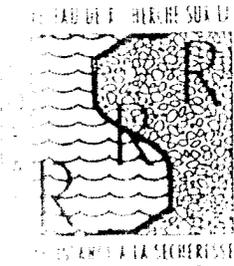


CR0100132



SEMINAIR INTERNATIONAL

GESTION AGROCLIMATIQUE DES PRECIPITATIONS

Une voie de réduction du "gap technologique"
de l'agriculture tropicale africaine

Bamako 9-13 décembre 1991

**Premiers acquis du CERAAS sur la physiologie de
l'adaptation à la sécheresse de quelques espèces cultivées**

D. ANNEROSE, B. CORNAIRE

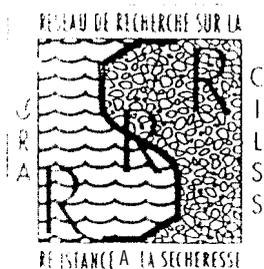
ISRA/CIRAD, Sénégal.

International Seminar

AGROCLIMATIC MANAGEMENT OF RAINFALL

A Pathway for Reducing the Technological GAP
in Tropical Africa

Bamako 9-13 december 1991



SEMINAIRE INTERNATIONAL

GESTION AGROCLIMATIQUE DES PRECIPITATIONS

Une voie de réduction du "gap technologique"
de l'agriculture tropicale africaine

Bamako 9-13 décembre 1991

**Premiers acquis du CERAAS sur la physiologie de
l'adaptation à la sécheresse de quelques espèces cultivées**

D. ANNEROSE, B. CORNAIRE

ISRA/CIRAD. Sénégal.

International Seminar

AGROCLIMATIC MANAGEMENT OF RAINFALL

A Pathway for Reducing the Technological GAP
in Tropical Africa

Bamako 9-13 december 1991

PREMIERS RESULTATS OBTENUS AU C.E.R.A.A.S DANS LE DOMAINE DE LA PHYSIOLOGIE DE L'ADAPTATION A LA SECHERESSE DES ESPECES CULTIVEES EN ZONES SECHES.

ANNEROSE D* .et B. CORNAIRE**
Physiologistes C.E.R.A.A.S.* / S.R.P.H.**

INTRODUCTION

Depuis de nombreuses années, l'amélioration de la productivité des espèces cultivées en zones sèches constitue un des objectifs principaux des pays du continent africain.

L'amélioration des performances intrinsèques du matériel végétal cultivé en condition de sécheresse peut constituer un moyen performant d'atteindre cet objectif qui a de plus l'avantage de ne pas faire supporter directement le coût de ce progrès par l'agriculteur. La mise en place de cette démarche nécessite un effort de recherche pluridisciplinaire permettant de bien décrire les formes de sécheresse, de caractériser les formes de réaction qui existent chez l'espèce étudiée, d'identifier celles contribuant à améliorer le niveau d'adaptation du matériel végétal étudié face à la forme de sécheresse qu'il subit et enfin de sélectionner et créer sur ces critères du matériel amélioré.

Dans la majorité des cas, et particulièrement en zones semiarides, caractérisés par une forte hétérogénéité des formes de sécheresse rencontrées (COCHEME ET FRANQUIN, 1967; DANCETTE et coll., 1979; ANNEROSE, 1991). l'observation unique des variations pluriannuelles des rendements observés chez l'espèce ne permet pas caractériser précisément les formes de réactions qu'elle développe. L'analyse doit alors être complétée par une meilleure compréhension des mécanismes fins du fonctionnement de la plante (mécanismes physiologiques et biochimiques et caractères anatomiques, morphologiques et phénologiques) dont les interactions complexes déterminent les niveaux et la stabilité des rendements observés (HALL, 1981; ROBELIN, 1984).

Bien qu'elle soit encore insuffisamment utilisée en réponse aux problèmes agricoles rencontrés par les pays en développement du continent, cette approche physiologique dans le cadre d'un effort pluridisciplinaire se développe progressivement. essentiellement grâce à la création de structures à vocation régionale, comme le Centre d'Etude Régional pour l'Amélioration de l'Adaptation à la Sécheresse (C.E.R.A.A.S.). Depuis 1989-1990, ce Centre constitue un élément important du réseau R3S en permettant à des chercheurs de différentes institutions

nationales de caractériser les formes d'adaptation à la sécheresse pour un matériel végétal dans l'optique d'améliorer sa productivité.

En plus de ces principaux résultats obtenus par les chercheurs au CIRAD et à d'autres instituts de recherche, nous allons discuter, dans cet article, des mécanismes physiologiques d'adaptation à la sécheresse existant chez les plantes tropicales en nous référant à la classification des formes d'adaptation généralement acceptée depuis les travaux de LEVITT et coll. (1960), HSIAO (1973), TURNER (1979) et LEVITT (1980). A partir de ce bilan partiel des résultats obtenus dans ces conditions, nous tenterons aussi de préciser les thèmes physiologiques importants à travailler pour l'amélioration de la productivité des principales espèces cultivées en Afrique.

MECANISMES PHYSIOLOGIQUES D'ADAPTATION A LA SECHERESSE

Trois grandes formes d'adaptation à la sécheresse sont distinguées chez les plantes (LEVITT et coll., 1960; HSIAO, 1973; TURNER, 1979 et LEVITT, 1980).

les plantes capables d'esquiver la sécheresse (Drought Escapers)

et les deux catégories de plantes supportant la sécheresse :

+ les plantes ayant l'aptitude à éviter la sécheresse c'est à dire capables de supporter la sécheresse grâce à des mécanismes leur permettant de conserver des niveaux élevés d'hydratation de leurs tissus (Drought Avoiders)

+ les plantes pouvant tolérer la sécheresse c'est à dire capables de supporter la sécheresse avec de faibles niveaux d'hydratation dans leurs tissus hydriques (Drought Tolerants).

L'isolement de ces formes d'adaptation à la sécheresse a permis d'établir un certain ordre dans la complexité et la diversité des types de réponses à la sécheresse et facilite l'étude des grands groupes de mécanismes ainsi identifiés. Cependant la grande variabilité des formes de sécheresse permet rarement d'expliquer le niveau d'adaptation d'un matériel végétal donné par la seule considération d'un mécanisme pris isolément. Chacune de ces formes d'adaptation présente des avantages mais aussi des inconvénients et une variété adaptée à un environnement semi-aride doit nécessairement présenter un équilibre entre les réponses d'esquive, d'évitement et de tolérance afin de maintenir des niveaux satisfaisants de productivité.

ESQUIVE DE LA SECHERESSE

Les plantes pouvant esquiver la sécheresse ont la capacité de réaliser leur cycle complet de développement avant la manifestation de déficits hydriques du sol importants. Elles ne peuvent donc être considérées comme de véritables xérophytes qui se caractérisent par un développement phénologique rapide dès que l'eau est disponible et par un étalement de la phase reproductive jusqu'à la réapparition de conditions hydriques favorables. Leur origine est le résultat de la domestication des

espèces sauvages moins productives et se traduit généralement par un raccourcissement des phases de floraison de fructification et de maturation.

La précocité est un caractère qui chez la plupart des espèces correspond à l'existence de variétés dont la phase sensible de développement coïncide avec les périodes de meilleure disponibilité en eau (ANNEROSE, 1990). La recherche de variétés précoces a été peu étudiée au C.E.R.A.A.S. car la sélection correspondait à des critères d'observation relativement simples. Un exemple de l'utilisation de ces critères est fourni par le travail de KHALFACUI (1988) qui a réussi à réduire d'une dizaine de jours le cycle des variétés d'arachide les plus précoces (90 jours) cultivées en zone semi-aride.

Cependant si la précocité assure de meilleurs rendements durant les années sèches elle s'accompagne d'une baisse de productivité lorsque les conditions hydriques sont favorables (ANNEROSE, 1990). L'intérêt d'un tel caractère doit donc être évalué précisément en tenant compte des conditions pluviométriques, de l'évaporation des caractéristiques hydrodynamiques du sol, les effets des pratiques culturales sur la disponibilité en eau et les réactions de la plante à cet environnement. Le développement de modèles mathématiques intégrant ces différents concepts constituent des outils indispensables pour le choix du cycle à rechercher si les données correspondantes sont disponibles (ANNEROSE et DIAGNE 1990, ANNEROSE, 1991 et communication de DIAGNE et ANNEROSE à ce symposium).

EVITEMENT DE LA SECHERESSE

Pour éviter la sécheresse c'est à dire maintenir à des niveaux élevés le potentiel hydrique de leur tissus durant des périodes sans pluies significatives les plantes doivent développer des mécanismes leur permettant à la fois d'augmenter l'absorption en eau et de réduire les pertes en eau.

Croissance racinaire et absorption hydrique

Il est généralement admis qu'un système racinaire bien développé constitue un caractère important pour l'amélioration de l'absorption hydrique. Cependant la détermination des caractéristiques optimales du système racinaire dépend étroitement de l'allure de la pluviométrie et des caractéristiques hydrodynamiques du sol qui déterminent la disponibilité en eau pour la plante. Sur un sol léger à forte capacité de drainage avec des pluies espacées et intenses, le système racinaire le mieux adapté doit être profond et dense sur tout le profil afin de réduire les pertes en eau par drainage en dessous du front racinaire. A l'opposé en cas de pluies fréquentes et de faible intensité un système racinaire peu profond et dense en surface améliorera l'absorption hydrique en réduisant les pertes en eau par évaporation dans les horizons superficiels. La colonisation rapide du sol par le système racinaire est aussi importante dans les zones semi-arides où la préparation du lit de semence et la satisfaction des besoins en eau des germinations ne peut être optimisée par irrigation (HALL et coll., 1979).

