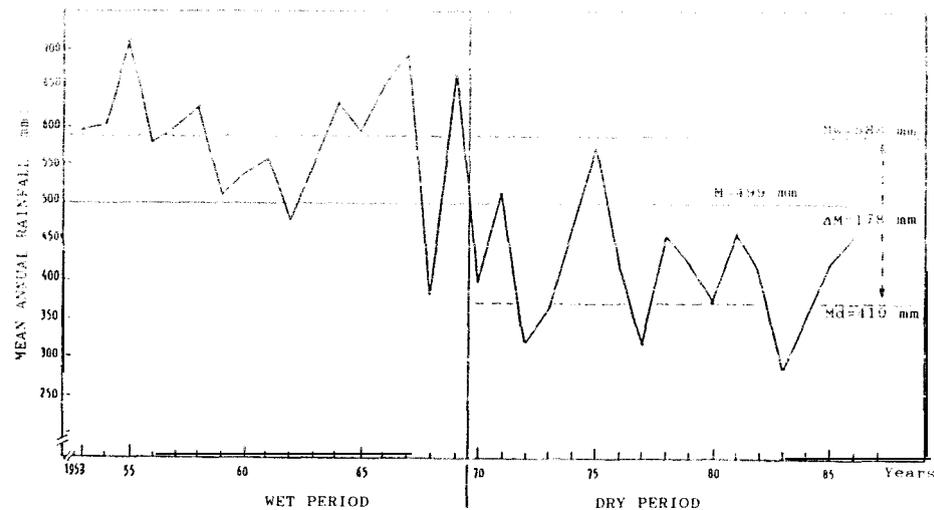


Fig. 2. Mean annual rainfall for 10 locations representative of semi-arid regions in Senegal, for years 1953–1986.

“The first rain enabling sowing” (Forest and Dancette, 1982) is defined, in accordance with the time that has elapsed since the possible start of the rainy season, as the minimum amount of precipitation that will enable a crop to become well established if sowing is carried out after this rain. This idea only concerns crops such as sorghum, groundnut and cowpea, which are sown just after rain, and not millet, which is sown “dry” before the start of the rainy season. With this crop, the idea of deciding when to sow depending on precipitation does not exist, and that of the “first rain enabling sowing” corresponds to the “first successful rainfall after dry sowing”. Since the chances of success are less the earlier in the season sowing takes place, the minimum amount of rain in the first fall enabling sowing will be higher the earlier in the season the grower wishes to sow. Table 1 was produced by Forest and Dancette (1982).

“The last useful rain” is defined as the last precipitation that participates in supplying water to a crop sown after the first rain enabling sowing.

At Louga (Fig. 3), it is evident that the rainy season has shortened since 1970. A comparison of the mean useful length of rainy season for the years prior to 1970 with those for the years after 1970, shows that this drop – 25 days on average – is very highly significant ($P < 0.001$). However, a comparison of variance for season length during the two periods indicates that they are not significantly different, and thus that the useful length of the rainy season is no more irregular after 1970 than before that date.

At Bambey (Fig. 4), the reduction in the useful length of the rainy season from 1970 onwards is significant ($P < 0.05$), and represents 12 days on aver-

TABLE 1

Minimum amount of rain required to enable successful sowing, according to region and date in the semi-arid region in Senegal

Site	Sowing period	Rain enabling sowing (mm)
North region (Louga)	1–15 June	> 60
	16–30 June	> 30
	1–20 July	> 20
	20 July onwards	> 15
Central-north region (Bambey)	1–15 June	> 40
	16 June–15 July	> 20
	15 July onwards	> 15
Centre-south region (Nioro-du-Rip)	1–10 June	> 40
	11 June–10 July	> 20
	10 July onwards	> 15

After Forest and Dancette (1982).

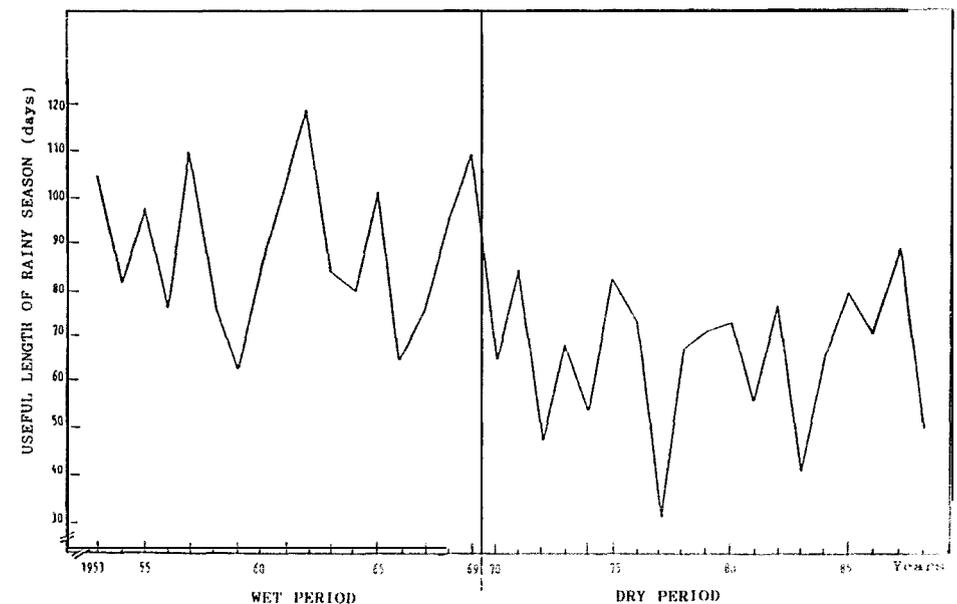


Fig. 3. Useful length of the rainy season at Louga for the years 1953–1988.

age between the wet period and the dry period, without significantly modifying inter-annual regularity.

At Nioro-du-Rip (Fig. 5), a sharp and highly significant fall ($P < 0.1$) in

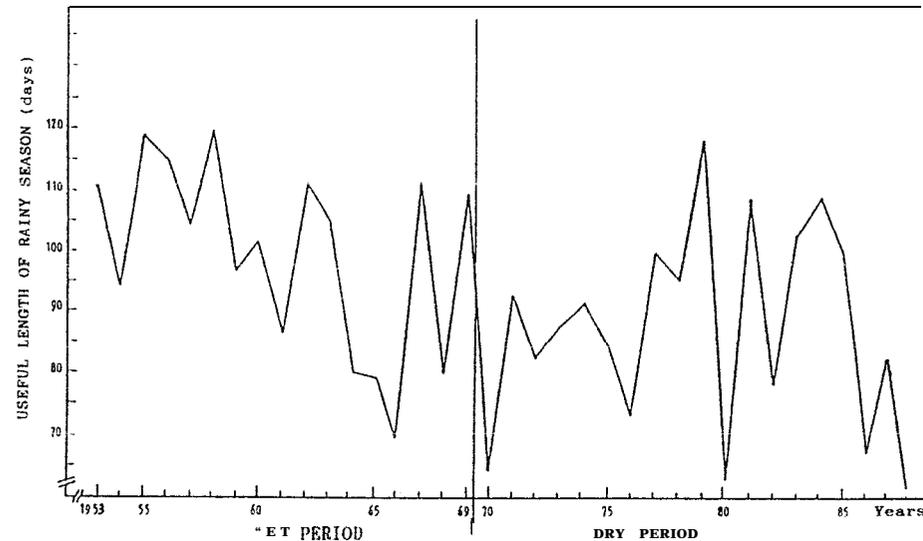
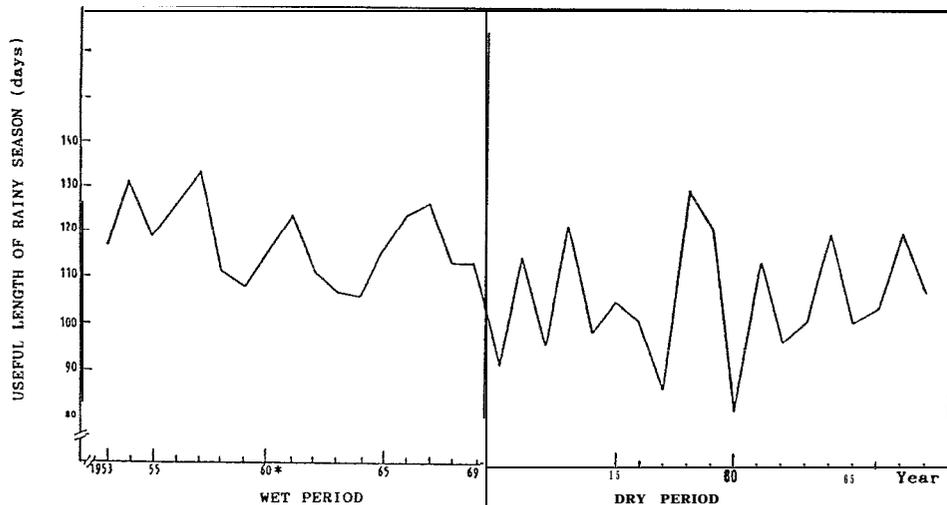


Fig. 4. Useful length of the rainy season at Bambey for the years 1953-1988.



(*) : No figure available

Fig. 5. Useful length of the rainy season at Nioro-du-Rip for the years 1953-1988.

the useful length of the rainy season is **seen** from 1970 onwards. The drop is 12 days on average, and **does** not significantly modify inter-annual regularity.

Determining the optimum length of the crop growing period

Principle

The reduction in the useful length of the rainy season means that the length of the growing period for crops grown in the region has to be revised. A simple method, based on bioclimatological data, enables an optimum growing period length for **each** region to be determined. It is **sufficiently** general to be applied to **all** crops, and **can** be adapted to each species by coupling it with a model simulating crop water balance.

One basic principle should be retained: it is generally acknowledged that a reduction in the cycle length of cultivars leads to a **fall** in production potential. In order to optimise the crop, the length of the cycle should **coincide** as closely as possible with that of the rainy season.

The main **constraint** lies in the marked inter-annual fluctuation in the length of the rainy season, which makes it **difficult** to determine the length of growing period to be adopted. In the case of useful lengths of the rainy season over the period 1953-1988 for the towns of Louga, Bambey and Nioro (see Figs. 3-5), the coefficients of variation are 24%, 18% and 13%, respectively. It **can** be **seen** that as we progress northwards, rainfall totals decrease and the inter-annual variations increase. This **constitutes** one of the components of the increased climatic risk in the northern regions. Optimisation is therefore **necessary**, and **consists** of identifying the proportion of years in which the growing period would fit into the rainy season, which is equivalent to choosing the probability of success. This **choice** should **first** and foremost take **account** of the following two economic factors.

(1) On an individual level, the economic situation of farmers in developing countries is characterised by the **lack** of inter-annual financial resources, preventing them from speculating on ventures with a fairly high risk of failure. Some of these ventures would yield a higher overall productivity, but **would** involve large fluctuations in annual income, particularly if national agricultural development **policy** is based on agricultural **credit**, meaning that they have to make repayments on loans.

(2) On a national level, **market** stability, hence that of production levels, is an economic **priority** for **all** countries, especially developing countries, where agricultural **product** processing, distribution and marketing networks, already in existence or yet to be set up, need to be safeguarded, owing to their 'fragility'.

These two economic factors **mean** that a low risk of failure which **may** be brought **about** by **sufficiently** short growing periods, should be ensured. This **will** also **mean** that the farmer is able to safeguard his **crop** by guarding against 'false starts' to the rainy season, i.e. sowing after the **first** heavy fall of rain, early in the season, which **may** be followed by a waiting period before the

rainy season really begins (Forest and Danette, 1982). This implies taking a 'safety margin' into account in the determination of sowing time.

The length of the growing period should also take account of the farming calendar at the beginning and the end of the rainy season, which represents a period of heavy workload for the farmer. Cultivars with a cycle length slightly shorter than the rainy season would fit most years, and provide work flexibility by enabling the farmer to stagger sowing and harvesting. Furthermore, these cultivars would enable wet ploughing which, if applicable, is an effective crop technique that conserves and makes best possible use of water (Danette, 1985). This approach demands a 'degree of freedom' with regard to the choice of technique to be used.

Model

The 'potential length of the crop growing period' is defined in the following way: the useful length of the rainy season, plus the time, after the last useful fall of rain, during which the crop is able to draw water from the soil's reserves, minus 5 days, corresponding empirically to the 'safety margin' plus the 'degree of freedom' with regard to technique.

The length of time during which the soil's usable water reserves can be used is evaluated using the total rainfall over the previous month. During the month, the daily evapotranspiration is fixed at approximately 2 mm. This value corresponds to the water supply needed at the end of the growing period, calculated by the method of Fréteaud et al. (1984), and weighted by an index of minimal satisfaction equal to 50%, compatible with a satisfying termination of the crop. Therefore, the consumption is 60 mm for the month as a whole. Total rainfall over the month minus 60 mm gives an estimate of available water reserves, which are used at a rate of 3.5 mm day⁻¹, with evaporation increasing after rainfall. This value is calculated according to the method described above.

Given that a is the useful length of the rainy season (days), b is number of days during which the crop can draw on soil water reserves and c is total rainfall over the previous month of the rainy season, then: Potential length of the crop growing period = $a + b - 5$ (in days)

here

$$= \frac{c - 60 \text{ mm}}{3.5 \text{ mm}} \text{ (days)}$$

Given the flexibility that some crops show, it is acknowledged that there may be no adverse effects on production when, for a given year, the potential length of the growing period is up to 5 days shorter than the theoretical duration of the crop.

