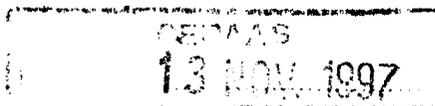


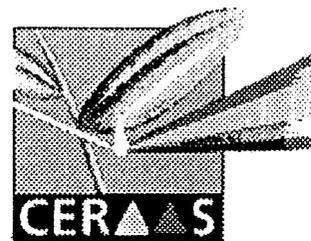
CR000867



MINISTERE DE L'EDUCATION NATIONALE
ECOLE NATIONALE DES CADRES RURAUX
DEPARTEMENT : PRODUCTIONS VEGETALES



182297



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

***EVALUATION DE LA CROISSANCE ET DE LA
PRODUCTIVITE CHEZ DEUX VARIETES DE MIL
(Pennisetum glaucum (L.) R. Br. -SOUNA 3 ET
IB V 8004-) CULTIVEES AU CHAMP SOUS
DIFFERENTS REGIMES HYDRIQUES***

MEMOIRE PRESENTE ET SOUTENU POUR L'OBTENTION DU
DIPLOME D'INGENIEUR DES TRAVAUX AGRICOLES

PAR

M. Tito MITOGO N'ZAMIO

Maitre de stage

M. Ibrahima MBODJI
Formateur, ENCR

Tuteur de stage

Dr. Benoit SARR
Chercheur, CERAAS

NOVEMBRE 1997

182297
IB V 8004

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS

RESUME

INTRODUCTION	1
1. GENERALITES	4
1.1. Notions de croissance De développement et DE productivité	4
1.2. Présentation de la plante	4
1.3. CONCEPT DE SECHERESSE	5
1.3.1. Sécheresse climatique	6
1.3.2. Sécheresse agronomique	6
1.4. ETAT DES CONNAISSANCES SUR LA RESISTANCE DU MIL A LA SECHERESSE..	6
1.4.1. Esquive de la sécheresse	7
1.4.2. Evitement de la sécheresse..	7
1.4.3. La tolérance à la sécheresse	7
1.5. La modélisation des cultures	8
1.6. Objectifs et orientation du travail	8
2. MATERIELS ET METHODES	9
2.1. Le systeme expérimental	9
2.1.1. Localisation et caractéristiques du site de l'essai..	9
2.1.2. Techniques Culturales	9
2.1.3. Matériel Végétal..	10
2.1.4. Dispositif Expérimental..	10
2.2. parametres mesures et techniques de mesures	11
2.2.1. Mesure de la teneur en eau du sol	11
2.2.1.1. Méthode gravimétrique	11
2.2.1.2. Méthode neutronique	12
2.2.2. Calcul du bilan hydrique..	13
2.3. MESURES DES PARAMETRES DE CROISSANCE ET DEVELOPPEMENT	14
2.3.1. Mesures agrophénologiques..	14
2.3.2. Mesures agromorphologiques	14
2.3.3. Le développement du couvert végétal	15
2.4. MESURES PHYSIOLOGIQUES	15
2.4.1. Le contenu relatif en eau (CRE).	15
2.4.2. Mesure de la température du couvert : détermination du Crop Water Stress Index (CWSI)	16
3. RESULTATS	18
3.1. Conditions climatiques de l'expérimentation	18
3.2. alimentation et niveau de satisfaction des besoins en eau	18
3.3. Suivi des parametres physiologiques	22
3.3.1. Le contenu relatif en eau (CRE).	22
3.3.2. L'indice de stress hydrique de la culture (CWSI)	24
3.4. Paramètres de croissance et de développement	24
3.5. Paramètres du rendement	29
3.5.1. Paramètres d'élaboration du rendement	29
3.5.2. les Composantes du rendement final..	31
3.6. Relations entre composantes du rendement et niveaux de satisfaction des besoins en eau..	33
3.7. L'efficience d'utilisation de l'eau	34
4. CONCLUSION ET PERSPECTIVES	35
BIBLIOGRAPHIE	36

REMERCIEMENTS

Au Dr Harold -ROY- MACAULEY Directeur du CERAAS (Centre d'Etudes Régional Pour l'Amélioration de l'Adaptation à In Sécheresse) pour m'avoir accepté dans son laboratoire pendant 4 mois de stage

A l'équipe des chercheurs qui m'a encadré de façon méticuleuse. notamment

Au Dr Benoît SARR (responsable des activités scientifiques du CERAAS) mon tuteur de stage pour m'avoir constamment assisté dans toutes les étapes de ce travail.

A Mr Omar DIOUF à la fois mon professeur de physiologie végétale à l'ENCR par la rigueur scientifique qui m'a transmis à travers ses conseils.

Au Dr Macoumba DIOUF, qui m'a délivré ses connaissances, et son assistance tout au long du déroulement de stage.

A Mr. David BOGGIO, Biométricien du CERAAS pour sa participation dans la mise en place du dispositif expérimental de l'essai. Les conseils pour l'analyse statistique des données.

A Mr. Edouard MARONE, pour son assistance inconditionnelle.

A l'équipe des techniciens dont : S. SIDIBE, P. NDIAYE, I. SANE, A. FAYE, I. NDONG, en un mot, je remercie à tous ceux qui de près ou de loin ont apporté leur contribution à la réalisation de ce travail

Au Directeur de l'ENCR Sidi Haïrou CAMARA, personne que j'ai beaucoup admiré durant mon séjour dans cet établissement, pour son calme et sa sérénité.

A Mr Babacar NDAO, directeur des études et à travers lui tout le personnel enseignant Je pense notamment

4 Mr Cheikh Mbacké MBOUP, chef du DPV (département productions végétales) pour ses qualités d'honnêteté envers ses élèves. A Mr. Ibrahima MBODJ, mon maître de stage pour sa contribution active à ma formation A Mr. Moustapha M. NIANG, il a été mon premier Professeur de l'ENCR.

4 Mes collègues de la 32^{ème} promotion par leur contribution à mon apprentissage du français, notamment à Pape Malick SALL et Assnnc BÂ par l'utilisation conjointe de nos connaissances durant le stage au CERAAS.

Au Conseil Oecuménique des Eglises qui a financé ma formation et mon séjour au Sénégal, et à travers lui

A Mr. David PHILPOT, qui avait commencé le projet de ma formation,

A Madame Barbara MAUBACH, qui a conclu ce projet

Au Dr AGBOTON JOHNSON Christiane, la correspondance du COE au Sénégal

4 l'IRGE, qui a proposé auprès du COE ma candidature à une bourse auprès du COE

Au Pasteur Jaime TEIBIALE SIPOTO, ancien Secrétaire Général de l'IRGE,

A Mr. Carmelo OSA MOKONG,

Au Pasteur Eulogio OBIANG MBA,

A Mr Agustin MEGNANE, et tous ceux qui ont participé à l'obtention de cette bourse

Au Sénégal, pays qui m'a donné l'essentiel de la vie.

A la Guinée Equatoriale, mon pays, je veux beaucoup travailler pour toi, pour ton rayonnement scientifique et culturel,

A DIEU. LE SEIGNEUR. grâce à lui seul la conclusion de ce travail a été possible,

RESUME

L'essai conduit au champ avait pour objectif principal l'évaluation de la croissance et de la productivité de deux variétés de mil (*Pennisetum glaucum*) cultivées sous différents régimes hydriques. Les mesures du bilan hydrique du sol ont permis de caractériser la teneur en eau du soi, puis la consommation journalière et le taux de satisfaction des besoins en eau des plantes. Des mesures physiologiques, telles que le CRE (contenu relatif en eau) et la température du couvert, ont permis de mettre en évidence l'état hydrique et le degré de sensibilité aux stress hydriques des cultures au cours des différentes phases phénologiques des cultures. Un suivi périodique de la croissance et du développement des plantes a été assuré par comptages et mesures d'échantillons de biomasse prélevés au hasard. Les résultats sur le suivi de ces paramètres sur le rendement et ses principales composantes nous ont permis de caractériser les performances agronomiques et l'efficacité de l'utilisation de l'eau pour deux variétés de mil Souda III et IBV8004 pour différentes conditions d'alimentation en eau

INTRODUCTION

Le mil est la céréale la plus cultivée dans les zones sahéliennes, soudano-sahéliennes d'Afrique et une partie de l'Inde FOFANA, (1990) , BILGUEZ (1975) ; cités par MBAYE (1994) et constitue la base de l'alimentation d'une importante partie de la population mondiale THAKUR et MEHTA (1985).

La production annuelle de mil à l'échelle mondiale est environ de 29 millions de tonnes pour une surface estimée à 46 millions d'hectares F.A.O. (1983). En Afrique de l'ouest, la production de mil était évaluée en 1991 à 7,7 millions de tonnes obtenue pour une surface cultivée de 8 692 000 ha, correspondant à un rendement moyen de 891 kg/ha. Ce rendement est très variable et diminue du sud au nord, allant de 1519 kg/ha en Guinée à 188 kg/ha en Mauritanie F.A.O. (1992).

On estime qu'il faut en moyenne 400 g de mil par personne et par jour pour satisfaire les besoins en nourriture des populations au Sénégal BILQUEZ (1975). Cependant les rendements obtenus en milieu paysan sont relativement faibles et tournent entre 375 à 750 kg/ha FOFANA (1992) Ces faibles rendements sont dus essentiellement à l'action combinée des contraintes climatiques et édaphiques.

Au Sénégal, la production de mil était estimée en 1988-1989 à 562 288 tonnes cultivées sur 923 142 ha FOFANA et HRAYE(1990). (Cette production n'augmente presque pas, et sa croissance qui est de 1.4% (depuis 1960) est restée bien en dessous du taux de croissance de la population qui est de 3% par an MBAYE (1994).

Le mil est cultivé pratiquement dans tout le Sénégal, mais le bassin arachidier constitue la zone préférentielle avec 60% des surfaces emblavées FOFANA (1990). Cette céréale est produite pour ces grains, est consommée après transformation en farine. Les sous-produits sont utilisés comme aliment de bétail

L'augmentation de la production des céréales en général, et du mil en particulier, est un objectif prioritaire du gouvernement du Sénégal dans son plan de développement économique et social C'est ainsi qu'un programme d'amélioration du mil a été créé en 1970 et financé par le projet F.E. D. (Fond Européen de Développement) dans l'optique d'augmenter le rendement en grains afin de satisfaire les besoins en nourriture de la population MBAYE (1994).

Cependant la sécheresse qui touche les pays du Sahel depuis plusieurs années, représente une forte contrainte pour la production agricole et par conséquent pour leur développement

économique. Afin de minimiser cette contrainte, le CERAAS qui est un pôle d'excellence pour l'étude de l'amélioration de l'adaptation à la sécherresse des végétaux, tente de développer des méthodologies d'assistance, parmi lesquelles la mise en oeuvre des outils de suivi et de prévision de la production agricole pour l'aide à la décision. La réalisation de cet objectif passe d'abord par l'acquisition des référentiels pour la mise au point de modèle de simulation de la croissance et de la productivité des différents génotypes de mil.

C'est dans ce contexte que cette étude a été conduite, et a pour objectif non seulement de suivre les paramètres liés à la croissance et au développement, mais aussi d'évaluer les performances agronomiques de deux variétés de mil (Souna III et IBV 8004) cultivées au champ sous différents régimes hydriques.

Dans un premier chapitre de ce mémoire, nous proposerons une synthèse des connaissances sur le mil en rapport avec son adaptabilité aux conditions de déficit hydrique. Le matériel et les méthodes d'étude utilisés feront l'objet du deuxième chapitre. La troisième partie de ce travail présentera les résultats obtenus et les discussions aboutiront à une conclusion.