Les études conduites au C.I.W.A.V.S., au Ghana, ont en conditions limitantes, mis en évidence l'existence d'une grande diversité de traits de caractéristiques racinaires chez les différentes espèces cultivées en conditions limitantes (surtout en matière d'angle de ramification), mais, malheureusement, aucune étude n'a été faite. Cette diversité peut être exploitée, comme dans le cas de l'arachide, afin de sélectionner du matériel possédant l'architecture racinaire la mieux adaptée à un type de sécheresse donné.

Malgré ces travaux, dans le cas des espèces les plus étudiées, ont aussi été en évidence la considérable capacité d'ajustement de la croissance et du développement racinaire aux conditions hydriques du sol. Chez le mil BATCHO et coil (1991) ont comparé la dynamique de croissance de différents cultivars de mil et observent une augmentation de la profondeur d'enracinement en conditions hydriques limitantes (Figure 1). NWALAZIE (1991) fait une observation identique en comparant la vitesse d'enracinement de 2 variétés de niébé (Figure 2).

Une étude conduite avec l'arachide conduit aux mêmes observations (ANNEROSE, 1993). Dans ce dernier cas, l'augmentation de la vitesse d'enracinement observée en conditions hydriques limitantes s'accompagne d'une redistribution du système racinaire (Figure 3) avec la formation de racines plus longues et plus fines en profondeur et de plus gros diamètre et plus courtes en surface. BATCHO et coil (1991) mettent aussi en évidence un phénomène de redistribution racinaire chez le mil cultivé en conditions hydriques limitantes avec une diversité variétale dans l'angle et l'importance de son expression. Au delà de l'augmentation du volume de sol colonisé qui en résulte, l'avantage de cette modification de l'enracinement chez l'arachide est qu'elle s'effectue sans investissement supplémentaire d'assimilats en direction des racines et sans coût métabolique au détriment des autres organes. Les études conduites au champ ont confirmé l'importance de ce mécanisme d'ajustement du développement racinaire dans le maintien de la capacité d'absorption hydrique durant une phase de sécheresse.

Ces travaux ne sont qu'à leur début et il sera nécessaire de préciser dans le futur la nature des mécanismes en jeu dans les modifications observées du système racinaire en conditions limitantes. Néanmoins ils apportent déjà un certain nombre d'informations originales sur le rôle du système racinaire en conditions de sécheresse.

1- Il apparaît bien que la capacité d'ajustement du développement racinaire en fonction de conditions hydriques du sol peut contribuer de manière significative à augmenter la disponibilité en eau et par conséquent la capacité supposée d'éviter tout de la sécheresse d'une variété donnée (Figure 4).

2- Ces premiers résultats indiquent aussi que dans la recherche et la sélection de matériel adapté la plasticité intravariétale du système racinaire devra être prise en considération et exploitée au même titre que la diversité intervariétale de développement racinaire observée en conditions normales.

3- L'impact des interactions état hydrique du sol - croissance et développement racinaire - l'absorption racinaire indique qu'il est nécessaire de fixer une limite dans le développement des caractéristiques racinaires les plus performantes afin d'éviter un développement excessif (JILLI, 1981; PASIOURA, 1985). Ainsi, dans le cas de l'arachide, nous avons montré qu'une densité racinaire comprise entre 0,6 et 0,8 cm² g⁻¹ est suffisante pour absorber l'eau d'une couche de sol bien humectée (figure 4). Au-dessus de ces valeurs, il est probable que la proportion de racines actives diminue et que des résistances au passage de l'eau à l'interface sol racines se développent.

4- Lorsque l'étude de ces interactions est conduite en conditions contrôlées le choix et la taille des dispositifs utilisés doivent être ajustés en fonction de l'espèce afin d'éviter un développement trop rapide du stress qui ne favorise pas la mise en place des caractères adaptatifs existant au niveau racinaire (voir pour exemple SHARP et coll., 1979 et 1985).

L'intérêt d'un maintien de l'absorption hydrique doit aussi être évalué en fonction de l'efficacité de l'utilisation des quantités supplémentaires d'eau mise à la disposition de la plante. Les quantités d'eau rendues disponibles par une amélioration de l'absorption hydrique sont souvent très faibles par rapport à la consommation de la culture sur la durée totale de son cycle et, en fonction du stade de développement de la plante, ces mécanismes peuvent se révéler insuffisants pour lui permettre de maintenir l'état hydrique de ses tissus. Dans de tels cas, il devient nécessaire que l'adaptation de l'absorption hydrique soit aussi accompagnée d'une régulation des pertes en eau.

Réduction des pertes en eau

Différents mécanismes et caractères, morphologiques contribuent à la réduction des pertes en eau durant le développement d'un stress hydrique (voir TURNER 1986). Cependant la fermeture hydroactive des stomates, lorsqu'elle est associée à une faible transpiration cuticulaire, constitue le mécanisme de régulation des pertes en eau le plus performant (LOUGUET, 1984). La valeur adaptative de ce mécanisme a pu être vérifiée au cours de nos études conduites au C.E.R.A.A.S sur l'arachide (ANNEROSE 1990) le maïs (HEMA I 1990), le niébé (NWALOZIE, 1991) le sorgho (BRETAUDEAU et coll. 1990, LABARE, 1991 et DOUSSOU-YOVO, 1991) et le manioc (MENE, 1990).

Un exemple est fourni par l'étude conduite par BRETAUDEAU et coll. (1990) sur deux variétés de sorgho (Mali) cultivées en conditions contrôlées qui montre bien que la variété contrôlant mieux ses pertes en eau par fermeture des stomates maintient plus longtemps l'état d'hydratation de ses tissus en conditions de sécheresse (Figure 6). Dans le cas du niébé, du manioc et de l'arachide la diminution de la surface transpirante par enroulement des feuilles contribue à réduire efficacement la transpiration.

2.1.1.1. TOLÉANCE À LA SÉCHÉRESSE

La tolérance à la sécheresse est la capacité d'une plante à maintenir sa croissance et sa production de biomasse dans des conditions de sécheresse prolongée.

Les mécanismes de tolérance à la sécheresse sont le maintien de la turgescence des tissus et la tolérance à la déshydratation (ANNIFROSE, 1980). L'accumulation de solutés dans les tissus cellulaires déshydratés, l'augmentation de l'élasticité des parois cellulaires et la diminution de la taille des cellules contribuent à maintenir la turgescence cellulaire. La maintenance de la turgescence permet de maintenir l'ouverture des stomates, la photosynthèse, la croissance racinaire et l'absorption hydrique; elle diffère l'enroulement des feuilles et leur sénescence lors d'un déficit hydrique des tissus (Voir TURNER, 1986, pour une revue). Dans une étude comparant le degré d'adaptation à la sécheresse de races primitives de sorgho et de mil originaires du Mali, du Soudan et de l'Inde, BLUM et SULLIVAN (1986) observent que le degré d'ajustement osmotique dans les feuilles est le caractère physiologique corrélé au niveau d'adaptation chez le sorgho (Figure 2). Les races originaires des régions les plus sèches présentent les niveaux d'ajustement osmotique les plus élevés et les vitesses de croissance végétative les plus fortes. Les premiers travaux menés au C.E.R.A.A.S. dans ce domaine montrent l'importance de la régulation osmotique à faible impédance (3 bars) chez l'arachide (MARCNE, 1990) et confirment la forte capacité de régulation existant chez le niébé (JWALOZIE, 1991).

Les deux principaux mécanismes de tolérance à la sécheresse sont le maintien de la turgescence des tissus et la tolérance à la déshydratation.

2.1.1.1.1. Maintenance de la turgescence

Depuis les travaux de LOCKHART (1965) et HSIANG (1973) la diminution de la turgescence des tissus est considérée comme l'une des causes principales des effets négatifs d'un stress hydrique sur les fonctions de la plante (LEVITT, 1980).

L'accumulation de solutés dans les tissus cellulaires déshydratés, l'augmentation de l'élasticité des parois cellulaires et la diminution de la taille des cellules contribuent à maintenir la turgescence cellulaire. La maintenance de la turgescence permet de maintenir l'ouverture des stomates, la photosynthèse, la croissance racinaire et l'absorption hydrique; elle diffère l'enroulement des feuilles et leur sénescence lors d'un déficit hydrique des tissus (Voir TURNER, 1986, pour une revue). Dans une étude comparant le degré d'adaptation à la sécheresse de races primitives de sorgho et de mil originaires du Mali, du Soudan et de l'Inde, BLUM et SULLIVAN (1986) observent que le degré d'ajustement osmotique dans les feuilles est le caractère physiologique corrélé au niveau d'adaptation chez le sorgho (Figure 2). Les races originaires des régions les plus sèches présentent les niveaux d'ajustement osmotique les plus élevés et les vitesses de croissance végétative les plus fortes. Les premiers travaux menés au C.E.R.A.A.S. dans ce domaine montrent l'importance de la régulation osmotique à faible impédance (3 bars) chez l'arachide (MARCNE, 1990) et confirment la forte capacité de régulation existant chez le niébé (JWALOZIE, 1991).