Application to the case of Senegal

The potential length of the growing period was determined for each year in the period from 1953 to 1988, for each of the three locations in the semi-arid region in Senegal (Figs. 6-8).

From 1970 onwards, a reduction in the potential length of the growing period was seen for all three localities: at Louga there was a reduction of 26 days ($P < 0.001$); at Bambey a reduction of 16 days ($P < 0.05$); at Nioro-du-Kip a reduction of 17 days ($P < 0.05$).

Table 2 shows the variability in the length of the growing period in the three regions of the semi-arid zone in Senegal during the wet period (1953-1969) and the dry period (1970-1988). It reveals the marked reduction in the lengths of the growing period in each region, caused by the drought from the end of the 1960s onwards.

The rainfall data for 14 locations over the whole of the semi-arid region in Senegal enable a map to be drawn up of inter-annual average potential growing period length during the dry period of 1970-1986 (Fig. 9). This does not, however, make it possible to select a value for the length of growing period which is effective in the various regions, as it does not include the probability of success, which takes account of inter-annual variations.

However, the choice of potential length can be based on the map of the lengths of growing period satisfied in at least 80% of years, i.e. 14 out of the 17 years in the dry period (Fig. 10).

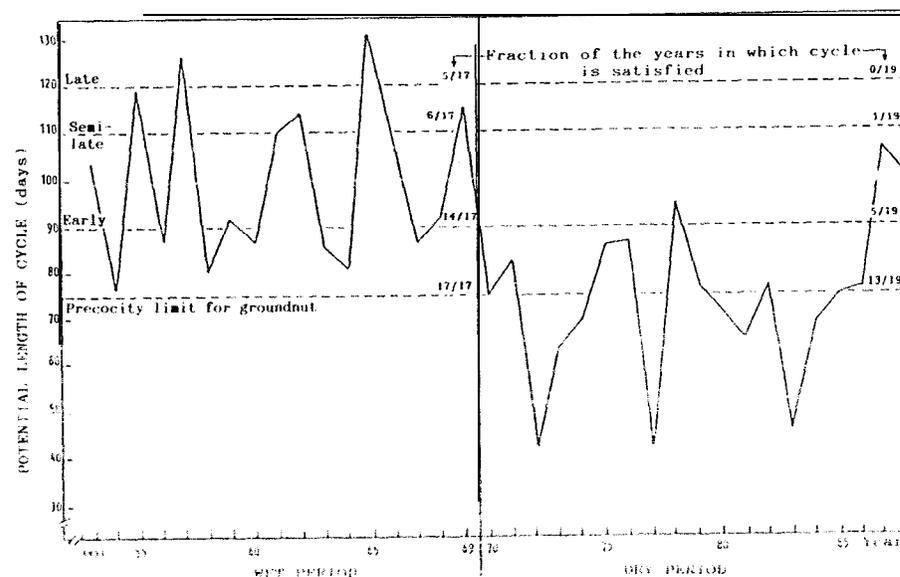


Fig. 6. Potential length of the crop growing period at Louga for the years 1953-1988.

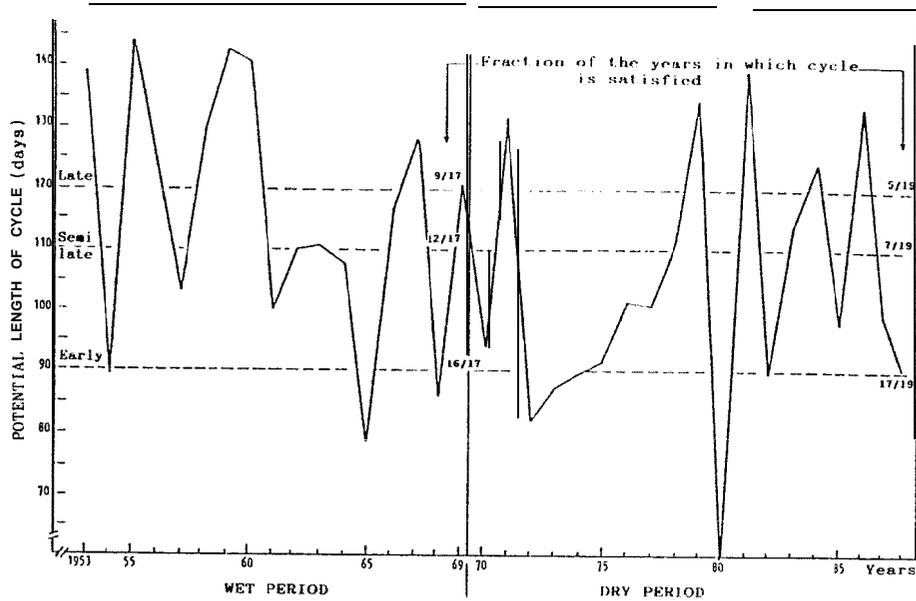
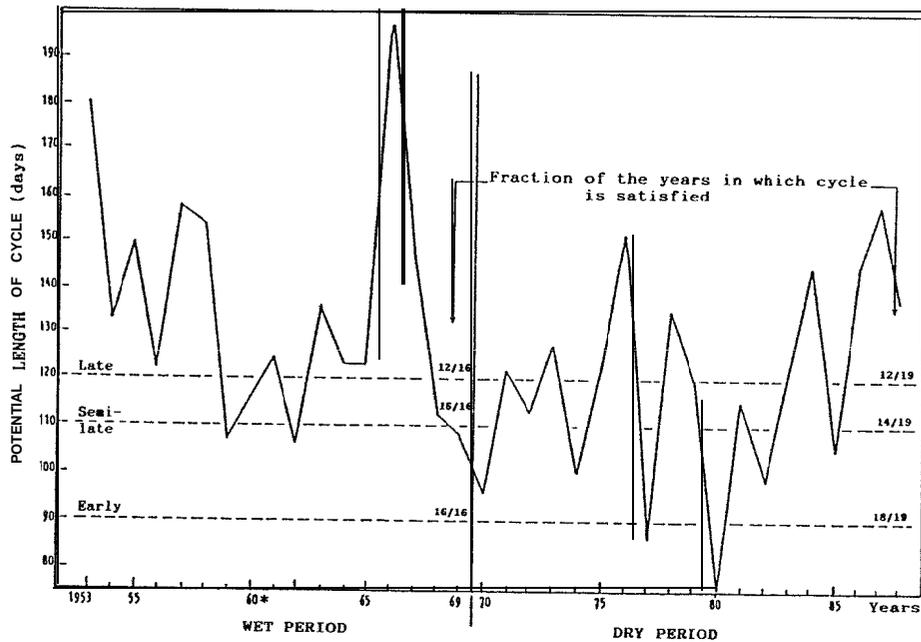


Fig. 7. Potential length of the crop growing period at Bambej for the years 1953–1988.



(*): No figure available

Fig. 8. Potential length of the crop growing period at Niuro-du-Rip for the years 1953–1988.

TABLE 2

Adaptability of various lengths of crop growing period for three regions in the semi-arid zone of Senegal. Data are given for the periods 1953–1969 and 1970–1988

Region	Length of crop growing period (days)	Percentage of years in which length of crop growing period fits into the potential length	
		1953–1969	1970–1988
North (Louga)	120	29	0
	110	35	5
	90	82	26
	75	100	68
	70	100	84
	60	100	84
Central-north (Bambey)	120	59	26
	110	71	37
	95	88	84
	90	94	89
Central-south (Niuro-du-Rip)	120	75	63
	110	100	74
	105	100	79
	90	100	95

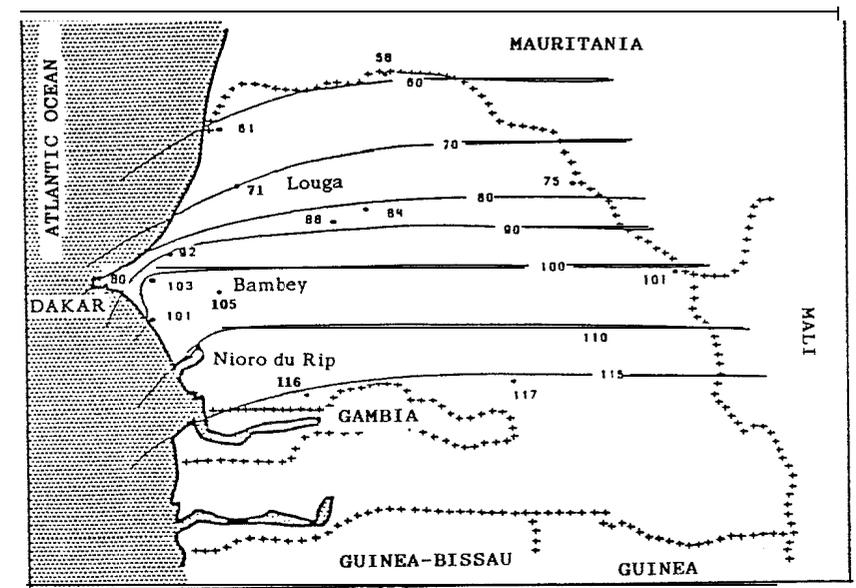


Fig. 9. Map of inter-annual means for potential lengths of the crop growing periods for the period 1970–1986 in the semi-arid region of Senegal (days).

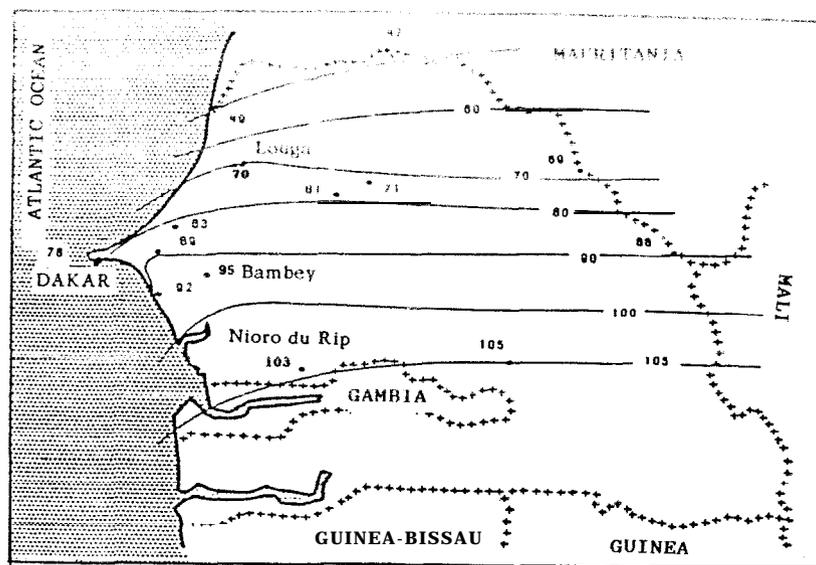


Fig. 1. Map of lengths of the crop growing period satisfied in at least 80% of years for the period 1970-1986 in the semi-arid region of Senegal (days).

Implications for the case of plant breeding

The reduction in the length of the rainy season makes a certain number of currently extended cultivars poorly adapted to these regions, as their cycle lengths have become too long. This means that targets for new cultivars to be obtained either by varietal creation or by the introduction of already existing genotypes or new crops, need to be revised. This is illustrated by the case of groundnut, cultivated in the Louga region. The cultivar released has a short cycle (90 days). Examination of potential lengths of the crop growing period for the years 1953-1988 (Fig. 6) indicates that this cultivar was able to reach the end of its growing period in 14 out of 17 years during the wet period but only 5 out of 19 years during the dry period.

Determining potential cycles using rainfall data means that the best possible choice of cycle length can be made, adapted to each region, whereas this choice is usually empiric.

Taking a safety margin regarding sowing date and degree of freedom of choice of technique into account, in this case 5 days, means that the following can be allowed for: inter-annual variations in the length of the rainy season and the farmer's calendar, and that effective farming techniques to control drought can be used, such as ploughing at the end of the cycle.

ACKNOWLEDGEMENT

Support for this project was received from the LEC STD II program. The author is a Research Engineer with CIRAD/IRHO, on secondment to the Institut Sénégalais de Recherches Agricoles.

REFERENCES

- Dancette, C., 1985. Contrariétés pédo-climatiques et adaptation de l'agriculture à la sécheresse en zone intertropicale. In: Actes Colloque Résistance à la Sécheresse en Milieu Intertropical. September 1984, Dakar, Conseil International de la Langue Française, Paris, pp. 27-42.
- Diagne, M., 1988. Evolution Historique de la Pluviométrie au Sénégal: Synthèse des Données 1950-87. ISRA, Centre National de Recherches Agricoles, Bambey, 108 pp.
- Forest, F. and Dancette, C., 1982. Situation du bilan hydrique de l'arachide en vue d'une meilleure adaptation de cette culture aux conditions tropicales. In: Actes Symposium International sur la Production Arachidière, le Marché Mondial des Oléagineux, les Échanges Intra-africains de l'Arachide et ses Dérivés, June 1982, Banjul.
- Fréteaud, J.-P., Lidon, B. and Marlet, S., 1984. La détermination des coefficients culturaux en zone Soudano Sahélienne. Proposition d'une méthode générale et pratique. Institut de Recherches Agronomiques Tropical (IRAT) - Division Economique et Valorisation des Produits, Montpellier, 28 pp.
- Khalfaoui, J.-L. and Annerose, D., 1986. Création variétale d'arachide adaptée aux contraintes pluviométriques des zones semi-arides. In: Agrometeorology of groundnut. Proc. Int. Symp., 21-26 August 1985, ICRISAT Sahelian Center, Niamey, Niger. ICRISAT, Patancheru.
- UNESCO, 1984. Climate, drought and desertification. Nature and Resources 20(1), pp. 2-8.

