



MINISTERE DE L'EDUCATION NATIONALE

MINISTERE DE L'AGRICULTURE

DIRECTION DE L'ENSEIGNEMENT  
SUPERIEUR

INSTITUT SENEGALAIS DE  
RECHERCHES AGRICOLES  
(I.S.R.A.)

ECOLE NATIONALE DES  
CADRES RURAUX DE BAMBEY  
(E. N. C. R.)

CENTRE NATIONAL DE RECHERCHES  
AGRONOMIQUES DE BAMBEY  
(C. N. R. A.)

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**  
**POUR L'OBTENTION DU DIPLOME**  
**D'INGENIEUR DES TRAVAUX AGRICOLES**

**THEME : REPONSE DE LA VARIETE DE SORGHO CE145-66**  
**A L'ALIMENTATION EN EAU : EFFETS DU STRESS**  
**HYDRIQUE SUR LE RENDEMENT ET LA QUALITE DES**  
**SEMENCES**

PAR LOUIS SENE

(30EME PROMOTION)

TUTEUR DE STAGE

DANIEL GRANES

Professeur à l'E.N.C.R.

C.N.R.A. - BAMBEY - S.D.I.  
Date 15 juillet 1996  
Numéro 742/96  
Mois Bulletin  
Destinataire SH

MAITRES DE STAGE :

\* FAMARA MASSALY

Agronome/Chercheur

Technologiste des semences

\* MADIAGNE DIAGNE

Docteur en climatologie/

Chercheur

# DEDICACE

//-) )

Feue BEATRICE MARIE DIOUF

Tu aurais souhaité être présente pour partager avec moi la joie que procurent les résultats de ce travail. Dieu en a décidé autrement mais ton image restera gravée dans mon coeur.

//-) )

Ma fille MARIE FRANCE C.N. SENE

**La** vie est pleine d'épreuves :  
le travail bien fait, la discipline et  
le courage te les feront surmonter.

# REMERCIEMENTS

**A Monsieur Famara MASSALY**, responsable du laboratoire d'agrophysiologie des semences de l'ISRA/CNRA de Bambey, qui a assuré mon initiation dans la recherche agrophysiologique des semences avec une très grande compétence et beaucoup de générosité et sollicitude constante. Son goût du travail bien fait, reflété par ses interrogations pertinentes pour l'amélioration de la qualité des semences au Sénégal m'a poussé à mieux saisir l'importance de la rigueur dans l'analyse scientifique. Je voudrais lui assurer ici ma sincère reconnaissance.

**A Monsieur MADIAGNE DIAGNE**, responsable du service bioclimatologique du CNRA de Bambey, qui, par la pertinence de ses observations et enseignements a largement contribué à ma meilleure compréhension du continuum sol-plante-atmosphère. Pour sa sollicitude, je prie d'accepter tous mes remerciements.

**A Monsieur Daniel GRANES**, mon tuteur de stage, professeur à l'ENCR de Bambey et chef du Département de Productions Végétales, qui m'a facilité les contacts avec les maîtres de stage et a apporté des corrections à la première partie de ce travail, je prie d'accepter mes sincères remerciements.

Mes remerciements vont également :

- Au personnel administratif de l'ENCR ;
- Au corps enseignant de l'ENCR pour sa contribution à la réalisation de mon mémoire.

Toute ma reconnaissance :

**A Monsieur Emmanuel SENE**, agronome chercheur au programme céréales pluviales en zone sèche et à sa famille pour leur accueil, leur soutien et leur sollicitude constante.

**A Monsieur Arthur DA SYLVA**, chercheur en pathologie des semences pour les corrections apportées au document manuscrit.

**A Monsieur Edouard MARONE**, agronome chercheur en physiologie végétale au CERAAS.

En ami et frère, il s'est ouvert à moi sans réserve à tous points de vue. Son accueil chaleureux a rendu mon séjour très agréable et a contribué largement à la réalisation de ce document. Je ne saurais trouver les mots forts pour lui exprimer ma reconnaissance. Merci pour tout.

**A Mademoiselle COUNA SYLLA** analyste programmeur au CERAAS, pour son soutien constant et pour avoir participé à la reliure du document **final**.

**A Mademoiselle Marie Pascale SARR**, Secrétaire à la SONEES pour avoir assuré la dactylographie avec beaucoup de plaisir. Son soutien moral m'a permis de surmonter les épreuves en cours de formation. Je lui exprime ma gratitude.

Mes sincères remerciements vont également :

Aux agents du laboratoire d'agrophysiologie des semences :

**B. BOYE, B. NDIAYE, N. SAMB** qui m'ont soutenu pendant les mesures et tests au laboratoire.

Aux agents du laboratoire de bioclimatologie notamment **S. NDOUR, M. THIAM, M. FALL, A. FAYE, N. NGOM, D. FALL** qui m'ont fourni les données climatiques et m'ont aidé à mieux comprendre le logiciel BIPODE.

**A Monsieur Moussa SIDIBE**, agent au laboratoire d'analyses du sol au CNRA de Bambey, pour sa collaboration fructueuse.

**A Monsieur Amadou DIOP**, agent au CERAAS, pour avoir assuré des mesures nécessaires à la meilleure compréhension du thème étudié.

**A Monsieur Amadou DIOUF**, responsable de la documentation au CNRA de Bambey et à son assistant **Pape Sémou DIOUF** qui n'ont ménagé aucun effort pour me fournir les références bibliographiques.

**A Monsieur Meissa BADIANE**, pour avoir accepté de multiplier certaines références bibliographiques. Merci pour la collaboration.

Aux ouvriers temporaires du laboratoire d'agrophysiologie des semences notamment : **B. TINE, A. et I. MASSALY, THIAW, G. FAYE, I. DIOUF, A. DIOUF** sans qui, il me serait difficile de réaliser certaines mesures.

A tous ceux-là qui, de près ou de loin, ont participé à ma formation et à la réalisation du document final, j'exprime toute ma reconnaissance.

## RESUME

Au cours de cette expérimentation, les effets du régime hydrique sur le rendement et la qualité des semences de la variété de sorgho CE 145-66 ont été étudiés du 8 Avril au 31 Juillet 1995. L'essai a été conduit et réalisé en microlysimètres sous abri, maintenus dans les conditions ambiantes de l'ISRA/CNRA de Bambey.

Les différents stress hydriques (30 % RUm) d'une durée de 10 jours chacun n'ont pas affecté la production de matière sèche végétative. Cependant, un stress hydrique au début de la phase initiation florale ralentit la croissance qui est accélérée après l'arrêt du stress. Ce stress ne diminue pas significativement le rendement et la qualité des semences.

Lorsque le stress hydrique (46 % de satisfaction des besoins en eau) est appliqué à la phase de gonflement-épiaison de la variété CE 145-66, le rendement et la qualité des semences baissent significativement. La quantité de matière sèche accumulée dans le grain est faible. Le taux de germination et la vigueur des plantules à la levée baissent en conséquence.

Un taux de satisfaction des besoins en eau de 45 % pendant la phase de floraison-remplissage des grains entraîne une baisse du rendement. Cette baisse est moins significative que celle entraînée par la phase précédente. Cependant, la qualité des semences est significativement faible.

La première approche de cette étude a permis de déterminer la phase phénologique la plus sensible au stress hydrique. Lorsque la satisfaction des besoins en eau est inférieure à 50 % pendant la phase de gonflement-épiaison, le rendement et la qualité semencière de la variété de sorgho CE 145-66 baissent.

La validation des résultats obtenus, par des expériences similaires sur les autres variétés de sorgho et leur élargissement aux autres cultures pluviales doit déboucher sur une modélisation de la qualité des semences produites en hivernage au Sénégal.

**MOTS CLES**: sorgho, variété CE 145-66, stress hydrique, indice de satisfaction en eau, évapotranspiration réelle et maximale, réserve utile maximale, gonflement-épiaison, rendement, qualité des semences, germination, vigueur, matière sèche.

# TABLES DES MATIERES

PAGES

DEDICACE

REMERCIEMENTS

RESUME

INTRODUCTION

1

1ère PARTIE : GENERALITES

3

I/ IMPORTANCE DE LA CULTURE DU SORGHO DU SENEGAL

3

II/ BOTANIQUE DU SORGHO

3

2-1 Origine et espèce

3

2-2 Description morphologique du sorgho

6

III/ PHYSIOLOGIE DU SORGHO

11

3-1 Croissance et développement

11

3-2 Exigences écologiques

15

3-3 Mécanismes physiologiques d'alimentation en eau et en sels minéraux et réactions du sorgho à un stress hydrique

16

2ème PARTIE : EXPERIMENTATION

23

I/ MATERIELS ET METHODES

23

I-1 Matériel végétal

23

I-2 Méthodes

23

a/ Site expérimental

23

b/ Dispositif expérimental et traitements

24

c/ Technique de culture

24

I-3 Variables étudiées et techniques de mesure

25

a/ Suivi hydrique

25

b/ Suivi de la croissance et du développement

26

c/ Structure de la récolte

26

d/ Qualité des semences

26

I-4 Analyse

27

<b>II/ <u>RESULTATS ET DISCUSSIONS</u></b>	<b>27</b>
2-1 <b>Conditions climatiques de l'expérimentation</b>	<b>27</b>
2-2 <b>Alimentation en eau des cultures</b>	<b>28</b>
2-3 <b>Suivi de la croissance et du développement</b>	<b>28</b>
a/ Phases phénologiques	28
b/ Production de biomasse végétale	33
c/ Discussion	33
2-4 <b>Effets du stress hydrique sur la production de grains</b>	<b>33</b>
a/ Rendement	33
b/ Analyse de la récolte	33
c/ Analyse de maturité	35
d/ Discussion	38
2-5 <b>Effets du stress hydrique sur la qualité des grains</b>	<b>39</b>
a/ Poids d'un grain	<b>39</b>
b/ Germination des grains	<b>39</b>
c/ Vigueur des plantules	<b>39</b>
d/ Discussion	<b>39</b>
2-6 <b>Discussion Générale</b>	<b>45</b>
<b>CONCLUSION ET PERSPECTIVES</b>	<b>47</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>49</b>
<b>ANNEXES</b>	<b>52</b>
<b>LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX</b>	<b>58</b>
<b>LISTE DES ABREVIATIONS</b>	<b>59</b>

## INTRODUCTION

La production agricole au Sénégal, comme dans les pays du Sahel en général, est tributaire de plusieurs facteurs parmi lesquels la faible fertilité des terres de cultures et la pluviométrie souvent déficitaire et irrégulière. En plus de ces facteurs, la production du sorgho est limitée par la qualité des semences. Ces dernières étaient obtenues à partir de variétés traditionnelles à cycle long. La maturation des grains s'effectuait pendant une période de forte hygrométrie. Cette hygrométrie favorise l'installation d'agents pathogènes (moisissures) altérant la qualité des semences de sorgho (LOUVEL, 1982 et 1983).

C'est pourquoi, l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA) a mis au point des variétés améliorées à cycles courts et à bonne productivité. Cependant, une des contraintes à l'adoption des variétés de sorgho améliorées de type caudatum est aussi la faiblesse de la qualité de leur semence si celle-ci est produite en hivernage. La récolte tardive du sorgho coïncide avec des conditions environnantes difficiles ; pluies tardives, températures et hygrométrie élevées, action des moisissures et des insectes, etc. De telles conditions environnementales participent à la péjoration de la qualité des semences de sorgho.

En 1993, des expériences conduites par le laboratoire d'agrophysiologie des semences de l'ISRA à Bambey ont confirmé cette hypothèse. MASSALY et SAKA (1993) ont trouvé que la date optimale de récolte du sorgho se situe entre 24 à 26 jours après 50 % anthèse. Cette date correspond à la maturité physiologique du grain du sorgho. La quantité de matière sèche contenue dans le grain est maximale et le taux de germination atteint son seuil le plus élevé. A partir de cette période, le processus de détérioration de la semence démarre du fait de la respiration et des facteurs de détérioration ci-haut cités.

Selon les mêmes auteurs, il y a une variabilité interannuelle de la qualité des semences de sorgho même lorsqu'elles sont récoltées à la maturité physiologique. De plus, l'analyse de la qualité des semences de sorgho produites sur différents sites et selon le même itinéraire technique a révélé une variabilité intersites de la quantité de matière sèche accumulée, de la germination et du pourcentage de grains mûrs : les valeurs les plus élevées ont été obtenues dans les zones les plus arrosées. De ce qui précède, ils ont formulé l'hypothèse selon laquelle "la qualité de la semence de sorgho pourrait être dégradée par des stress hydriques survenant pendant la période allant de la floraison-fécondation à la maturité physiologique".

La présente étude tente de répondre à ce questionnement. Elle rentre dans le cadre des activités de recherche du laboratoire d'agrophysiologie des semences de l'ISRA/CNRA de Bambey et fait suite à celles réalisées en 1993 (MASSALY et SAKA ; MASSALY et ZENALLAH, 1993) pour l'amélioration de la qualité des semences de sorgho.

Elle est axée sur l'hypothèse suivante :

- l'alimentation hydrique de la plante peut affecter la productivité et la qualité des semences de sorgho.



Les objectifs poursuivis sont les suivants :

- déterminer et analyser les implications directes de l'alimentation en eau sur la qualité des semences de sorgho ;
- déterminer le (ou les) stade (s) phénologique (s) pendant lequel (ou lesquels) un stress hydrique a une incidence directe sur la productivité et la qualité des semences de sorgho ;
- quantifier le niveau de satisfaction des besoins en eau en dessous duquel un effet significatif néfaste peut être observé.

Le présent rapport est articulé autour de deux grandes parties :

- une partie consacrée aux généralités sur le sorgho : importance économique du sorgho au Sénégal, botanique et physiologie ;
  - une seconde partie relative à l'expérimentation.
-

## lère PARTIE : GENERALITES

### I/ IMPORTANCE DE LA CULTURE DU SORGHO AU SENEGAL

Selon les statistiques agricoles du Sénégal pour la période allant de 1985 à 1990, le sorgho occupait une superficie d'environ 130 000 ha avec un rendement moyen de 870 kg/ha. Cependant, cette superficie reste encore faible par rapport à celle occupée par le mil (900.000 ha).