Plusieurs auteurs indiquent que l'ajustement osmotique a un effet positif sur le bilan en carbone de la plante puisqu'il permet la poursuite de la photosynthèse à des potentiels très bas (JONES et coll., 1979; WILSON et coll., 1980; ACKERSON, 1981; McCREE et coll., 1984).. Cependant, peu d'informations sont réellement disponibles sur le coût métabolique associé à l'accumulation de solutés (HITZ et coll., 1982). Surtout dans le cas des carbohydrates qui contribuent à l'ajustement osmotique et de solutés non osmomorphes pour la formation de biomasse nouvelle ou pour l'entretien de celle-ci existante. Par ailleurs, comme l'indiquent les travaux de TURNER (1986), BAVIN et coll. (1986) et THANG et coll. (1987), l'estimation précise de l'importance des différents modes d'ajustement osmotique sera compliquée par l'existence d'effets

récioproques et, interactifs entre les mécanismes de tolérance et d'évitement à la sécheresse.

Tolérance protoplasmique à la dessiccation

La tolérance à la déshydratation dépend de la capacité des membranes cellulaires, des protéines membranaires et cytoplasmiques à résister à la dégradation et à la dénaturation.

Les travaux de PHAM THI et coll. (1975), PHAM THI (1984), de VIEIRA DA SILVA et coll. (1974, 1991), VIEIRA DA SILVA (1976) et ADJAHOSSOU (1983) chez le cotonnier, le palmier à huile, le haricot et le niébé montrent que la contrainte hydrique provoque une réduction de l'activité des chloroplastes, la réaction de Will et la photophosphorylation étant parallèlement inhibées. Cette baisse d'activité chloroplastique en conditions de sécheresse résulte de la fragilisation des membranes des organites cellulaires accompagnée d'une modification de leur composition lipidique ainsi que d'une perte de compartimentation enzymatique. Outre les effets directs sur l'activité chloroplastique et mitochondriale ces modifications sont aussi à l'origine d'un bouleversement des activités enzymatiques et notamment d'une augmentation de l'activité des enzymes hydrolytiques responsables de la libération de produits inhibiteurs des réactions de la photosynthèse, comme le phosphate inorganique libéré sous l'action des phosphatases (CHAMPIGNY et coll., 1971; PHAM THI et coll., 1976).

La tolérance à la déshydratation est donc un terme général recouvrant à la fois la résistance mécanique des tissus au déficit hydrique ainsi que la résistance biochimique des enzymes et des protéines à la dénaturation. L'évaluation de son importance est de fait complexe et les méthodes simples souvent basées sur une estimation globale du maintien de l'intégrité des tissus restent encore les plus utilisées. La méthode de dosage des électrolytes libérés sous l'effet d'un choc osmotique a été ainsi appliquée à l'étude de la tolérance protoplasmique de différentes espèces au C.E.R.A.A.S.. Parmi celles étudiées le manioc présente la meilleure capacité de tolérance à la dessiccation et à la chaleur (Tableau 1)

Les études les plus avancées, arachide et sorgho, indiquent que la capacité de tolérance à la dessiccation augmente avec l'âge du matériel (ANNEROSE, 1990; LABARE, 1991). L'intérêt de ce comportement est donc particulièrement important à considérer notamment chez les espèces ayant un comportement évasif en fin de cycle.

PERSPECTIVES • CONCLUSIONS

La plupart de ces travaux n'en sont qu'à leur début. Néanmoins, dans leur stade actuel, ils ont déjà l'avantage de mettre en évidence pour les chercheurs concernés et sur l'espèce qu'ils étudient l'importante variété des formes de réactions à la sécheresse. La caractérisation de cette diversité qui n'apparaît pas nécessairement si

l'on se réfère uniquement aux rendements finaux obtenus permet de mieux apprécier les possibilités réelles d'adaptation d'un matériel à une sécheresse donnée, Ce constat d'ordre général ne doit pas masquer les thèmes physiologiques devant être travaillés afin d'améliorer notre compréhension des mécanismes d'adaptation.

Les études sur la croissance, le développement et la fonctionnalité des racines doivent nécessairement intégrer l'étude de leurs interactions avec l'état hydrique et la nature du sol Une attention équivalente doit donc être portée aux effets de la sécheresse sur les parties aériennes et sur les parties racinaires pour pouvoir prendre en compte la capacité d'adaptation à la sécheresse existant à ce dernier niveau.

Les études sur la régulation des pertes en eau et notamment le contrôle stomatique ne peuvent être dissociées des objectifs réels qui sont d'abord d'assurer une bonne production et pas, à tout prix, d'économiser l'eau. A cet égard l'étude des interactions biophysiques ou biochimiques existant entre les racines et les parties aériennes constitue un domaine de recherche important à considérer.

Une meilleure compréhension des mécanismes de tolérance est nécessaire. Beaucoup de plantes sont récoltées en sec et donc finissent leur développement dans des conditions très limitantes en eau. A l'exemple du manioc cultivé en zone sèche elles ne peuvent produire suffisamment que si leur niveau de tolérance est satisfaisant. Il faudra porter une attention particulière aux mécanismes de maintien de la turgescence en caractérisant notamment leurs relations avec le maintien du développement et de la croissance en conditions de sécheresse. Les techniques déjà utilisées pour les études sur la tolérance protoplasmique présentent l'avantage de la simplicité. Il est maintenant nécessaire que la coopération déjà établie avec les laboratoires du Nord aboutisse rapidement à des méthodes et des techniques d'évaluation largement utilisables dont les relations avec les processus de productivité apparaissent de manière plus évidente.

Enfin ces mécanismes ne doivent pas être considérés uniquement de manière séparée. De fortes relations de cause à effet existent entre les mécanismes d'esquive, d'évirement et de tolérance. Et les effets, positifs ou négatifs, d'un mécanisme donné sur la production ne peuvent être clairement appréciés hors d'une description précise de ces relations.

Tableau 1: Valeurs d'intensité du choc osmotique ou thermique provoquant 50% de dégats membranaires chez quelques espèces étudiées au C.E.R.A.A.S.

Espèce	Dessiccation	Chaleur	Auteurs
Sorgho	-23,0 bars	49°C	LABARE (1991)
Mil	-23,0 bars	49°C	LABARE (1991)
Maïs	-24,0 bars	52°C	AKANVOU (1991)
Niébé		49°C	NWALOZIE (1991)
Arachide	-24,5 bars	52°C	ANNEROSE (1990)
Manioc	-37.0 bars	53°C	MBAYE et coll. (1991)

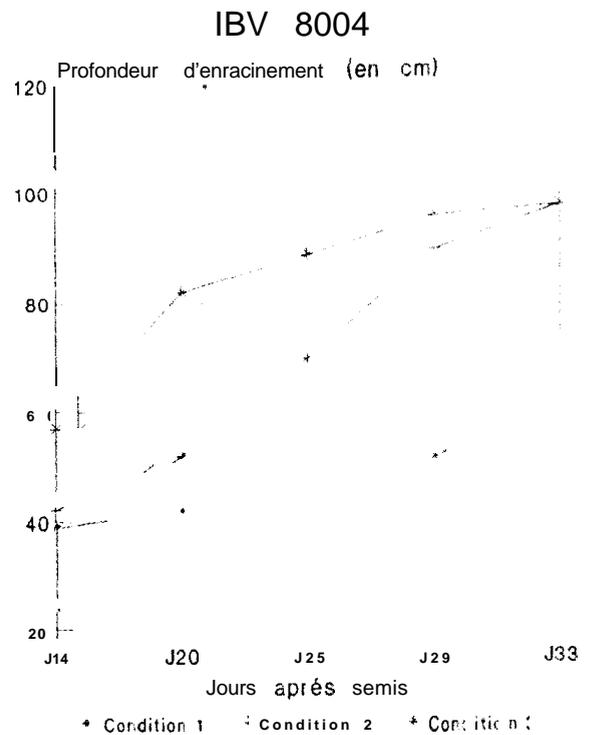
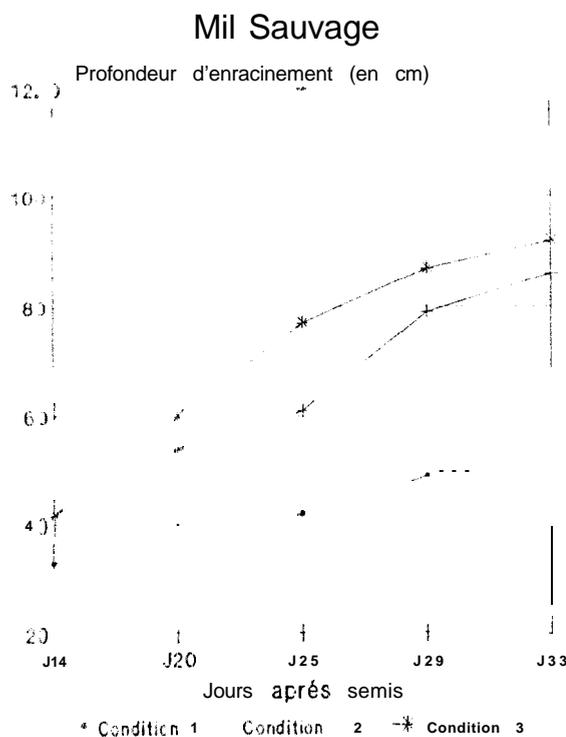
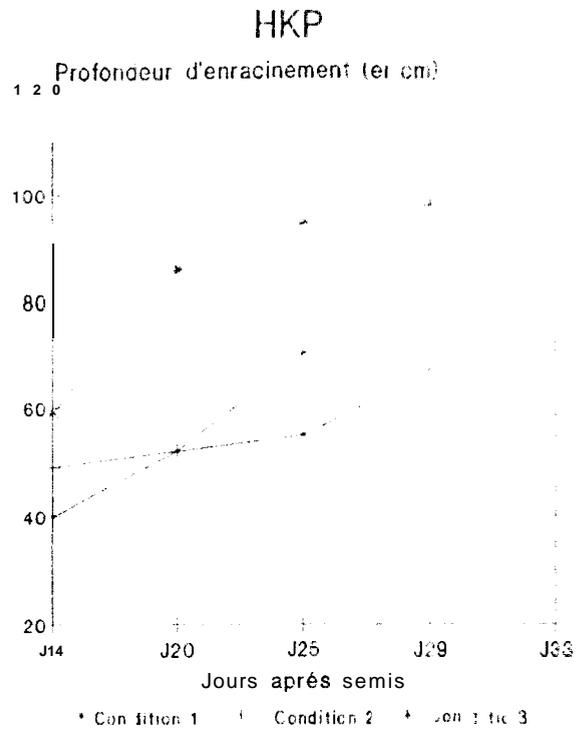
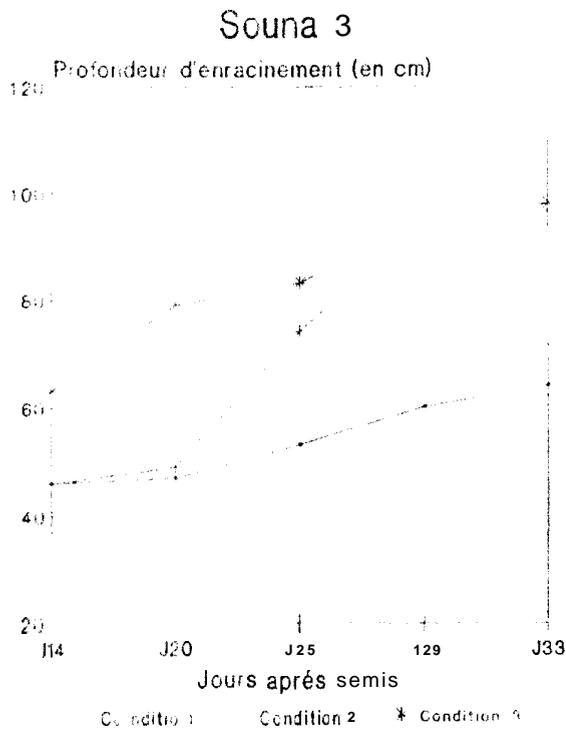