CENTRE D'ETUDE REGIONAL
POUR L'AMELIORATION DE L'ADAPTATION
A LA SECHERESSE:

CERAAS

I.S.R.A. - C.N.R.A.

BP 53 Bambey Sénégal

Tél.: 73-60-50

Réunion INSAH/SPAR

Bamako: 22 au 27 Juillet 1991

**NOTE SUR LE C.E.R.A.A.S.
ET SES PREMIERES ANNEES
D'ACTIVITES
(FEVRIER 1989 - JUILLET 1991)**

J.-L. KHALFAOUI et D. ANNEROSE

Juillet 199 1

I. GENESE DU CERAAS

Le Centre d'Etude Régional pour l'Amélioration de l'Adaptation à la Sécheresse (CERAAS) trouve son origine en 1983 avec la création par l'ISRA d'un nouveau programme sur le thème de l'amélioration de l'adaptation à la sécheresse des plantes cultivées. Cette création avait pour **objectif** d'améliorer la productivité en zones sèches grâce à la création de variétés mieux adaptées aux contraintes pluviométriques. Ce nouveau programme s'est développé autour d'une approche pluridisciplinaire associant la physiologie, la sélection, la bioclimatologie et l'agronomie, dont l'originalité et les résultats ont valu à l'ISRA la reconnaissance de ses compétences par les différentes structures nationales de recherche africaines et européennes.

Les instituts nationaux de recherches africains qui décidèrent en 1987 de la création du CERAAS sont associés au sein du Réseau R.3.S. (**Réseau de Recherche sur la Résistance à la Sécheresse**) créé par la C.O.R.A.F. (**Conférence des Responsables de Recherche Agronomique Africains**) et le C.I.L.S.S. (**Comité Permanent Inter-Etats de lutte contre la Sécheresse dans le Sahel**). Ils sont partis de la constatation suivante : "Il est urgent et nécessaire d'intensifier et de coordonner les efforts de recherches menés au niveau de la **Région**, notamment dans les domaines de la sélection et de la physiologie de l'adaptation à la sécheresse des espèces cultivées".¹ Pour cela, des besoins importants se font sentir au niveau régional en matière d'**infrastructure**, de **recherche**, de **formation** et d'**information**.

Afin de répondre à ces besoins, les institutions ont confié un mandat à l'ISRA pour développer ses compétences et les mettre à la disposition des instituts de la région, afin d'"intensifier et de coordonner les efforts de recherche" dans le domaine de recherche considéré.

Les moyens nécessaires pour donner à ce laboratoire national une vocation régionale ont fait l'objet d'un projet présenté à la DG XII de la Commission des Communautés Européennes qui a accepté de financer avec l'ISRA la mise en place et le fonctionnement du CERAAS pour quatre années, 1989 à 1992, pour un montant de 115 millions de F.CFA.

¹ Atelier INSAH/R3S, Bamako, Février 1987.

II. VOCATION DU CERAAS.

La vocation du CERAAS est d'oeuvrer au niveau institutionnel et scientifique, à la mise en place d'une recherche régionale dans le domaine de recherche considéré.

2-1. Domaine institutionnel

Deux actions principales sont conduites:

Lu Recherche :

- mettre à la disposition des chercheurs, les équipements performants nécessaires à leurs recherches, dont le coût élevé empêche la diffusion et la rentabilisation dans chacun des pays.
- susciter les rencontres entre les chercheurs des différents pays africains afin de briser leur isolement et permettre l'élaboration et la conduite d'actions de recherches régionales coordonnées.
- permettre un transfert vers les pays du Sud des résultats obtenus par les unités de recherche du Nord, en particulier européennes, à travers des échanges de chercheurs, de techniques et de connaissances.

La Formation et l'Information:

- assurer aux chercheurs des institutions nationales africaines et aux étudiants une formation grâce à des séjours d'étude et à l'organisation d'ateliers de formation.
- favoriser la diffusion de l'information sous forme de documentations scientifiques et techniques.

2-2. Domaine scientifique

Parmi les différents moyens de lutte contre la sécheresse, le CERAAS s'attache à l'amélioration génétique de l'adaptation à la sécheresse des espèces cultivées qui représente actuellement un potentiel de progrès très important.

En effet, grâce aux progrès réalisés par la physiologie dans la compréhension des mécanismes adaptatifs et la mise au point de techniques de criblage, il devient possible de révéler et de travailler l'importante variabilité génétique intra et inter espèces jusqu'alors peu exploitée. Cette action repose sur une approche pluridisciplinaire associant étroitement sélectionneurs, physiologistes, agronomes et bioclimatologistes.

Elle porte sur :

- la compréhension des mécanismes physiologiques d'adaptation à la sécheresse en relation avec les facteurs agronomiques, en particulier la production.
- la mise au point de tests de criblage des mécanismes adaptatifs.
- l'élaboration et la conduite de programmes de sélection adaptés.

III. MODALITES D'EXECUSSION.

3-1. Cadre institutionnel

Le CERAAS est un laboratoire national de l'ISRA régi par ses règles et ayant un mandat régional pour animer les recherches régionales dans un domaine de recherche défini.

A ce titre, le CERAAS est une **structure** du Réseau **R3S** au sein duquel sont associées les institutions qui ont décidé de confier ce mandat régional à l'ISRA.

Ce mandat régional de l'ISRA s'exerce dans le cadre des mandats de coordination inter-états du CILSS et inter-institutions de la CORAF, dont le Réseau **R3S** est un organe de coordination scientifique. Le cadre d'exécution de ce mandat fait ou va faire l'objet de protocoles **d'accord** entre l'ISRA et la CORAF (acquis), entre la CORAF et l'INSAH (en négociation) et entre l'ISRA et l'INSAH (à négocier).

Les partenaires institutionnels du Réseau **R3S** ont défini pour le CERAAS ses champs d'action (recherche et formation) et de recherche (physiologie et génétique de l'adaptation à la **sécheresse** des cultures). Ils ont confié à l'ISRA la **responsabilité** d'animer et de gérer le CERAAS au profit de tous.

Le CERAAS est sous la responsabilité du Directeur Général de l'ISRA qui en a confié la responsabilité administrative à un Directeur de Recherche et la responsabilité scientifique et de gestion à deux responsables en titre correspondant chacun à un des champs de recherche du CERAAS.

3-2 Gestion des ressources humain-

3-2-1 Structure de base.

La structure de base est composée d'un personnel d'encadrement constitué des deux responsables et d'un personnel **d'exécution** affecté spécifiquement au CERAAS. Ils relèvent de l'ISRA dans le cadre de statuts nationaux pour les agents nationaux et d'accords bilatéraux pour les agents expatriés.

A l'avenir, l'ISRA va affecter des agents nationaux à la structure d'encadrement afin d'en assurer la pérennité. De plus, des chercheurs d'autres institutions africaines vont également être intégrés à la structure d'encadrement. Ils seront régis dans le cadre de contrats passés entre leur institution d'appartenance et le CILSS et mis à la disposition du CERAAS.

3-2-2 Chercheurs en mission d'étude.

Les chercheurs désirant effectuer une mission d'étude adresse une demande au CERAAS en précisant la période souhaitée et un programme de recherche détaillé. Le CERAAS tente alors de favoriser la rencontre des chercheurs travaillant sur des sujets complémentaires et la mise en place de programmes coordonnés. Lorsque qu'un accord est conclu sur la période, le sujet et éventuellement le partenariat, une invitation officielle est adressée sous le couvert du Directeur Général de l'institution d'appartenance du chercheur.

Durant leur séjour au CERAAS, les chercheurs relèvent statutairement de leur institution. Ils s'engagent à respecter les règles de fonctionnement de l'ISRA et à fournir un rapport scientifique de leur mission dont la remise conditionne le versement de 20% du montant total de leur per-diem. Les chercheurs des institutions du sud sont financièrement pris en charge par le CERAAS (frais de recherche, voyage, hébergement, nourriture, per-diem) .

3-3 Aspects financiers.

3-3-1 Recherche de financements.

La recherche des moyens de financement du CERAAS au niveau national (Sénégal) est effectuée par l'ISRA et au niveau international dans le cadre du Réseau R3S.

De plus, le CERAAS apporte un appui aux différentes institutions nationales dans l'élaboration de programmes et la soumission de projets de recherche aux bailleurs de fonds (exemple: projets STD3).

3-3-2 Gestion financière.

Afin de faciliter l'acquisition des équipements du CERAAS, le financement destinés à l'achat d'équipements scientifiques produits dans les pays du Nord a été confié à une institution du Nord (CIRAD/IRHO) dans le cadre d'un contrat passé entre celle-ci, l'ISRA et le bailleur de fond (CCE).

A l'avenir, seront confiés à l'INSAH le financement correspondant à la prise en charge des chercheurs des autres institutions nationales intégrés à la structure de base du CERAAS ainsi que le financement destiné aux actions entreprises par les chercheurs au sein de leur institut en complément des travaux menés au CERAAS .

Les moyens affectés à l'ISRA pour le CERAAS sont versés sur un compte bancaire particulier dont le responsable administratif a la délégation de signature. L'engagement des dépenses est réalisé par les responsables sur la base d'un budget annuel qu'ils ont établi et dont ils assurent un suivi informatique en temps réel.

IV. BILAN DES PREMIERES ANNEES D'ACTIVITE.

En deux ans et demi d'activité, 43 demandes de missions d'étude ont été adressées au CERAAS provenant de 15 pays différents et portant sur 10 espèces, dépassant ainsi largement les possibilités d'accueil actuelles de la structure.

Parmi ces demandes, 21 chercheurs ont été accueillis pour des séjours de formation et de recherche de 1 à 3 mois (cf. Annexe). Certains de ces chercheurs ont déjà réalisés plusieurs missions afin de poursuivre leurs travaux en fonction des premiers résultats obtenus au CERAAS et des expérimentations conduites dans leurs stations de recherche à la suite de ces résultats. Différents travaux ont été initiés sur la base de programmes établis en commun par les chercheurs.

C'est ainsi qu'ont **débuté**:

- Un programme sur le sorgho:
 - Sénégal: ISRA (G. TROUCHE)
 - Mali : IPR de Katibougou (A. BRETAUDEAU)

- Deux programmes sur le mil:
 - Zone sèche:**
 - Sénégal: ISRA (A. FOFANA)
 - Niger : IRI (S. DAOUDA, F. DO)
 - France : Université de Créteil (E. BATCHO)

 - Zone humide:**
 - Bénin : DRA (S. DOSSOU-YOVO)
 - Togo : DRA (K. LABARE)

- Un programme sur le maïs:
 - Sénégal: ISRA (J-P. GAY)
 - Mali : DNEs (D. TOGOLA)

Ces programmes vont être précisés en fonction des résultats et être soumis à des financements (STD3). D'autres sont en préparation sur le niébé, le manioc et le riz.

En ce qui concerne la formation, le CERAAS a organisé en plus des missions de formation individuelles, un premier atelier de formation en Novembre 1990 qui a réuni 20 participants pendant une semaine.

De plus, des efforts importants ont été **réalisés** afin de développer les liaisons Sud-Sud avec les pays africains anglophones et les pays sud-américains et également avec les Centres du GCIAR. C'est ainsi qu'une collaboration a été initiée avec le Nigeria par l'accueil d'un chercheur de l'Université d'Umo sur le niébé, avec le Brésil par le séjour d'une chercheuse de l'EMBRAPA sur le haricot et enfin avec l'IITA sur des travaux portant sur le manioc.

Enfin, les liaisons Sud-Nord se sont intensifiées à travers des collaborations avec le CIRAD et l'INRA sur le mil, avec L'Université de Paris VII sur le haricot, avec l'Université de Créteil sur le Mil, avec l'Université Royal d'Agriculture du Danemark sur une plante à tubercule (*Pachyrhisus*) et avec l'INA du Portugal.

V. PERSPECTIVES

La demande et les besoins régionaux étant largement supérieurs aux moyens actuels du CERAAS, un projet de renforcement est actuellement en préparation avec le CILLS et le Réseau R3S qui sera soumis à la DG8 (fonds régionaux de Lomé IV pour l'infrastructure et la formation) et à la DG12 (fonds STD3 pour les actions de recherche).

Dans ce nouveau projet, une nouvelle étape de la régionalisation de la recherche sera abordée grâce à l'intégration à l'équipe d'encadrement du CERAAS de chercheurs expérimentés provenant de différentes institutions nationales africaines. Ceux-ci seront détachés au CILSS par leur institution d'origine pour des périodes d'une année renouvelable, puis mis à la disposition du CERAAS.

CENTRE D'ETUDE REGIONAL
POUR L'AMELIORATION DE L'ADAPTATION
A LA SECHERESSE

CERAAS

I.S.R.A. -C.N.R.A.

BP 53 Bambey **Sénégal**

Tél.: **73-60-50**

ETUDE SUR LA RESISTANCE PROTOPLASMIQUE
DU MIL (*Pennisitum Americanum L.*)
A LA CHALEUR ET A LA DESSICCATION.

Kodjo LABARE
DRA/TOGO

Etude réalisée au CERAAS
Rapport préliminaire
Mai 1991.