Ce travail est une contribution au programme du CERAAS qui étudie l'interaction génotype × eau et de génotype x eau x fertilité

1. GENERALITES

1.1. NOTIONS DE CROISSANCE DE DEVELOPPEMENT ET DE PRODUCTIVITE

Le développement d'un organisme est l'évolution de celui-ci au cours d'une période considérée. Cette évolution se traduit par deux séries de modifications :

- Modifications quantitatives ou croissance, c'est à dire l'augmentation des dimensions de l'individu, telle que la longueur, la surface, le volume ou la masse.
- Modifications qualitatives ou différenciation, qui se traduisent par l'acquisition des propriétés nouvelles (morphologiques et physiologiques).

Dans l'organisme pluricellulaire, la croissance peut se faire, soit par l'augmentation des dimensions des cellules préexistantes, soit par l'augmentation du nombre de ces cellules.

Le développement représente l'ensemble des transformations qualitatives de la plante liées à l'initiation et l'apparition d nouveaux organes. Contrairement à la croissance, le développement est un phénomène discret repérable dans le temps (germination, émergence des plantules, initiation florale, maturation des grains).

En agronomie, la productivité d'une espèce ou d'une variété, est sa capacité de produire dans un milieu déterminé, lorsque les conditions optimales de culture sont réunies, autrement dit, c'est le rendement maximal d'une espèce ou d'une variété dans une zone agroécologique donnée.

1.2. PRESENTATION DE LA PLANTE

Le mil (*Pennisetum glaucum* L.) est une Graminée de la tribu de *Panicaceae* anonyme (1991) originaire de l'Afrique Occidentale FOFANA et MBAYE (1990) ; SIBAND (1981). C'est une culture annuelle appartenant au genre *Pennisetum*. La dénomination du mil, (*Pennisetum glaucum* (L.) Br J) est la plus admise par la communauté scientifique

La zone de culture du mil est comprise entre les isohyètes 150 et 800 mm DANCETTE (1983) c'est une culture adaptée aux climats semi-arides, la température moyenne tournant autour de 28°C Il est souvent cultivé sur les sols sableux, acides et pauvres en argile. Il ne supporte pas

l'excès d'eau, le sol optimal est sablo - argileux, bien drainé, bien structuré et d'autant plus riche chimiquement que le cycle est court CARON et GRANES (1993).

Le mil est une plante qui peut résister à des conditions écologiques difficiles, il est capable de tolérer à la fois des fortes températures, des stress hydriques prononcés et des sols pauvres RACHIE (1975 ; cité par MBAYE (1994).

Le mil a un système racinaire fasciculé, le front racinaire peut coloniser le profil du sol jusqu'à 3.6 m de profondeur DANCETTE (1977).

Le mil est une graminée à haute tige (de 1.5 à 6 m de haut) cylindrique, à noeuds saillants **mais** relativement mince.

Le mil a une capacité de tallage élevée, ayant la possibilité de produire jusqu'à 40 talles RAMOND (1968) ; cité par MBAYE (1994), toutefois seules quelques talles (de 1 à 7) généralement sont fertiles SIBAND (1981). Les talles représentent 70% de la biomasse totale de la plante AZAM-ALI *et al.* (1984) ; cités par WINKEL et DO (1992).

Les feuilles de mil présentent un limbe foliaire assez large, long, parallèles, alternes et légèrement ondulé sur les bords, la feuille a la possibilité de s'enrouler en cas de déficit hydrique.

L'inflorescence est une panicule contractée ou faux épi, placé sur la partie apicale de la tige en position verticale. Cette panicule est cylindrique, légèrement conique ou fusiforme, de 5 cm à 1 m de long sur 1 à 5 cm de diamètre.

Les épillets peuvent être solitaires ou réunis par 2 à 5 dans un involucre pédicellé plus ou moins rigide. Les fleurs mâles et femelles coexistent sur le même épillet. La protogynie est très marquée (2 à 3) jours entre floraison femelle et mâle, ce qui assure un fort taux d'allogamie, donc la fécondation croisée SIBAND (1981).

Le fruit du mil est un caryopse nu, de forme ovoïdale ou elliptique, de 4 mm environ de longueur et de couleur variable (blanche, jaune, gris ou bleu). Le poids de 1000 grains varie en moyenne entre 4 et 8 g.

1.3. CONCEPT DE SECHERESSE

La sécheresse peut être définie comme une période étendue de diminution des pluies par rapport à un régime autour duquel l'environnement local et l'activité humaine se sont stabilisées DIOUF (1996).

On peut distinguer la sécheresse climatique et la sécheresse agronomique.

1.3.1. Sécheresse climatique

La sécheresse climatique est liée à une baisse de la pluviométrie par rapport au régime normal déterminé à partir de la série pluviométrique pluriannuelle (sur 30 ans, d'après Organisation Météorologie Mondiale), et autour duquel l'environnement local et les activités humaines sont en équilibre.

Sous cette optique, la sécheresse est évaluée sur la base d'analyse statistique des données pluviométriques (hauteurs moyennes annuelles et mensuelles des pluies, coefficient de variation, nombre de jours de pluie, durée moyenne de la saison des pluies, début et fin de saison des pluies. etc.)

1.3.2. Sécheresse agronomique

En agronomie, la sécheresse est caractérisée à partir de ses effets sur la production des cultures. La caractérisation de la sécheresse agronomique, pour être rationnelle, doit nécessairement être faite à des stades phénologiques déterminés.

La notion de sécheresse en agronomie, exprime un déficit hydrique du continuum sol-plante-atmosphère dommageable à la production agricole. Ce déficit hydrique correspond à une réduction de la teneur en eau (T.E), du potentiel hydrique, du potentiel de turgescence de la plante, et son expression dans les tissus du végétal détermine un certain nombre de réponses des plantes,

Pour caractériser cette sécheresse, des modèles dynamiques du bilan hydrique, de l'évapotranspiration et de l'état hydrique de la plante ont été développés. Ces supports permettent d'estimer aussi bien les quantités d'eau disponible et facilement utilisable, que les effets des conditions environnementales sur la croissance et la productivité des cultures

1.4. ETAT DES CONNAISSANCES SUR LA RESISTANCE DU MIL A LA SECHERESSE

Le déficit hydrique affecte divers aspects du développement de la plante, tant au niveau morphologique que physiologique Harold (1993) .

La résistance à la sécheresse d'une plante cultivée c'est la capacité de cette plante à maintenir la production de gain malgré le déficit hydrique. L'adaptation des plantes à la sécheresse se réalise suivant trois (3) mécanismes :

1.4.1. Esquive de la sécheresse

C'est la capacité qu'a une plante à boucler son cycle complet de développement avant que les déficits hydriques importants ne se manifestent.

Les plantes capables d'esquiver la sécheresse sont caractérisées par un développement phénologique rapide.

Selon Clément (1985), dans la zone typiquement sahélienne (pluviométrie inférieure à 600 mm), la majorité des mils cultivés sont de type précoce.

1.4.2. Evitement de la sécheresse

L'évitement de la sécheresse exprime la capacité d'une plante à supporter des sécheresses significatives en cours de cycle, tout en permettant à ses tissus de conserver un potentiel hydrique élevé lors d'une sécheresse.

Différentes caractéristiques sont à l'origine de ce phénomène, parmi lesquelles :

- L'importance profondeur et la densité d'enracinement
- La vigueur et la précocité du développement végétatif
- La plasticité du développement végétatif
- Le contrôle stomatique de la transpiration

1.4.3. La tolérance à la sécheresse

La tolérance à la sécheresse regroupe deux mécanismes qui permettent à la plante de maintenir l'intégrité de ses fonctions métaboliques malgré le déficit hydrique de ses tissus. Les mécanismes de la tolérance à la sécheresse sont : le maintien de la turgescence et la tolérance à la dessiccation (ANNEROSE, 1990).

1.5. LA MODELISATION DES CULTURES

La modélisation constitue une des principales activités de CERAAS. Ce centre a mis au point des modèles de prévisions agricoles basés sur le bilan hydrique et la productivité des cultures. Ces modèles permettent de simuler l'évolution des cultures au cours de leur cycle cultural à partir des différents paramètres liés au climat, au sol et à la plante. Ces modèles peuvent être des outils très performants pour l'aide à la décision.

Pour le développement, plusieurs applications de la modélisation ont été réalisées au Sénégal. La première consiste à fournir des conseils techniques aux agriculteurs basés sur une estimation à un moment donné de l'impact d'une technique culturale sur le rendement.

A l'échelle nationale, le modèle peut être utilisé comme un outil de prévision des récoltes. La modélisation peut être un vecteur performant de diagnostic cohérent entre la recherche et le développement.

1.6. OBJECTIFS ET ORIENTATION DU TRAVAIL

On a défini les objectifs de notre travail sur la base des connaissances sur le fonctionnement du mil et à partir de la problématique actuelle du CERAAS.

Les objectifs à court terme consistent à :

- caractériser le comportement morphophénologique et agrophysiologique des variétés de mil (Souna III et IBV 8004),
- évaluer l'efficacité de l'utilisation de l'eau,
- comparer les performances agronomiques de ces variétés en conditions hydriques satisfaisantes ou limitantes,
- fournir des données pour la mise au point de modèle de simulation de la croissance et de la productivité de différents géotypes de mil,

Quant aux objectifs à long terme, ils consistent à fournir aux utilisateurs (les agriculteurs) futurs de ces variétés des informations nécessaires pour le choix de variétés en fonction des zones agroécologiques.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1. LE SYSTEME EXPERIMENTAL

2.1.1. Localisation et caractéristiques du site de l'essai

L'essai a été implanté durant l'hivernage de 1997 au CNBA (Centre Nord Bassin Arachidier) ex CNRA (Centre National de Recherches Agronomiques) de l'ISRA (Institut Sénégalais de Recherches Agricoles).

Il est situé à Bambey, région de Diourbel, à 16° 28 longitude West et 14° 42 latitude Nord, distant de Dakar 120 km. Sa localisation, dans une zone réunissant les conditions climatiques caractéristiques d'une zone semi-aride, avec une pluviométrie annuelle qui varie entre 400 et 600 mm et des extrêmes de températures tournant entre 19°C et 45°C, favorise la conduite de recherches sur la problématique posée.

Les sols sont de type ferrugineux tropicaux faiblement lessivés d'appellation vernaculaire Dior-Deck, très profonds (4 à 5 m). Ces sols contiennent plus de 90% de sable et sont pauvres en matière organiques (0,4%) et en argile (10%). Leur densité apparente est de 1,45 en surface et supérieure ou égale à 1,50 à partir de l'horizon de 20 cm, avec une humidité au **pfp** (point de flétrissement permanent) à 10 cm de profondeur de 0,5 mm et 2,5 mm au delà de 140 cm de profondeur, tandis que l'humidité à la capacité au champ (**HCC**) varie entre 9,5 mm et 14 mm entre l'horizon 10 et 140 cm respectivement.

2.1.2. Techniques Culturelles

Le sol a été labouré à sec sur une profondeur de 30 cm au tracteur. Le semis en humide après une pluie de 18,5 mm a été effectué le 29 juin 1997 sur un sol à précédent **cultural** légumineuse (arachide). Un resemis des poquets non levés et des plantules attaquées par les rats a été réalisé 8 jours après semis (jas). A 16 jas les opérations suivantes ont été réalisées : un premier sarcla-binage puis démariage à raison de 3 plantules par poquet, épandage d'engrais (15-15-1 5) et d'urée à 2,16 kg/parcelle et 720 g/parcelle.

Le deuxième sarcla-binage et épandage d'engrais (15-15-1 5 et l'urée) aux mêmes doses que le premier avait été réalisé 31 jas en phase de montaison.

Les traitements phytosanitaires suivants ont été réalisés :

- furadan au semis contre les insectes du sol,
- furadan (appâts) contre les rats ravageurs des plantules réalisé 7 jours après semis,
- Cyperax à 3 cc/lit. contre les pucerons (*Aphis craccivora*) réalisé 27 jas,
- Simuthion à 30 cc/15 lit. d'eau contre les criquets (*Oeadalus senegalensis*) au 38^e et 45^e jas,
- Dimethoate à 1 cc/lit. contre les chenilles mineuses des épis (*Heliocheilus albipunctella*), réalisé 51 jas,
- Spidane à 60 cc/15 lit. contre les chenilles mineuses des épis et les cantharides (*Psalydollita vestita*) à 74 jas.
- Le système d'irrigation utilise : est constitué de rampes oscillantes d'une portée de 6 à 7 m de chaque côté environ.