Les principales régions de production sont par ordre d'importance :

- la région de Kolda
- le Sénégal Oriental
- la région de Kaolack
- et la région de Thiès.

Selon TROUCHE (1991), dans la vallée du fleuve Sénégal, le sorgho est surtout produit en culture de décrue dans le "Walo" et en culture irriguée d'hivernage dans les périmètres aménagés. Sa production sous irrigation dans ces périmètres représente une option de diversification de la production vivrière et un moyen de limiter le déficit céréalier. Aussi cette culture de décrue caractérisée par un faible rendement/ha (autour de 500 kg/ha) et un faible niveau d'intensification occupait en 1989-90 environ 30 000 ha.

Dans les autres zones de production, la culture du sorgho est généralement soumise à un régime pluviométrique le plus souvent aléatoire aussi bien du point de vue quantitatif que de la répartition.

D'une manière générale, la production de sorgho au Sénégal se caractérise par un faible rendement, en raison de contraintes d'ordre variétal, agronomique, pédoclimatique et socio-économique. La presque totalité de la production est consommée au niveau des exploitations agricoles. Le sorgho, comme le mil, est une denrée de base pour une partie de la population sénégalaise.

Il importe cependant, de souligner que dans le cadre de l'amélioration variétale, l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA) a mis au point un certain nombre de variétés (13) dont 4 hybrides et 9 lignées pures. Ces principales variétés améliorées sont actuellement vulgarisées dans les régions de production du Sénégal.

### II/ BOTANIQUE DU SORGHO

#### 2.1/ ORIGINE ET ESPECE

Le sorgho (*Sorghum bicolor*, L. Moench) ou "gros mil" est une poacée de la tribu des andropogonées. *S. verticilliflorum* est très certainement à l'origine des espèces cultivées. Il est cultivé depuis fort longtemps en Afrique et en Asie, et sa culture s'étend à toutes les zones tropicales et tempérées.

Les nombreuses variétés existantes ont fait l'objet de diverses classifications. Selon la classification de HARLAN et DEWET en 1972, on distingue cinq races principales :

- les guinea
- les caudatum
- les durra
- les kafir
- les bicolor

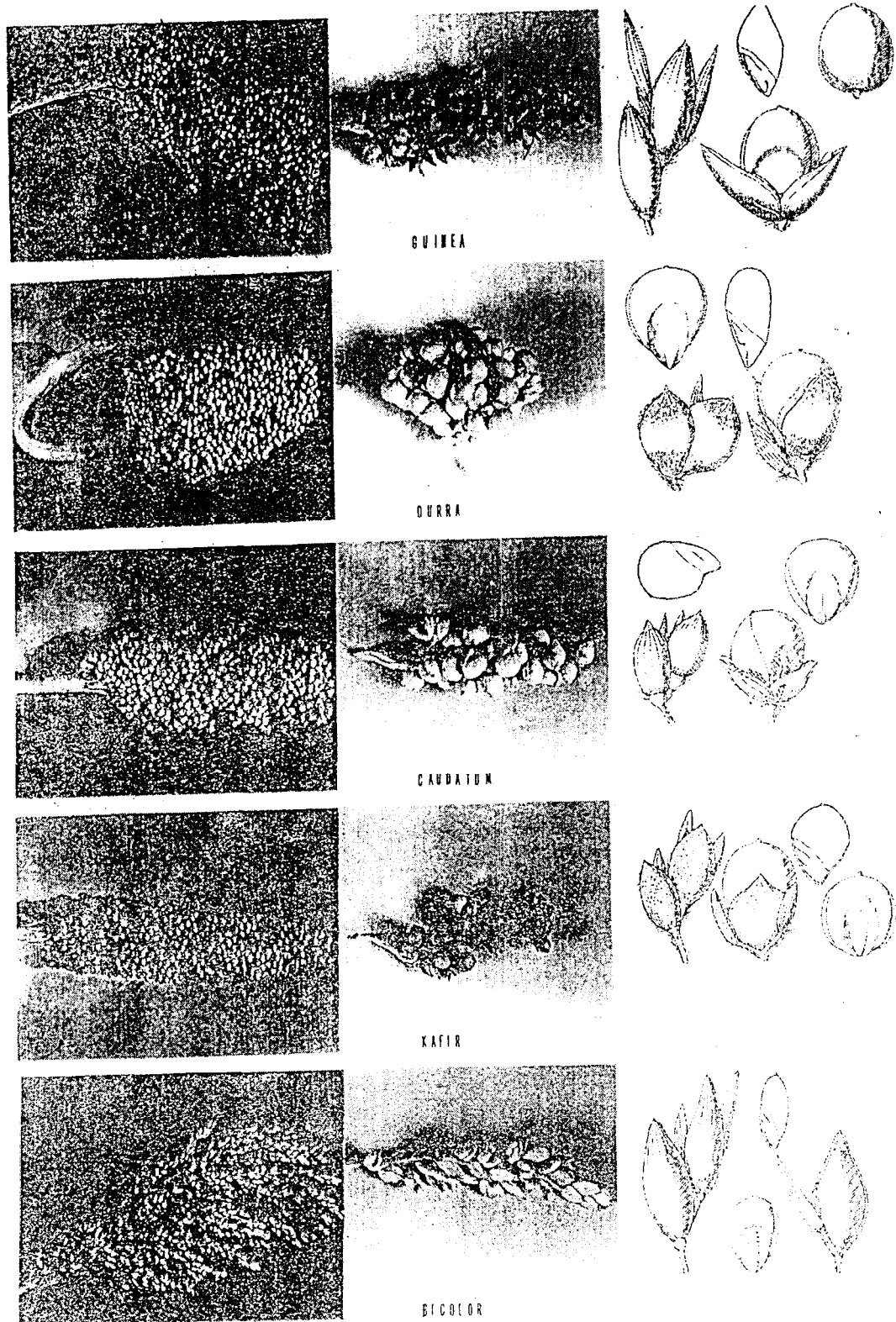
Au sein de 'chacune de ces races, il existe une multitude de variétés traditionnelles ou améliorées. Au Sénégal, on rencontre :

- les races guinea dont la panicule est lâche et porte des épillets à glumes généralement baillantes renfermant un grain symétrique : ce sont des sorghos de grande taille et photosensibles ;
- les durra : leur culture vient en importance après la race guinea. Leur panicule très compacte est généralement portée par un pédoncule crossé, les glumes sont petites et adhérentes au grain globuleux.

Ces deux races sont généralement exploitées en culture traditionnelle et leur cycle végétatif peut atteindre 150 jours.

A côté de ces deux races, il existe des variétés améliorées de type caudatum (CE 145-66 par exemple). Elles sont caractérisées par un grain dissymétrique, aplati sur la face ventrale, bombé sur la face dorsale. La forme de la panicule peut être très variable.

Selon CHANTEREAU et NICOU (1991), il existe dix races intermédiaires qui présentent des combinaisons des caractères empruntés à plusieurs races principales.



**FIGURE 1 :** Les cinq races principales du sorgho (Harlan, De Wet 1972)  
 (Dessins d'après Snowden, 1936)  
 Source : Le Sorgho (Chantereau et Nicou, 199 1)  
 Ed. Maisonnier & Larose - CTA

Les principales variétés améliorées, vulgarisées dans les différentes régions de production au Sénégal sont récapitulées dans le tableau ci-après :

**TABLEAU 1: PRINCIPALES VARIETES AMELIOREES DE SORGHO RECOMMANDEES AU SENEGAL (ISRA/CNRA BAMBEY, 1987)**

NOM DES VARIETES	CYCLE SEMIS-MATURITE (JOURS)	ZONES GEOGRAPHIQUES	VOCATION CULTURALE	POTENTIEL RDT/TONNE/HA
612A X 68-29	85 90	Vallée du Fleuve	Culture d'hivernage et CSC	3 - 4
612A X 73-208	85	Vallée du Fleuve	Culture irriguée d'hivernage	5
612A X 75-14	85 • 90	Vallée du Fleuve	Culture irriguée CSF	3 - 4
73 -13	90	Vallée du Fleuve	Culture irriguée d'hivernage et CSC	3 - 4
73 -14	90	Vallée du Fleuve	Culture irriguée de CSF	3 - 4
CE 151 - 262	90	Vallée du Fleuve	Culture irriguée ou pluviale d'hivernage	2,5 • 5,3
CE 145 • 66	100	Centre Nord	Culture pluviale d'hivernage	2,9
CE 180 • 33	90	Centre Nord	Culture pluviale d'hivernage	2,8
CE 196 - 7 - 2	90	Centre Mord	Culture pluviale d'hivernage	2,5
F2 • 20	110	Casamance et Centre Sud	Culture pluviale d'hivernage	3
SSV3	90-100	Casamance et Centre Sud	Culture pluviale d'hivernage	3- 4
ssvs	115-120	Casamance et Centre Sud	Culture pluviale d'hivernage	3 - 4
CE 145 • 66	100	Casamance et Centre Sud	Culture pluviale d'hivernage	2,9

C.S. C = Contre Saison Chaude

C.S.F. = Contre Saison Fraîche

## **2.2/ DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE DU SORGHO**

Le sorgho comme la plupart des végétaux supérieurs, dispose d'organes lui permettant d'absorber l'eau et les sels minéraux, et d'assurer les fonctions photosynthétiques pour une croissance et un développement satisfaisants : c'est une plante autotrophe.

Plusieurs auteurs ont présenté la morphologie du sorgho et la description faite par HOUSE (1987) semble la plus appropriée à notre étude..

### \* Racines

Le système racinaire du sorgho est très développé et muni de nombreux poils radiculaires (presque 2 fois plus que le maïs). Au **moment** de la germination, apparaît la racine primaire ou embryonnaire. Plusieurs racines de ce type se développent. Celles-ci sont peu ou pas du tout ramifiées. Les racines secondaires se forment à partir des premiers noeuds ; ce sont ces racines qui, en se développant, constituent le système racinaire **fasciculé** abondant de la plante. Par la suite, les racines primaires meurent. Des racines adventives apparaissent plus tard sur les noeuds inférieurs et peuvent être nombreuses. Ces racines ne sont pas fonctionnelles quant à l'alimentation en eau et en éléments minéraux : on les appelle souvent des racines d'ancrage permettant à la plante de résister à la verse.

Les sorghos cultivés sont, ou non, rhizomateux, ou très faiblement rhizomateux. Ils sont annuels ou faiblement pérennes. Le système racinaire, toutefois, persiste assez pour permettre le développement de rejetons à partir de bourgeons adventifs situés à la base de la tige-mère.

Suivant les variétés et les conditions physiques du sol, le système racinaire du sorgho peut atteindre 110 à 130 cm de profondeur (CHOPART, 1980) et selon LABARE, (1991) la vitesse de croissance peut aller de 1,4 à 2 cm/jour une semaine après le semis.

### \* Tige

La tige ou chaume est constituée de séries de noeuds alternant avec des entre-noeuds. Elle est grêle à très robuste, mesurant de 0,5 cm à 5 cm de diamètre près de la base, s'amincissant vers l'extrémité terminale et ayant une longueur de 0,5 à 4-5 m. Elle est rigide avec un cortex, ou une écorce, dur et une moelle plus molle. Les faisceaux vasculaires sont répartis dans la tige mais ils sont plus concentrés dans la région périphérique où ils sont si rapprochés les uns des autres qu'ils forment presque un anneau continu. Les faisceaux vasculaires dans la zone centrale de la tige sont plus gros que ceux de la périphérie. Les faisceaux du centre se ramifient pour former les plus petites veines dans le limbe foliaire. La moelle peut être sucrée ou insipide, juteuse ou sèche. Dans les vieilles tiges, la moelle peut se fragmenter, en particulier si elle est sèche.

Le noeud se présente comme un anneau à la base de la gaine foliaire : c'est le point où la feuille s'attache à la tige. Il y a à cet endroit une anastomose complexe des faisceaux vasculaires de la tige vers ceux de la feuille. Un bourgeon se forme à chaque noeud, excepté au noeud correspondant à la feuille **paniculaire**. Sur les noeuds supérieurs des ramifications apparaissent et peuvent donner des **panicules** de petite dimension.

L'importance du tallage varie suivant les races et les variétés. Dans les conditions d'une bonne alimentation hydrique, le nombre de talles peut aller jusqu'à 10.

### \* Feuilles

Les feuilles sont distribuées de façon variable le long de la tige chez le sorgho. Chez certains types, elles sont concentrées près de la base. Elles sont plus ou moins uniformément disposées chez d'autres. La longueur des feuilles peut atteindre 1 m et plus, pour 10 à 15 cm de largeur. Leur nombre varie grandement suivant les plants. Chez les plants bien adaptés, il y a ordinairement de 14 à 17 feuilles, ce nombre pouvant atteindre 30 chez les plants moins adaptés.

Les feuilles naissent le long de la tige en alternant sur deux lignes et se composent d'une gaine et d'un limbe.

La nervure médiane est saillante, verdâtre ou blanchâtre, aplatie ou légèrement concave sur la face supérieure et convexe sur la face inférieure. Il existe une courte ligule membraneuse (1 à 3 mm) à la jonction du limbe avec la gaine.

Selon CHANTEREAU et NICOU (1991), certaines variétés de sorgho ont des poils de taille microscopique sur la face inférieure des feuilles. Ce sont des trichomes. Leur présence est intéressante car elle est associée à la résistance des jeunes plantes, à la mouche du pied : Atherigona soccata.

### \* Panicule

L'inflorescence est une panicule qui peut être courte et compacte ou bien lâche et ouverte : de 4 à 25 cm ou plus de long sur 2 à 20 cm ou plus de large. L'axe centrale de la panicule ou rachis peut se trouver complètement masqué par la densité des branches secondaires et tertiaires de la panicule ou être complètement exposé.

Le rachis est très variable morphologiquement : de long et mince à trapu et robuste. Un certain nombre de branches secondaires prend naissance à chaque noeud. Chacune peut varier en longueur, étant trapue ou grêle, rigide ou souple, velue ou quasi glabre, ramifiée près de sa base (branches tertiaires) ou non jusqu'au voisinage du sommet.