I) INTRODUCTION

Le problème de la sécheresse en Afrique figure parmi les toutes premières raisons des faibles productions alimentaires. En effet dans la plupart des pays des zones **semi-arides d'Afrique**, ces productions sont en majorité soumises aux facteurs **incontrôlables** d'une pluviométrie faible et irrégulière.

Au Togo, les paysans des régions du **Nord** du pays qui se livrent aux cultures vivrières sont souvent aux prises **avec** cette sécheresse qui constitue, avec la faible qualité des sols, la principale contrainte à la production céréalière. C'est le cas notamment du sorgho et du mil qui occupent respectivement les 2ème et 3ème places des céréales cultivées et dont les productions ne cessent de diminuer d'une année à l'autre du fait de ce problème. Ainsi la mise en **place** d'un programme pour l'amélioration de la productivité de ces espèces s'avère nécessaire dans le contexte togolais.

C'est dans ce cadre que le Centre **d'Etude Régional pour l'Amélioration de l'Adaptation à la Sécheresse (CERAAS)**, nous a donné la possibilité de pouvoir étudier les **mécanismes** d'adaptation des plantes à la sécheresse au Centre National de Recherche Agronomiques (**CNRA**) de Bambeby (S:ENEGAL).

Ce rapport fait suite à une première mission d'étude que nous avons effectuée au CERAAS du 07 au 21 Mai 1991. Cette mission destinée à l'établissement des premiers contacts et à l'acquisition des techniques et méthodologies de travail est préalable à une seconde mission qui devrait avoir lieu du 1er Juillet à la fin septembre 1991, pour des études sur le sorgho et le mil.

Cette étude a été réalisée en liaison **avec** M. S. DOSSOU-YOVO, chercheur de la Direction de la Recherche Agronomique du Bénin, dans le cadre d'une collaboration bilatérale dans le domaine de l'adaptation à la sécheresse de ces deux plantes.

II) PRINCIPE

Dans de bonnes conditions hydriques, les membranes cellulaires sont semi-perméables et les échanges gazeux entre une cellule et le milieu extérieur se font dans le sens unique milieu extérieur - cellule. Il ressort donc que les nombreuses substances dissoutes dans la vacuole cellulaire (sucres, électrolytes, . . .) ne peuvent pas diffuser à l'extérieur de la cellule. dans ces conditions, si un tissu végétal est trempé dans de l'eau distillée, la diffusion de ces substances est très faible et la conductivité de ce liquide à la fin du trempage sera négligeable.

Mais les mauvaises conditions hydriques ou tout autre choc physiologique ou même physique entraînent l'altération des structures membranaires qui se désagrègent. Dans ce cas, la diffusion des électrolytes est :Facilitée et la conductivité du liquide de trempage (si de tels tissus sont trempés dans de l'eau distillée) sera plus grande. Cette conductivité mesure donc l'importance de la diffusion des électrolytes intracellulaires et permet d'évaluer le degrés de dommages survenus au niveau des structures protoplasmiques sous l'effet du choc. Ainsi lorsque ces dommages sont peu importants, la conductivité de la solution de trempage reste faible; dans ce cas on dit que le matériel végétal considéré présente une certaine résistance au stress subi.

III) METHODE

L'étude a été réalisée pour deux types de stress: la chaleur et la dessiccation. Il s'agit de mesurer la capacité des structures protoplasmiques à conserver leur intégrité face à une élévation de la température d'une part et à un choc osmotique d'autre part.

Des disques foliaires d'un centimètre de diamètre sont prélevés sur des feuilles de mil à l'aide d'un emporte **pièce**. Deux cent disques de chaque **variété** sont obtenus à partir de la troisième feuille. Les disques sont mis en pool, ils sont ensuite lavés en trois fois pendant 1 heure à l'eau **distillée** pour éliminer les électrolytes qui auraient diffusé par suite des lésions provoquées lors du **prélèvement**. Les traitements sont les suivants:

a) Traitements à la chaleur.

15 traitements ont été réalisés:

- 1 traitement témoin (température ambiante)
- 14 traitements à des températures différentes (**température en °c**) : 40, 42.5, 45, 47.5, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 57.5, 60, 62.5, 65 .

Les traitements à la chaleur sont réalisés dans des tubes en verre humectés contenant chacun 10 disques foliaires soigneusement nettoyés de l'eau distillée dans laquelle ils étaient en flottaison. A l'exception des témoins, les 14 tubes sont chauffés à une des températures retenues pendant 30 mn dans un bain-marie. Après ce traitement 20 ml d'eau distillée sont versés dans tous les tubes y compris le témoin. C'est dans cette eau que se fera la diffusion pendant 24 heures, à l'obscurité et à la température de 10 °c. A l'issue de cette diffusion les tubes sont ramenés à la température ambiante. La conductivité libre du liquide est mesurée à l'aide d'un conductimètre. Cette conductivité correspond donc pour le témoin à la perméabilité résiduelle des membranes et pour le traitement à l'ensemble perméabilité résiduelle - perméabilité induite par la chaleur.

Après ces mesures, tous les tubes ont été chauffés à 100 °c pendant 1 heure de manière à détruire toutes les cellules. On laisse la diffusion se faire à une température de 10 °c pendant 24 heures. Les cellules étant toutes détruites, on suppose que la diffusion est complète ce qui permet d'estimer la conductivité totale de l'échantillon végétal.

b) Traitement dessiccatif.

11 traitements ont été réalisés:

- 1 traitement témoin (eau distillée)
- 10 traitements avec des solutions de PEG à différentes concentrations (en **g/l**): 100, 150, 200, 250, 275, 300, 325, 350, 375, 400.

La dessiccation est provoquée par un choc osmotique en trempant les disques foliaires dans une solution de PEG 600 purifié (Polyéthylène glycol). Les concentrations de PEG 600 sont déterminées afin de soumettre les échantillons végétaux à un potentiel osmotique allant jusqu'à -63.61 bars soit une concentration de PEG 600 de 400 **g/l**.

Les traitements osmotiques sont effectués dans des boîtes de pétri dans lesquelles sont mis à flotter 10 disques foliaires pendant 24 heures à la température ambiante. On rince ensuite les disques de chaque **boîte** à l'eau distillée. Ils sont mis en flottaison dans 20 ml d'eau distillée et on laisse la diffusion se faire pendant 24 heures à 10 °C. Les mesures de conductivité libre et totale se font à l'obscurité dans les mêmes conditions que précédemment.

c) calculs.

Nous désignons par (CL) et par (CT) les **conductivités** libre et totale mesurées au **conductimètre**. A partir de ces mesures on calcule les grandeurs suivantes:

- pourcentage d'intégrité absolue (PIa):

$$PIa = [1 - (CL/CT)] * 100$$

- pourcentage d'intégrité relative (PIr):

$$PIr = \frac{PIa \text{ (traitement)}}{PIa \text{ (témoin)}} * 100$$

- pourcentage de dégâts (ou dommages) (PD):

$$PD = 100 - PIr$$

IV) RESULTATS

Les résultats obtenus sont consignés dans les tableaux 1 et 2:

Tableau 1 : Résultats des traitements à la chaleur.

Traitement (°c)	CL	CT	PIa	PIr	PD
Témoin	28.7	181.5	84.2	100	0
40.0	35.7	157.8	77.4	92	8
42.5	39.9	163.0	75.5	90	10
45.0	61.7	184.2	66.5	79	21
47.5	85.4	181.4	52.9	63	37
50.0	131.0	162.1	19.2	23	77
51.0	133.3	165.0	19.2	23	77
52.0	148.9	175.5	15.2	18	82
53.0	198.0	212.0	6.6	8	92
54.0	192.2	194.5	1.2	1	99
55.0	165.3	172.9	4.4	5	95
57.5	177.3	185.4	4.4	5	95
60.0	183.2	191.2	4.2	5	95
62.5	173.8	185.3	6.2	7	93
65.0	180.6	192.0	5.9	7	93

Tableau 2 : Résultats des traitements au PEG.

Traitements (g/l)	CL	CT	PIa	PIr	PD
Témoin	18.8	187.3	90.0	100	0
100	17.8	162.0	89.0	99	1
150	21.8	149.0	85.4	95	5
200	50.6	152.4	66.8	74	26
250	100.2	161.7	38.0	42	58
275	123.5	180.4	31.5	35	65
300	126.5	163.6	22.7		75
325	132.2	162.4	18.6	2:	79
350	120.8	138.3	12.7	14	86
375	129.5	180.0	28.1	31	69
400	73.3	89.2	17.8	20	80

VNTERPRETATION

Nous obtenons des courbes de réponse de type sigmoïdale (Figure 1):

* une augmentation de l'amplitude du choc s'accompagne d'une augmentation du pourcentage de dégâts.

* Pour le traitement chaleur: Les structures protoplasmiques des tissus du mil sont détruites à 50 % pour une température voisine de 49 °c.

* Pour le traitement PEG: Les structures sont détruites à 50 % lorsque les disques sont mis à flotter sur une solution de PEG 600 à 240 g/l soit un potentiel de -23 bars.

VI) REMARQUES

Les résultats que nous obtenons devons être confirmés par d'autres mesures. Ces premiers résultats n'ont qu'une valeur indicative car les traitements ont été réalisés sans répétitions, De plus nous avons travaillé sur des plantes jeunes (29 jours) ce qui peut conduire à une grande variabilité d'une plante à l'autre.

VII) CONCLUSION

Cette étude devra être reconduite en vue de confirmer ou d'infirmer les résultats obtenus. Mais pour ce qui nous concerne, elle nous a été très profitable et contribuera à faciliter les prochaines manipulations que nous aurons à réaliser au cours de notre deuxième mission. Cette dernière sera menée conjointement avec M. S. DOSSOU-YOVO.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier très sincèrement Messieurs D. ANNEROSE, F. MARIE, C. MATHIEU pour toutes les mesures prises en vue de rendre notre séjour agréable et aussi pour la disponibilité et la totale volonté dont ils ont fait preuve pour nous enseigner et nous initier à ces méthodes d'étude sur l'adaptation des plantes à la sécheresse.

Nous remercions également Monsieur G. TROUCHE pour ses précieuses informations sur l'amélioration du sorgho au Sénégal et Monsieur Abdou FAYE du laboratoire de physiologie de l'arachide pour son assistance technique.

Fig. 1: Résistance protoplasmique membranaire à la chaleur du mil mesurée chez des plantes âgées de 29 jours.

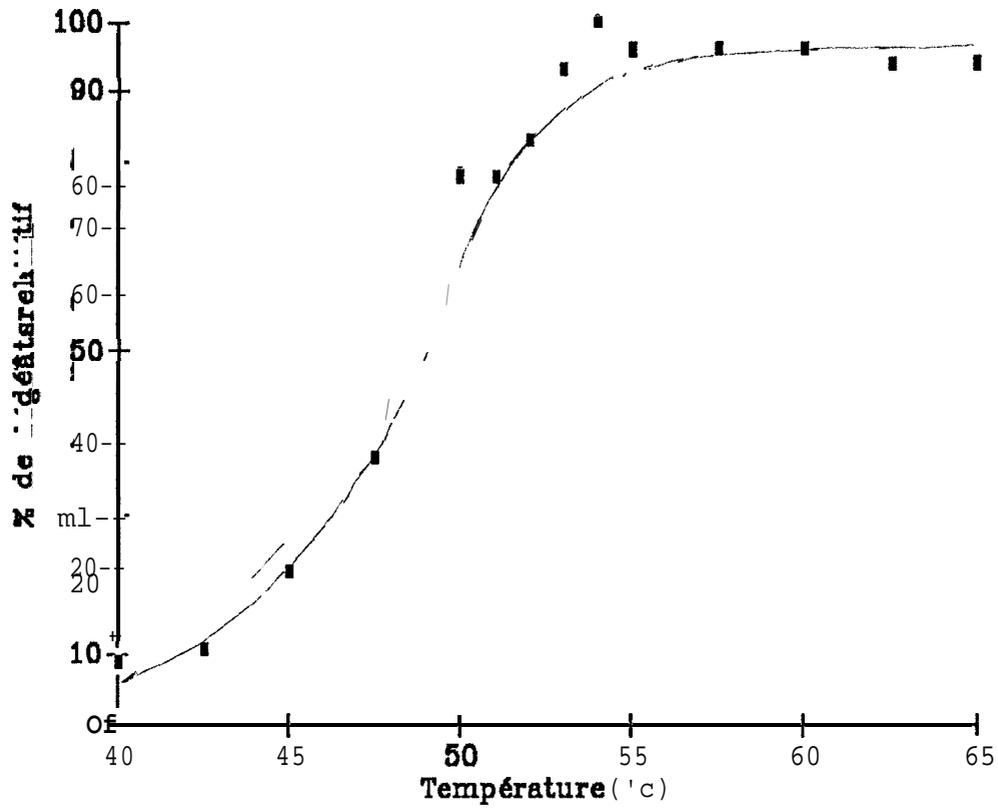
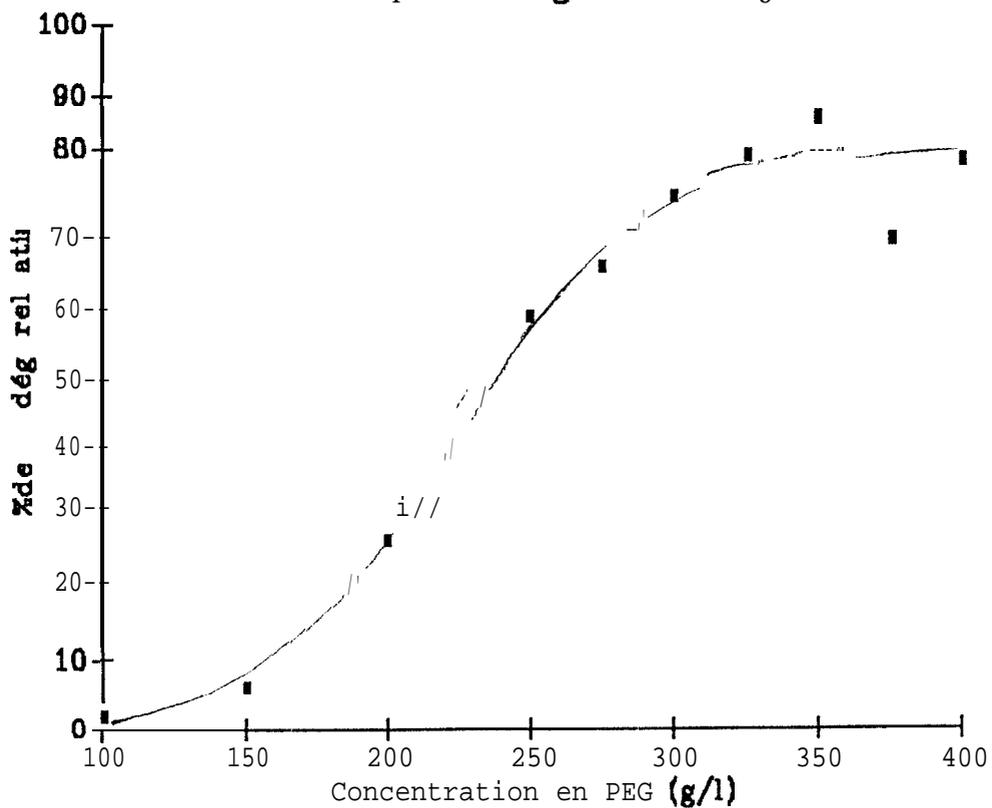