FIGURE 1: Evolution de la profondeur d'enracinement de 4 variétés de mil en fonction des conditions d'alimentation hydrique.

Condition 1 : bien irrigué

Condition 2 : Arrosage à capacité au champ avant semis et arrêt arrosage.

Condition 3 : Capacité au champ dans les horizons inférieurs et 50 % de la capacité au champ dans les horizons supérieurs.

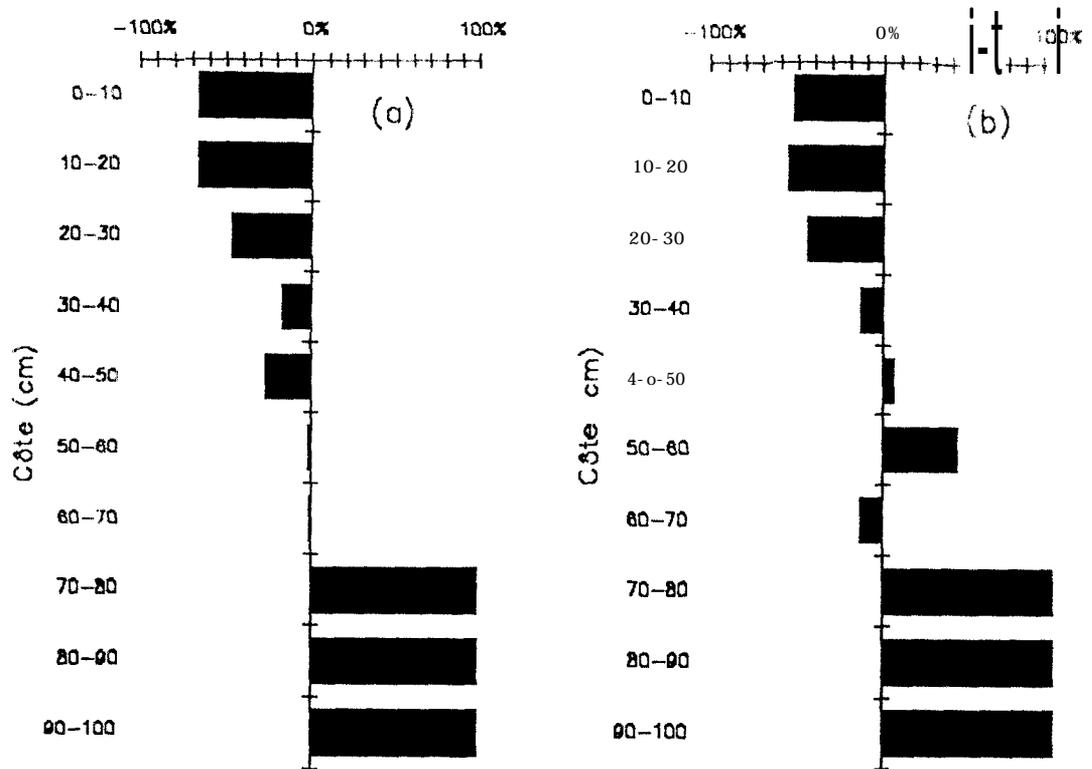
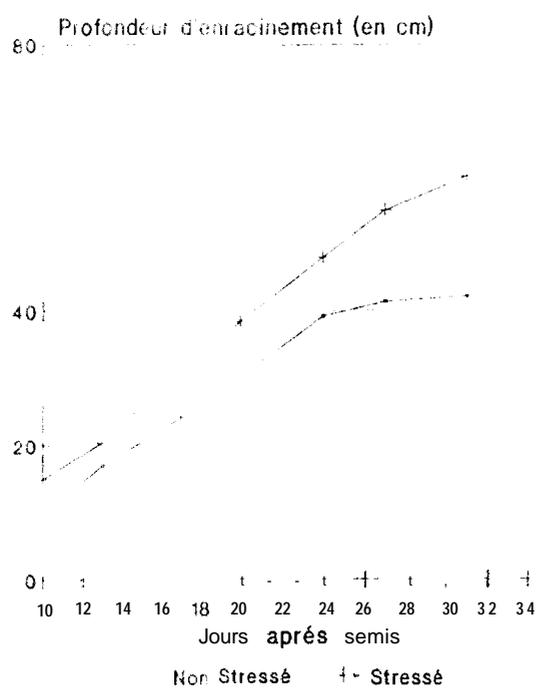


FIGURE 3 : Effet de la sécheresse sur la distribution linéaire (a) et volumique du système racinaire de l'arachide exprimée en % par rapport au témoin.

B89-504



IT84S2246-4

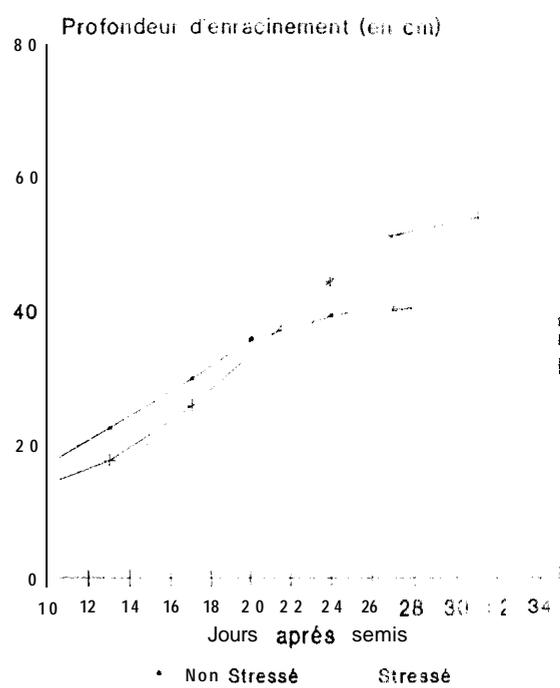


FIGURE 2 Evolution de la profondeur d'enracinement de 2 variétés de niébi en fonction des conditions d'alimentation hydrique.