La panicule croît ordinairement de manière verticale au sommet de la tige, mais peut aussi se recourber. C'est une caractéristique de certaines races de sorgho.

Les sorghos sauvages ont des panicules plutôt lâches aux branches étalées. Les panicules sont souvent grandes et de forme pyramidale.

La ramification ultime des branches secondaires ou tertiaires, est un racème qui consiste toujours en un ou plusieurs épillets. Un épillet est toujours sessile et l'autre pédicellé à l'exception de l'épillet terminal qui est sessile et flanqué de deux épillets pédicellés. Chaque épillet est constitué d'une paire de glumes et de glumelles. L'épillet a deux pistils et trois étamines.

### \* Graines

La graine de sorgho est un caryopse composé de trois parties principales :

- l'enveloppe qui constitue le péricarpe ;
- le tissu de réserve ou albumen encore appelé endosperme ;
- et l'embryon.

Entre le péricarpe et l'endosperme peut se trouver une couche hautement pigmenté, de couleur rouge foncé ou brun foncé (HOUSE, 1987), appelé testa. Sa présence ou son absence constitue une caractéristique variétale. Riche en composés tanniques, elle paraît conférer des qualités de résistance aux moisissures des graines qui en sont pourvues.

L'albumen du sorgho présente à l'extérieur une couche périphérique de cellules riches en vitamines, protéines et huile : c'est la couche d'aleurone. Sous cette première assise cellulaire se trouve l'albumen corné, vitreux, caractérisé par l'existence de granules d'amidon. Vient ensuite l'albumen interne, farineux où les granules d'amidon sont insérés dans une matrice protéique peu importante avec de nombreuses lacunes.

L'emplacement de l'embryon ou scutellum se marque sur le grain sur une longueur allant de la moitié aux 2/3 de la longueur, par une trace elliptique à elliptique-oblongue, concave ou plate, rarement convexe. Le hile est situé à la base de la graine sur le côté opposé à celui de l'embryon. Le hile passe fréquemment au noir au moment de la maturité physiologique (HOUSE, 1987).

On évalue souvent le poids du caryopse avec: des échantillons de 1000 graines. Il rend compte à la fois des données culturales et variétales de la plante.

Les caractéristiques morphologiques du grain à maturité complète sont les suivantes (HOUSE, 1987).

- longueur = 3,5 à 5 mm
- largeur = 2,5 à 4,5 mm
- poids de 1000 grains = 60 à 85 grammes.



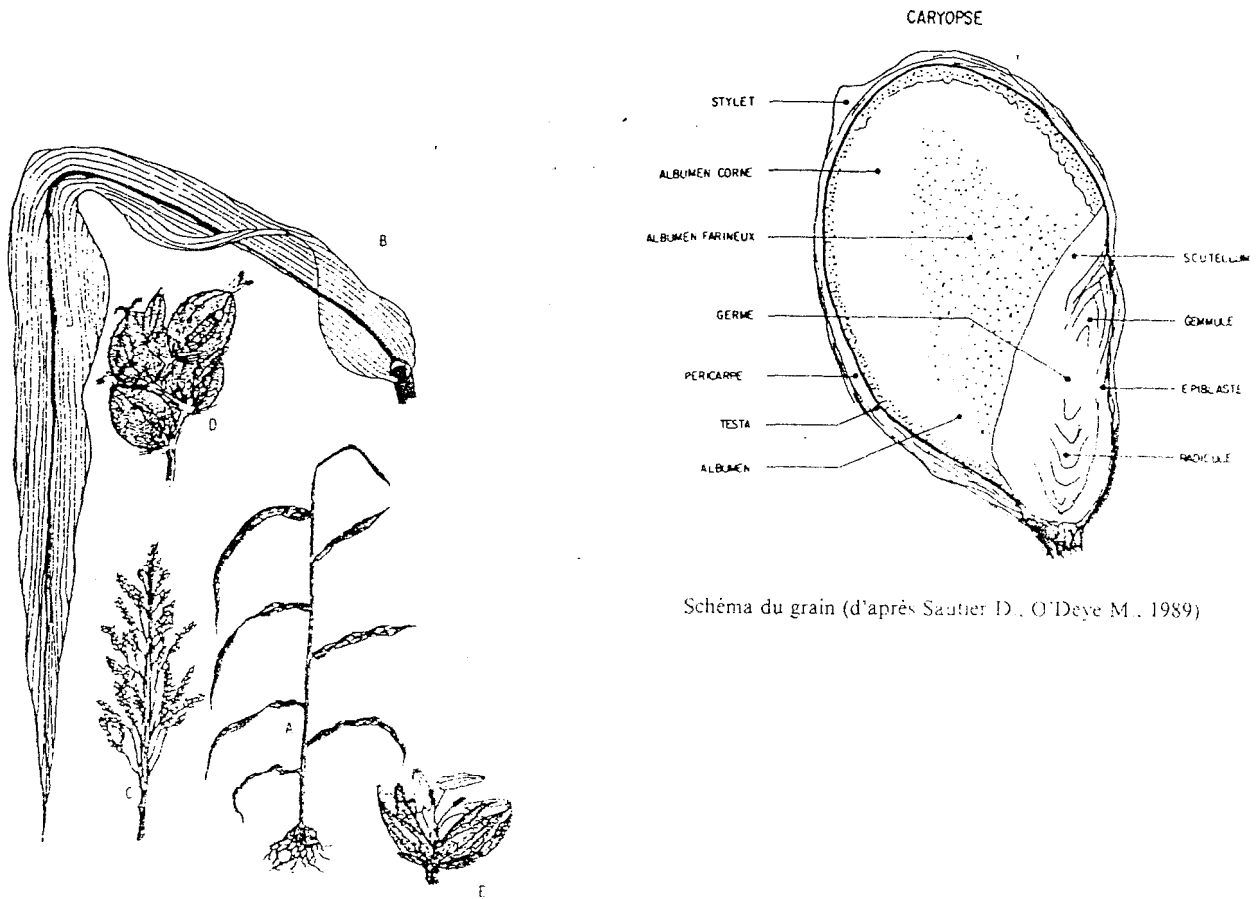


Schéma du grain (d'après Sautier D., O'Deye M., 1989)

- Morphologie du plant de sorgho
- A : plant à la montaison (tige principale)
- B : feuille
- C : panicule
- D : ramification terminale de la panicule avec les 2 types d'épillets :
  - épillet fertile sessile
  - épillet stérile pédicellé.
- E : fleur.

Source : Tropical crops Monocotyledons, J.W. Purseglove, Longman (Ed.).

**FIGURE 2** : Schéma du grain et morphologie du plant de sorgho.  
 Source : Le sorgho (CHANTÉREAU et NICOU, 1991)  
 Ed. Maisonneuve & Larose CTA

### **III/ PHYSIOLOGIE DU SORGHO**

#### **3.1/ CROISSANCE ET DEVELOPPEMENT**

On considère généralement trois phases dans le cycle de développement du sorgho:

- la phase végétative : de la germination à l'initiation florale ;
- la phase reproductive : de l'initiation florale à la pollinisation ;
- et la phase de maturation : de la pollinisation à la maturité complète.

##### **a/ Phase végétative**

La phase végétative débute par la germination de la graine et l'émergence d'une jeune plantule. La germination correspond au passage de l'état de vie ralentie à l'état de vie active. Les réserves qui, jusque là assuraient le métabolisme résiduel de l'embryon, vont être transformées pour assurer la croissance de la plantule. Différentes définitions de la germination sont données selon qu'il s'agisse du physiologiste ou du technologiste des semences.

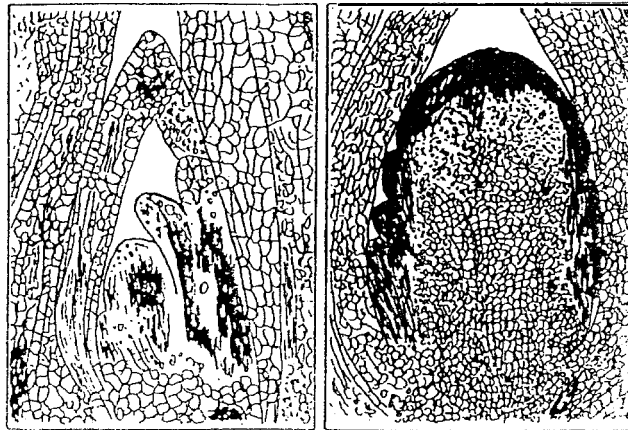
Selon MASSALY (1985) la germination est définie comme l'émergence et le développement, à partir de l'embryon, des structures essentielles qui, pour le type de semence en question, sont indicatives de l'aptitude à produire une plantule normale en conditions favorables.

Une bonne graine de sorgho semée dans un sol humide s'imbibe d'eau et gonfle. La germination se produit rapidement et le coléoptile apparaît au bout de 3 à 4 jours lorsque la température du sol est de 20 ° C ou plus (CHANTEREAU et NICOU, 1991). La durée de l'apparition du coléoptile peut être plus longue lorsque les températures sont basses (inférieures à 20 ° C).

Une première feuille perce l'extrémité du coléoptile et l'émission des feuilles suivantes se fait très rapidement.

Parallèlement, la croissance racinaire est active, caractérisée par le développement d'une racine séminale unique puis par celui des racines adventives 3 à 7 jours après l'émergence du plant (CHANTEREAU et NICOU, 1991 ; HOUSE, 1987 ; CHOPART, 1980). La jeune plantule vit durant cette période sur les éléments nutritifs stockés dans l'endosperme ; ces réserves s'épuisent au bout de 10 jours (HOUSE, 1987).

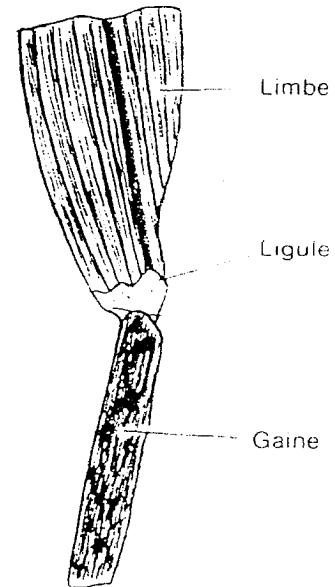
Des études récentes (MASSALY et ZENALLAH, 1993) ont montré cependant que le développement normal de la plantule est influencé par la conjonction des facteurs de la taille et de la densité des graines semées. Les grosses graines denses ont montré un pourcentage de levée avec un taux de survie des plantules supérieur à celui de petites graines légères. Dès lors, pour assurer un développement végétatif satisfaisant, il importe de disposer de semences de qualité, facteur d'un bon rendement, toutes autres conditions de croissance étant à leur optimum.



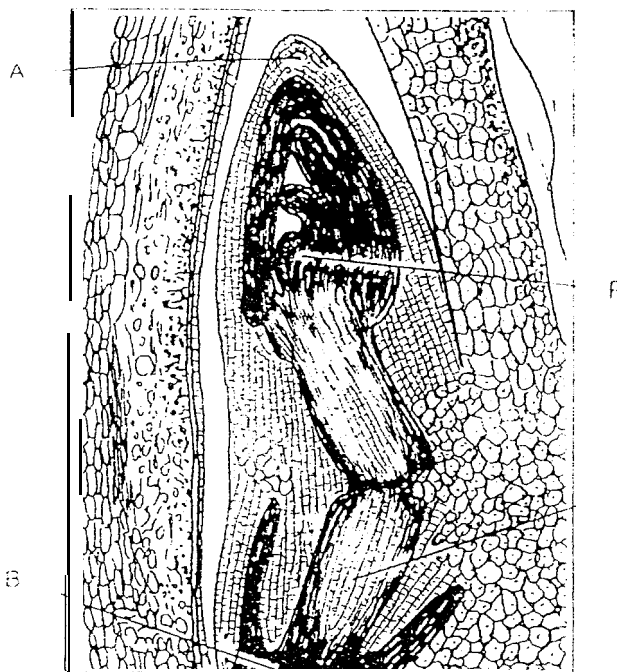
Bourgeon végétatif

Bourgeon floral

Bourgeons végétatif et floral.



Feuille de sorgho.



Section longitudinale d'un embryon  
16 jours après la fécondation: (A) Coléoptile,  
(B) Coléorhize, (P) Plumule, (R) Radicule.

**FIGURE 3** : Bourgeons végétatif et floral, feuille de sorgho et section longitudinale d'un embryon 16 jours après la fécondation.

Source : Manuel pour la sélection du sorgho (L.R. House, 1987).

La plante devenue donc entièrement autotrophe absorbe l'eau et les sels minéraux grâce à son système racinaire puissant, surtout dans les premiers **30** cm du sol. Une intense croissance végétative commence.

Grâce à un fonctionnement photosynthétique de type C4, le sorgho a un taux de production de matière sèche élevée, relativement aux quantités d'eau absorbées. En effet, les plantes en C4 héliophiles ne présentent pas de plateau de saturation de l'activité photosynthétique pour les forts éclaircissements (MAÏS et MADERNI, 1992).

Le tallage commence 15 jours environ après le semis, mais il est limité dans le temps par un mécanisme physiologique interne.

L'initiation florale se produit généralement lorsque la plante est haute de 50 à 60 **cm**. Le développement végétatif se poursuit et peut être important. Il est uniquement assuré par la croissance cellulaire complétée par la photopériodicité.

La température optimale pour la croissance végétative se situe le plus souvent vers 33° à 34° C (CHANTEREAU et NICOU, 1991).

La phase végétative du sorgho dure 30 à 40 jours.

#### **b/ Phase reproductive**

Cette phase démarre avec l'initiation florale et **fin**it par la pollinisation. L'apparition de l'inflorescence est précédée par un gonflement de la gaine de la dernière feuille. En 6 ou 10 jours, par croissance du pédoncule, la panicule se dégage : c'est la fin de la phase de montaison.

La floraison débute par le sommet de la panicule en descendant très régulièrement. Elle intervient généralement lorsque la panicule s'est complètement déployée. Active juste avant le lever du soleil et en début de matinée, la floraison a une durée moyenne d'une semaine.