2.1.3. Matériel Végétal

L'étude porte sur deux variétés de mil :

- **Souna III** de 85 à 90 jours de longueur du cycle, variété locale actuellement cultivée dans le bassin arachidier Centre et Sud (Kaolack et Fatick).
- **IBV 8004** de 75 à 80 jours de longueur du cycle, variété locale préconisée par la recherche agronomique pour le Nord du bassin arachidier (Diourbel, Thiès et Louga)

2.1.4. Dispositif Expérimental

Le dispositif retenu pour la conduite de l'essai est le dispositif en **Split Plot**,

avec deux facteurs à deux niveaux

- **facteur variétal** (Souna III et IBV 8004),
- **facteur régime hydrique** (ETM et Pluvial Strict)

Pluvial strict (pl.str.) , c'est à dire les plantes reçoivent uniquement l'eau provenant de la pluie, autrement dit les cultures sont soumises au régime pluviométrique de Bambey au cours de cet hivernage

ETM (évapotranspiration maximale) , c'est à dire les plantes bénéficient des apports d'eau dus à la pluviométrie de Bambey et éventuellement de complément d'irrigation. De cet fait, elles sont bien alimentées en eau tout au long du cycle cultural.

On a trois (3) répétitions, donc 2*2*3 ce qui donne 12 unités expérimentales

L'unité expérimentale est une parcelle de 12 m*12 m, comportant au centre un carré de rendement de 5.4 m*5.4 m.

2.2. PARAMETRES MESURES ET TECHNIQUES DE MESURES

2.2.1. Mesure de la teneur en eau du sol

La détermination de la teneur en eau du sol peut se réaliser suivant deux méthodes :

2.2.1.1. Méthode gravimétrique

La teneur en eau du sol peut être déterminée directement par des pesées successives des échantillons du sol, prélevés à la tarière à des horizons déterminés

Les prélèvements se font tous les 10 cm jusqu'à 100 cm, et tous les 20 cm jusqu'à 300 cm de profondeur.

Les échantillons sont conservés dans des boîtes hermétiquement fermés et préalablement tarés.

Ils sont pesés à l'état frais avec une balance de précision, ensuite ils sont séchés à l'étuve à 105°C pendant 24 h au minimum jusqu'à l'obtention d'un poids constant.

L'humidité pondérale (HP%), qui est l'eau contenue dans chaque échantillon (en gramme pour 100g de sol), est obtenue par la formule suivante :

$$Hp\% = ((Pf - Ps) / (Ps - Pv)) * 100, \text{ d'où}$$

Pf = poids frais de l'échantillon,

Ps = poids sec de l'échantillon.

Pv = poids vide de la tare

La grande précision que l'on peut obtenir dans la mesure des poids érige cette méthode en référence pour toutes les autres. Cette méthode présente l'avantage d'être très accessible, et d'un coût faible.

- Toutefois, des erreurs peuvent être introduites au niveau de la profondeur du prélèvement, de la représentativité du carottage et de l'échantillon extrait, et de l'évaporation possible au cours du transport.

L'humidité volumique qui est le plus souvent utilisée dans les applications pratiques (étude des bilans hydriques notamment) est obtenue en mesurant séparément en tous points l'humidité

pondérale (H_p) et la densité apparente du sol (D_a) du sol. L'humidité volumique est alors calculée à partir de la formule suivante :

$$H_v \% = H_p \% * D_a$$

2.2.1.2.Méthode neutronique

Parmi les techniques préconisées pour mesurer la teneur en eau du sol, la méthode neutronique est actuellement l'une des plus utilisées.

La sonde à neutrons (**Troxler 4300**) ou humidimètre neutronique est un appareil qui, par un étalonnage préalable, permet une mesure directe de l'humidité d'un sol avec une grande fiabilité. Elle assure des mesures in situ, continues dans le temps et aux mêmes endroits, sans perturbations répétées du site.

La mesure neutronique de la teneur en eau du sol consiste à irradier ce sol par les neutrons rapides. Ces particules nucléaires se répartissent dans un volume donné de sol dans lequel, elles donnent lieu à des chocs élastiques en entrant en contact avec d'autres noyaux d'éléments de masse voisine. Au cours de ce processus, les neutrons sont ralentis.

Les atomes d'hydrogène (essentiellement) contenus dans les molécules d'eau, étant réputés efficaces pour le ralentissement de ces neutrons DIOUF (1996), on peut admettre que la teneur en eau du sol puisse être estimée par cette technique.

L'utilisation de la sonde à neutrons doit être précédée d'un étalonnage D'ailleurs, cet étalonnage s'impose, car il existe dans le sol des atomes d'hydrogène autres (matière organique, argile) que ceux des molécules d'eau. En outre, le sol peut souvent renfermer des corps capables d'absorber les neutrons émis (chlore, bore). Ce calibrage doit être effectué en utilisant le même sol que celui où seront installés les tubes d'accès.

La méthode gravimétrique, qui est une méthode de terrain, est très convenable et se présente comme l'une des meilleures façons d'étalonner la sonde à neutrons, si le nombre d'échantillons est grand. La liaison entre l'humidité volumique (H_v) donnée par gravimétrie et comptage neutronique donné par la sonde est établie à l'aide d'une régression linéaire simple dont l'équation se présente ainsi

$$H_v = a * N_r + b$$

$N_r = N/N_e$, N étant comptage neutronique in situ et N_e le comptage étui,

a (la pente) et b sont caractéristiques du type de sol.

L'étalonnage réalisé a permis d'obtenir les deux droites ci-dessous. En fonction de cela, on a trouvé les droites d'étalonnage ci-dessous

- Pour la tranche 0 à 20 cm : $Hv = 0.025 Nr + 1.7587$ avec $R^2 = 0.84$
- Pour la tranche 20 cm à 300 cm : $Hv = 0.0317 Nr - 1.7449$ avec $R^2 = 0.88$.

2.2.2. Calcul du bilan hydrique

Le bilan hydrique déterminé sur 12 parcelles a été réalisé chaque semaine durant le cycle de culture, ce qui a permis en partie de bien conduire les apports d'eau pour les parcelles en ETM.

Le stock de l'eau du sol est obtenu à partir des humidités volumiques (Hv), grâce au logiciel BIPODE, ce stock est le cumul des Hv horizon par horizon jusqu'à 300 cm.

Le bilan hydrique général peut se déterminer par l'équation suivante:

$$ETR = I + P + (S_1 - S_2) \pm R_{ui} \pm D_r, \text{ d'où}$$

ETR = Evapotranspiration réelle, c'est à dire la quantité d'eau réellement transpirée par les plantes et évaporée par le sol,

I = Irrigation apportée aux cultures,

P = pluie,

$(S_1 - S_2)$ = variation de stock hydrique du sol d'une période t à une autre t+1, celle-ci peut être positive ou négative,

R_{ui} = Ruissellement, il peut être positif (entrée d'eau dans la parcelle) ou négatif (sortie d'eau de la parcelle),

D_r = Le drainage de l'eau sous la zone d'extraction racinaire en ce moment est négatif, ou positif s'il représente des éventuelles remontées capillaires.

Certains termes du bilan hydrique pour les 12 parcelles ont été négligés (le drainage et le ruissellement). Pour le drainage, le sol est profond et par conséquent les profils des humidités volumiques convergent avec le profil sec à moins de 300 cm (zone de bouclage du bilan hydrique), concernant le ruissellement, de buttes ont été aménagées autour des parcelles pour empêcher l'entrée ou la sortie d'eau.

La connaissance des Kc (coefficients culturaux) et l'évaporation en bac normalisé classe A permet de déterminer l'ETM, c'est à dire les besoins en eau de la culture en fonction de stades de développement, ceci nous permet de calculer d'une part le taux de satisfaction des besoins

en eau (TSAT), $TSAT = (ETR / ETM) * 100$, et d'autre part de déterminer l'irrigation théorique ($ETM - ETR$)

2.3. MESURES DES PARAMETRES DE CROISSANCE, ET DEVELOPPEMENT

2.3.1. Mesures agrophénologiques

Elle consiste à assurer un suivi de la date de levée, de tallage, de montaison, d'épiaison, de la floraison femelle et mâle, de formation des grains laitex , grains pâteux et enfin la date de maturité et de récolte.

On considère qu'un événement est déjà réalisé lorsqu'on l'observe dans le carré de rendement a un taux supérieur ou égal à 50% de cet événement.

Les mesures agrophénologiques Permettent d'observer la rapidité avec laquelle les deux variétés de mil se développent durant le cycle, pour juger que telle variété est la plus hâtive ou tardive

2.3.2. Mesures agromorphologiques

Des prélèvements d'échantillons de mil ont été réalisés chaque semaine. Trois (3) poquets par parcelle sont prélevés hors du carré de rendement et des bordures de protection

Il s'agit de mesures destructives, dans lesquelles on comptabilise durant la phase végétative : le nombre de talles du brin maître, le nombre de feuilles, la hauteur de la tige principale. Ce matériel est soumis au séchage pour l'obtention du poids sec, soit à l'étuve, soit sous serre.

A partir de l'épiaison, on effectue un comptage du nombre d'épis par poquet, la longueur de l'épi de la tige principale. Après séchage on détermine le poids sec des épis. En phase de formation des grains on détermine le poids sec des grains et le poids de 1000 grains à l'aide d'un **Numigral** (compteur des grains) type Tripette renaud.

Les mesures agromorphologiques permettent d'observer tout au long du cycle l'évolution de la production de la biomasse et de grains des variétés de mil.

2.3.3. Le développement du couvert végétal

On choisit un carré composé de quatre (4) poquets sur lesquels vont s'opérer les mesures, ces poquets doivent être choisis préférentiellement dans le carré de rendement, on voit de cette manière l'évolution du couvert végétal de façon hebdomadaire. L'appareil **Licor LAI 2000** permet une mesure rapide et non destructive de l'indice foliaire, c'est à dire la surface de feuilles par unité de surface de sol.

Le principe de mesure LAI repose sur la différence entre la quantité de lumière mesurée au dessus de la canopée et celle mesurée en différents points au niveau du sol sous la canopée.

L'intérêt de mesure LAI repose sur la possibilité de faire une analyse du développement des plantes par leur indice foliaire en liaison avec la productivité, l'estimation de la biomasse végétale, la densité, les attaques d'insectes, etc.

2.4. MESURES PHYSIOLOGIQUES

2.4.1. Le contenu relatif en eau (CRE)

Le contenu relatif en eau ou teneur relative en eau, exprime le volume d'eau contenu dans un échantillon d'une partie de la plante (feuille, tige, ...), par rapport au volume d'eau de cet échantillon en pleine turgescence. Elle s'exprime comme suit

$$CRE = ((P_f - P_s)/(P_t - P_s)) * 100$$

P_f = poids frais de l'échantillon

P_s = poids sec de l'échantillon

P_t = poids turgescence de l'échantillon.

Cette pleine turgescence sert d'état de référence qu'il est indispensable de choisir, lorsqu'on veut comparer des plantes soumises à des conditions d'alimentation en eau différentes. Le CRE est un paramètre relativement stable, car il intègre le bilan hydrique d'une plante à l'échelle de plusieurs jours. La réponse des génotypes au déficit hydrique peut être caractérisée par l'utilisation du CRE.

2.4.2. Mesure de la température du couvert : détermination du Crop Water Stress Index (CWSI)

La liaison de la température d'une feuille avec sa transpiration, de même que celle d'un couvert végétal avec son évapotranspiration est connue depuis longtemps.

Une culture stressée, dont les stomates sont fermés et sa transpiration diminue, aura un feuillage plus chaud qu'une culture bien alimentée en eau. La mesure de température de ce couvert permet donc de caractériser l'état hydrique d'une culture.