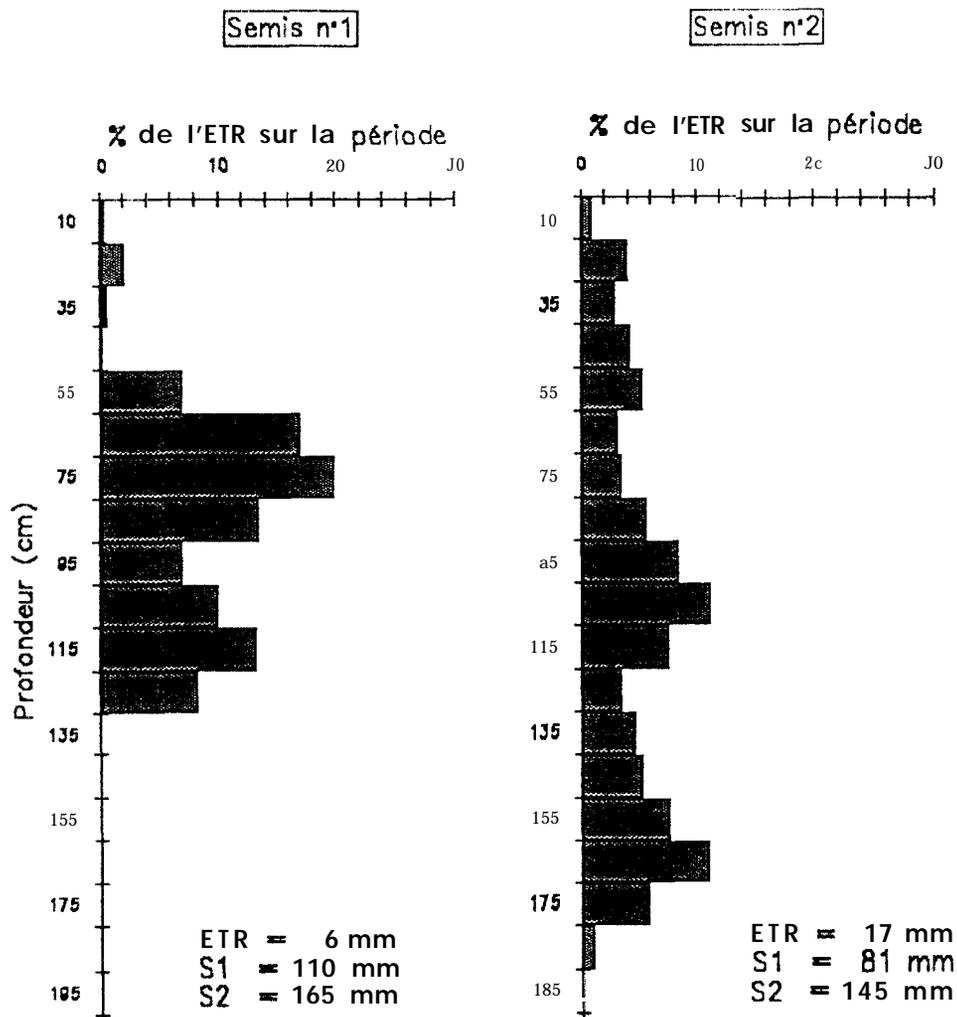


FIGURE 4 : Consommation en eau d'une culture d'arachide mesurée en fin de cycle (période de 7 jours) durant la même campagne. Le semis n°1 correspond à un semis sur la première pluie utile et le semis n°2 à un semis tardif (+ 15 jours).

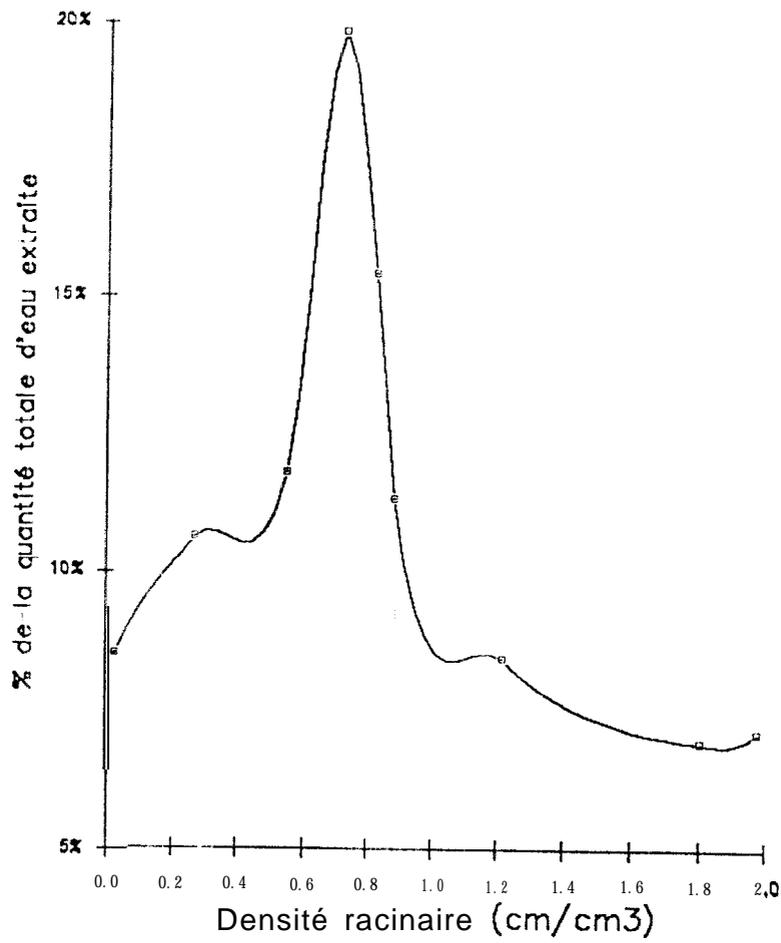


FIGURE 5 : Relation entre la densité racinaire et la quantité d'eau extraite chez l'arachide cultivée sur soi bien alimenté en eau.

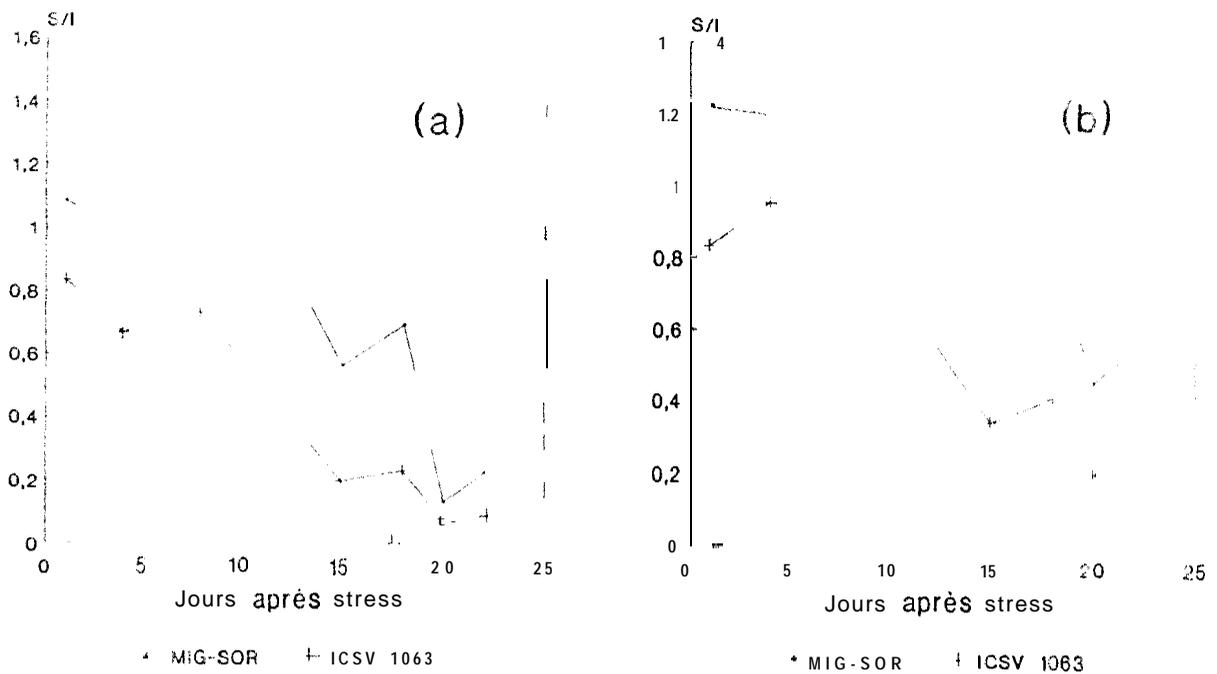


FIGURE 6 : Evolution de la conductance foliaire (a) et de la transpiration foliaire (b) de deux variétés de sorgho cultivées en conditions bien irriguées (I) ou stressées par suspension d'arrosage (S)