Fig. 2: Résistance protoplasmique membranaire à la dessiccation du mil chez des plantes âgées de 29 jours.



CENTRE D'ETUDE REGIONAL
:POUR L'AMELIORATION DE L'ADAPTATION
A LA SECHERESSE

CERAAS

I.S.R.A. • C.N.R.A.

BP 53 Bambey Sénégal

Tél.: 73-60-50

ADAPTATION OF COWPEAS TO DROUGHT : PHYSIOLOGICAL ASPECTS

BY

Dr. MARCEL C. NWALOZIE

JULY 1991

FINAL REPORT SUBMITTED TO CENTRE D'ETUDE REGIONAL POUR
L'AMELIORATION DE L'ADAF'TATION A LA SECHERESSE (CERAAS),
BAMBEY, SENEGAL, AT THE END OF MY RESEARCH FELLOWSHIP.

ACKNOWLEDGEMENTS

I gratefully acknowledge the professional suggestions and objective criticisms of Dr Daniel Annerose, ISRA resident plant physiologist, throughout the **duration** of this study. Discussions with Ndiaga Cisse, ISRA cowpea breeder, were useful; he also generously provided the cowpea genotypes used in these studies. Dr Jean-Luc Khalfaoui was **very** helpful in the statistical analysis of these studies.

The technical assistances of Mr Abdou Faye, plant physiology technical officer, and Mr Diop Amadou, CERAAS technical **officer**, are most gratefully acknowledged. **Mbaye Sall's** assistance is equally acknowledged. I am also grateful to all **administrative/technical/field** staff of both CERAAS **and** plant physiology who in **one** way or the other made my studies **and** stay in Senegal worthwhile.

I **cannot** submit my report without acknowledging my roots, the Imo **State** University (Nigeria) whose dynamic vice-chancellor, Professor Gabriel Umezurike granted me the leave to enable me undertake these investigations.

This fellowship was entirely sponsored by CERAAS under the **European Economic Community (E.E.C.)** programme STD2.

D. INTRODUCTION:

Drought is **one** of the most **complex** problems **facing** agricultural food production in **arid** and **semi arid** regions. The slow progress made in developing cultivars that are adapted to drought is as a result of this **complexity**. Thus drought has persistently **taken** its **tolls** on **crop** yield. This **reduction** in yield is becoming more alarming in view of the **continued decline** in the availability of irrigation water. The increased tempo of studies in this regard **may**, however **lead** to the **elucidation** of the physiological mechanisms of drought resistance which **could** act as sound bases for genetic engineering **and selection**.

Vigna unguiculata(L) Walp., also commonly called cowpea, is a **very** important food **legume**, and is established by **seed**. A number of workers (Hall and Dancette, 1978; Turk, Hall and Asbell, 1980) have demonstrated that cowpeas **can** considerably withstand water **stress**. **Some** cultivars **can**, however, resist drought better than others. Understanding the basis of this resistance is needed for selecting and breeding for drier regions.

The studies on drought adaptation of cowpea reported here **consist** of two separate trials. The first was designed to **study** the development of cowpea roots under intense drought, where as the other investigated **the effect** of pre-sowing hydration-dehydration drought hardening technique on water stress resistance in cowpeas. The **later** trial was based on preliminary reports from my laboratory in Nigeria which hinged on certain scientific observations. There are reports in the literature that when seeds of some species are imbibed in water and then **dehydrated (by air-drying)** to near their original water content they subsequently germinate more rapidly than untreated seeds, and this **leads** to enhanced growth of **the** seedlings and greater resistance to water stress (Henckel, 1964; Enu-Kwesi, Nwalozie and Anyanwu, 1986). The experiments **carried out** in the present studies were designed to rigorously test **the** suitability of this technique with cowpeas in **actual** drying conditions. A successful technique **such** as this **can** be useful in a tested **cultivar** to **protect** it **against** unpredicted drought (or a dry spell).

II). MATERIALS & METHODS:

1) SEEDS:

Two varieties, **B89-504** (from the Senegalese Agricultural Research Institute, ISRA) and **IT84 S2246-4** (from IITA, Nigeria) were used. For ease of description, **B89-504** will be referred to as **V1** , while **IT84S2246-4** will be tagged **V2**.

2) TEMPERATURE AND HUMIDITY OF GLASSHOUSE:

The temp was 35°C in the day and 19°C in the night. Humidity was 40% and 72% day and night respectively.

3) RHIZOTRONS:

The tubes consisted of cylindrical PVC tubes measuring 100 cm by 15.5 cm. **Each** tube had **one side** of it flattened **out** by cutting off, and a flat transparent PVC material measuring 13 cm by 100 cm was sealed to the **cut** surface (this transparent PVC permitted visual observation and measurement of root development). The bottom **side** of the tube was also sealed with a flat opaque PVC material with 5 drainage **holes** (**each** 10 mm in diam) to drain off excess water.

The bottom of **each** tubes was layered with gravel and thereafter filled with top **soil that** was sieved through a 2 mm mesh. (**The** physical and chemical properties of the **soil** was known). Three grams (3 g) of **finely** ground N P K (**6:20: 10**) were applied 10 cm below **soil** surface before the **soil** was irrigated and seeds sown. The **soil** in **each** tube was watered to **field capacity** before 4 seeds were sown. The seeds were treated with Granox **fungicide**.

The tubes were **placed** in the glasshouse in 2 variety by 2 hydric levels by 4 replications (a randomized **complete block** design, 3 factor factorial). **Each** tube tube was encased in an easily removable black polythene **casing fastened** to the **neck** of the tube with a rubber band (this was to prevent the penetration of light to the roots). **Each** tube was **inclined** at an angle of 47°.

At the completion of germination (6 days after sowing, DAS) the seedlings were irrigated 2 times daily with 100 ml of water **during each** irrigation. Eighth DAS the plants were thinned down to **one seedling** tube. Water stress was applied 10 DAS: for **V1H1** and **V2H1** plants irrigation was **discontinued** throughout the **duration** of the experiment (**i.e** for the remaining 26 days -**this** expt lasted for 36 days); for **V1H0** and **V2H0** plants irrigation was **continued** as already **stated**, uninterrupted.

Ferric **chlorosis** was observed on the seedling leaves 11 DAS. This **chlorosis** was induced by the accumulation of calcium carbonate from the irrigation water. This was **corrected** according to the **procedure** of Blandel (1968). The method consisted the foliar application of 4% ferric sulphate in solution with Guardar Adjuvant (obtained from **SnWn Associates**, 3610 **Garden Brook**, Dallas Texas 75234). The Guardar soln only **acted** to **ensure** that the ferric sulphate was not washed away, and so ferric sulphate **could** be applied alone. Ferric sulphate was applied **again** 25 DAS, and distilled water was used to replace tap water for irrigation.

Root growth and development were **monitored** 2 times weekly from the commencement of stress to the termination of the experiment. The following parameters were measured; a) root length, b) number of roots within **each** horizon (**each** tube was marked **out** in 20 cm horizons, giving a total of 5 horizons/100 cm tube), and c) root density within **each** horizon.

This experiment was terminated when it was observed that the first roots had reached the bottom of the tube, and this was at 36 DAS. At termination the following measurements were made; d) soil moisture content of each horizon, e) total root length, f) total root dry wt, g) root volume, h) leaf area, i) leaf dry wt, j) stem dry wt, and k) leaf water potential (the water potential of the plants at the termination of the experiment was as follows; $V1H0 = -13.7$, $V1H1 = -27.0$, $V2H0 = -18.5$, $V2H1 = -31.2$). The procedure used for the measurements in (d) to (k) were as described for pot trials.

4) POT TRIALS:

4.1 Seed treatments:

A batch of V1 seeds were imbibed in distilled water for 3 h (the imbibition time of cowpea seeds. The imbibition time is the period required by a seed to imbibe water to full capacity, and is determined by imbibing seeds and weighing them at regular intervals. Extrapolation from a curve of the data gives the imbibition time). The imbibed seeds were decanted and gradually air-dried to half the moisture content of the fully imbibed seeds (Henckel, 1964; Enu-Kwesi et al, 1986). This constituted the hardening treatment, T1. The other batch of seeds were not imbibed and this constituted the non-hardened, T2. These treatments were repeated for V2, thus giving the following seed treatment combinations; V1T1, V1T2, V2T1, V2T2. The seeds were treated with Granox fungicide as described earlier. Six seeds were sown in each pot.

4.2 Culture and growth of plants :

The seeds were sown 1.5-2.0 cm below the soil level in cylindrical PVC pots (25 cm diam. by 40 cm height) containing 28 kg of top soil with similar composition as described in section 12.3 of this report. The pots were arranged in a 2 by 2 by 3 strip split plot factorial design, giving the following combinations V1T1H0, V1T1H1, V1T1H2, V1T2H0, V1T2H1, V1T2H2, V2T1H0, V2T1H1, V2T1H2, V2T2H0, V2T2H1, V2T2H2 (12 treatments/ replication); H0 = regular irrigation, H1 = -25 bars of water stress, H2 = -40 bars water stress. This was replicated 5 times (i.e 2 by 2 by 3 by 5 = 60 pots). The pots were raised about 4 cm above the floor of the glasshouse with welded steel bars. Another set of similar pots numbering a total of 24 containing seedlings of similar treatments (2 by 2 by 3 by 2 = 24) were also arranged in a strip randomized fashion around the main experimental pots (These served as borders, and data were not collected from the borders).

The pots were irrigated to field capacity with tap water (at field capacity excess water would drain off through 10 mm drainage holes punched at the bottom of the pots) before seeds were sown, and no additional irrigation was done until 2 days after 80% seedling emergence (i.e 6-7 DAS). At this stage, the pots were irrigated with 400 mls of tap water once every other day. When the plants were older and required more water (Le at 20-25 DAS) they were irrigated with 600 ml of water once every other day. At the on-set of flowering (39-40 DAS) the plants were irrigated with 500 ml of water 2 times every day.

At 7 DAS each pot was given 500 g of organic fertilizer, whose characteristics were known. Additional fertilizer, N P K (6:20: 10) was applied in the proportion of 3 g/pot. The number of plants per pot was thinned down to 2 on 21 DAS. Ferric chlorosis was also corrected by 17 DAS as previously described in section 2.3. This solution was sprayed again by 29 DAS, and the plants were subsequently irrigated with distilled water.

4.3 Water stress:

Preliminary results from my laboratory in Nigeria **indicate** that cowpea is more sensitive to water stress at the flowering stage of the life cycle. Water stress was therefore applied to **H1 & H2** plants at 37 DAS, the on-set of flower buds. HO plants received regular irrigation as already described, while irrigation for **H1 & H2** plants was **suspended**, and their water potential determined at regular intervals. Water stress was terminated for **H1** plants when their leaf water potential registered -25 bars at 47 DAS at the termination of **each** stress level irrigation of the hitherto stressed plants was **done** as in the regularly watered plants. Similarly, water stress was terminated for H2 plants at 61 DAS when they had reached a water potential of **about** -40 bars. (Interesting enough, **VIT1H2** plants **never** reached -40 bars, but the stress had to be terminated **since** the life cycle of the plants was almost ended, and other measurements were to be taken. The varieties used in these studies completed their life cycles at 65-67 DAS).