Le radiothermomètre infrarouge (**Telatem AG42**) c'est l'appareil qui permet une mesure automatique et conjointe de la température d'un couvert végétal et du différentiel de température de ce couvert végétal avec l'air environnant.

Le principe de fonctionnement du radiothermomètre à compteur infrarouge repose sur le principe que tout corps émet des rayonnements dans des longueurs d'onde différentes en fonction de sa température.

Les mesures doivent se faire entre 12 h 00 et 14 h 00 (solaire), période de la journée la plus représentative des variations de température et de différentiel de température avec l'air ambiant.

La mesure de la température de couvert se réalise concomitamment avec celle de la température de l'air sec et humide à l'aide d'un **Psychromètre ventilé**. Le radiothermomètre infrarouge nous donne le **DT** (différentiel de température).

Le calcul du déficit de pression de vapeur (**DPV**) de l'air est effectué grâce au logiciel **SANJI** à partir de **Ts** et **Th** obtenues avec le **Psychromètre ventilé**.

Au lever du jour, que la plante soit en situation de stress hydrique ou en condition d'alimentation en eau satisfaisante, sa température de couvert est égale ou légèrement supérieure à celle de l'air environnant. Au fur et à mesure que la journée avance, on observe deux comportements :

- pour une plante ou parcelle stressée, le différentiel de température (**Tc - Ta**) est toujours supérieur à zéro à mesure que le **DPV** augmente.
- Pour une plante ou parcelle bien alimentée en eau, le différentiel de température (**Tc - Ta**) diminue avec l'augmentation du **DPV**.

Dans les conditions de l'essai, on a pu déterminer pour la variété Souna III la limite supérieure et la ligne de base.

L'équation de la ligne de base qui représente le lien entre le différentiel de température (Dt) et le DPV pour les parcelles à ETM est la suivante : $y = -0.132 x - 2.5$; $R^2 = 0.86$.

Pour un couple (DPV-DT), l'Index de Stress Hydrique de la Culture (CWSI) c'est le rapport entre ce point à la ligne de base sur la distance totale (du point à la ligne de base plus de la ligne de base à la limite supérieure).

Le CWSI est un outil qui permet d'apprécier le niveau de déficit hydrique d'une culture, et par conséquent, le pilotage de l'irrigation.

3. RESULTATS

3.1. CONDITIONS CLIMATIQUES DE L'EXPERIMENTATION

L'hivernage 1997, avec un cumul pluviométrique de 343 mm pour la période de l'essai est caractérisé par une forte concentration des pluies durant le mois d'août et septembre (figure 1) le nombre de jours de pluie est de 34, l'humidité relative est caractérisé par des maxima entre 84 à 99% et des minimales de 37 à 81%. Les variations de la température maximale ont été comprises entre 27,5 et 38,7°C et celles des minima entre 21 et 25,5°C. L'évapotranspiration potentielle (ETP) a varié entre 2,82 et 7,87 mm/j ; la vitesse du vent entre 0,8 et 5,5 m/s et la durée d'insolation entre 0,5 et 11 h.

3.2. ALIMENTATION ET NIVEAU DE SATISFACTION DES BESOINS EN EAU.

L'eau est la principale contrainte pour la production agricole, le niveau de production dépend étroitement du niveau de satisfaction des besoins en eau. Une plante bien alimentée en eau a plus de possibilités d'offrir des rendements plus élevés que celle qui a connu des périodes de stress hydriques. c'est sous cet angle que nous allons évaluer l'effet du niveau d'alimentation en eau sur les paramètres de croissance, de développement et de la productivité pour deux variétés de mil.

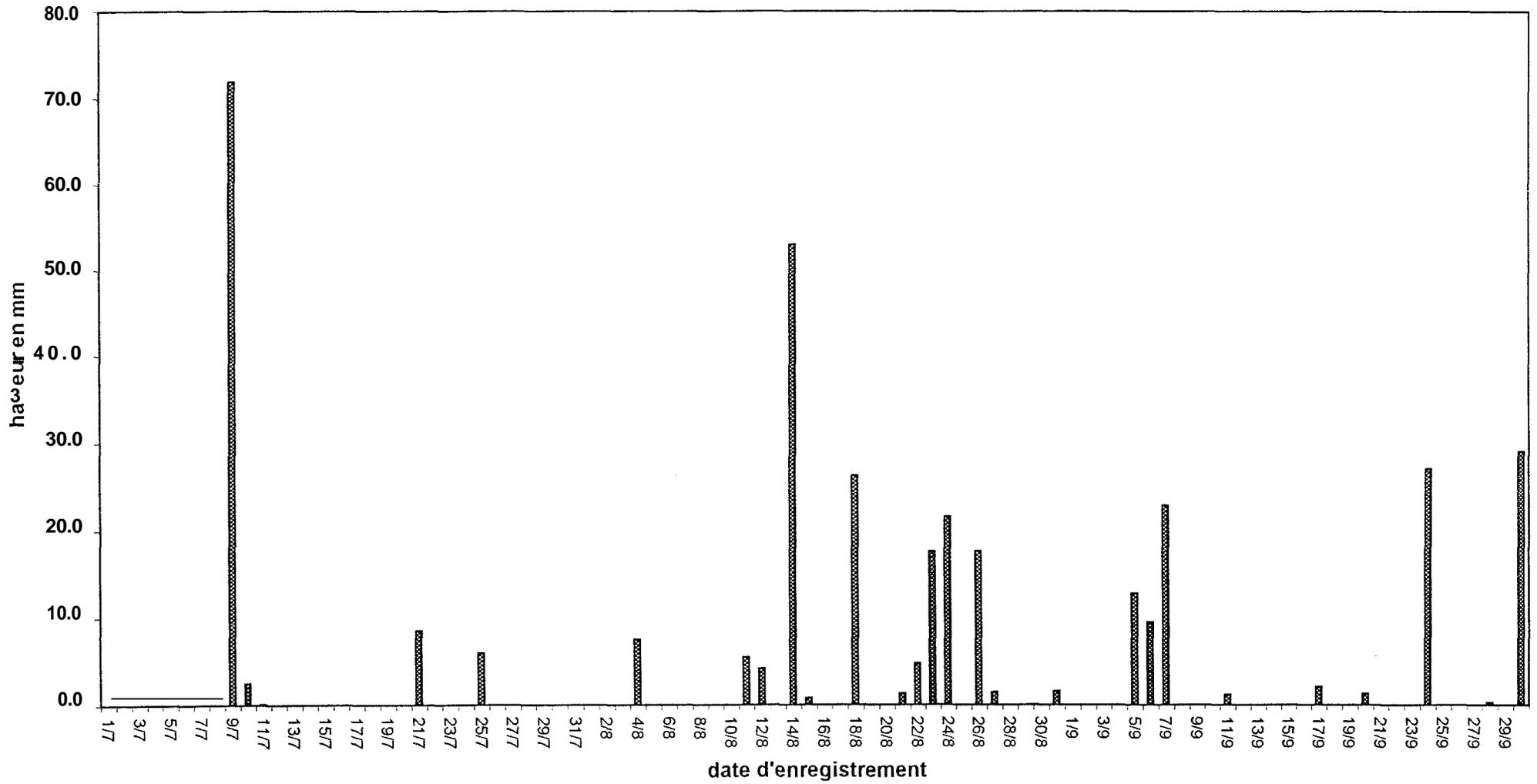
Variétés	10	17	24	31	38	45	59	73	80
	jas	jas	jas	jas	jas	jas	jas	jas	jas
Souna III	35,6	10,6	15,3	12,8	16,3	21	15	14,3	14
IBV 8004	34,5	10,2	15	12,3	15	24	15	14,3	15,3

Tableau 1 : Les apports d'eau par irrigation (en mm) pour les traitements à ETM

Les figures (2a) montrent l'évolution de la consommation journalière de l'IBV 8004 et du Souna III (2b). On observe une évolution régulière chez les plantes bien alimentées en eau. Trois phases peuvent être distinguées ici

- une première phase durant laquelle les besoins en eau sont modérés,
- une deuxième qui correspond à des besoins de plus en plus élevés,
- une dernière durant laquelle les besoins en eau diminuent progressivement

Figure 1 : Pluviométrie journalière à la station de Bambey -CNBA (hivernage 1997)



La première phase à l'installation des cultures, donc moins consommatrice d'eau ; alors que la deuxième phase coïncide avec la période de pleine activité physiologique des plantes (tallage, épiaison, floraison, début formation et remplissage des grains). La phase décroissante représente la période de sénescence

Concernant; les plantes en régime pluvial strict, on constate une longue période de déficit hydrique (entre 24 à 45 jas) qui a coïncidé avec le tallage et l'épiaison. Puis une seconde phase de stress de 7 jours centrée approximativement à 66 jas, c'est-à-dire au cours de la phase de formation des grains

A l'aide du suivi du bilan hydrique sur les parcelles à ETM de l'IBV 8004 on a pu déterminer au cours de cet essai, les coefficients culturaux (Kc) de cette variété (figure 3)

JAS	ETR (mm/j)	MAX	ETP (mm/j)	Kc
10	2,95		6,55	0,45
17	3,34		6,55	0,51
24	3,52		6,14	0,57
31	4,27		6,16	0,69
38	5,24		6,59	0,80
45	6,51		6,26	1,04
52	9,21		5,8	1,59
59	9,66		5,75	1,68
66	8,79		5,7	1,54
73	7,92		5,3	1,49
80	5,68		4,9	1,16

Tableau 2 : Coefficients culturaux de IBV 8004, Hivernage 1997;

On note (tableau 2) que les valeurs de Kc sont plus élevées entre 45 et 66 jas. Ainsi, il s'avère nécessaire de bien alimenter les plantes en eau durant cette période pour éviter des baisses significatives de rendement. Toutefois, les Kc semblent être surestimés pendant la **phase terminale**.

L'ETR cumulée pendant le cycle pour les parcelles à ETM est évaluée à 447 mm et 28 l mm pour celles en pluvial strict (figure 4) sans qu'on puisse observer des différences significatives entre les 2 variétés

Les niveaux de satisfaction des besoins en eau ont été estimés sur l'ensemble du cycle pour différentes phases phénologiques. Les plantes en conditions ETM sont maintenues à des niveaux hydriques satisfaisants comme l'atteste leur taux de satisfaction (TSAT) qui avoisinent 90-95 % tout au long du cycle. En revanche, les parcelles en condition pluvial strict ont subi un