Cette phase marque un profond changement dans la physiologie de la plante. Le sorgho est une plante de jours courts. Sa floraison est induite dans un cycle de 24 heures lorsque la durée de la période diurne est inférieure à une valeur critique (seuil photopériodique des variétés tropicales : entre 12 et 13 heures).

L'épillet prêt à fleurir voit ses glumes s'ouvrir. Les stigmates se dégagent en premier puis, un à deux jours plus tard, les anthères apparaissent. Si le temps est sec, leur déhiscence intervient pratiquement en même temps. Ce sont essentiellement les stigmates de la partie supérieure de la panicule, exposés avant les premières libérations de pollen, qui expliquent un certain pourcentage de pollinisation croisée chez le sorgho naturellement considéré comme une plante autogame. La pollinisation a lieu le matin après disparition de la rosée.

La viabilité du pollen est courte, de l'ordre de 2 à 4 heures. Par contre la période de réceptivité des stigmates est beaucoup plus longue, elle commence un peu avant leur libération des **glumes** pour s'achever plusieurs jours après.

Lorsque le pollen arrive sur le stigmate, il germe et développe le tube pollinique, lequel croît à l'intérieur du style et aboutit au sac embryonnaire en passant par le micropyle. Le noyau du tube dégénère rapidement, cependant, deux noyaux spermatiques du pollen entrent dans le sac embryonnaire. L'un féconde les deux noyaux polaires haploïdes et donne naissance au zygote accessoire, l'autre féconde l'oeuf et donne naissance au zygote principal. Ce processus est connu sous le nom de double fécondation laquelle est spécifique aux angiospermes.

### c/ Phase de maturation

Après les phases de pollinisation et de fécondation, le zygote formé par la fusion d'un gaméte et de l'oeuf va croître et se développer en un axe embryonnaire lequel cesse sa croissance lorsque la déshydratation atteint un certain seuil.

Le développement du grain, c'est-à-dire son remplissage commence juste après la pollinisation. La durée de remplissage complet varie de 30 à 50 jours environ selon le cycle des variétés et les facteurs climatiques. Ce sont essentiellement les feuilles supérieures de la plante qui, par leur activité photosynthétique, assurent l'accumulation de réserves.

En cas de sécheresse, on pense que la matière carbonée constitutive des tiges est mise à contribution pour l'alimentation du grain. Ce phénomène favorise l'affaiblissement de la base du pied, révélé par la verse et des attaques de Macrophomina phaseolina (pourriture charbonneuse du pied).

Le grain de sorgho passe par les stades laiteux puis pâteux avant d'arriver à maturité physiologique caractérisée par l'apparition d'un point noir à sa base dans la région du hile. Son poids est alors maximum avec un taux d'humidité se situant autour de 30 %.

Des études récentes conduites par le service d'agrophysiologie des semences de l'ISRA (MASSALY et SAKA, 1993) concernant plusieurs variétés cultivées au Sénégal confirment cette thèse. En effet, ces études ont montré que la maturité physiologique est atteinte entre 24 et 26 jours après 50 % anthèse. Les différentes variables étudiées suivent une croissance exponentielle jusqu'à maturité physiologique après laquelle démarre un processus de dégradation de la graine :

- la teneur en eau peut être supérieure à 80 % juste après la fécondation : elle décroît jusqu'à une valeur de 10 à 12 %;
- le taux de germination est maximal à la maturité physiologique de même que le poids sec de 100 graines (MS) et leur taille.

Selon DELOUCHE (1973), la détérioration de la semence est accompagnée d'une séquence de manifestations morphologiques et physiologiques :

- l'enveloppe devient très perméable et l'imbibition crée des dommages à la graine ;
- il y a un ralentissement de la synthèse de l'énergie entraînant une faible vigueur de la plante ;
- la respiration devient moins efficace ;
- le taux de germination des graines diminue ;
- on note un retard dans la croissance et le développement des plantes ;
- le pourcentage élevé de plantules anormales ;
- la réduction de l'uniformité des plantes.

En définitive, la détérioration de la graine aboutit inéluctablement à des semences de mauvaise qualité. Selon MASSALY, cette détérioration s'avère progressive, irréversible et inexorable. Elle peut être ralentie mais jamais arrêtée avec pour résultat final soit la baisse de rendement avec perte de qualité, soit tout simplement la mort de la graine.

A la récolte, la composition du grain en éléments organiques et minéraux varie selon les cultivars.

### **3.2/ EXIGENCES ECOLOGIQUES**

#### **a/ Facteurs climatiques**

Le sorgho est une plante tropicale qui s'adapte à de nombreux milieux. C'est la céréale principale des zones recevant entre 800 et 1000 mm de pluie par an.

Les besoins en eau du sorgho varient dans une fourchette de 350 mm à 750 mm en fonction :

- de la longueur du cycle ;
- de la masse du couvert végétal : grosseur des tiges et surface foliaire ;
- de la demande évaporative (CHANTEREAU et NICOU, 1991).

Pour assurer un rendement maximum du sorgho, il faut que la plante puisse consommer de façon régulière 400 mm pour un cycle court, 700 mm pour un cycle long.

Mais compte tenu des différentes pertes par percolation, ruissellement, évaporation, des possibilités réelles d'absorption du système racinaire du sorgho et de la capacité de rétention du sol, l'offre en eau due aux précipitations doit être supérieure d'au moins 30 à 40 % aux besoins de la plante.

Il faut donc une **pluviométrie** bien répartie située entre 500 et 600 mm pour une variété de cycle court, 650 à 800 mm pour une variété de cycle moyen, 950 à 1100 mm pour une variété de cycle long si l'on veut assurer le rendement optimal dans des conditions de bonne fertilité des sols.

Les besoins en eau du sorgho augmentent **pendant** le cycle pour atteindre un maximum à la floraison (environ 6 à 7 mm/Jour).

Le sorgho craint cependant l'excès d'eau. De même une période trop pluvieuse pendant la maturation peut réduire la qualité de la production.

La croissance du sorgho est réduite lorsque la température ambiante est inférieure à 20° C. L'optimum de croissance se situe vers 33°-34° C, avec une humidité maximale du sol. Le développement floral et la formation des grains se déroulent normalement jusqu'à 40-43° C. La fécondation est réduite au-delà de 40° C.

La sensibilité du sorgho au photopériodisme est surtout marquée chez les variétés tardives.

#### **b/ Facteurs édaphiques**

Le sorgho est cultivé sur des sols variés mais exige une teneur minimale de 6 % en argile, la meilleure situation étant celle d'un sol sablo-argileux, profond, bien drainé, avec un pH voisin de 6-7. Le sorgho présente une meilleure tolérance que le maïs au sel et à l'aluminium (GRANES et CARON, 1993).

Le problème central de notre zone d'étude étant l'alimentation en eau et en sels minéraux, liés aux caractéristiques physico-chimiques des sols, nous aborderons de façon **plus** détaillée les aspects physiologiques.

### **3.3/ MECANISMES PHYSIOLOGIQUES D'ALIMENTATION EN EAU ET EN SELS MINERAUX, ET REACTIONS DU SORGHO A UN STRESS HYDRIQUE**

#### **a/ L'eau dans le sol**

Le sol et l'eau constituent les ressources fondamentales de notre agriculture. Or dans les pays sahéliens, elles sont devenues d'importants facteurs limitants de la production agricole en général. La plante, pour se développer convenablement, a besoin d'un sol d'une composition granulométrique équilibrée et ayant des propriétés physiques et chimiques satisfaisantes. Un sol qui contient des quantités requises d'éléments nécessaires à la nutrition des plantes peut être considéré comme chimiquement fertile. Quoique essentielle, cette fertilité ne garantit pas par elle-même la réussite des cultures (HILLEL, 1988).

La valeur d'un sol, en tant que milieu adapté à la croissance végétale, ne dépend pas seulement de la présence et de la quantité d'éléments nutritifs chimiques mais **aussi** de l'état et du mouvement de l'eau et de l'air ainsi que des propriétés chimiques et du **régime** thermique du sol. En effet, l'eau de pluie ou d'irrigation est soumise à plusieurs forces dans le sol à partir desquelles est **défini** le potentiel de l'eau dans le sol. Thermodynamiquement, selon ASLYNG et al. (1963) cité par HILLEL, le potentiel total de l'eau du sol est défini comme étant la quantité de travail requise par quantité unitaire d'eau pure pour transporter réversiblement et à température constante une quantité infinitésimale d'eau à partir d'un bassin d'eau pure à une altitude donnée et à la pression atmosphérique jusqu'à l'eau du sol (au point considéré).

Ce potentiel permet de mieux appréhender les différentes formes de conservation de l'eau du sol. Ces formes (ou états) définissent la disponibilité de l'eau pour la plante. En effet, une fraction de l'eau de pluie ou d'irrigation est disponible pour le végétal : c'est la réserve utile (RU) **définie** comme étant la quantité d'eau contenue dans la tranche de sol explorée par les racines, entre le point de ressuyage et le point de flétrissement. L'autre fraction est de l'eau non utilisable par la plante : elle est fortement liée aux particules solides du sol. Aussi, pour augmenter la capacité de rétention de nos sols généralement de type ferrugineux tropicaux et faciliter l'alimentation hydrique du sorgho, faut-il appliquer des techniques additionnelles d'économie d'eau.

Les techniques de préparation du sol ont pour objectif de permettre un bon démarrage de la culture et un développement satisfaisant. Le labour à plat améliore en particulier l'infiltration de l'eau dans le sol en début de cycle et il facilite l'utilisation de cette eau par la plante grâce à son action sur le système racinaire du sorgho.

Le gain de rendement obtenu grâce au labour s'élève en moyenne à 30 % par rapport à une préparation traditionnelle, mais il peut varier de 20 à 50 % (CHANTEREAU et NICOU, 1991).

#### **b/ Alimentation en eau et en sels minéraux**

La production de matière sèche par la plante est fonction de la quantité d'eau et de sels minéraux absorbée. Cette absorption dépend de facteurs externes et internes notamment les facteurs climatiques du moment (ETP par exemple) et du patrimoine génétique du végétal dont les besoins en eau et en sels minéraux sont très variables au cours de son cycle de développement. Elle est régie par des mécanismes physiologiques très complexes liés à la fois :

- à la quantité d'eau disponible dans le sol (RU) ;
- à la demande évaporative du climat (ETP) ;
- au stade phénologique de la plante ;
- à la richesse du sol en sels minéraux, déterminant ainsi la possibilité d'absorption par la plante de ces éléments.



Les mécanismes d'absorption de l'eau et des sols minéraux sont deux mécanismes indépendants :

- l'absorption de l'eau par la plante est surtout un phénomène passif donc purement physique ;
- celle des éléments minéraux est un **phénomène** actif donc d'origine biologique. En effet, les ions ne passent à travers les membranes cytoplasmiques que grâce à des mécanismes réclamant de l'énergie donc de l'oxygène et une certaine température. Ces mécanismes mettent en oeuvre des protéines enveloppées dans les membranes cytoplasmiques. Elles agissent comme de "petites pompes" aspirantes et refoulantes, obligeant certains ions à pénétrer, en rejetant d'autres avec une intensité variable (SOLTNER, 1992). L'absorption des éléments minéraux est sélective.

Bien qu'étant deux mécanismes indépendants,, l'absorption de l'eau détermine pour une large part, celle des éléments minéraux. La première est favorisée par un système racinaire dense et profond : son développement est un facteur important de réussite de la culture.

Par la suite, grâce à la photosynthèse, des métabolites sont formés. Ils suivent un transit vertical pour alimenter les organes souterrains et aériens. Cela se traduit par une croissance et un développement harmonieux de la plante, toutes autres conditions et facteurs de croissance étant à leur optimum. Pour cela, la nutrition des plantes nécessite donc des mouvements d'ions minéraux et d'eau vers les surfaces absorbantes des racines et une bonne colonisation du sol par ces dernières (CALLOT et al., 1983). Selon ces mêmes auteurs, des expériences ont montré qu'avec une bonne alimentation hydrique, des cultures comme le tournesol, le ray grass, la fétuque, la luzerne ont une production de matière sèche plus élevée qu'en période de sécheresse. Il en est de même pour les quantités d'éléments minéraux absorbés.

Pour la fertilisation minérale du sorgho, des expériences ont montré que le pivot de la fumure est l'azote (N) : pour la production de 100 kg de grains, 3,5 kg d'azote sont mobilisés dont 50 % dans le grain (CHANTEREAU et NICOU, 1991). Cependant, l'azote n'est complètement valorisé que si les quantités de phosphore disponible pour la plante sont suffisantes et cela dépend de la richesse du sol en cet élément. C'est ainsi qu'on considère que toute fertilisation minérale du sorgho doit être à base d'engrais binaire NP.

Par ailleurs, des études ont montré que l'efficacité de l'utilisation de l'eau par la plante dépend du niveau d'alimentation en azote du sorgho. Il ne faut cependant pas se limiter sur ces deux éléments pour la culture du sorgho. Il importe surtout d'avoir un sol équilibré pour éviter que certains éléments nutritifs deviennent des facteurs limitants à cause des antagonismes possibles.

En conséquence, selon OKEN et WENDT, l'augmentation de la production agricole (celle de sorgho particulièrement) et sa stabilité en zone sahélienne passent forcément par une connaissance approfondie de la chimie et de la fertilité des sols de la région.

### c/ Conditions hydriques et production de matière sèche (MS)

La production de matière sèche d'un végétal est fortement liée à la quantité d'eau consommée (ETR) durant chaque stade de son cycle de développement. Elle est fonction des facteurs et conditions de croissance (éclairage, température, etc.) qui peuvent agir de manière positive ou négative selon leur niveau, sur la production de matière sèche.

Quoique fondamentale, l'alimentation hydrique n'est pas la seule fonction physiologique à expliquer la production de matière végétale. Celle-ci est le résultat des *interactions* de la photosynthèse, la transpiration, la nutrition minérale, la respiration en plus de l'absorption de l'eau. Aucune de ces fonctions physiologiques ne peut être prise isolément pour expliquer la production végétale.

Cependant, la production de matière sèche dépend étroitement des conditions d'alimentation hydrique. Lorsque celles-ci sont limitantes, la plante peut mettre en place des mécanismes d'adaptation à la contrainte hydrique. Une classification de ces différents mécanismes est proposée par MAY et MILTHORPE (1962) ; TURNER (1979, 1986) ; JONES et al (1981) : l'esquive, l'évitement et la tolérance.