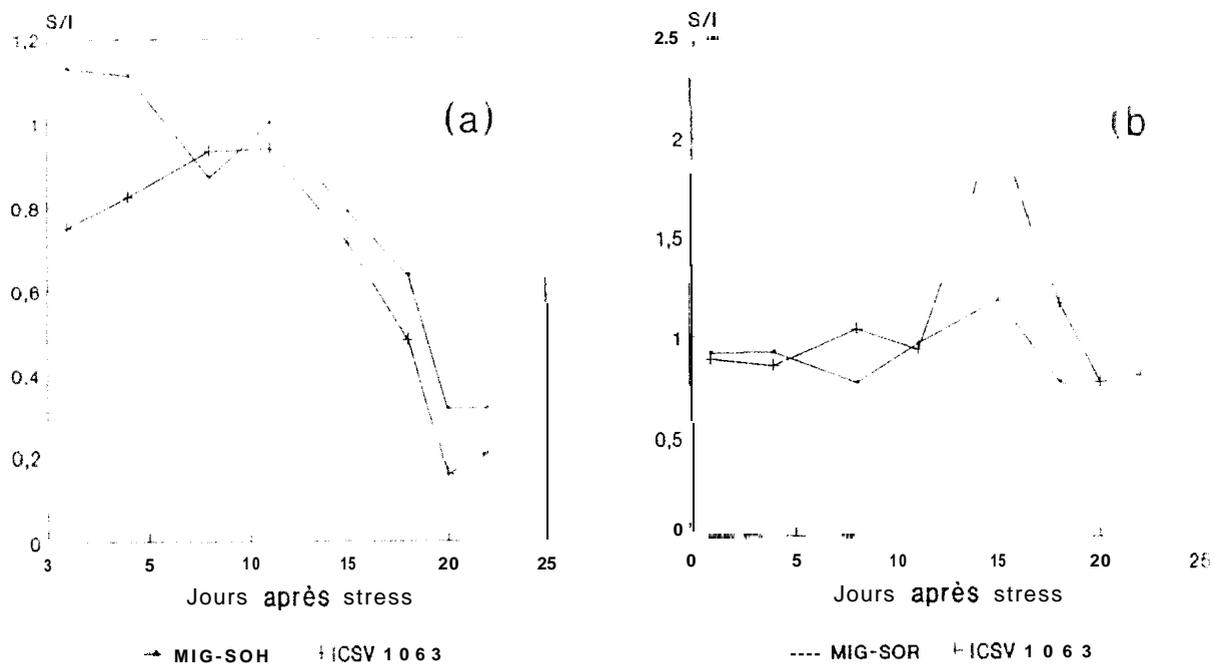


FIGURE 7 : Evolution de la photosynthèse foliaire (a) et de l'efficacité d'utilisation de l'eau (b) de deux variétés de sorgho cultivées en conditions bien irriguées (I) ou stressées par suspension d'arrosage (S). L'efficacité est calculée comme étant le rapport de la photosynthèse et de la transpiration mesurées.

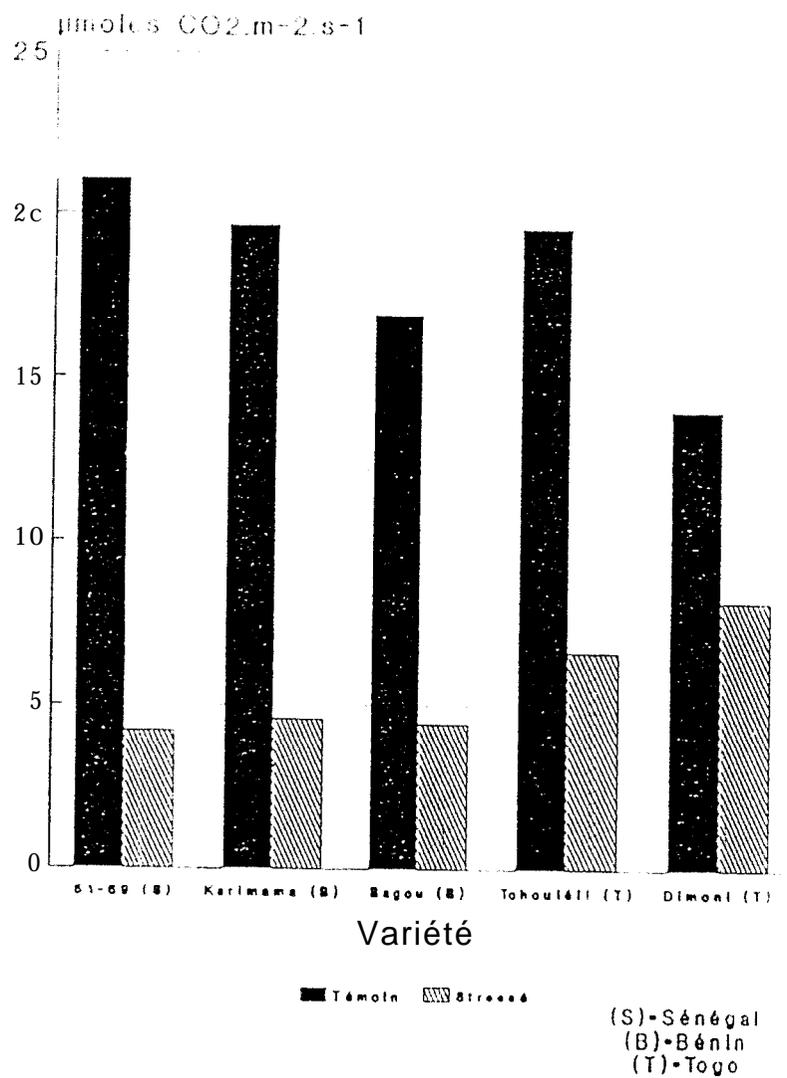


FIG JRE 8 : Photosynthèse foliaire mesurée sur 5 variétés de sorgho bien irriguées et stressées par suspension d'arrosage. Les pieds stressés de toutes les variétés ont un potentiel foliaire de -13 bars.

BIBLIOGRAPHIE

- ACKERSON R.C.** 1981 Osmoregulation in cotton in response to water stress II. Leaf carbohydrate status in relation to osmotic adjustment PLANT PHYSIOL., 67, pages 489-493
- ADJPHOSSOU D.F.** 1983. Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le palmier à huile (*Elaeis Guineensis Jacq.*) Thèse d'état. Université Paris VII. 203 pages
- AKANVOU L.** 1991. Résistance protoplasmique du maïs à la dessiccation et à la chaleur Rapport C.E.R.A.A.S.
- ANNEROSE D.J.M.** 1998. Recherches sur les mécanismes physiologiques d'adaptation à la sécheresse. Application au cas de l'arachide (*Arachis hypogea L.*) cultivée au Sénégal. Thèse Université de Paris VII. 282 pages.
- ANNEROSE D.J.M. ET M. DIAGNE** 1990. 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. OLEAG., 45, 12 pages 547-554.
- ANNEROSE D.J.M.** 1991. 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. OLEAG., 46, 2, pages 61-65.
- BATCHO E., DAOUDA O.S., DO F., ANNEROSE D.J.M., KHALFAOUI J.L., FOFANA A., LAFFRAY D. et P. LOUGUET.** 1991. Etude de la croissance racinaire de six cultivars de mil (*Pennisetum Americanum L.*). BULLETTIN APAMA, 6, pages 51-63.
- BLUM A. et C.Y. SULLIVAN.** 1986. The comparative drought resistance of landraces of shorgum and millet from dry and humid regions. ANNALS OF BOTANY, 57, pages 835-846.
- BRETAUDEAU A., TRAORE B. et B. SIMPARA.** 1990. Amélioration de l'adaptation à la sécheresse du sorgho. Rapport C.E.R.A.A.S. 17 pages.
- CHAMPIGNY M.L. et M. MIGINIAC-MALOW.** 1971. Relation entre l'assimilation photosynthétique de CO₂ et la photophosphorylation de chloroplastes isolés. I. Stimulation de la fixation de CO₂ par l'antimycine A., antagoniste de son inhibition par le phosphate. BIOCH. BIOPHYS. ACTA. 243 pages 335-343.
- COCHEME J. et P. FRANQUIN.** 1967. An agroclimatology survey of a semi-arid area in Africa south of Sahara. TECH. NOTE WORLD. METEOROL. ORGAN., 86, pages 1-136.
- DANCETTE C. et A.E. HALL.** 1979. Agroclimatology applied to management in the soudaniarr and sahelian zones of Africa. In "Agriculture in semi arid environments". Pages 98-118. Ecological studies 34. HALL A.E., CANNELL G.H. et A.W. LAWTON (eds). BERLIN HEIDELBERG NEW-YORK. 340 pages.
- DAVIES W.J., METCALFE Jane, LODGE T.A. et Alexandra R. DA COSTA.** 1986. Plant growth substances and the regulation of growth under drought. AUST. J. PLANT PHYSIOL , 13, pages 105-125.

- DOSSOU-YOVO S.** 1991. Adaptation à la sécheresse du sorgho. Rapport C.E.R.A.A. Siaka paré
- GOILAN T., TURNER N.C. et E.D. SCHULZE.** 1985. The responses of stomata and leaf gas exchange to vapour pressure deficits and soil water content. III. In the sclerophyllous woody species *Olea* and *Oleander*. *OECOLOGIA*, 65, pages 356-362.
- HALL A.E.** 1951. Adaptation of annual plants to drought in relations to improvement of cultivar. *HORTSCIENCE*, 16(1), pages 37-38
- HALL A.E., FORSTER R.W. ET J.G. WAINES.** 1979. Crop adaptation to semi arid environments in "Agriculture in semi arid environments". Pages 148-179. HALL A.E., CANNELL G.H. et A.W. LAWTON (eds) Berlin-Heidelberg-New-York. *ECOLOGICAL STUDIES*, 34, 340 pages
- HEMA I.** 1990. Adaptation à la sécheresse du maïs. Rapport C.E.R.A.A.S
- HITZ W.E., LADYMAN J.A.R. et A.D. HANSON.** 1982. Betaine synthesis and accumulation in barley during field water stress. *CROP SCI.*, 22, pages 47-54.
- HSIAO T.C.** 1973. Plant response to water stress. *ANNU. REV. PLANT PHYSIOL.*, 24, pages 519-570
- JONES M.M et H.M. RAWSON.** 1979. Influence of rate of development of leaf water deficits upon photosynthesis, leaf conductance, water use efficiency, and osmotic potential in sorghum. *PHYSIOL PLANT.*, 45, pages 103-111.
- KHALFAOUI J.L.B.** 1988. Approche de l'amélioration génétique de l'adaptation à la sécheresse des espèces cultivées en zones semi-arides. Application au de l'arachide (*Arachis Ypogea* L.) destinée a la région sèche du Sénégal. Thèse. Université d'Orsay. 297 pages.
- LABARE K.** 1991. Amélioration de l'adaptation du sorgho (*Sorghum bicolor* L. Moench) à la sécheresse : Etude de quelques mécanismes physiologiques chez 5 géotypes soumis à un stress hydrique à la montaison. Rapport C.E.R.A.A.S.
- LABARE K.** 1991. Etude sur la résistance protoplasmique du mil (*Pennisetum Americanum* L.) à la chaleur et à la dessiccation. Rapport C.E.R.A.A.S.
- LEVITT J., SULLIVAN C.Y. et E. KRULL.** 1960. Some problems in drought resistance. *BULLETIN OF THE AGRICULTURAL RESEARCH COUNCIL OF ISRAEL*, 80, pages 173-180.
- LEVITT J.** 1980. Responses of plants to environmental stresses Volume II. Water, Radiation, Salt and other stresses. Academic Press, Inc., 606 pages.
- LOCKHART J.A.** 1965. An analysis of irreversible plant cell elongation. *J. THEOR. BIOL.*, 8, pages 264-276.
- LOUGUET P.** 1984. Interrelations entre les mouvements des stomates et la résistance à la sécheresse chez les végétaux cultivés : Cas du mil. In "La sécheresse en zone intertropicale. Pour une lutte intégrée". Dakar Septembre 1984. CIRAD/ISRA. 591 pages.