Figure 2a : EVOLUTION DES ETR JOURNALIERES DE IBV 8004

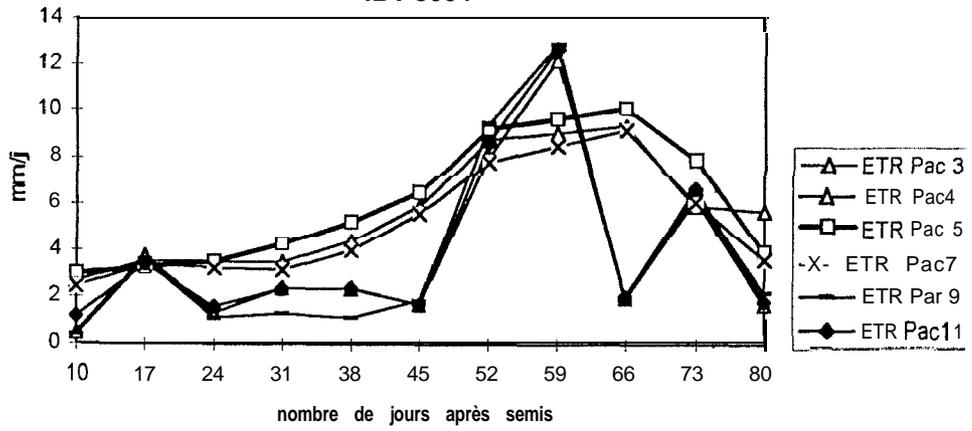


Figure 2b : EVOLUTION DES ETR JOURNALIERES DU SOUNA III

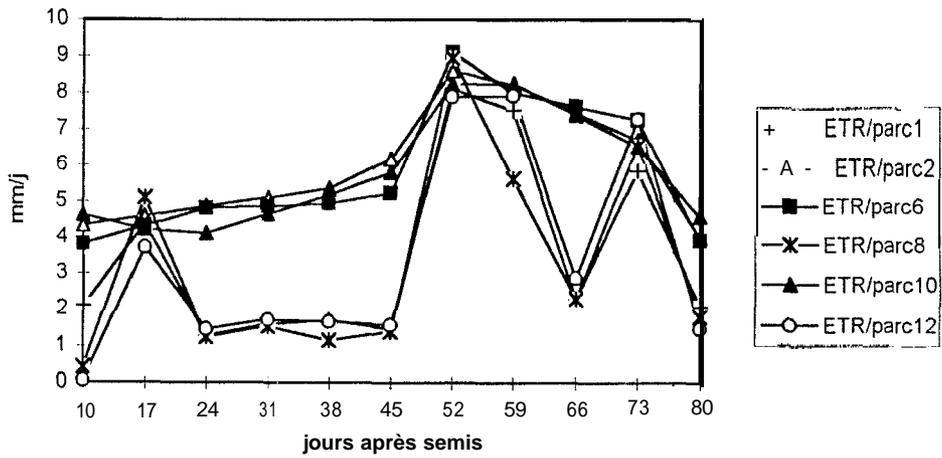
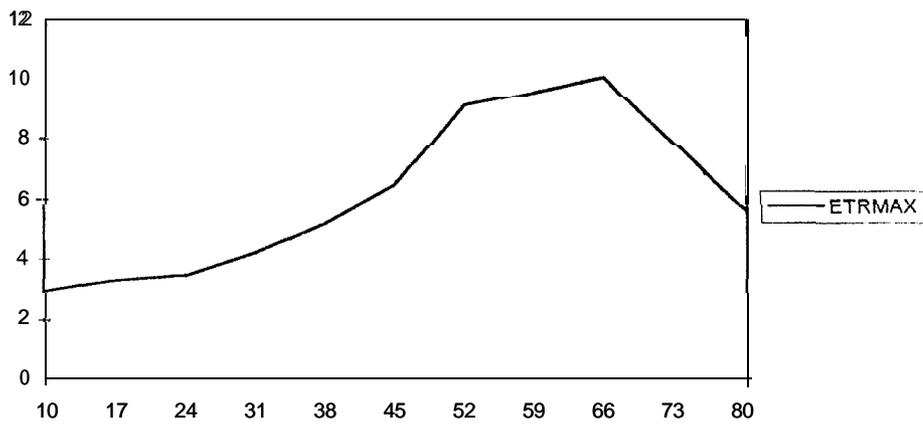


Fig. 3 Evolution de l'ETR MAX de la variété IBV 8004 en régime ETM



stress hydrique sévère en phase végétative lié à la longue pause pluviométrique du mois de juillet (TSAT \leq 60 %). Un deuxième stress hydrique peu sévère est survenu en phase terminale (TSAT autour de 70%)

TRAIT	ETR Cycle	TSAT Cycle	TSAT Tallage	TSAT Ep-flor.	TSAT Flo-for gr	TSAT For gr-ma	TSAT Ep-for gr
Souna III pluv str	277.71 a	57.9 a	64.9 a	78.99 a	71 a	72.5 a	76.4 a
Souna III ETM	454.39 b	91 b	98.8 b	98.8 b	99.7 b	99.8 b	99.8 b
IBV 8004 pluv str	283.23 a	45.3 a	68.8 a	87.9 a	63 a	69.7 a	69.7 a
IBV 8004 ETM	436.02 b	88.6 b	95.7 b	92.8 b	90.7 b	91.6 b	91.6 b

Tableau 3 Taux de satisfaction des besoins en eau du mil Souna III et de IBV 8004 pour différents stades phénologiques.

Les valeurs de chaque paramètre situées sur une même colonne et affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% (test de Newman Keuls).

3.3, SUIVI DES PARAMETRES PHYSIOLOGIQUES

3.3.1. Le contenu relatif en eau (CRE)

L'observation conjointe du TSAT et de l'état hydrique de la plante à travers le CRE, permet de savoir si le déficit hydrique connu par la plante durant une certaine période de son développement a affecté le niveau d'hydratation de ses tissus.

La figure 5 représente l'évolution du CRE entre 31 et 50 jas. On observe des différences significatives entre régimes hydriques entre le 31 et le 38 jas. Cette période correspond à la phase de déficit pluviométrique. En dépit de ce déficit hydrique, le CRE des plantes en pluvial strict ne descend pas en dessous de 86%. Cette période de stress a coïncidé également avec la réduction de l'indice de surface foliaire (voir plus loin) et donc des surfaces transpirantes de la plante.

L'une des propriétés du mil est sa capacité à maintenir son potentiel de turgescence élevé en dépit de la forte baisse du niveau d'alimentation en eau (TSAT $<$ 60%). Winkel et Do (1992), ont montré que le CRE restait à des niveaux élevés après un stress hydrique de 15 jours

Figure 4 : Cumuls des consommations en eau en fonction du régime hydrique et de la variété

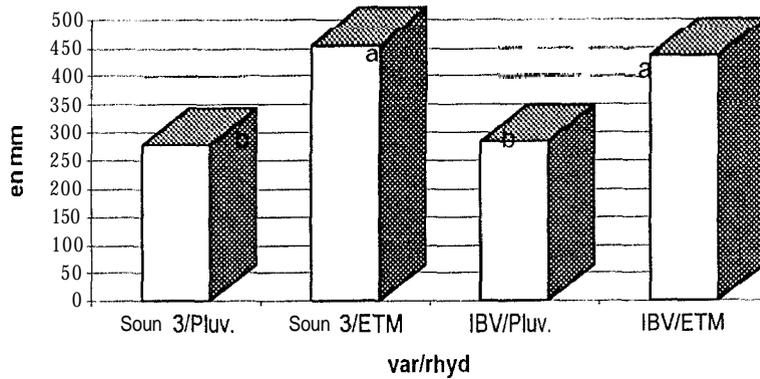


Figure 5 : Evolution du CRE en fonction du régime hydrique et de la variété

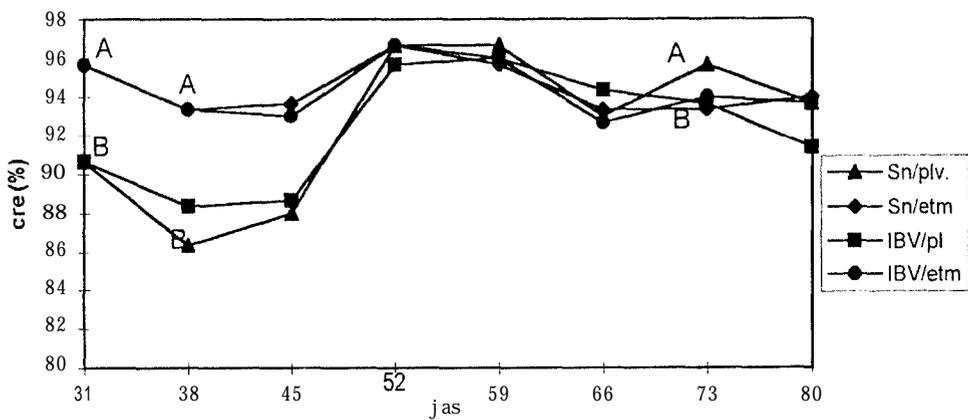
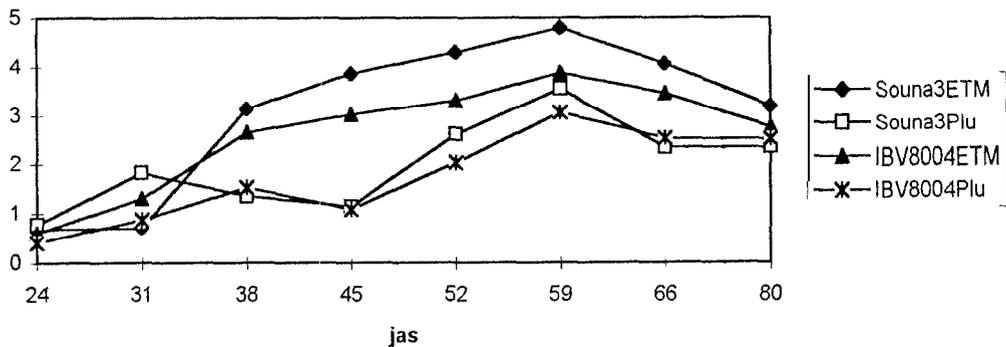


Figure 6 : Evolution de l'indice de surface foliaire (LAI) en fonction de la variété et du régime hydrique



3.32. L'indice de stress hydrique de la culture (CWSI)

Le CWSI a été déterminé à partir de la relation entre le différentiel de température entre le couvert et l'air ambiant et le déficit de pression de vapeur de l'air. Il a permis de caractériser à l'échelle de la culture, le niveau de stress au cours du cycle.

Le tableau 4 montre que les parcelles de Souna III en pluvial strict ont connu des cycles de stress entre le 31 et le 45 jas. Par ailleurs, hormis cette période de sécheresse (31 à 45 jas) on peut dire que tous les traitements étaient au même niveau d'hydratation (CWSI égal ou proche du zéro) jusqu'à 66 jas

Date	Traitement	Dif. Température (Tc-Ta)	DPV	CWSI
31 jas	PL STR	-0,84	12,5	0,83
	ETM	-4,78	12,5	0,12
38 jas	PL STR	-0,26	12,7	0,89
	ETM	-4,61	12,9	0,22
45 jas	PL STR	0,48	14,8	1
	ETM	-5,13	16,7	0
52 jas	PL STR	-5,76	16,7	0
	ETM	-5,73	19,8	0
59 jas	PL STR	-3,68	20,8	0
	ETM	-3,22	20,1	0,1
66 jas	PL STR	-6,21	21,81	0
	ETM	-5,6	20,48	0
73 jas	PL STR	-4,75	16,46	0
	ETM	-4,37	16,48	0

Tableau 4 Evolution du différentiel de température (DT), du déficit de pression de vapeur (VPD) et de l'indice de stress hydrique des cultures (CWSI) chez le mil Souna III

3.4. PARAMETRES DE CROISSANCE ET DE DEVELOPPEMENT

Les différentes phases phénologiques des deux variétés étudiées ont été suivies au cours du développement de la culture. Le tableau 5 montre que la durée des phases végétatives (tallage et montaison) est identique pour les deux variétés et sans différences entre les régimes hydriques. En revanche, la précocité de l'IBV 8004 est liée au raccourcissement de la période qui s'étend de l'épiaison à la formation des grains. Le déficit hydrique observé en phase végétative allonge le cycle cultural des plantes de Souna III en régime pluvial strict.