Selon BLUM (1984), le sorgho peut avoir les mêmes comportements face à une sécheresse:

- \* l'esquive à la sécheresse permet à la plante de ne pas subir directement de contraintes hydriques en réalisant son cycle en dehors des périodes sèches. Elle est effective principalement lorsque le stress hydrique survient au cours de la dernière moitié de la phase de croissance. Dans ces conditions, les génotypes de sorgho précoces ont un avantage par rapport aux génotypes tardifs car ils ont une surface foliaire plus réduite, une moindre utilisation de l'eau et un rapport densité-longueur de racines par unité de surface foliaire plus élevé.
- \* l'évitement à la déshydratation consiste, pour la plante, à maintenir un état hydrique interne satisfaisant en présence d'une contrainte hydrique externe.
- \* la tolérance à la déshydratation permet à la plante d'assurer normalement ses fonctions physiologiques malgré une dégradation de son état hydrique interne consécutive à la contrainte hydrique externe.

Généralement donc, face un déficit hydrique du sol, les activités physiologiques de la plante sont réduites et peuvent être nulles si cette contrainte dure longtemps. La photosynthèse, la transpiration, la respiration de même que l'absorption d'eau diminuent très sensiblement. Il s'en suit une baisse de la production de matière sèche. L'importance des implications négatives du stress hydrique varie suivant la phase végétative au cours de laquelle survient la contrainte.

La production d'une certaine quantité de **matière sèche** nécessite l'évapotranspiration de quantités d'eau variables selon la demande climatique. Le **coefficient** transpiratoire (C.T.) en est l'indicateur. Il est **défini** comme la quantité d'eau consommée pour fabriquer une unité de poids de matière sèche ( $CT = ETR/MS$ ). Le rapport inverse ( $MS/ETR$ ) mesure l'effcience de l'eau. Le CT donne seulement une indication sur les conditions évapotranspiratoires au cours de l'élaboration de la matière végétale (VILAIN, 1993). Il dépend de la culture et de la demande climatique (ETP) qui conditionne l'ETR. Lorsque la valeur de ETR est proche ou égale ETM, on admet que la plante ne subit pas **de stress** hydrique et qu'elle élabore davantage de matière sèche.

En conditions hydriques excédentaires, cas très rares voire inexistants dans les pays du Sahel, les réactions **des** plantes dépendent de plusieurs facteurs :

- durée de la présence de l'eau ;
- espèces cultivées ;
- stade phénologique au moment où l'excès d'eau se manifeste ;
- conditions du milieu : les effets sont d'autant plus marqués que l'activité physiologique générale et la transpiration sont élevées (VILAIN, 1987).

#### **d/ Alimentation minérale et production de matière sèche**

Les besoins en éléments minéraux varient suivant les espèces, les variétés et leur stade phénologique. Ils sont généralement déterminés par l'analyse de la matière sèche totale d'une plante (ou par l'analyse foliaire le plus souvent). Cette analyse permet de quantifier les différents éléments présents et de prévoir pour un type de sol donné les doses d'engrais minéral à apporter pour compenser les exportations des plantes.

Le niveau de satisfaction de ces besoins minéraux peut contribuer à expliquer une production végétale donnée, connaissant le rôle important des éléments nutritifs dans le métabolisme de la plante.

Ces éléments sont classés, d'un point de vue agronomique, suivant leur importance quantitative et leur rôle. On distingue :

- les éléments majeurs : N, P, K ;
- les éléments secondaires : Ca, Mg, S ;
- les oligo-éléments : Fe, Mn, Zn, Cu, Mo, Co (VILAIN, 1993).

#### d-1/ Les éléments majeurs

\* L'azote, du fait de son rôle essentiel dans la constitution des noyaux cellulaires de la chlorophylle, etc., existe dans la plante en quantité importante surtout dans les tissus jeunes et dans certains organes de réserve. La matière sèche renferme de 1 à 5 % d'azote total.

L'absorption de l'azote sera donc surtout marqué au début de la végétation et pendant la période de croissance active. Ensuite, le rythme se ralentit. Ce rôle essentiel fait que l'azote est, la plupart du temps, le facteur déterminant du rendement. Il agit surtout en augmentant le volume des organes végétatifs, la quantité, de chlorophylle, donc la photosynthèse (DIEHL, 1975). Dans les graines, la proportion d'azote insoluble augmente lorsqu'on s'approche de la maturité. Certaines expériences sur le sorgho (GIGOU, 1976 ; ARRIVETS, 1976 ; JACQUINOT, 1964) citées par PIERI (1989) montrent que pour une (1) tonne de produit récolté, 13 à 16,5 kg/ha d'azote sont exportés par les grains. Cependant, l'utilisation de l'azote doit être faite de manière rationnelle pour éviter un excès ou une carence. Selon le cas, le rendement en grains peut baisser.

\* Le phosphore existe, dans les plantes cultivées, en quantité assez minime : 0,2 à 0,9% de la matière sèche (BERTRAND, 1949 cité par DIEHL). L'absorption du phosphore ( $P_2O_5$ ) par la plante se fait à l'état de phosphates minéraux solubles existants à très faible concentration dans les solutions du sol. Elle est très rapide au début de la végétation et il est nécessaire qu'à ce moment, la plante dispose d'un minimum de phosphates solubles. L'action favorable de  $P_2O_5$  sur le développement du système racinaire a été montré dès 1843 par LAWES et GILBERT et elle peut avoir des répercussions importantes sur la suite du développement (DIEHL, 1975).

Cet auteur souligne qu'au cours de la croissance, l'acide phosphorique semble jouer un rôle de régulateur et compense, dans une certaine mesure, les effets d'un excès d'azote. De nombreuses expériences ont illustré l'accélération de la maturité sous l'influence d'une alimentation phosphatée convenable. BURGEVIN a montré, en particulier, que la formation de la matière sèche se faisait plus rapidement en présence d'une quantité suffisante de  $P_2O_5$  (DIEHL, 1975).

Le phosphore s'accumule surtout dans les grains.

\* La teneur en potassium est assez variable ; la matière sèche en renferme de 0,3 à 0,5 %. Il exerce au sein du métabolisme général un rôle d'activateur en maintenant l'équilibre des anions et des cations, et en assurant l'hydratation des colloïdes. Son intervention dans l'économie d'eau est importante. D'une part, avec d'autres constituants, il en règle l'absorption et d'autre part, il contrôle la transpiration en augmentant la rapidité d'ouverture ou de fermeture des stomates (VILAIN, 1993).

#### d-2/ Les éléments secondaires

\* La teneur en calcium est assez variable. Les plantes en renferment d'autant plus qu'elles contiennent moins de potassium. Le calcium présente des similitudes avec le potassium mais s'en distingue nettement par sa faible mobilité. L'absorption de calcium est passive.

\* La teneur en magnésium est souvent proche de 1 %. La chlorophylle, riche en magnésium, renferme 5 à 15 % du magnésium total de la plante. Les caractéristiques du magnésium sont voisines de celles du calcium et du potassium. Le magnésium stimule la nutrition phosphatée.

\* Le soufre est absorbé par la plante à l'état de sulfates. Son rôle est à peu près semblable à celui du phosphore. Le soufre et l'azote sont liés du point de vue physiologique dans la constitution de certains protides. Les besoins de la plante en soufre croissent en fonction des apports d'azote.

#### **d-3/ Les oligo-éléments**

Parmi les éléments minéraux présents chez les végétaux à l'état de traces, certains sont indispensables. Sept oligo-éléments sont aujourd'hui reconnus comme tels : le fer, le cuivre, le molybdène, le cobalt, le manganèse, le zinc et le bore. Leurs rôles sont essentiellement métaboliques ; ils entrent comme cofacteur dans la constitution des enzymes ou participent à leur fonctionnement.

Tous ces éléments minéraux sont interdépendants. Leur assimilation par la plante participe entre autres facteurs et conditions de croissance, à l'élaboration de la matière sèche qui détermine pour une large part le rendement et la qualité du produit récolté.

## **2ePARTIE:EXPERIMENTATION**

### **I/ MATERIELS ET METHODES**

#### **1-1/ MATERIEL VEGETAL**

La variété CE 145-66 utilisée dans cette expérimentation est exploitée en culture pluviale d'hivernage entre 500 et 700 mm de pluie. Elle est obtenue à l'ISRA-CNRA de Bambey en 1980, tirée du croisement 68-19 (IS 2220) x Nagawhite (écotype du Ghana). C'est une variété de type Caudatum.

Le cycle végétatif (semis-maturité) est de 100 jours ; le cycle semis-épiaison varie de 65 à 70 jours (semis en juillet).

La CE 145-66 est légèrement photosensible. La hauteur moyenne de la plante est de 180-200 cm.

L'albumen du grain est blanc. Le poids de 1000 grains est de 20-25 grammes avec une teneur en tanin de 0,109 % matière sèche et une teneur en protéines de 12,4 % matière sèche.

Rendement en milieu contrôlé :

- moyen : 2,9 T/ha
- maximum : 5,4 Tka

#### **1-2/ METHODES**

##### **a/ Site expérimental**

L'expérimentation est conduite à l'ISRA/CNRA de Bambey, situé à 14°42' latitude Nord et 16°28' longitude Ouest.

Le climat de la localité est caractéristique de la zone soudano-sahélienne avec une courte saison des pluies (mi-juin à mi-octobre) à distribution pluviométrique monomodale dont le pic se situe entre Août et Septembre (MARONE, 1994). La pluviométrie moyenne sur les 12 dernières années (1983-1994) est de 451.4 mm avec 318 mm relevés en 1983, année la plus sèche et 806 mm en 1989, année la plus humide.

Les températures moyennes de la période sont comprises entre 24°C et 29°C. La durée d'insolation moyenne est égale à 272 heures et l'humidité relative moyenne varie entre 31,5 % et 79,1 % (ISRA/CNRA Bambey, 1995).

L'expérimentation a été conduite au cours de la saison chaude (Avril-Juin) 1995. Elle s'est poursuivie jusqu'à la fin du mois de juillet du fait de la légère photosensibilité de la variété CE 145-66. Les cultures sont installées en pots sous abri et maintenues dans les conditions ambiantes. Les pots ont la forme d'un tronc de cône circulaire droit. Le diamètre du grand cercle est de 0,30 m, la hauteur de 0,27 m, la longueur du côté 0,26 m. Le fond du pot est troué. Le sol (16 Kg de poids sec par pot) est de type deck-dior (argilo-sableux) avec une capacité de rétention proche de 130 mm/m.

#### **b/ Dispositif expérimental et traitements**

C'est un dispositif complètement randomisé comportant 4 traitements et 16 répétitions (au départ) :

- traitement témoin (T) non stressé;
- stressé en phase d'initiation florale (S1) ;
- stressé en phase de gonflement (S2);
- stressé en phase de floraison - remplissage des grains (S3)

Le témoin maintient le contenu en eau du micro-lysimètre à 80 % de la réserve utile maximale (RUM) jusqu'à la fin de l'expérimentation. Le traitement stressé (S1, S2 ou S3) maintient le contenu en eau à 30 % de la RUM.

La RUM est le contenu en eau maximal du micro-lysimètre correspondant au poids de l'eau après humectation complète et ressuyage de 24 heures.

Le premier stress hydrique (S1) est appliquée 29 jours après semis (Jas) , le deuxième (S2) au 73ème jas et le dernier (S3) au 91ème jas.

La durée de chaque stress est de 10 jours. L'application du 2ème stress hydrique a été perturbée par une pluie (23 juin 1995) 3 jour!; après son démarrage. Pour obtenir les 10 jours effectifs de stress, un écran (bâche) a été: installé sur l'abri à partir de cette date (76 jas). Cet écran est maintenu jusqu'à la récolte.

#### **c/ Technique de culture**

Pour assurer une bonne levée, plus de 10 graines par pots ont été semés (écartement 0,8 m x 0,30 m). Avant le semis de l'engrais 8-18-2'7 est répandu dans chaque pot à la dose de 150 kg/ha. La dose à l'hectare est divisée par la surface (0,0707 m<sup>2</sup>) du plus grand cercle du pot. Les semences ont été préalablement calibrées (supérieur à la grille 9 = 3,6 mm) puis traitées au granox à la dose de 2/1000, un produit fongicide-insecticide.

Au 11ème jas, un démariage à 3 plants/pot est effectué suivi du premier apport de sulfate d'ammoniac (75 kg/ha). Le second apport (75 kg/ha) est effectué au 25ème jas. Les sarclages manuels sont réalisés à la demande.

Au cours de l'expérimentation, trois (3) traitements phytosanitaires contre les pucerons du sorgho sont effectués avec du Diméthoate ou du Thimul 35 à la dose de 30 cc/l. Le traitement est réalisé au pulvérisateur.

Les irrigations ont été réalisées à une **périodicité** de 3 jours jusqu'au 9<sup>ème</sup> jas. Cette périodicité est ramenée à 2 jours jusqu'au 39<sup>ème</sup> jas.

A partir du 40<sup>ème</sup> jas, les irrigations sont effectuées quotidiennement jusqu'au 110<sup>ème</sup> jas. Ce changement de la fréquence des irrigations est dû au climat (forte demande évaporative de l'atmosphère) et à la croissance des plants (surfaces évaporantes de plus en plus importantes).

Les apports complètent la masse d'eau au seuil du traitement. Les irrigations ramènent la masse d'eau à 80 % de la RUm pour le témoin et à 30 % de la RUm pour les traitements stressés (S1, S2 et S3).

### **1-3/ VARIABLES ETUDIÉES ET TECHNIQUES DE MESURE**

Les variables étudiées sont relatives à la consommation en eau des cultures, à la croissance et au développement végétatifs et à la structure de la récolte.