- MARJINE E.** 1990. La régulation osmotique dans les tissus foliaires de l'arachide. Thèse d'ingénieur I.N.D.R. 35 pages
- MBAÏE A.** 1990. Etude sur l'adaptation à la sécheresse du manioc. Rapport C.E.R.A.A.S
- MBAÏE A., F. MARIE et D. ANNEROSE.** 1991. Etude sur la résistance protoplasmique du manioc (*Manihot Esculema Crantz*) à la chaleur et à la dessiccation. Rapport C.E.R.A.A.S
- McCREE K.J., KALLSEN C.E. et S.G. RICHARDSON.** 1984. Carbon balance of sorghum plants during osmotic adjustment to water stress. *PLANT PHYSIOL.*, 76, pages 898-902
- NWALOZIE M.C.** 1991. Adaptation of cowpeas to drought Physiological aspects Rapport C.E.R.A.A.S.
- PASSIOURA J.B.** 1982. The role of root system characteristics in the drought resistance of crop plants In "Drought resistance in crops with emphasis on rice". IRRI (eds.), pages 71-82
- PHAM THI A.T.** 1984. Action de la sécheresse sur les lipides polaires des feuilles de Cotonnier (*Gossypium hirsutum L.*). *BULL. SOC. BOT. FR.*, 131,89-97.
- PHAM THI A.T. et J.B. VIEIRA DA SILVA.** 1975. Action d'un traitement osmotique sur l'ultrastructure des feuilles de Cotonniers (*Gossypium hirsutum L.* et *G. anomalum Waw. et Peyr.*). *C. R. ACAD SCI. PARIS*, 280, pages 2857-2860.
- PHAM THI A.T. et J.B. VIEIRA DA SILVA.** 1976. Action des déficits hydriques sur la photosynthèse et la respiration des feuilles du cotonnier. In "Les processus de la productivité végétale primaire" Moysé A. (eds.). Gauthiers-Villars . Pages 183-202.
- ROBELIN M.** 1984. Méthode d'approche pour la hiérarchisation des critères de jugement de la résistance à la sécheresse. In "La sécheresse en zone intertropicale. Pour une lutte intégrée" Dakar Septembre 1984. CIRAD/ISRA. 591 pages
- SHARP R.E. et W.J. DAVIES.** 1979. Solrte regulation and growth by roots and shoots of water stressed maize plants. *PLANTA*, 147, pages 43-49.
- SHARP R.E. et W.J. DAVIES,** 1985. Root growth and water uptake by maize plants in drying soil *J Exp. Bot.*, 170, pages 1441-1 456.
- TURNER N.C.** 1979. Drought resistance and adaptation to water deficits in crop plants. In "Stress physiology of crop plants". MUSSEL H. et R.C. STAPLES. (eds), Wiley Interscience, New-York. pages 343-372.
- TURNER N.C.** 1986. Adaptation to water deficits: A changing perspective. *AUST. J PLANT PHYSIOL.*, 13, pages 175-1 90.
- VIEIRA DA SILVA J.B.** 1976. Water stress ultrastructure and enzymatic activity In "Water and plant life: problems and modern approaches". LANGE O.L., L. KAPPEN et E.D. SCHLUZE (eds.) Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg. *ECOLOGICAL STUDIES*, 19, pages 207-224

VIEIRA DA SILVA J.B., A.W. NAYLOR ET P.J. KRAMER. 1974. Some ultrastructural and enzymatic effects of water stress in cotton (*Gossypium hirsutum L.*) leaves. PROC. NATION. ACAC. SCI. USA, pages 3243-3247.

VIEIRA DA SILVA J.B., PHAM THI A.T. et Y. ZUILY-FODIL. 1990. Résistance a la sécheresse et "Aspects Cellulaires". Rapport C.C.E

ZHANG Jinhua et N.J. DAVIES 1987. Increased synthesis of ABA in partially dehydrated root tips and ABA transport from roots to leaves J EXP. BOT., 38, pages 2015-2023.

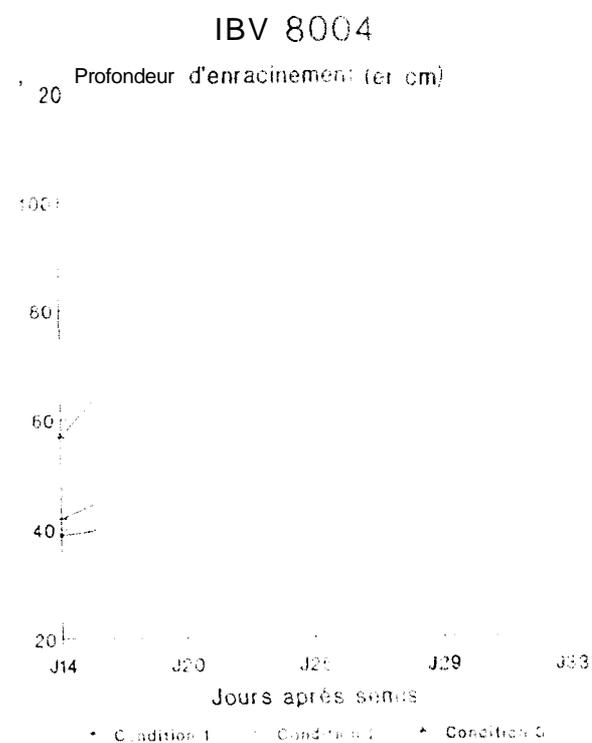
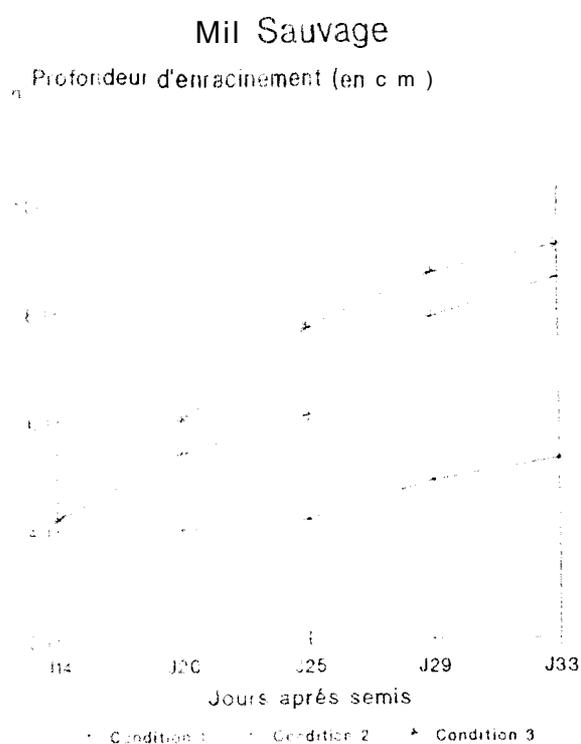
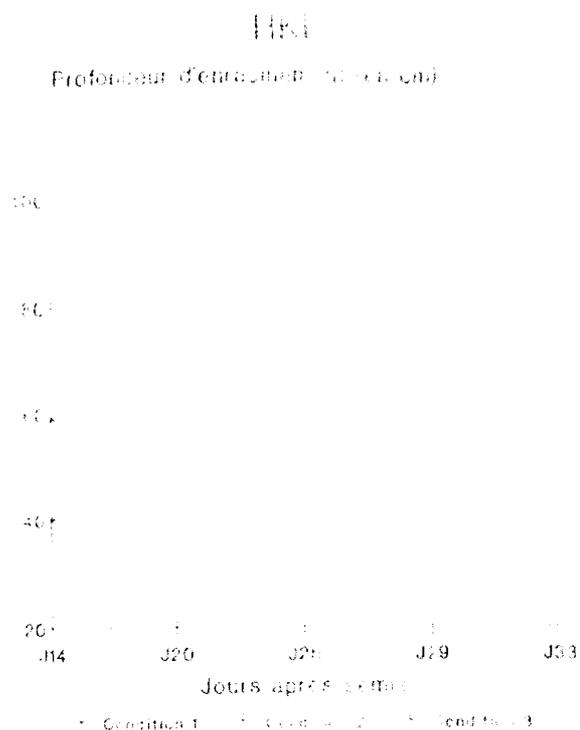
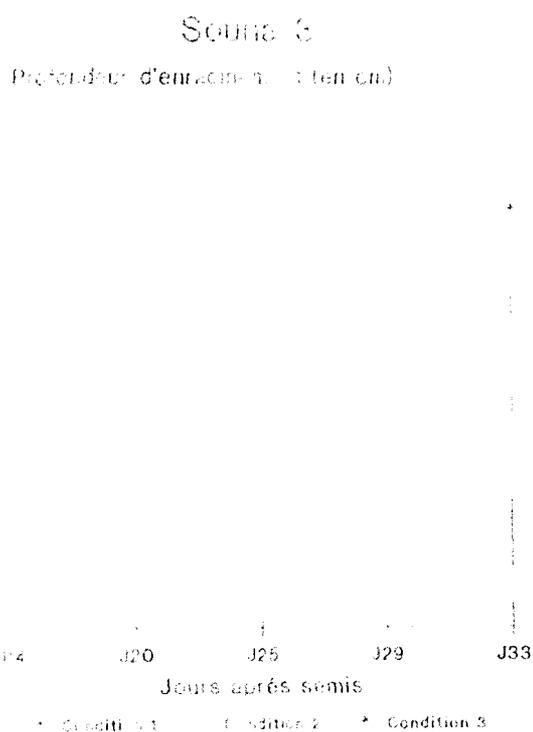