Figure 7 : Evolution du nombre de feuilles en fonction de la variété et du régime hydrique

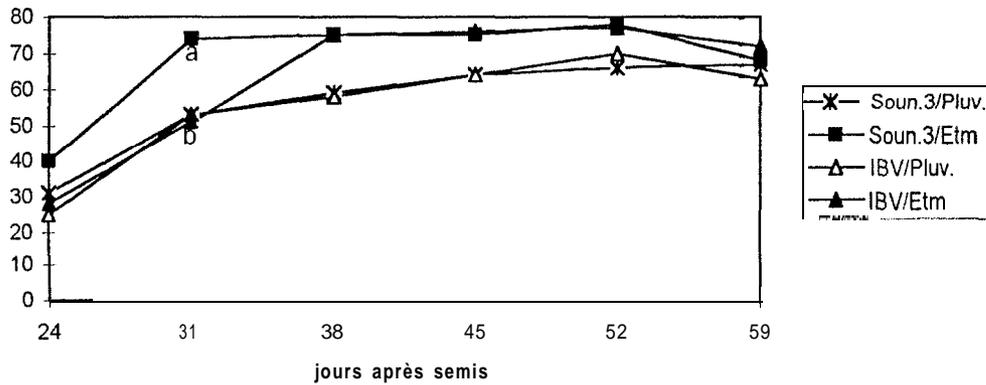


Figure 8a : Evolution de la hauteur de la tige en fonction de la variété et du régime hydrique

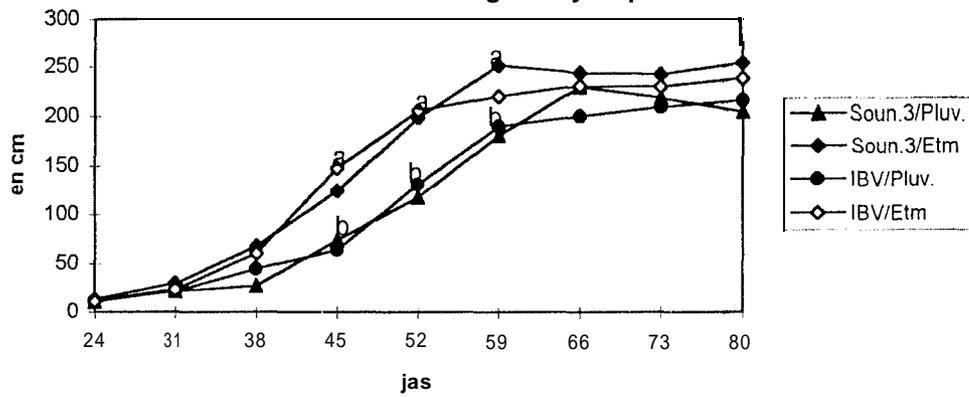
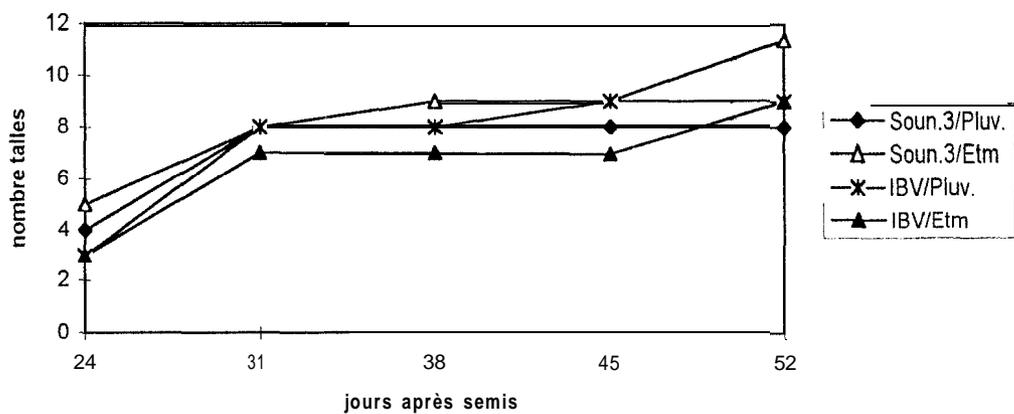


Figure 8b : Evolution de nombre de talles en fonction de la variété et du régime hydrique



Observation phénologique	Souna III pluvial strict	Souna III en ETM	IBV 8004 en pluvial strict	IBV 8004 en ETM
Semis	29/06/1997	29/06/1997	29/06/1997	29/06/1997
Levée	3	3	3	3
Tallage	21	21	21	21
Montaison	32	32	32	32
Epiaison/floraison	51 à 68	45 à 55	44 à 53	40 à 46
Flor/fornation grain	68 à 78	55 à 69	53 à 68	46 à 55
F'orm.grain/matur.	78 à 86	69 à 77	68 à 74	55 à 62
Récolte	87	81	81	81

Tableau 5 : Durée (en jours) des phases phénologiques du mil Souna III et de IBV 8004

La figure 6 nous donne l'évolution de l'indice de surface foliaire (LAI) entre 24 et 80 jas. On constate qu'entre le 31^{ème} et le 45^{ème} jas l'indice foliaire a connu une diminution chez les plantes en pluvial strict, alors que cette évolution est tout à fait normale chez les plantes en ETM (LAI 3). Cette diminution est à mettre en relation avec le déficit hydrique observé chez les plantes en régime pluvial strict. on passe, par exemple, pour le Souna III de 1,83 le 31 jas à 1,14 le 45 jas. Le nombre de feuilles (figure 7) comptabilisés entre le 31 et le 52 jas est significativement différent entre les plantes en ETR à celles en ETM. On peut constater que les périodes de déficit hydrique provoquent un ralentissement du rythme d'émission des feuilles. La hauteur de tige (figure 8) a connu un ralentissement de sa croissance durant la phase de sécheresse végétative pour les plantes en ETR. Le nombre de talles produit quelque soit le régime hydrique est 8 en moyenne, il a stagné au cours du déficit hydrique de la phase végétative.

La figure 9 présente l'évolution du poids sec feuilles. Elle permet de remarquer qu'une différence significative entre les plantes en pluvial strict et celles bien alimentées en eau. Ainsi, tout au long du cycle, le poids sec: feuilles s'est révélé toujours supérieur pour le Souna III en ETM avec des valeurs maximales de plus de 200 g/poquets. Pour le poids sec tige (figure 10), il existe des différences significatives entre les traitements au cours du déficit hydrique de la phase végétative. Les valeurs des parcelles en ETM sont plus importantes. De même que pour le poids sec feuilles, le Souna III a eu des valeurs du poids sec tige les plus élevées dans de bonnes conditions d'alimentation en eau. Le Souna III présente une production de biomasse sèche aérienne plus importante comparé à la variété IBV 8004

Figure 9 : Evolution du poids sec feuilles en fonction de la variété et du régime hydrique

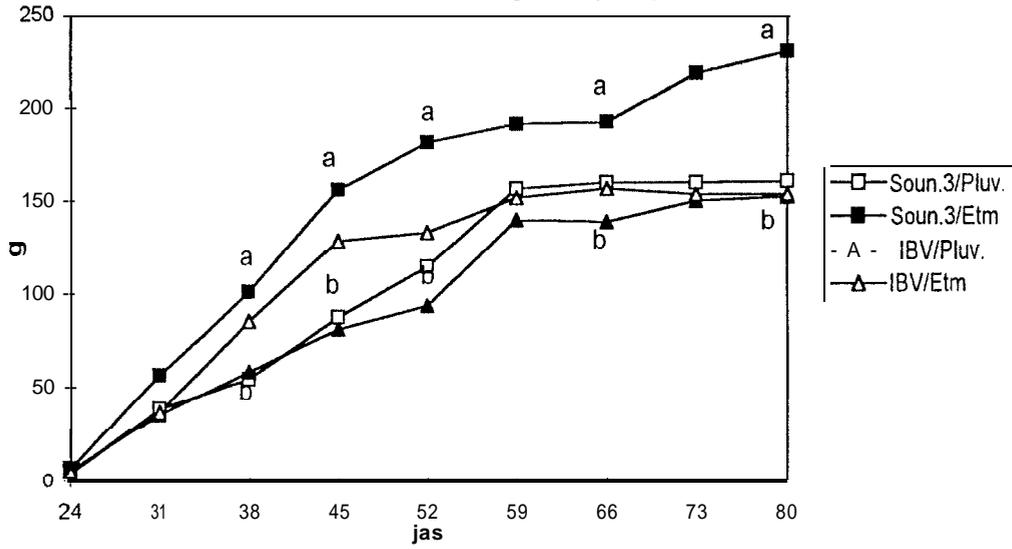


Figure 10 : Evolution du poids sec tige en fonction de la variété et du régime hydrique

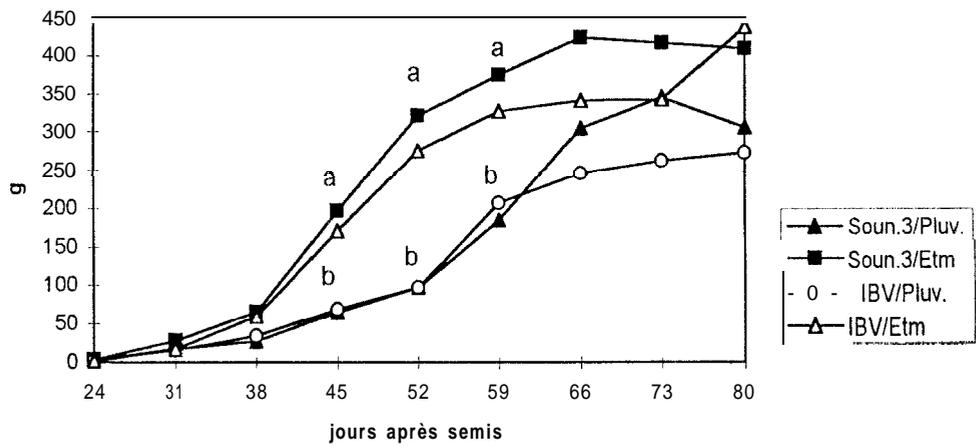


Figure 11 : Evolution du nombre d'épis / à la 'var. et du Rhyd.

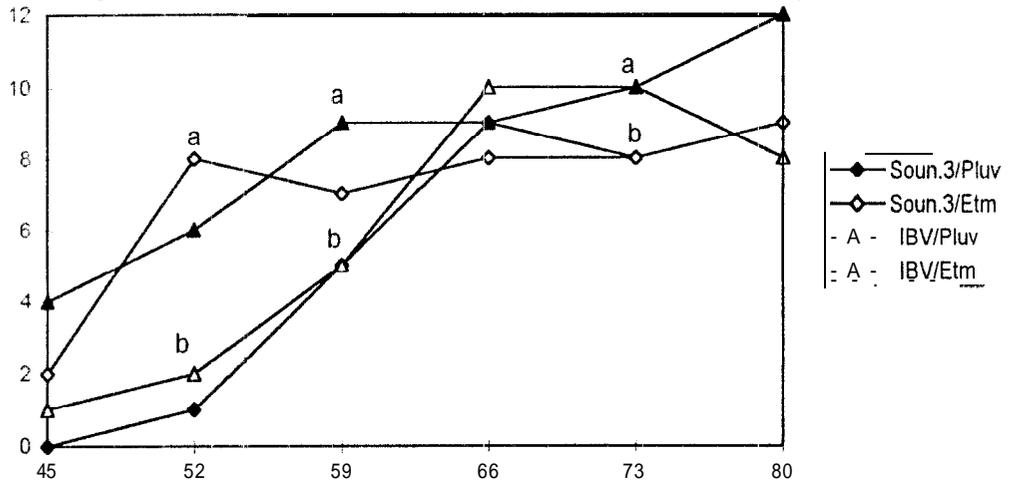


Figure 12 : Evolution de la longueur de l'épi en fonction de la variété et du régime hydrique