In addition to monitoring leaf water potential, **soil** water content was determined gravimetrically shortly before the termination of **each** stress level. The gravimetric method involved determining water content of **soil** on a mass basis (Kg ha⁻¹). The mass of the sample was determined when it was **collected** from the pots and after oven drying to a constant wt at 105°C for 12-24h. The mass wetness (**w**) was determined from the relationship:

$$w = ((Mw + Ms) - Ms) / Ms$$

where Mw = the mass of water in the sample, and
Ms = the mass of the solid **particles**.

The mass wetness (Kg ha⁻¹) is thus equivalent to the quantity (wet mass-dry mass)/dry mass (Mulla, 1987). This **can** also be related to percentage moisture by;

$$((\text{wet mass} - \text{dry mass}) / \text{dry mass}) * 100\%.$$

(All dry weight measurements of in these expts were taken from a Mettler balance - model AE100, precision balance).

4.4 Water potential measurements:

Water potential was measured with Peltier cooled thermocouple (or **chamber (CC30, WESCOR)**) psychrometers **connected** to a PR-55 psychrometer microvoltmeter readout **device (Wescor, Utah U.S.A)**. The psychrometers were **initially** calibrated with different concentrations of **NaCl** as previously described (Lang, 1967). The **linear** regression derived from the individual **curves** were used to calculate the water potential of **each** sample.

Sampling involved cutting **out** a small rectangular **piece** of leaf tissue (3rd leaf from the apex), avoiding the larger veins. (**Three swift cuts** were made to obtain **each** rectangular **piece** of leaf tissue). The **excised** tissue was quickly **placed** in the sample **compartment** of the psychrometer and left to stand undisturbed (for equilibration) on a laboratory bench for 4 h after which the psychrometer microvoltmeter was used to **read** the microvolt produced by the **sample**. Water potential was calculated as earlier described.

Water potential was measured at the inception of stress (38 DAS) and at 2 - 3 days inter-vals, to the termination of the expt (64 DAS).

4.5 Leaf RWC:

Leaf relative water content (RWC) was similarly monitored from the beginning of stress to the termination of the experiment. Individual treatments were sampled by cutting a section of the 3rd leaf, and swiftly placing it in a small glass vial (Pyrex grade), whose initial weight was determined, and quickly replacing the stopper. The fresh weight (FW) of the leaf tissue was determined, and the leaf was then floated on distilled water for 2 h, after which it was carefully blotted, between folds of paper towelling, avoiding pressing out much sap from the tissue. The blotted leaf tissue was quickly placed between a fold of parafin paper, whose wt was known or zeroed, and the Turgescence weight (TW) determined. The tissue was thereafter dried at between 100-105°C for 12-24 h, and the dry weight (DW) determined. RWC (%) was calculated from:

$$(FW-DW)/(TW-DW) * 100.$$

4.6 Stomatal resistance/conductance:

These were measured with a Delta-T automatic porometer (MK II Cambridge England). Leaf stomatal resistance and conductance were measured on both the adaxial and abaxial surfaces of the 3rd leaf from the apex of the main stem. Measurements were taken from the central part of the centre leaflet. The porometer was calibrated before and after each measurement according to standard procedures (Kanemasu, Thurtell, and Tanner, 1969). For calibration, an acrylic plate which had 11, 6, 4, and 3 holes respectively drilled at different levels was used. These were used to simulate stomatal resistance, the number of holes and thickness of the plate correspond to determined diffusion resistance. A piece of Whatman N°1 filter paper which was saturated with distilled H₂O, with a strip of adhesive paper on one side, was sealed over the lower side of the acrylic plate. A calibration curve was developed for each set of measurements, using the average of before and after measurement calibration readings from the perforated plate with already calculated standard resistance values.

Correction factors (CF) obtained by multiplying the porometric readings by standard calculated values ; 1.0, 0.94, and 0.88 (where 1.0 was used for temps between 0-25°C, 0.94 for 26-35°C, and 0.88 for 36-45°C). Such CF values were extrapolated from the calibration curves to obtain the unit resistance for the adaxial or abaxial surfaces of the leaf.

Conductance of the leaf was calculated from:

$$(1/ADr) + (1/ABr)$$

where ADr= unit resistance of the adaxial surface

ABr= unit resistance of the abaxial surface.

Total leaf resistance (TLr) was calculated from:

$$(1/\text{conductance}).$$

4.7 Protoplasmic resistance: This was done at 50 DAS:

4.7.1 Determination of the temp at which 50% damage was done to the protoplasm; Leaf samples of V1T2H0 and V2T2H0 (control of the unhardened plants) were collected from the 3rd leaf as usual. These leaf samples were collected in plastic bags whose inside was moistened with distilled H₂O to reduce excess H₂O loss.

Ten leaf discs were punched with a 10 mm cork borer from the leaves of V 1, rinsed in distilled H₂O, blotted between folds of paper towellings, and placed in a test tube. The test tube with the discs was then placed in a water bath at 40°C. Series of 10 leaf discs were similarly placed at 45, 47.5, 50, 52.5, 55, 57.5, and 60°C, and a batch was placed at room temp (26°C) to serve as the control. These were repeated for V2 samples.

In another set up, series of 10 leaf discs batches from V1 were placed in different concentrations of polyethene glycol 600 (PEG 600) viz; 0, 20, 25, 30, 35, and 40 g/l. These were also repeated for V2 samples.

The leaf discs in the temp controlled water bath were treated to the various temps for 30 mins, after which 30ml of distilled water was added, and they were then left to stand for 24 h at 5°C in a refrigerator. The temp of the solution was then allowed to equilibrate at room temp for about 15 mins, and conductivity of the solns, free conductivity (FC), measured with a microcomputer conductometer (Consort model K220). These same discs in the solutions were there after boiled at 100°C for 1 h, placed on a bench for 20 mins to cool to room temp, and then returned to the refrigerator at 5°C for another 24.h. Total conductivity (TC) was then measured for each tube.

Meanwhile, the discs in the PEG solns were left to stand for 24 h, after which they were rinsed 2 times in distilled H₂O, placed in 30 ml of distilled water, and left to stand at 5°C for 24 h. The FC of the solns were measured. These discs were then boiled at 100°C, placed at 5°C for 24 h, and the TC measured.

The results were plotted, then the temperature or PEG 600 solution at which 50% damage was done to the protoplasm was used in the actual determination of solute leakage from the membranes. The results of the temperature trials are shown in, and this indicates that the average temp at which 50% damage was done to the protoplasm of these two cowpea varieties was 49.2°C. This temp was used as the working temp for actual determinations.

4.7.2 Actual determinations of protoplasmic resistance; One leaflet (the centre leaflet) were collected from each of 12 treatments in 5 replications. These leaves were placed in polythene bags as described earlier. Leaf discs (10 discs) were punched from each of 5 leaves (a total of 50 discs from each treatment). The discs from each treatment were floated on distilled H₂O for 2 h with 2 changes of the float H₂O within the floating time (the discs were thoroughly rinsed during each water change).

Four test tubes were prepared for **each** treatment (a total of 48 tubes for **all** 12 treatments). The first tube of **each** treatment constituted the sample control, into which 30 ml of distilled H₂O were added (no H₂O was added at this stage to the other 3 tubes for the specific sample treatments). These 3 tubes from **each** treatment were treated to hot temp at **49.2°C** (as previously determined) in a water bath for 30 mins. (Note that the specific sample control tubes from **each** treatment were not treated to hot temperature). The tubes were then removed from the water bath, placed on a bench at room temp for **about** 15 mins after which 30 ml of distilled H₂O were added to **each** tube. **All** the tubes, including the sample control tubes, were then kept at 5°C for 24 h.

The tubes were allowed to equilibrate at room temp thereafter, and the FC was measured for **each soln**. The tubes were then boiled at 100°C in a water bath for 1 h, and placed at 5°C for 24 h. TC was then determined for **each** tube.

% of **absolute damage(AD)** to the protoplasm was calculated from

$$(FC/TC)*100;$$

% of **absolute integrity(AI)** of the protoplasm was calculated from

$$(1 - (FC/TC) * 100 \text{ or from } 100 - (AD));$$

% of relative integrity (RI) was calculated from

$$((1 - (FC/TC) \text{ of st}) / (1 - (FC/TC) \text{ of sc})) * 100$$

where **st** = sample treatment; **sc** = sample control.

% of relative **damage** was calculated from

$$(1 - ((100 - (FC/TC) \text{ of st}) / ((100 - (FC/TC) \text{ of sc}))) * 100$$

4.8 Osmotic regulation:

Leaf samples of **all** treatments were **collected** severally in moistened polythene bags as usual. Eleven leaf discs were punched from **each** leaf sample of **each** treatment with a 10 mm **cork** borer. The discs were rinsed and subsequently **floated** in distilled H₂O in a Petri dish for 2 h to **obtain** full turgidity.

Eleven test tubes, **each** containing a solution of NaCl in the following **concns**; 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.2, 1.4, and 1.7 molal **concns** were prepared. These **concns** corresponded to the following values in bars; -12.72, -16.93, -21.15, -25.39, -29.67, -33.98, -38.32, -42.70, -51.60, -60.68, and **-74.60** all at 5°C respectively. A concave-shaped wire mesh was suspended at 4-5 cm above **each** soln in the tubes. A leaf disc from the first treatment (**VIT1H0**) was taken from the Petri dish in which it was floated, blotted between folds of paper towelling, placed between **folds** of parafin paper (to reduce H₂O loss) and **quickly** weighed (wet wt or turgid wt) on a Mettler AE 100 balance. The disc was immediately placed on the suspended wire mesh of the tube containing the first concentration, i.e **0.3m NaCl**. The tube was immediately wrapped close with a **piece** of parafin paper. The other discs of the same sample treatment were similarly treated and placed in the other concentrations **respectively**. This was repeated for **each** of the 12 treatments, thus giving a total of 132 **tubes**. The tubes were left to stand in a refrigerator at 5°C for 48 h after which the fresh wt (FW) of **each** disc was determined. The discs were then placed in an oven at **100-105°C** for 16 h, and the dry wt (**DW**) measured. Relative water content (RWC) of the discs was calculated as previously described.

4.9 Measurements at final harvest:

The following measurements were made at final harvest;

- a) Leaf **area** was measured with a portable leaf **area meter**, LI-COR brand (model LI-3000).
- b) Leaf dry wt
- c) Stern dry wt
- d) Root dry wt
- e) Dry wt of root nodules
- f) Number of flower buds not **yet** opened
- g) Number of flowers opened
- h) Fruit number and dry wt.

4.10 Statistical treatment:

All data so **collected** were statistically analysed according MSTAT (1985) package, using a **factorial** analysis of **variance**.

III) RESULTS & CONCLUSIONS:

1) RHTZOTRONS:

The elongation growth of the first root (i.e the primary root) was significantly ($P < 0.01$) increased by the stress treatment throughout the period of the experiment. The differences in growth between the varieties was not **significant**. The second and third roots of the **same** plants measured **during** this period were not significantly increased **during** stress. There were, however, differences in root length between measurements.

The number of roots within the first horizon (0-20cm) was higher ($P < 0.01$) in the regularly irrigated plants than in the stressed **ones** irrespective of varieties. However, as the tubes graduated into deeper horizons (e.g **60-80cm, and 80-100cm**) more proliferation of roots was observed ($P < 0.01$) in the stressed plants. This was especially so in **V1**.

Similarly, water stress increased ($P < 0.01$) **the** density of roots only in the deeper horizons of the tubes (**40-60cm, 60-80cm, and 80-100cm**). There was also an important **difference** between the varieties in there rooting characteristics, with **V1** producing a higher density than **V2**.

The **fact** that these cowpea **varieties** showed a higher proliferation of there roots in the first horizon of the tubes which were regularly irrigated was a normal **reaction** of plants grown under **adequate soil** moisture conditions. These plants did not **need** to dissipate useful energy in the growth of deep root systems in search of water, **since** there was **adequate** moisture in the **shallow** zone of the first horizon. Under **soil** moisture stress, however, the development of large numbers of roots in the deeper horizons was necessary to **sustain** the water demands of the actively growing plants. The higher ability of **V1** plants under stress to produce more roots under these conditions appears to contributed to its higher leaf water potential (-27.0 bars) **over** that of **V2** (-31.2 bars), **since** large number of roots provided more surface **area** for water absorption.

At harvest, it was observed that water stress significantly **lowered** the total number of leaves per plant irrespective of the varieties. The total length of roots and leaf **area** were significantly affected. Water stress, however significantly decreased the dry wt of leaves and stems in both varieties alike. It was also observed that both root dry wt and volume mass were not significantly affected by the stress.

The **cummulative** behavior observed in root development at final harvest was a **strange one**. The non **significant** difference in length, dry wt, and volume mass of roots at this stage probably points to the **fact** that the roots were merely **re-aligned** in their distributions **during** stress rather than **any** significant increases in their dry wt and total **area** (or volume). In that case it was most likely that the stressed plants did not expend extra metabolic energy to grow **deep** and higher proliferating **roots**. **The** stressed plants, however, lost in the above **soil biomass**, since dry wt of leaves and stems were decreased by water stress.

The soil moisture content of the stressed tubes was significantly lower than the non stressed **ones**. There was **also** a high level of significance in the moisture content of the different horizons; deeper horizons **contained** more water than shallow **ones**.

2) POT TRIAIS:

RWC; During the **early** stages of the stress treatment (i.e before the plants reached - **25bars**), leaf RWC was not significantly reduced by the stress in both varieties irrespective of the hardening treatment. As water stress progressed, however, (i.e between -2.5 and **-40bars**) RWC of **V1** plants was **significantly** higher than that in **V2** plants. Generally, there was a higher RWC in **regularly** irrigated plants **than** the stressed **ones**. The hardening treatment did not **enhance** the RWC in the stressed plants irrespective of the variety.