FIGURE 1: Evolution de la profondeur d'enracinement de 4 variétés de maïs en fonction des conditions d'alimentation hydrique.

Condition 1 Témoin bien irrigué

Condition 2 : Arrosage à capacité au champ avant semis et arrêt arrosage

Condition 3 Capacité au champ dans les horizons inférieurs et 50 % de la capacité au champ dans les horizons supérieurs.

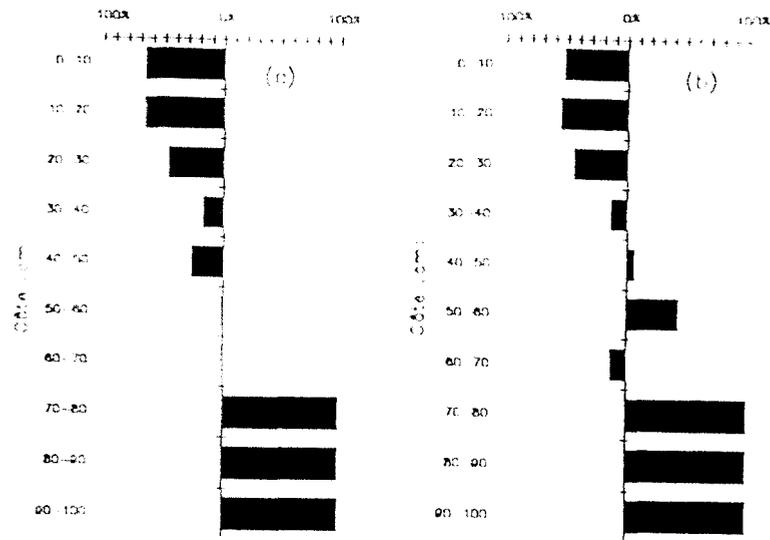


Figure 2 : Distribution racinaire linéaire (a) et volumique (b) mesurée après 27 jours de suspension d'arrosage sur des pieds d'arachide préalablement irrigués à capacité au champ jus au 14ème jour après semis. Les valeurs sont exprimées en % des valeurs trouvées pour les pieds témoins. Tiré de ANNEROSE, 1990.

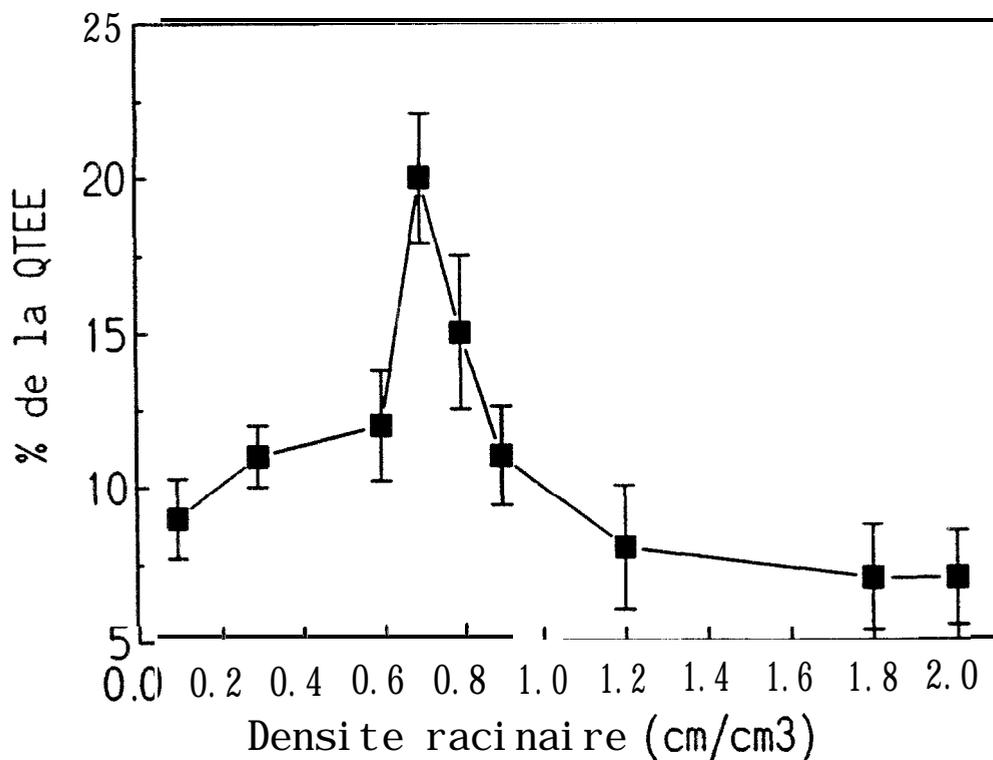


Figure 3 : Relation entre la densité racinaire et la quantité d'eau extraite établie sur de l'arachide cultivée sur sol bien irrigué. Extrait de ANNEROSE, 1990.

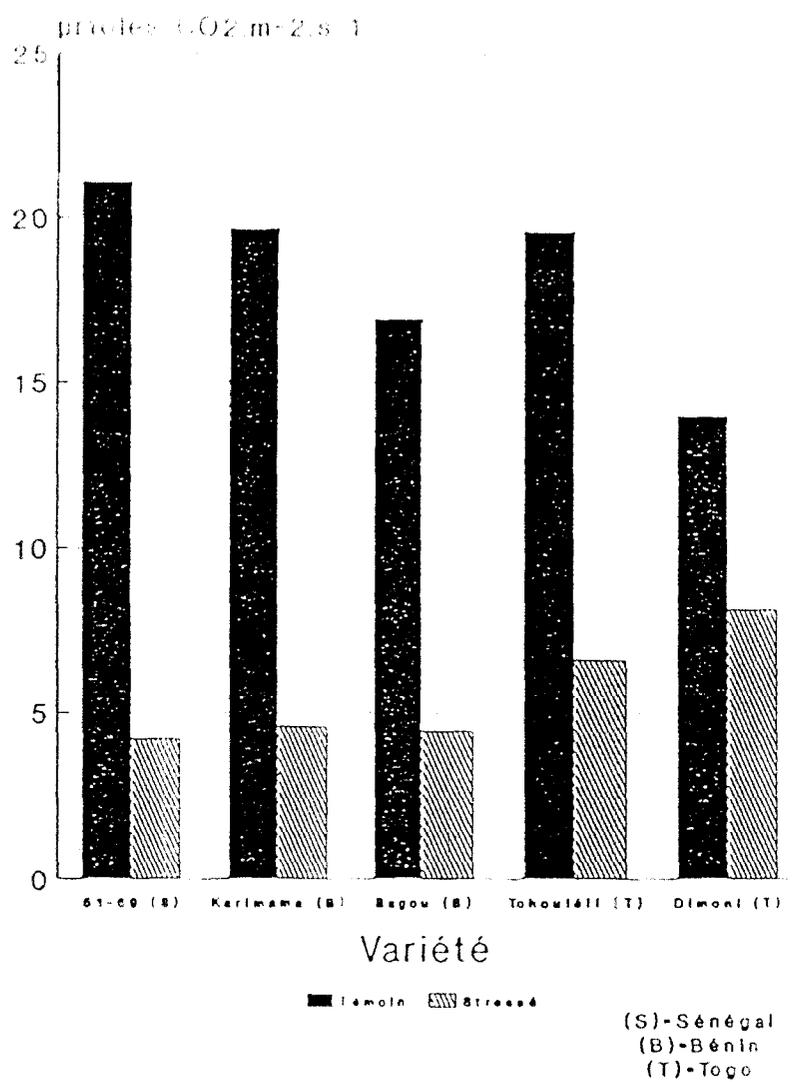


Figure 4 : Photosynthèse foliaire mesurée chez 5 variétés de sorgho bien irriguées et stressées par suspension d'arrosage. Le potentiel foliaire de tous les pieds stressés était de -13 bars Extrait de LABARE, 1991.