#### **a/ Suivi hydrique**

Les consommations en eau sont déterminées à partir des variations de poids des microlysimètres. Les pesées ont été effectuées tous les trois (3) jours du semis au 9<sup>ème</sup> jas, ensuite tous les deux (2) jours du 9<sup>ème</sup> jas au 39<sup>ème</sup> jas puis quotidiennement, du 40<sup>ème</sup> jas à la récolte. Ces pesées sont faites par une balance de portée de 20 kg et de précision 1 g (Balance METTLER PE 24). La différence entre le poids obtenu à la mesure précédente  $P(i-1)$  et l'apport d'eau  $l(i)$  d'une part et le poids obtenu par la mesure du jour détermine la consommation d'eau en litres. Cette masse est convertie en consommation en mm/jour grâce à la formule suivante :

$$\text{ETR (mm/jour)} = k \times (M - d).$$

où  $k = 14,14$  : coefficient qui est fonction de la surface du plus grand cercle du cône circulaire droit (seau). Il est obtenu par le rapport  $1/0,0707$ . Ce coefficient n'est utilisable que dans des conditions similaires à notre expérience.

$M$  = masse d'eau mesurée en litres/jour, variable suivant le stade phénologique de la culture.

$d$  = quantité d'eau perdue par drainage. Dans notre expérience,  $d$  est négligeable.

Les consommations ont diminué avec la mise en place de l'écran au 76<sup>ème</sup> jas. L'écran crée un ombrage et diminue la demande évaporative et l'activité photosynthétique.



A partir du 57<sup>ème</sup> jas, les apports d'eau ont été ajustés en fonction du poids frais moyen des plantes du microlysimètre, obtenu à chaque changement de régime hydrique. Ces ajustements ont permis de prendre en compte la biomasse végétale élaborée, négligée au départ, dans la détermination de la consommation en eau. Une simulation du bilan hydrique a été faite avec le logiciel BIPODE (version 3.10).

#### **b/ Suivi de la croissance et du développement des cultures**

Il a consisté à l'indication des dates de changement de phase phénologique, base de l'application du stress hydrique.

La croissance et le développement ont également été suivis par la mesure de l'élongation du brin-maître (du 13<sup>ème</sup> jas au 69<sup>ème</sup> jas). Les poids humide et sec des biomasses aérienne et racinaire sont mesurés à chaque changement de régime hydrique sur tous les traitements à l'aide d'une balance PRECISA 1000 C - 3000 D précise à 0,01 g.

#### **c/ Structure de la récolte**

Les différentes composantes du rendement sont déterminées par le :

- nombre de panicules récoltées ;
- poids frais et sec des panicules ;
- poids des grains ;
- poids de 100 grains par répétition ;
- poids de la matière sèche moyenne élaborée par 100 grains ;
- quantité de matière sèche élaborée par la biomasse aérienne.

L'exercion paniculaire et la longueur du brin-maître ont été mesurées à la récolte au 115<sup>ème</sup> jas.

#### **d/ Qualité des semences**

L'appréciation de la qualité des semences des différents traitements est obtenue à partir du poids individuel des grains et de deux (2) tests réalisés au laboratoire :

- poids individuel des grains ;
- 1 test de vigueur ;
- 1 test de germination.

#### **\* Poids individuel des grains**

Un lot de 100 grains par répétition est prélevé pour chaque traitement. Leur poids individuel est déterminé à l'aide d'une balance METTLER précise à 0,001 g.

### \* Test de vigueur

Pour chaque traitement, 5 grains/répétition sont prélevés. Ces grains sont mis séparément dans des tubes à essai remplis de sable et placés à l'étuve dans des conditions d'obscurité totale. La température à l'intérieur de l'étuve varie autour de 26° C. Au bout de 7 jours, la longueur des parties aérienne et racinaire des plantules est mesurée. Ces plantules sont mises à sécher à l'étuve (105 °C) pendant 24 heures. La quantité de matière sèche élaborée par plantule est ensuite déterminée.

### \* Test de germination

Les grains (50 grains/répétition) sont mis dans des boîtes de Pétri ayant comme substrat du papier buvard. Ces boîtes sont placées dans une étuve où la température varie entre 21°,5 et 28° C avec 16 heures de lumière par 24 heures. Un premier comptage de plantules normales est effectué au 5ème jour puis un second au 10ème jour. Le pourcentage de germination est calculé pour chaque répétition.

## 1.4/ ANALYSE

L'analyse statistique des résultats obtenus a été faite avec le logiciel MSTATC (Michigan State University). Les graphiques ont été faits avec les logiciels HARVARD GRAPHICS et EXCEL.

## II/ RESULTATS ET DISCUSSIONS

### 2.1/ CONDITIONS CLIMATIQUES DE L'EXPERIMENTATION

L'essai a été installé à environ 400 mètres de la station météorologique de l'ISRA/CNRA de Bambey. Les données climatiques représentées sur la figure 4 ont été enregistrées au cours de l'expérimentation (du 8 Avril au 31 Juillet 1995).

Les températures maxima et minima ont varié respectivement de 31,0° C à 45,5° C et de 15,0° C à 26,7° C.

Les humidités relatives mesurées vont de 50 % à 100 % pour les maxima et de 9 % à 68 % pour les minima.

L'insolation journalière va de 0.1 h à 11.9 heures avec une moyenne de 9 heures.

La vitesse du vent a varié entre 1 m/seconde et 7m/seconde.

Les données d'évaporation Bac (Ev Bac) utilisées pour la simulation du bilan hydrique sont des moyennes calculées sur 12 ans (1983- 1994).

## **2.2/ ALIMENTATION EN EAU DES CULTURES**

Les quantités d'eau consommées du semis à la récolte présentent des différences significatives au seuil  $\alpha = 0,05$ . Le témoin a une consommation en eau plus importante. Il n'a pas subi de stress hydrique. Cependant, il n'est pas significativement différent du premier traitement stressé (S1). Les traitements stressés (S1, S2 et S3) n'ont pas une consommation en eau significativement différente (Figure 6). Les indices de satisfaction des besoins en eau (ISE) suivent la même tendance (Tableau 2).

L'application du stress hydrique (30 % RUm) est accompagnée d'une baisse du stock hydrique (Figure 5). L'alimentation en eau des plantes diminue également pendant cette période. MARONE (1994) a obtenu des résultats similaires sur l'arachide (Variété 55-437).

## **2.3/ SUIVI DE LA CROISSANCE ET DU DEVELOPPEMENT**

### **a/ Phases phénologiques**

Les différentes dates de changement de phases phénologiques ont été notées. Ces phases correspondent généralement aux dates de début d'application du stress hydrique :

- 29<sup>ème</sup> jour après semis (jas) : début de la phase d'initiation florale. A cette période les organes reproducteurs de la plante sont formés et leur nombre déterminé. Le déboîtement des entre-noeuds débute. Ils s'allongent progressivement et la montaison commence. Les plantules ont une hauteur moyenne de 67 cm sur l'ensemble des traitements. Cette hauteur a été mesurée jusqu'au 69<sup>ème</sup> jas : la hauteur moyenne enregistrée est respectivement pour le témoin, les stressés 1, 2 et 3 de 109, 108, 101 et 103 cm. Le premier stress (S1) est appliqué à partir du 29<sup>ème</sup> jas. Il y a eu un ralentissement de la croissance jusqu'au 39<sup>ème</sup> jas. A cette date, les plantes du traitement S1 ont eu 15 cm de moins que celles des autres traitements (85 cm en moyenne).

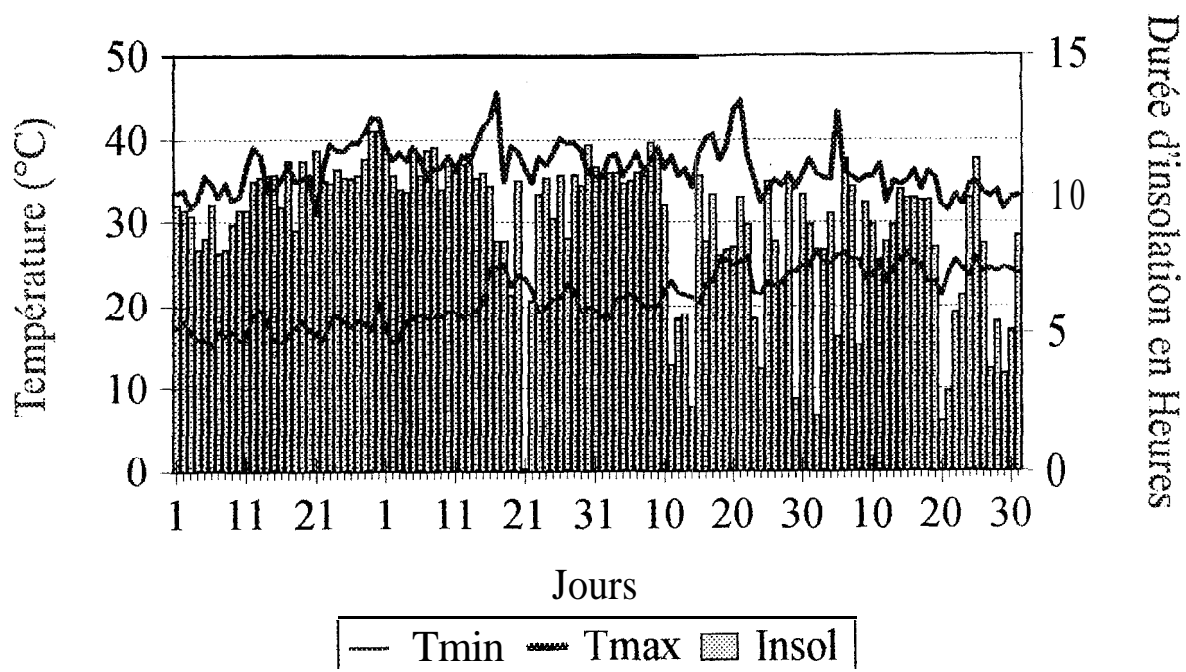
Un stress hydrique pendant la période d'initiation florale ralentit la croissance du sorgho (0.4 cm/jour). Lorsque les conditions d'alimentation hydrique redeviennent normales, le sorgho (Var. CE 145-66) accélère son rythme de croissance (2 cm/jour) jusqu'au début du gonflement.

-73<sup>ème</sup> jas : début de la phase gonflement-épiaison. Elle est caractérisée par le gonflement de la feuille paniculaire et l'allongement du pédoncule. Le deuxième stress (S2) a été appliqué au début de cette phase. Les plantes du traitement S2 ont eu une mauvaise exsertion paniculaire (Annexe 4). L'épiaison est ralentie pour les plantes du traitement S2. L'ensemble des fleurs de certaines panicules a complètement avorté avant la fin du stress.

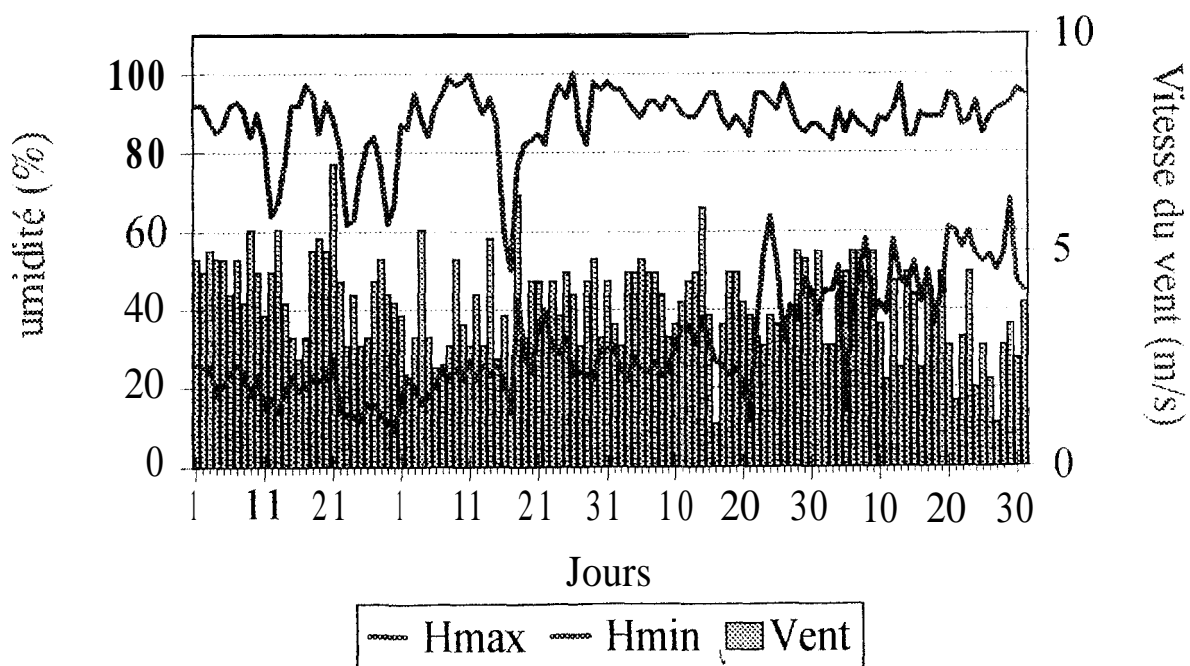
- 91<sup>ème</sup> jas : début de la phase de floraison--remplissage des grains. Le troisième stress est appliqué sur le traitement S3. Ce stress de fin de cycle a entraîné un mauvais remplissage des grains.

Figure 4 : Conditions climatiques de l'expérimentation; relevés de la station de Bambey-CNRA.