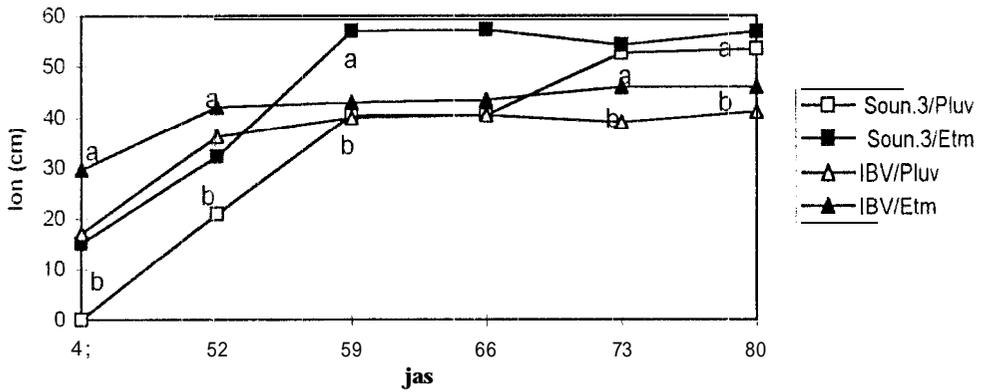
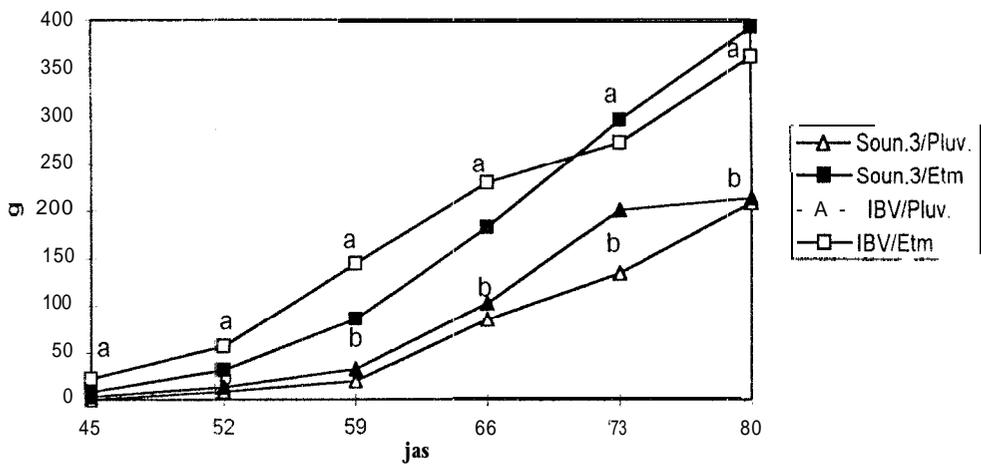


Figure 13 : Evolution du poids sec épi en fonction de la variété et du régime hydrique



On peut retenir qu'un stress hydrique prononcé ($TSAT \leq 60$) pendant la phase végétative a des répercussions sur les organes végétatifs du mil. Cependant la capacité du mil à maintenir une turgescence élevée de ses cellules lui confère une bonne capacité de récupération en cas de réhydratation.

3.5. PARAMETRES DURENDEMENT

3.5.1. Paramètres d'élaboration du rendement

Le rendement des céréales cultivées est le résultat d'un compromis entre d'une part le processus de croissance (tallage et épiaison), de fécondation, de floraison, de remplissage de grain et d'autre part des conditions agropédologiques au cours du cycle et pendant les différentes phases phénologiques, des techniques culturales, etc. L'importance relative de ces processus détermine les paramètres d'élaboration du rendement telles que le nombre et la longueur des épis, le poids sec épis, le poids sec grains et le poids de 1000 grains.

L'évolution du nombre d'épi (figure 11) entre 45 et 80 jas montre que les plantes en pluvial strict ont eu généralement un nombre d'épi significativement plus faible que celles en régime ETM. Au 73 jas le nombre d'épi est de l'ordre de 8 pour le régime pluvial strict et de 10 pour les ETM. Le stress hydrique observé sur les plantes en pluvial strict s'est traduit par une baisse significative du nombre d'épis par rapport aux plantes en ETM.

Pour la longueur des épis (Figure 12), les résultats de l'analyse de variance ont montré l'absence de l'influence du régime hydrique sur ce paramètre, les différences rencontrées sont dues au facteur variétal. Elles sont, en effet, liées essentiellement aux caractères héréditaires relatifs à ce paramètre. En effet, l'épi du Souna III est en moyenne plus long (56,8 cm) que celui de l'IBV 8004 (46 cm).

Le poids sec épis est en revanche plus élevé chez les plantes bien alimentées en eau entre le 45 jas et la récolte (Figure 13). Ce paramètre dépend donc des conditions d'alimentation en eau de la plante. A 80 jas on observe des différences significatives entre les traitements, le Souna III a un poids sec épis plus élevé que l'IBV 8004 (392 contre 362 g par poquet).

L'analyse de variance a montré que le poids sec grains. (figure 14) dépend principalement du facteur hydrique. Au début (66 jas), du fait de la précocité de sa floraison, le poids sec grains de l'IBV 8004 est plus élevé (148,7 g par poquet pour l'IBV 8004 contre 83,5 g pour le Souna III) en régime ETM. En fin de cycle, le poids sec grains du Souna III en conditions ETM dépasse celui de l'IBV 8004 (261,1 g contre 243,1 g).

Figure 14 : Evolution du poids sec grains en fonction de la variété et du régime hydrique

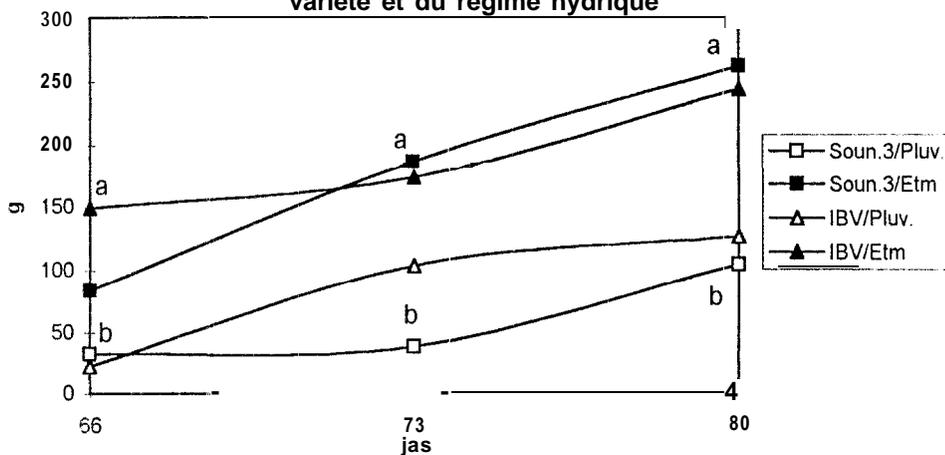


Figure 16 : Relation entre le rendement en grains et le poids sec épis

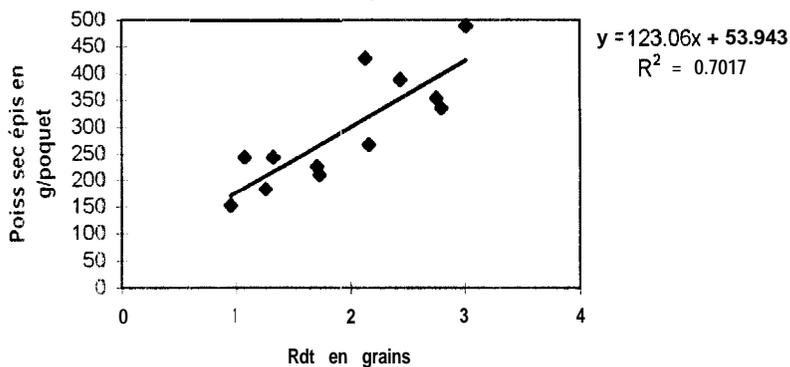
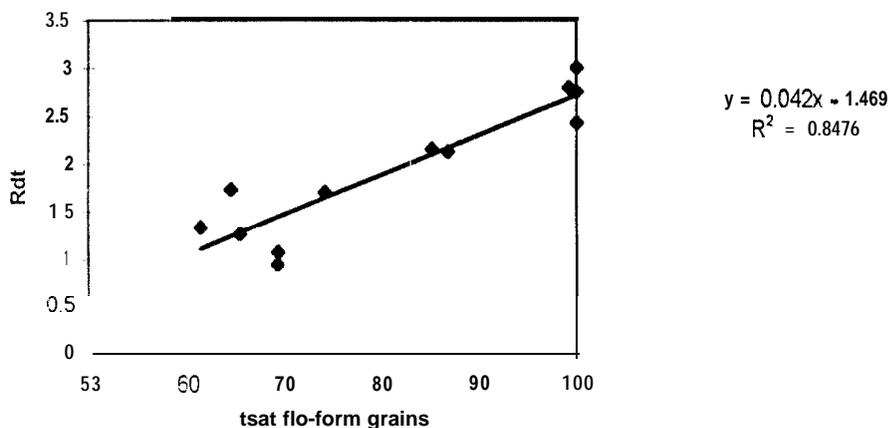


Figure 17 : Rendement en grain et le Tsat floraison -formation des grains



35.1. les Composantes du rendement final

On appelle rendement en production végétale, la quantité de matière sèche produite par une espèce ou une variété rapportée à l'hectare. Le rendement peut être évalué selon l'orientation de la production en grains, en biomasse totale, etc.

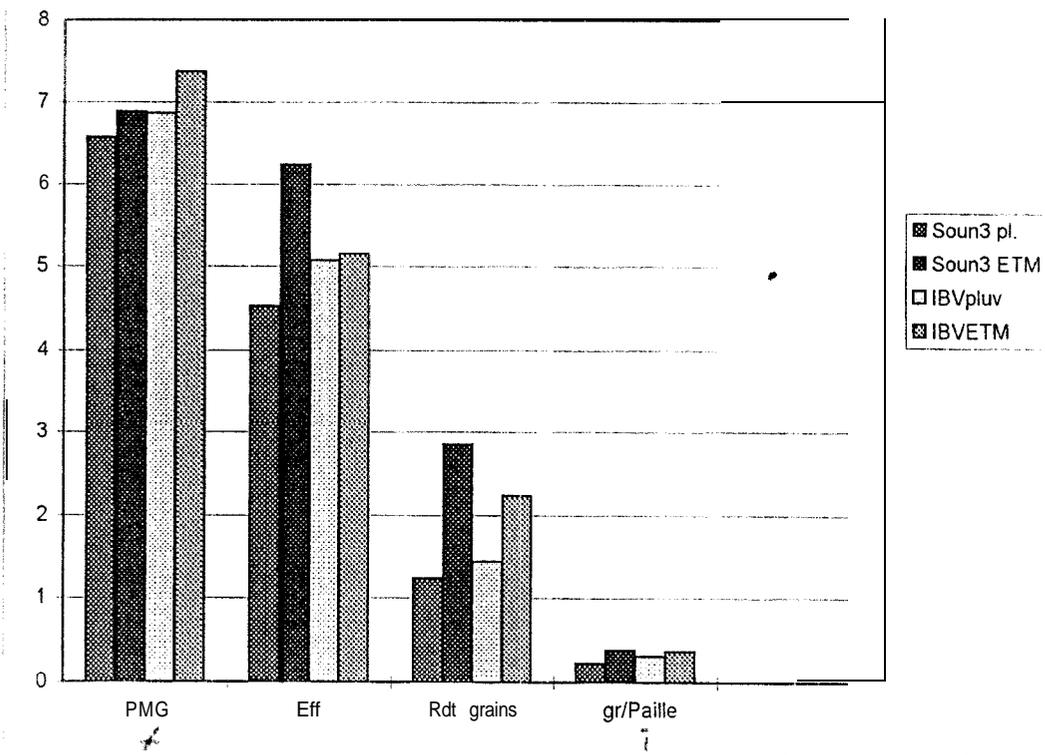
Le rendement en paille varie significativement en fonction du régime hydrique, le Souna III et l'IBV 8004 ont eu respectivement en conditions ETM un rendement en paille de 7,26 t/ha et de 6,16t/ha, ces deux variétés ont réalisé en conditions naturelles des rendements de 5,36 t/ha et 4,53 t/ha. La production de talles a eu également une implication sur le rendement en paille, les talles augmentent ainsi la biomasse aérienne et par conséquent l'augmentation du rendement en paille.

Pour le poids de 1000 grains, la figure 15, permet d'observer qu'en conditions ETM et en pluvial strict l'IBV 8004 a un poids 1000 grains plus important que celui du Souna III. Le poids de 1000 grains varient entre 7.37 (IBV 8004 ETM) et 6.57 (Souna TII en pluvial strict). Selon Caron et Granès (1993) ce poids de 1000 grains varie en moyenne entre 4 et 8 g.