Leaf water potential; During **early soil** moisture stress the leaves of these cowpea varieties significantly had lower water potential than the stressed **ones**. **V1** had higher water potential than **V2**. The hardening treatment did not **confer** a better ability to retain more water to the varieties **during** stress. There were important **differences** in the water potential of the plants between measurements; as stress progressed water potential was decreased.

At higher **moisture** soil moisture stress a highly significant difference was observed in the leaf water potential of the plants. Firstly, there was a difference between the control and the stressed plants. Secondly, **V1** had higher potential than **V2**. Lastly, there were **differences** in water **potential** between measurements. Although the hardening treatment did not produce **any differences**, its interaction with the varieties significantly enhanced the water potentials. No **V1** plant ever reached **-40bars**, the original intention of the experiment; but the stress **could** not be **continued** for reasons explained **earlier** in materials and **methods**. (It would be recalled that **such V1** plants that **never** reached -40bars were grown in the **same** conditions as **V2** that reached -40bars **much** earlier).

The higher water content (RWC & water potential) of **V1** over **V2** was probably a result of the higher ability of **V1** to quickly establish and **re-align** their root systems to **meet** the water requirements of the plant under stress as reported in the rhizotron expts.(section 3.1 of this report). Prompt and aggressive **development** of roots are important factors considered in drought adaptation of **crop** plants. The rhizotron experiments. **confirm** that **VE** were able to promptly grow deeper and higher density roots, without expending additional energy.

Protoplasmic resistance; The percentage relative **damage done** to the protoplasm of stressed plants was **significant** irrespective of the varieties and the hardening treatment. There was, however, a high **interraction** between varieties and the hardening treatment as **much** as between the hardening treatment and stress.

On the other hand, percentage relative integrity was significantly different between **V1** and **V2** grown under **soil** moisture stress. **V1** **retained** higher protoplasmic integrity than **V2** under stress. The **interractions** between stress and varieties on **one** hand, and the hardening treatment and stress on the hand were important.

There are reports in the literature which relate protoplasmic integrity to the moisture status of a **plant**. **When** films of moisture surrounding the protoplasm were removed by the drought the protoplasm lost its integrity and was damaged, leading to leakage of protoplasts. Depending on the extent of drying, the protoplasm **may** or **never recover** on restoration of adequate moisture.

Stomatal resistance and conductance; Water stress **significantly** lowered both **stomatal** resistance and conductance u-respective of the variety or the hardening treatment.

At high moisture stress the stomata behave sluggishly in relation to gas exchange. Generally, under water stress stomates close, and impede the diffusion of both **CO₂** and water **vapour**. This **may** also reduce photosynthates (**except** in crassulean **acid** metabolism plants, which have a mechanism for the storage of **CO₂** for photosynthesis).

Stomatal closure **apart** from the **beneficial reduction** of water loss in the stressed plants, in addition reduced the total dry mass (see the subsection on **agronomic** results) of **such** plants **since** enough photosynthates were not available for incorporation into the **carbon** skeleton of the plants.

Osmotic adjustments(regulation); Because of the large number of samples involved in this expt. (a total of 132 samples) and the painstaking nature of the **procedure**, it was **difficult** to replicate the trials, and so statistical analysis was not **done**.

The general pattern of response of these varieties to osmotic adjustment was, however similar to earlier results reported here. The results indicate that the ability of the plants to adjust to osmotic pressure was increased with stress. That is, the higher the **soil** moisture stress, the better the adjustment to osmotic pressure.

There are similar reports in the literature which indicate that the response of plants to stress is improved when they have been exposed to sublethal doses of a similar stress. In a similar vein, when these cowpea varieties were exposed to **soil** moisture stress, and then to osmotic stress, their percentage RWC was found to be increased **over** that of the **controls**. The control plants having **never** experienced **any** drying conditions, **could** not **maintain** an **equally** high RWC (**compared** with the stressed plants) when exposed to the **same** osmotic pressure.

Agronomic results; Water stress significantly reduced the number of fruits, flower buds, flowers, leaf **area**, dry wt of nodules, dry wt of leaves, dry wt of **stem**, dry wt roots, and dry wt of fruits. The hardening treatment did not influence these parameters under stress.

Both varieties did not produce fruits at high water stress level (i.e -40bars), whereas the number of fruits in V2 was more than that in V1 at -25bars, although there was no significant difference in their weights. In a similar observation, the numbers of flower buds and opened flowers considered separately were significantly higher in V2 than in V1 under stress (i.e at -25bars) and the controls. The interactions between the varieties and stress were also highly significant.

The total leaf area of V1 plants was significantly higher than that of V2 under stress and regular irrigation. Again, the hardening treatment did not enhance the surface growth of leaves of both varieties under any of the soil moisture regimes. The dry matter of leaves was reduced by moisture stress irrespective of variety or hardening.

The dry weights of roots and root nodules, determined separately, were also significantly reduced by the stress treatment in both varieties. The reduction in stem dry wt was similarly without regard to variety or treatment.

Photosynthates constitute the primary products in green plants. One of the important effects drought has been reported to be a reduction in photosynthesis through stomatal closure. The exchange of gases needed in the configuration of organic matter in the plants was impeded as adduced from their stomatal behaviour as previously reported above. Consequently dry matter was reduced.

Soil moisture content; There were significant differences between the soil moisture content of stressed and unstressed soils. The soil moisture of the pots at recovery were similar.

REFERENCES

- ENU-KWESI,L., NWALOZIE,M.C.and ANYANWU,D.I. 1986. **Effects** of presowing hydration-dehydration on germination, vegetative growth and fruit yield of *Abelmoschus esculentus* grown under two **soil** moisture regimes. Trop. Agric. (Trinidad) 63(2):181-184.
- HALL,A.E. and DANCETTE,C. 1978. Analysis of fallow farming systems in **semi** arid Africa using a model to **simulate** the hydrologic budget. Agron. J. 70: 8 16-823.
- HENCKEL,P.A. 1964. Physiology of plants under drought. Ann. Rev. of Plant Physiology **15:363-386**
- KANEMASU,E.T., THURTELL,G.W. and TANNER,C.B. 1969. Design, calibration and field use of a stomatal diffusion porometer. Plant Physiol. **44:881-885**.
- LANG,A.R.G. 1967. Osmotic coefficients **and** water potentials of sodium chloride solutions from 0 to 40°C. Aust. J. Chem.**20:2017-2023**.
- MULLA,D.J. 1987. Measurement and **characterization** of **soil** water relationships. In Soil, Crop **and** Water Management in the **Sudan-Sahelian** Zone. A publication of the International Crops Research Institute for the **Semi Arid Tropics (ICRISAT)** pp**75-83**.
- TURK,K.J., HALL,A.E. and ASBELL,C.W. 1980. Drought adaptation of cowpeas. 1. Influence of drought on seed yield. Agron. J. **72:413-420**.

CENTRE D'ETUDE REGIONAL
POUR L'AMELIORATION DE L'ADAPTATION
A LA SECHERE!SSE

CERAAS

I.S.R.A. - C.N.R.A.

BP 53 Bamby Sénégal

Tél.: 73-60-50

**ETUDE DE LA RESISTANCE A LA SECHERESSE
DU HARICOT (*PHASEOLUS VULGARIS L.*)
RESULTATS PRELIMINAIRES DE MISE AU POINT**

D. POMENTE
EPABA/Brésil

Etude réalisée avec le CERAAS
Rapport d'Essai
Juin - Juillet 1991

I) INTRODUCTION:

La présente mission, qui s'est déroulée du 1er juin au 23 Juillet 1991, constitue la première étape d'un programme de recherche mise en place au Brésil (Salvador et Ireá, Bahia) dans le cadre de "l'Empresa de Pesquisa Agropecuaria da Bahia" (EPABA). Notre premier contact avec le C.E.R.A.A.S. remonte à mars 1990, lorsque nous envisagions ce projet brésilien; d'autres contacts entre mars et mai 1991 ont rendu la mission effective.

Les travaux effectués par M. NWALOZIE (chercheur nigérian) sur le niébé étant très similaires aux nôtres, nous avons travaillé conjointement depuis la mise en place de la contrainte hydrique jusqu'à la fin des expériences.

II) GENERALITES:

Le haricot (*Phaseolus Vulgaris L.*), avec un taux de protéines de 22 %, est l'aliment de base de la population brésilienne (Carvallio-e-peixoto, 1974). En 1989, la production brésilienne de haricot a été de 2.327.973 tonnes (IBGE, 1990).

L'état de Bahia, dans la région Nord-est est l'un des principaux producteurs (en 1986, c'est le premier état producteur avec un rendement de 503.6 kg/ha. IBGE, 1987). 21 % de l'aire totale de Bahia est en zone semi-aride, l'irrégularité des pluies étant le principal facteur limitant du rendement (Carvallio-e-peixoto, 1974). Il est donc nécessaire d'introduire des variétés de haricot de plus grande résistance à la sécheresse.

III-1 APPRENTISSAGE DES TECHNIQUES:

Notre participation aux travaux de M. NWALOZIE sur le niébé (*Vigna unguiculata. L.*) nous a permis de maîtriser les techniques suivantes:

- Echanges gazeux avec l'ADC
- Résistance stomatique par porométrie
- Potentiel hydrique par psychrométrie
- Contenu relatif en eau
- Résistance protoplasmique à la chaleur et à la dessiccation
- Régulation osmotique

IV) ESSAIS CULTURAUX PRELIMINAIRES EN SERRE ET A L'EXTERIEUR:

A ESSAI EN SERRE:

1) Essai en pots:

Le dispositif expérimental comprenait 5 variétés, 5 blocs et 2 répétitions. Chaque bloc est en randaomisation totale.

Les variétés étaient les suivantes:

A = RIO • TIBAJI

B = 6232

C = EPABA-1

D = Mulatinho Vagun Roxa

E = IPA 7419

Semées en boîtes de pétri, sur sable humide, à 30°C, ces variétés présentent un très bon taux de germination (95 %)

Les graines traitées au Granox ont été semées dans des sceaux de plastique contenant 22 kg de terre. Ce sol est de type Dior- Dek, c'est à dire argilo-sableux. Le semis a été effectué à raison de 2 graines par poquet, avec 7 poquets par pot. L'irrigation a variée selon la nécessité journalière, avec une moyenne de 100 cc. Deux semaines après le semis, 3 g de N-P-K (10-20-20) ont été fournis à chaque pot.

Deux jours; après le semis, les premières germinations ont été observées. Une semaine après le semis le nombre total de plante était d'une centaine, et deux semaines après le semis il n'y avait plus qu'une soixantaine de plantes. Un mois après la semis, toutes les plantes étaient mortes.

Plusieurs hypothèses peuvent être avancées pour expliquer ce phénomène. Il y a tout d'abord un problème de non maîtrise des doses d'irrigation à apporter. En effet le haricot est une plante très sensible à l'excès d'eau et nous pensons que nos doses d'irrigation étaient trop fortes. Il est probable aussi que les fortes températures combinées à un effet serre soient à l'origine du faible taux de germination et de la forte mortalité observée. Entre 13 h et 15 h la température interne de la serre pouvait atteindre 45 °c.

2) Essai en rhizotrons:

Le dispositif expérimental comprenait 5 variétés, 5 blocs et 2 répétitions. Nous avons utilisés les mêmes variétés que précédemment. Les graines traitées au granox ont été semées à raison de 4 graines/rhizotrons. L'irrigation a varié selon la nécessité journalière.

Deux jours après le semis, quelques germinations sont apparues, mais le très faible taux de germination observé nous a conduit à emmètre de nouveau l'hypothèse d'une influence négative des températures trop élevées dans la serre ainsi qu'un problème de dosage de l'irrigation. Pour s'affranchir de l'effet serre et des hautes températures nous avons reconduit l'essai en extérieur.

B ESSAI A L'EXTERIEUR:

L'essai a été mené en rhizotrons selon le même protocole que celui de l'essai ayant été conduit en serre.

Un premier essai, ne présentant au terme de la première semaine après semis que quelques germinations, a **été** abandonné.

Un second essai a été mené en couvrant la surface des rhizotrons avec un bouchon de paille, afin d'une part de limiter la compaction du sol due **à** l'arrosage, d'autre part de maintenir l'humidité. Au bout de deux jours **après** semis, **2/3** des rhizotrons présentaient au moins une germination. Dix jours après semis, une trentaine de plantules **étaient** visibles, elles sont mortes les jours suivants. Cette mortalité est liée une nouvelle fois à un **problème** d'excès d'eau.

V) CONCLUSIONS:

Il résulte de ces essais de mise au point des techniques de culture du haricot que ce dernier est extrêmement sensible **à** tout excès d'eau et que des températures supérieures **à** 40 °c lui sont préjudiciables. Hernandez et al. (1990) ont montré que l'application d'une température diurne de 38 °c **à** deux **cultivars** de haricot dès le semis affecte la croissance, inhibe la nodulation et l'activité de la nitrogénase et diminue fortement la teneur en azote des tiges.

Ces essais nous ont apporté quelques enseignements nous permettant de mieux maîtriser la culture du haricot:

- le haricot ne supporte aucun excès d'eau
- un paillage avant la levée réduit la compaction du sol due à l'arrosage et permet le maintien de l'humidité.
- le semis doit être réalisé en humide et durant les 4 premiers jours on ne doit réaliser aucune irrigation car sinon les graines ne germent pas du fait d'un phénomène d'asphyxie.