A: température et insolation



B : humidité et vitesse du vent



**TABLEAU 2 : CONSOMMATIONS EN EAU DES CULTURES (mm)****a/ Irrigations totales**

TRAITEMENTS	QUANTITES D'EAU RECUES (mm)
T	1135
S1	1060
s2	1006
s3	1068

**b/ Résultats de la simulation (BIPODE)**

STADES	ETM	ETRS				ISE = ETRs/ ETM (%)				DRAINAGE				DUREE (j)
		T	S1	S2	S3	T	S1	S2	S3	T	S1	S2	S3	
1	156	127	127	128	127	82	82	82	82	0	0	0	0	29
2	502	476	414	476	476	95	83	95	95	21	0	0	13	44
3	182	150	150	101	143	82	82	55	78	18	15	0	18	18
4	179	147	154	123	96	82	86	69	54	0	1	0	0	24
<b>CYCLE</b>	<b>1019</b>	<u>900</u>	845	828	842	88	83	81	83	39	16	0	31	115

**c/ Résultats des mesures directes**

STADES	ETM	ETRm				ISE = ETRm/ETM (%)				* DRAINAGE				Durée (j)
		T	S1	S2	S3	T	S1	S2	S3	T	S1	S2	S3	
1	156	223 a ( )	222 a	197 b	203 b	100	100	100	100	x	x	x	x	29
2	502	466 a	371 c	416 ab	451 ab	93	74	83	90	x	x	x	x	44
3	182	160 a	156a	83 b	141 a	88	86	46	77	x	x	x	x	18
4	179	138 a	145 a	138 a	81 b	77	81	77	45	x	x	x	x	24
<b>CYCLE</b>	<b>1019</b>	<b>987 a</b>	<b>894 ab</b>	<b>834 b</b>	<b>876 b</b>	<b>97</b>	<b>88</b>	<b>82</b>	<b>86</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>115</b>

**STADES** mis- initiation florale

2 = Initiation florale -Gonflement

3 = Gonflement-Epiaison

4 = Floraison -Remplissage des grains • Maturité

ISE = indice de satisfaction des besoins en eau

ETRs = EvapoTranspiration Réelle simulée

ETRm = EvapoTranspiration Réelle mesurée

ETM = EvapoTranspiration Maximale

\* **DRAINAGE**: Il est considéré comme négligeable, il n'est pas mesuré

( ) = Les chiffres de la même ligne, suivis d'une même lettre ne sont pas significativement différents.

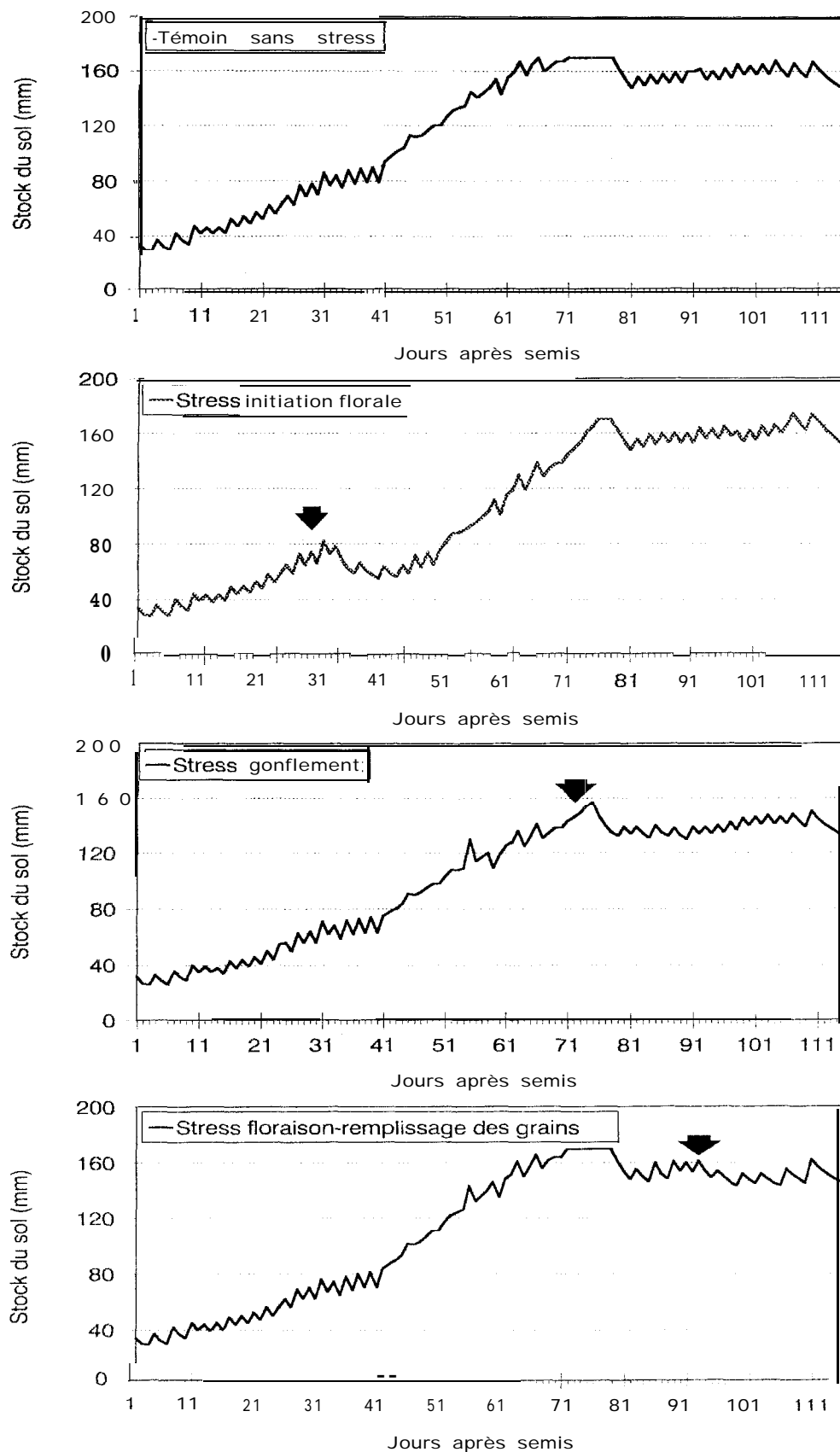
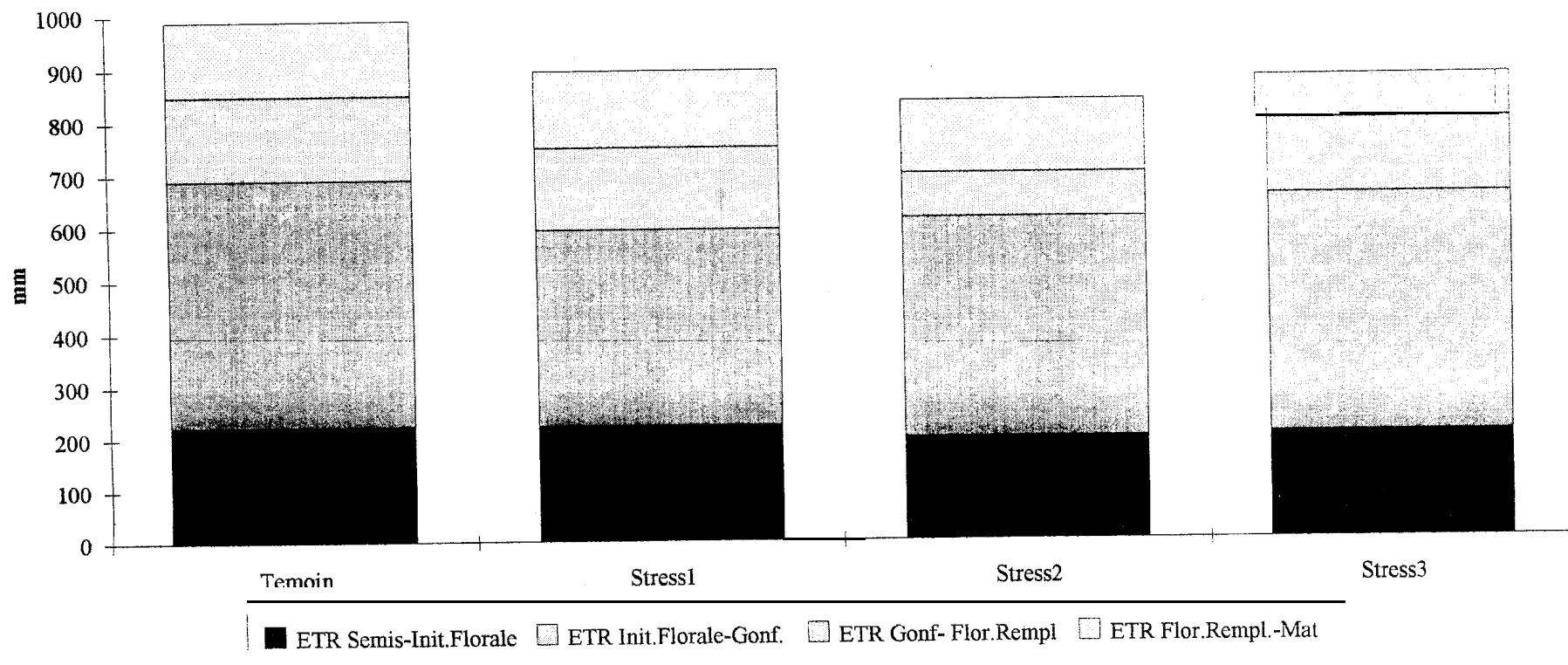


Figure 5 : Evolution des stocks en eau du sol d'après les simulations des 4 traitements (BIPODE)

**Figure 6 : Consommations en eau aux différentes phases phénologiques**

### **b/ Production de biomasse végétale**

L'élaboration de la matière sèche décrit une courbe sigmoïdale avec une phase exponentielle sur l'ensemble des traitements. La phase exponentielle correspond à la période initiation florale-gonflement (Figure 7 et annexes 2 et 3). Le traitement S1, stressé au début de cette période a élaboré moins de matière sèche que les autres. Il a accéléré sa production de matière sèche après l'arrêt du stress. Il a ensuite rattrapé les autres traitements pour la hauteur du brin-maître.

Il n'y a pas d'écarts significatifs entre les traitements pour la production de matière sèche aérienne. Cela est mis en évidence par l'analyse de l'efficacité d'utilisation de l'eau (WUE:  $mst/etr$ ) pour la production de biomasse aérienne (figure 8 et annexe 1). L'analyse montre l'existence d'une corrélation significative positive entre la quantité d'eau consommée et la quantité de matière sèche élaborée ( $r = +0.732$ ).

Les coefficients transpiratoires ou CT (annexe 3) sont élevés pour la période semis-initiation florale. La forte radiation sur les parois des microlysimètres non enterrés, en plus des températures élevées et **des** vents forts, a accentué l'évapotranspiration réelle mesurée des cultures. Ces dernières n'avaient pas encore eu un développement végétatif important pour assurer une bonne couverture du sol.

### **c/ Discussion**

Les conditions d'alimentation en eau de la plante jouent un rôle important dans l'élaboration de la matière sèche. Un stress hydrique (ISE = 74 %) appliqué pendant la phase initiation florale-gonflement ralentit la croissance végétative. Le sorgho, par des mécanismes physiologiques s'adapte au stress lorsque celui-ci survient précocément. Après l'arrêt du stress hydrique, il a la capacité de reprendre une croissance végétative normale. De même, un stress hydrique, d'une durée inférieure ou égale à 10 jours, appliqué durant la phase de gonflement ou la phase de floraison-remplissage des grains ne semble pas affecter la production de matière sèche. A ces stades, le sorgho est à la fin de la phase végétative. Il peut toutefois affecter certaines composantes du rendement.

## **2.4/ EFFET DU STRESS HYDRIQUE SUR LA PRODUCTION DE GRAINS**

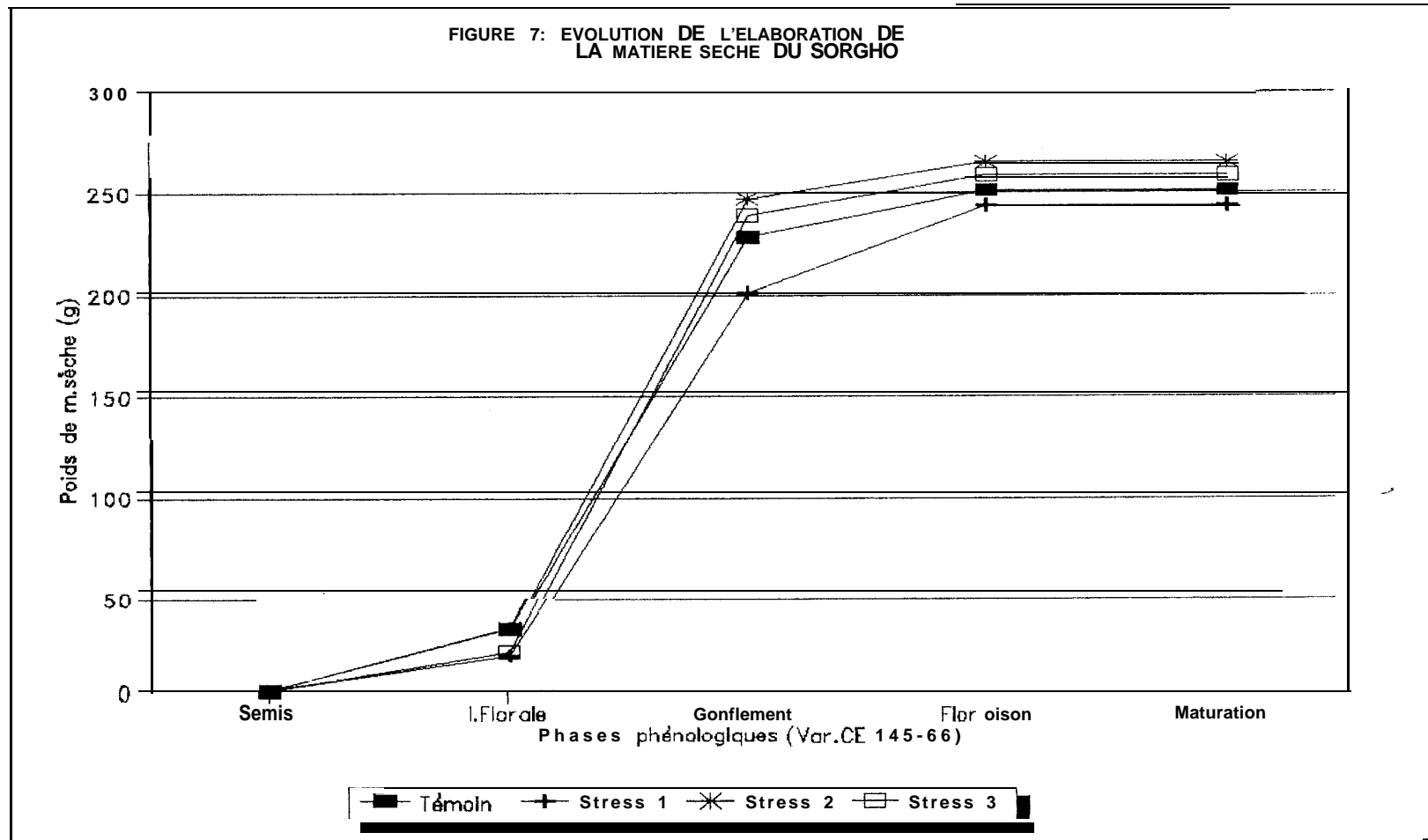
### **a/ Rendement (Tableau 3)**

Il n'y a pas de différences significatives entre le témoin et les traitements S et S3. Seul le traitement S2 présente un rendement significativement plus faible que celui des autres traitements. Le rendement le plus élevé a été obtenu avec le témoin (1856 Kg/ha) et le plus faible par le traitement S2 (805 Kg/ha). Dans les conditions de l'expérimentation, le stress hydrique (30 % RUm) a entraîné une diminution du rendement par rapport à celui du témoin: stress 1 = 9 % ; stress 2 = 57 % ; stress 3 = 18 %.