Le rendement en grains dépend du régime hydrique et varie significativement entre les traitements. L'analyse statistique a montré qu'en conditions ETM, les plantes ont donné un rendement moyen de 2,55 t/ha, contre 1,34 t/ha pour les plantes en pluvial strict (figure 15). Toutefois, en régime ETM, le rendement est plus élevé chez le Souna III avec 2.85 t/ha contre 2,24 t/ha pour l'IBV 8004. Cependant en régime pluvial strict l'IBV 8004 enregistre 1,44 t/ha contre 1,24 t/ha pour le Souna III. Pour les ETM, les niveaux de rendements peuvent être considérés comme moyens comparés aux rendements potentiels de ces deux variétés qui sont de l'ordre de 3 tonnes par hectare. En fait, les plants de mil avaient été affectés par une attaque de chenilles mineuses des épis (*Heliocheilus albipunctella*) en phase de formation et maturation des grains ce qui a certainement contribué à la baisse du rendement.

Le rapport rendement grains sur le rendement en paille est significativement différent du seul fait du régime hydrique. Le Souna III en situation ETM produit 390 kg de grains pour une tonne de paille contre 370 kg de l'IBV 8004 ; alors qu'en conditions d'alimentation en eau limitantes le Souna III produit 230 kg de grains pour une tonne de paille contre 320 kg de l'IBV 8004.

Figure 15 : Principales composantes du rendement et efficacité de l'utilisation de l'eau



Le Souna III est plus productif en conditions d'alimentation hydrique satisfaisante que IBV 8004 alors que dans des conditions hydriques limitantes l'IBV 8004 a une production plus importante.

Traitement	ETR Cycle (mm)	TSAT Cycle (%)	Rdt (kg/ha)	Rapport Gr/Paille	Apports (P+Irren mm)	Eff. eau consommée (kg/mm)	Eff. eau apportée (kg/mm)
Souna III pluv. str	277.71	57.9 a	1240 a	0.23 a	343.9 a	4.46	3.6
Souna TII ETM	454.39	91 b	2850 b	0.39 b	502.4 b	5.67	5.18
IBV 8004 pluv. str	283.23	45.3 a	1440 a	0.32 a	343.9 a	5.08	4.18
IBV 8004 ETM	436.02	88.6 b	2240 b	0.37 b	498.9 b	4.5	4.5

Tableau 5 : L'efficacité de l'eau en fonction du régime hydrique

3.6. RELATIONS ENTRE COMPOSANTES DU RENDEMENT ET NIVEAUX DE SATISFACTION DES BESOINS EN EAU

Des relations statistiques entre le rendement en grains et les principales composantes ont été mises en évidence. Le poids sec épis apparaît comme étant le paramètre le mieux corrélé avec le rendement en grains ($R^2 = 0.78$, figure 16), ce qui confirme les travaux de SARR (1997).

Par ailleurs, des régressions linéaires ont été établies entre le rendement en grains et le niveau de satisfaction des besoins en eau sur l'ensemble du cycle et pour différentes phases phénologiques (TSAT tallage, TSAT épiaison - floraison, TSAT floraison, TSAT floraison - formation, . ..). La meilleure relation a été obtenue entre le rendement en grains et le TSAT en phase de floraison - formation des grains avec ($R^2 = 0.85$, figure 17).

On peut dire que pour assurer des niveaux de rendements élevés, les besoins en eau de la plante doivent être satisfaits principalement durant la phase de floraison - formation des grains et durant la période de formation des grains - maturation.

3.7. L'EFFICIENCE D'UTILISATION DE L'EAU

L'efficacité de l'eau est le rapport entre la production obtenue sur la quantité d'eau consommée pour assurer cette production., elle s'exprime en kg/mm ou en tonnes / ha **i** mm

L'efficacité d'utilisation de l'eau permet de distinguer entre deux régimes hydriques le plus économiquement rentable, c'est-à-dire le surplus de production obtenu par une culture pour une alimentation hydrique donnée. Les résultats obtenus montrent que le Souna III et IBV en TM produisent 5,6 et 4,5 kg de grains pour 1 mm d'eau consommée par hectare respectivement. En conditions pluvial strict., ces mêmes variétés produisent 4,4 et 5,08 kg de grains pour 1 mm. Cependant, on n'a pas observé de différences significatives pour l'efficacité d'utilisation de l'eau dans les conditions de l'essai. **Le** régime pluvial strict peut paraître plus bénéfique économiquement parlant lorsque la sécheresse se produit en phase végétative.

4. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Ce travail réalisé au CERAAS a porté sur l'étude de la croissance et productivité de 2 variétés de mil (*Pennisetum glaucum*) Souna III et IBV8004 sous différents régimes hydriques. Il a permis de montrer, que la variabilité des paramètres de croissance et de productivité du mil dépendent étroitement du régime hydrique auquel la plante est soumise.

Les besoins maximaux en eau de cette variété sont de l'ordre de 450 mm, cette quantité d'eau a été rarement obtenue dans ces zones au cours de ces dernières décennies de sécheresse. La pluviométrie annuelle atteinte 8 années sur 10 sur 30 ans (1966 - 1995) est égale à 375 mm. Ainsi, la réussite d'une campagne de production de mil Souna III au Nord Bassin Arachidier est devenue très aléatoire, Par contre, la mise en place de IBV 8004 avec un cycle relativement court, laisse augurer plus de chances de succès.

Par ailleurs, ce travail permet de mettre en évidence le niveau de valorisation des ressources hydriques, le comportement agronomiques et physiologiques de ces deux variétés sous différentes conditions d'alimentation en eau. Les deux variétés ont montré une capacité de récupération importante après un stress hydrique prononcé en phase végétative par le maintien à des niveaux élevés de la turgescence de leur tissus.

Face au raccourcissement de la saison des pluies dans les zones sèches, la recherche doit s'orienter vers l'amélioration de la productivité des mils précoces capables de s'adapter aux conditions actuelles de sécheresse du début et fin de cycle, à trouver des géotypes ayant la capacité de résister à la sécheresse par l'action plus ou moins combinée des trois mécanismes d'adaptation (esquive, évitement et tolérance), par l'obtention des variétés qui développent beaucoup plus les organes reproducteurs au détriment de l'appareil végétatif

Le degré de sensibilité de la plante au manque d'eau n'est pas la même durant son cycle, c'est ainsi qu'on a pu matérialiser des périodes ou phases critiques centrée autour de la floraison. A ce stade, l'effet de la sécheresse provoque une baisse considérable sur rendement final et ses paramètres.

Pour un même régime hydrique, les niveaux de rendements et de production ne sont pas significativement différents entre les deux variétés. Dès lors, on peut comprendre les raisons pour lesquelles la variété IBV 8004 proposée à la vulgarisation (par la recherche agronomique) en milieu paysan pour le bassin arachidier Nord a du mal à se substituer au Souna III de cycle plus long.

BIBLIOGRAPHIE

- ANN EROS E D . 1990 *Recherche sur les mécanismes physiologiques d'adaptation à la sécheresse. Application au cas de l'arachide (Arachis hypogea L.) cultivée au Sénégal.*
Thèse de Doctorat Université Paris VII, 282 pag.
- AZAM-ALI S.N., GREGORY P.L., MONTEITH J.L., 1984. Effect of planting density on water use and productivity of pearl millet (*Pennisetum typhoides*) grown on stored water. I Growth of roots and shoots. II. Water use, light interception and dry matter production *Expl Agric.*, 20 : 203-214, 215-224
- BILQUEZ A. F 1975 Amélioration des mils au Sénégal - ISRA Sénégal / Synthèse 1970 - 1974.
- BONHOMME R , 1983 L'élaboration du rendement : fonction photosynthétique du couvert végétal. In Colloque *Physiologie du maïs*, INRA, CNRS, et AGPM. Royan 15- 17 mars 1983.
574 pag
- BARON H. et GRANES D., 1993. Cours d'Agriculture Spéciale (ENCR). 168 pag.
- CHARBONNIER G , 1984. Les mesures de température de surface à partir de l'infrarouge thermique. Interprétation en vue de mieux planifier l'irrigation des cultures. 27 pag. plus annexe
- CLEMENT J.C 1985 Les mils pénicillaires de l'Afrique de l'Ouest. Prospections et collectes IBPGR-ORSTOM Rome, FAO, 231 pag.
- CLEMENT J.M 1985 Larousse Agricole, 17, rue du Montparnasse et Bvd. Raspail, 75006 Paris France
- DANCETTE C 1983 Besoins en eau du mil au Sénégal. Adaptation en zone semi-aride tropicale. Agrométéorologie du mil. 48 pag.
- DANCETTE C 1976 Mesure de l'évapotranspiration potentielle et d'évaporation d'une nappe d'eau libre au Sénégal. Orientation des travaux portant sur les besoins en eau des cultures. *Agron.Tropicale*, 31 (4) : 321-338
- DANCETTE C.. 1978. *Besoins en eau et adaptation du mil à la saison des pluies, au Sénégal.* ISRA/CNRA Bambey. 17 pag.
- DIOUF M., 1996 *Mesure des paramètres physiques de l'environnement.* Cours ENSA Thiès 5^{ème} année.
- FAO 1983 Production year book, Rome/Italie.
- FAO 1992. Production year book Rome/Italie.

- FOFANA A., 1990. *Sélection du mil : rapport se synthèse*. ISRA/CNRA Bambey, 14 pag.
- FOFANA A. et al., 1990. *Production du mil au Sénégal . contraintes et perspectives de recherches*. ISRA/CNRA Bambey. Fr-7p.
- FOFANA A., 1992, *Expérimentation multilocale mil*. ISRA/CNRA Bambey Fr,
- THAKUR D.P et MEHTA N., 1985. Pathological analysis of national and regional pearl millet gene pool for major disease under multiple disease sick plot. Haryana Agric. Univer. J.Res., 15 : 64-70.
- MBAYE D.F., 1994. Une étude du pathosystème, *Pennisetum glaucum-Scrospora graminicola*. Application à la gestion du Mildiou du mil au Sénégal. Thèse de Doctorat ENSA Montpellier France, 291 pag.
- RAMOND C. 1968, Pour une meilleure connaissance de la croissance et du développement des mils *Pennisetum*. Agr. Trop. 23 : 844 - 863.
- ROY-MACAULEY FI., 1993. Activités eudoprotéolytiques mise en évidence et variation en réponse au déficit hydrique chez *Phaseolus* et *Vigna*. Etude préliminaire de la réponse du système ubiquitine à la contrainte hydrique. Thèse de Doctorat Université Paris VII, 143 pag.
- SARR B., 1997. Bilan hydrique, croissance, développement et évaluation de la production agricole du mil (*Pennisetum glaucum* R. Leeke), contrat FED 7, ACP Convention n° 53 68 REG. CERAAS, 11 pag.
- SIBAND P., 1981. Croissance, nutrition et production du mil.
Essai d'analyse du fonctionnement du mil en zone sahélienne. Thèse de Doctorat. 302 pag.
- THEISSEN J.G. et al., 1994. Protection des cultures alimentaires en Afrique de l'Ouest et Centrale. Guide pratique des produits phytopharmaceutiques dans les pays de savane et forêt humide. 525 pag.
- WINKEL T. et DO F., 1992. Mécanismes morpho-physiologiques de résistance du mil à la sécheresse. Intérêt d'une approche agro-physiologique et résultats expérimentaux, (1 87-204). In Colloque Mil en Afrique, diversité génétique et agro-physiologique : potentialités et contraintes pour l'amélioration génétique et l'agriculture. 283 pag.
- WINKEL T. et DO F., 1992. Etude au champ des mécanismes morphologiques et physiologiques de résistance de mil à la sécheresse de fin de cycle. Université Abdou Moumouni-Niamey-Niger, 84 pag.