Ces résultats préliminaires vont être utilisés pour mettre en place une étude portant sur le développement racinaire. Cette **dernière** va se dérouler au C.E.R.A.A.S. à Bambey et sera implantée en rhizotrons. Pour juger notre matériel, nous allons le comparer à un témoin de résistance et à un témoin de sensibilité mis en évidence et fournis par le Pr. **Vieira da Silva** du Laboratoire de Physiologie Végétale de l'Université Paris VII.

BIBLIOGRAPHIE

CARVALHO B.C.L. de. Dinamica de floracion y llenado de la **vaina** en cuatro variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) sembradas en diferentes densidades de poblacion. **Tesis** de Doctor en Ciencias, Chapingo, Mexico, 1982.

CARVALHO B.C.L. de, e PEIXOTO J.C.S. O Feijoeiro-comum no estado da Bahia: situacao da **cultura**, zonas productoras e instrucoes praticas de **cultivo**. Secretaria da Agricultura, Coord. de Pesquisa e Extensao Rural, Salvador? BA, **Brasil**. 1974.

IBGE. Anuario Estatistico do **Brasil**, 1986. Rio de Janeiro, 1987.

IBGE. Anuario Estatistico do **Brasil**, 1989. Rio de Janeiro, 1990.

CENTRE D'ETUDE REGIONAL
POUR L'AMELIORATION DE L'ADAPTATION
A LA SECHERESSE

CERAAS

I.S.R.A. - C.N.R.A.

BP 53 Bambey Sénégal

Tél. 73-60-50

**COMPORTEMENT DE 6 GENOTYPES DE SORGHO
E:N CONDITION DE STRESS HYDRIQUE POST-FLORAL.**

Gilles TROUCHE.
CERAAS/ISRA

Etude réalisée au CERAAS
Rapport d'essai
Hivernage 90

I) INTRODUCTION

Le sorgho est la deuxième céréale, après le mil, produite dans la région centre-nord du Sénégal où les surfaces cultivées sont estimées à environ 15.000 hectares. Dans cette zone, la pluviométrie et la fertilité des sols sont pour le sorgho les principaux facteurs limitants à la production et les rendements sont généralement faibles de l'ordre de 600 kg/ha.

La pluviométrie est caractérisée par une forte variabilité interannuelle et une répartition annuelle souvent irrégulière avec des périodes de déficit hydrique très intense.

Dans ce contexte, l'amélioration génétique du sorgho a pour objectif l'obtention de lignées ou hybrides précoces ayant une bonne adaptation aux deux principaux types de sécheresse rencontrés: sécheresse de pré-floraison et sécheresse de post-floraison. L'objectif du présent essai était de tester le niveau d'adaptation et la productivité de 6 génotypes dans deux conditions d'alimentation hydrique: régime pluvial strict et régime avec un stress de post-floraison.

II) MATERIEL ET METHODES

L'essai a été mis en place au Centre National de Recherche Agronomique (CNRA) de Bambey (Sénégal) dans le cadre d'une collaboration avec le Centre d'Étude Régional pour l'Amélioration de l'Adaptation à la sécheresse (CERAAS) durant l'hivernage 1990 (sole F4).

A. TRAITEMENTS

- 6 variétés:	V1 = B35	(lignée)
	V2 = 612 A x 75-1	(hybride)
	V3 = CE90	(lignée)
	V4 = CE 145-66	(lignée)
	V5 = CE 196-7-2	(lignée)
	V6 = CE 151-262	(lignée)

- 2 régimes hydriques:

* Pluvial strict ('Tableau 1)

* Stress de post-floraison obtenu par un bâchage plastique des parcelles, depuis le stade 50 % d'épiaison jusqu'à la maturité, ceci afin d'intercepter les eaux des pluies.

B. DISPOSITIF EXPERIMENTAL

- Plan expérimental: split-plot à 2 facteurs et 4 répétitions.
 - * facteur régime hydrique en grande parcelle (sous bloc);
 - * facteur variété en parcelle élémentaire.
- Parcelle élémentaire totale: 4 lignes de 6 m de long;
- Parcelle élémentaire utile: les 2 lignes centrales diminuées du premier et du dernier poquet;
- Surface parcellaire au semis: 0.80 m entre les lignes x 0.40 m entre les poquets;
- Démariage à 3 plantes (densité théorique = 93.500 plantes/ha).

C. REALISATION

- labour et hersage
- fumure:
 - * 120 kg/ha de 6-20-10 avant le semis
 - * 50 kg/ha d'urée au démariage
 - * 50 kg/ha d'urée à la montaison
- désherbage par sarcla-binage
- buttage au 35^{ème} jour.

III RESULTATS

La variété B 35, sélection de l'université du Texas, considérée dans la bibliographie comme résistante à la sécheresse (stress post-floraison) s'est révélée très peu adaptée aux conditions agroécologiques locales (cycle trop long) et n'a pas été prise en compte dans l'analyse des résultats.

Une répétition a également été éliminée pour son manque d'homogénéité.

D'une manière générale cet essai a souffert d'une mauvaise levée, ayant entraîné des resemis, et d'un mauvais développement végétatif dû au déficit pluviométrique enregistré en début de cycle et à la médiocre qualité de la parcelle (hétérogénéité et problèmes de chlorose fer-tique).

L'analyse des composantes du rendement en grain et du rendement en paille fourni diverses informations:

- nombre de panicules récoltées par parcelle:
Pour cette composante du rendement, il n'y a aucun effet du régime hydrique ou du génotype, ni aucun effet de l'interaction génotype-régime hydrique. Pour le facteur régime hydrique, cette réponse était attendue, le nombre de panicules étant déterminé bien avant le stade phénologique d'application du stress.
- poids de grains par panicule:
Là encore, aucune différence significative n'est mise en évidence pour les facteurs régime hydrique et génotype. Il en est de même pour l'interaction des facteurs.
- poids de 1000 grains:
Il existe un effet génotype hautement significatif et on distingue 3 groupes variétaux (test de Newmans-Keuls, avec $\alpha = 5\%$):
 - * CE 15 1-262 présente le meilleur poids de 1000 grains (19.8g)
 - * l'hybride 612 A x 75-1 (16.9 g)
 - * CE 90, CE 196-7-2 et CE 145-66 (13.4, 13.4 et 12.8 g)

Par contre aucune différence significative n'apparaît entre les deux régimes hydriques.

- nombre de grains par panicule:
On observe une différence hautement significative entre les génotypes mais aucune différence entre les régimes hydriques; l'interaction n'apparaît pas non plus comme étant **significative**. Le classement des génotypes est ici quasiment l'inverse de celui noté pour le poids de 1000 grains. CE 196-7-2 a le nombre le plus élevé (1880 **grains/panicules**) alors que 612 A x 75-1 et CE 151-262 présentent les **nombre**s de grains les plus faibles (1190 et 1130 **grains/panicules**).
- rendement en grains (kg/ha):
Aucune, différence significative n'est mise en évidence pour les facteurs régime hydrique et **génotype**; de même il n'apparaît pas d'interaction entre ceux-ci. Nous pouvons toutefois noter qu'en régime de stress CE 151-262 est la plus productive (1930 **kg/ha**) et l'hybride 612 A x 75-1 le moins productif (970 **kg/ha**). En régime pluvial strict CE 196-7-2 est la meilleure (2310 **kg/ha**) devançant légèrement l'hybride et CE 151-262 (2230 et 2210 **kg/ha**).
- rendement en paille (kg/ha):
Il n'existe pas de différence significative entre les génotypes ou entre les régimes hydriques; il n'y a pas non plus d'interaction entre les deux facteurs. En régime de stress CE 145-66 donne le meilleur rendement (5500 **kg/ha**) et l'hybride est le moins productif (3220 **kg/ha**). En conditions pluviales strictes CE 151-262 obtient la meilleure production (6100 **kg/ha**), CE 145-66 montre un bon maintien de sa production de paille entre les deux régimes hydriques.

L'analyse de l'indice de sensibilité :

$$is = \frac{\text{rendement en condition de stress}}{\text{rendement en conditions pluviales}}$$

n'indique aucun effet géotype significatif pour les rendements en grain et paille. Pour le rendement en grain, CE 90 obtient le plus mauvais indice (0,79) et CE 151-262 le meilleur (1,05).

IV) DISCUSSION

Dans cet essai aucun effet significatif du facteur régime hydrique n'a été mis en évidence pour aucune des composantes du rendement en grain et en paille. On peut toutefois noter qu'en conditions de stress post-floraison il y a une diminution assez nette des rendements en grain et paille pour tous les géotypes (tableau 2). Outre les problèmes de levée et d'hétérogénéité de parcelle mentionnés précédemment, qui ont abouti à une perte de précision dans la mesure de ces caractères de rendement, l'absence d'effet du stress appliqué doit être également attribuée à la méthode utilisée.

Etant donné les différences de cycle existant entre les géotypes (cycle semis-épiaison variant de 57 jours pour l'hybride à 66 jours pour CE 145-66), ceux-ci n'étaient pas obligatoirement dans les mêmes conditions d'alimentation hydrique au moment de l'application du stress et ainsi n'ont pas été soumis à une même intensité de stress. En effet les pluies survenues juste avant le stade de 50 % d'épiaison ont créé des différences dans la constitution du stock hydrique disponible pendant la phase de stress. Ainsi l'hybride 612 A x 75-1, plus précoce que les autres variétés, a été "privé" d'une pluie de 40 mm (17/09/90) ce qui l'a fortement défavorisé dans sa production en régime de stress par rapport aux variétés qui ont bénéficié de cette pluie. Cela expliquerait son médiocre comportement en condition de stress.

En conséquence au moment de l'application du stress les variétés doivent être dans les mêmes conditions de satisfaction de leurs besoins hydriques, et ce indépendamment de leur précocité. Cela implique le maintien de la satisfaction des besoins en eau jusqu'au début du stress à un niveau déterminé (par exemple 80 %) grâce à un suivi du bilan hydrique et à un recours à l'irrigation.

Enfin, quant au type de sécheresse appliquée, nous choisirons dans la suite de nos travaux d'étudier le comportement de notre matériel face à une sécheresse intervenant en pré-floraison, laquelle peut se manifester régulièrement dans cette région centre-nord avec des conséquences sur le rendement beaucoup plus sévères qu'une sécheresse de post-floraison.

En conclusion nous retiendrons que la lignée CE 151-262 présente une bonne adaptation à une sécheresse post-floraison grâce à un bon maintien du poids paniculaire et notamment du poids de 1000 grains, composante du rendement la plus affectée par ce type de stress (Eastin, 1983*). Malheureusement cette variété montre une grande sensibilité à une sécheresse de pré-floraison observée dans nos essais variétaux multilocaux (voir Rapport d'expérimentation multilocale sorgho 1990).

* In symposium on "Potential productivity of fields crops under different environments". IRI. 1983.

TABLEAU I: Pluviométrie de l'Hivernage 1990

	Jun	Juillet	Aout	Septembre	Octobre
1				26.2	18.3
2					4.0
3					
4			5.2	11.0	
5			17.6		
6			14.5		9.5
7			11.0		
8			72.0		
9					
10				11.2	
DECADE			120.3	48.4	31.8
11					
12					
13					
14		1.4			
15		5.7			
16		22.9			1.4
17		9.3	10.0	40.0	Tr
18					
19					11.8
20	2.5		5.4	4.1	13.2
DECADE	2.5	39.3	15.4	44.1	
21		1.2			
22			26.0		
23			16.5		
24		5.5			
25					
26					
27		Tr	4.1	13.3	
28				0.3	
29	13.4	0.7	Tr		
30		3.6		1.1	
31			7.5		
DECADE	13.4	11.8	54.1	14.7	
TOTAUX	15.9	51.7	189.8	107.2	45.0
Nombre de jours	2	a	11	8	5

**TABLEAU 2: COMPOSANTES DU RENDEMENT EN GRAIN ET RENDEMENT EN PAILLE
POUR 5 VARIETES DE SORGHO ET 2 REGIMES HYDRIQUES**

VARIETES	Nbre de panicule/parcelle		Poids grain/panicule		Poids 1000 grains		nbre de grains/panicule		Rendement Grain (Kg/ha)		Rendement Paille(Kg/ha)	
	pluv	stressé	pluv	stressé	pluv	stressé	pluv	stressé	pluv	stressé	pluv	stressé
612A x 75-1	78	71	26.0	12.3	18.1	15.7	1480	910	2230	970	5150	3220
CE 90	86	73	20.5	19.1	13.2	13.6	1550	1350	1970	1540	4710	3980
CE 145-66	92	88	20.3	18.8	13.4	12.3	1515	1450	2080	1840	5670	5510
CE 196-7-2	78	68	27.3	25.5	13.7	13.1	1970	1785	2310	1790	4910	4330
CE 151-262	86	75	22.6	22.4	19.2	20.5	1180	1090	2210	1930	6100	4170
Moyenne	84	75	23.3	19.6	15.5	15.0	1540	1320	2160	1610	5310	4240
F variété	NS*		NS		HS*		HS		NS		NS	
S = ETR 2** (ddl=16)	11.9		6.5		2.1		320		440		920	
CV %	15		30.3		13.4		22.4		23.3		19.2	

*: NS et HS Non Significatif et Hautement Significatif

** : S = ETR 2 = Ecart Type résiduel