### **b/ Analyse de la récolte**

Le traitement S2 présente des valeurs significativement inférieures à celles des autres traitements qui sont égaux entre eux au seuil  $\alpha = 0.05$  pour les variables suivantes : poids sec des panicules, poids des grains/poquet; poids des grains/pied et nombre de grains/poquet. L'essai n'a cependant pas montré de différence significative du nombre de grains/pied entre le traitement S1 et le témoin d'une part et entre S1 et S3 d'autre part. Le témoin est significativement supérieur à S2 et S3 qui sont égaux entre eux.





**TABLEAU 3 : ANALYSE DE LA PRODUCTION**

PARAMETRES	TEMOIN	STRESS 1 (S <sub>1</sub> )	STRESS 2 (S <sub>2</sub> )	STRESS 3 (S <sub>3</sub> )	CV %
PSBa (g)/poquet	405.03 a	401.29 a	397.71 a	371.57 a	12.31
PG (kg/ha)	1856 a	1689 a	805 b	1525 a	38.92
NBG/poquet	1989 a	1862 a	1054 b	1586 a	26.71
PGP (g)	16.16 a	13.51 a	6.44 b	12.20 a	38.38
NBG Pied	734 a	620 ab	351 c	529 bc	30.02
P100G (g)	2.24 a	2.03 a	1.40 b	1.90 ab	20.93
QMS 100 G (g)	2.00 a	1.93 a	1.38 b	1.70 ab	20.95
PGMS a	26.36 a	24.98 a	12.26 b	22.32 a	31.99
WUE (mst/etr) (g/mm)	0.17 a	0.18 a	0.18 a	0.18 a	7.88
WUE (PG/etr) (g/mm)	0.05 a	0.05 a	0.02 c	0.04 b	36.52
PSPanicules (g)	52.66 a	48.72 a	26.36 b	44.46 a	34.00
EP (cm)	9.43 ab	10.86 a	4.71 c	5.86 bc	42.68
HB (cm) 115 jas	131.3 a	140.6 a	110.9 b	113.7 b	10.65

\*Les chiffres de la même ligne suivis d'une même lettre ne sont pas significativement différents (alpha = 0.05)

PSBa = poids sec de la biomasse aérienne. P.S. Panicules = poids sec des panicules  
 :PG = poids des grains/ha EP = exertion paniculaire  
 .NBG/poquet = nombre de grains par poquet HB.115 jas = hauteur du brin-mâitre au 115e jas  
 PGP = poids des grains par pied c v = coefficient de variation  
 .NBG Pied = nombre de grains par pied P100 G = poids de 100 grains  
 .QMS100G = quantité de matière sèche dans 100 grains  
 PGMSa = pourcentage des grains dans la matière sèche aérienne  
 WUE (mst/etr) = efficacité d'utilisation de l'eau pour la production de matière sèche  
 WUE (PG/etr) = efficacité d'utilisation de l'eau pour la production de grains

Pour le poids et la quantité de matière sèche de 100 grains, il n'y a pas de différence significative entre S<sub>1</sub>, S<sub>3</sub> et le témoin. Parmi ces traitements seuls le témoin et S<sub>1</sub> sont significativement supérieurs à S<sub>2</sub>.

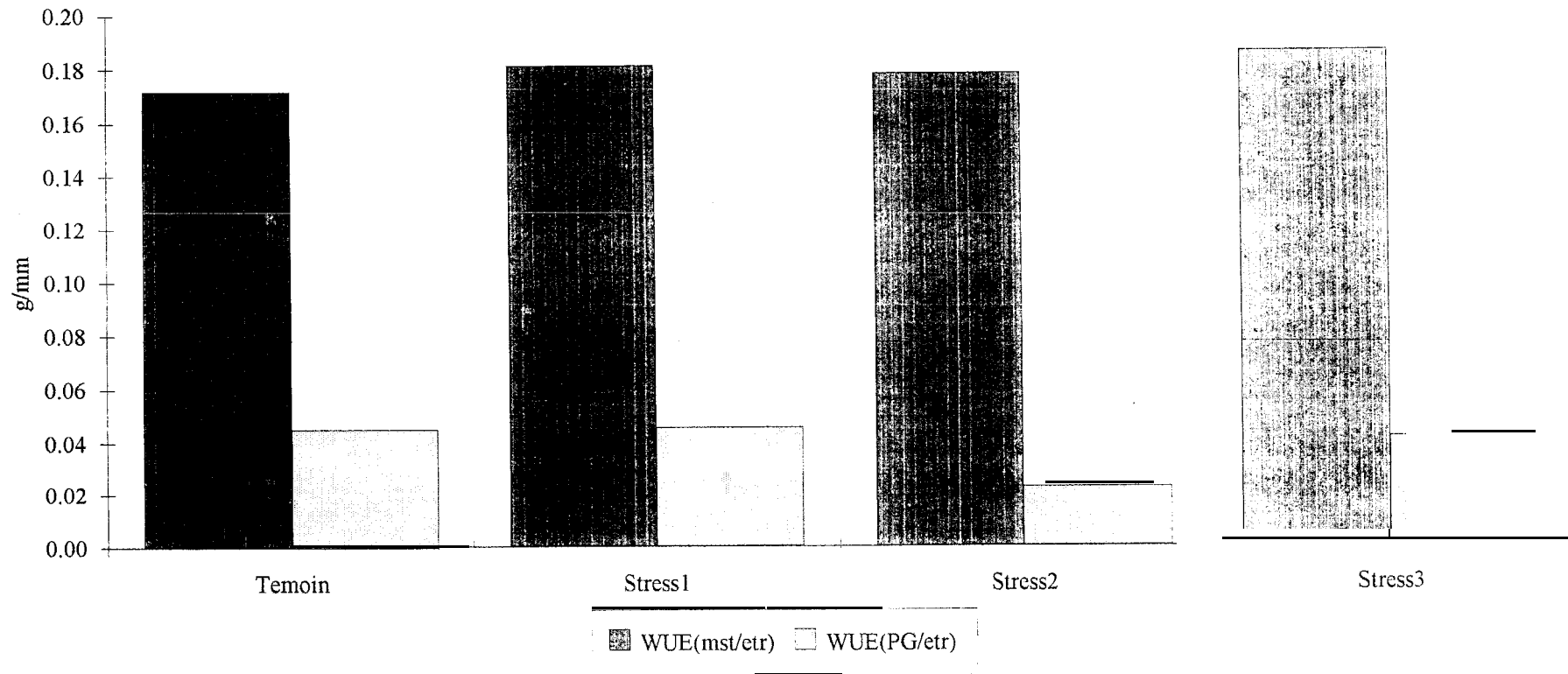
L'application du stress hydrique (S<sub>2</sub>) pendant la phase de gonflement a entraîné une diminution significative du poids des grains et de leur nombre. Un stress appliqué pendant la phase de floraison-remplissage des grains les affecte moins que lorsqu'il est appliqué à la phase précédente.

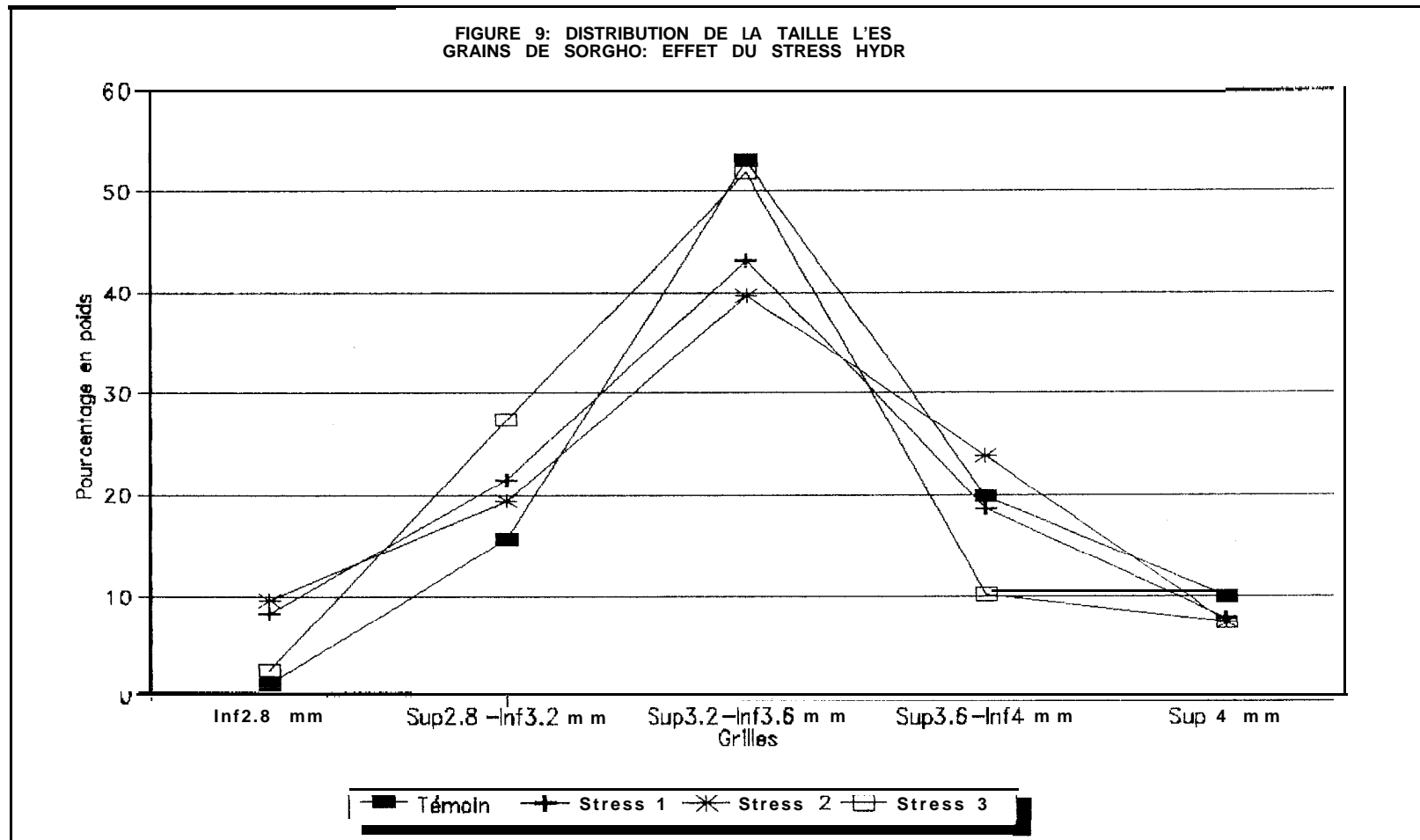
### c/ Analyse de la maturité

Les traitements S<sub>1</sub> et S<sub>2</sub> présentent un pourcentage plus élevé de grains de taille inférieure à 2,8 mm par rapport au témoin et à S<sub>3</sub> (Figures 9 et 11). La figure 10 montre que les traitements stressés (S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> et S<sub>3</sub>) ont un pourcentage cumulé de grains (taille inférieure à 3,2 mm) significativement différent du témoin. Le pourcentage de grains dont la taille est inférieure à 3,6 mm est le plus élevé pour S<sub>3</sub> (82 %), suivi de S<sub>1</sub> (77 %). Le témoin et S<sub>2</sub> montrent le pourcentage le plus faible (69 %), (annexe 5).

Les stress hydriques à l'initiation florale et à la floraison-remplissage des grains affectent la taille des grains de sorgho.

Figure 8 : Efficience de l'eau pour la production de matière sèche et de grains





## d/ Discussion

Lorsqu'un stress hydrique (30 % RUm) survient au stade initiation florale, le rendement du sorgho (Var. CE 145-66) baisse légèrement. Le sorgho est capable de reprendre une croissance normale lorsque les conditions du milieu redeviennent favorables. Par contre un tel stress affecte la taille des grains de sorgho. En effet, la formation des organes reproducteurs du sorgho s'effectue à cette période. Le stress hydrique pourrait être à l'origine d'un mauvais remplissage des grains que reflète une proportion relativement élevée de grains de petite taille. Ce stress a davantage affecté la taille des grains que leur nombre.

Le rendement du sorgho, dont les principales composantes sont le nombre et le poids des grains est plus affecté lorsque le stress hydrique survient au début de la phase gonflement-épiaison. Cette baisse du rendement est dû à un avortement partiel ou total des épillets des panicules suite au stress hydrique. L'essai montre qu'il existe une corrélation significative positive ( $r = + 0,628$ ) entre la consommation en eau et la production de grains. BACC1 et al. (1992) ont observé que lorsqu'une carence hydrique survient à cette période, le rendement baisse de 35 à 45 % et le nombre de grains diminue. Cette baisse du rendement est mise en évidence par le poids de 100 grains (Tableau 3). Le traitement S2 a un poids de 100 grains significativement différent des autres traitements. Cela se traduit par une faiblesse de la quantité de matière sèche accumulée dans le grain. En d'autres termes, les grains issus des plantes du traitement S2 sont immatures, augmentant ainsi le pourcentage de grains de petite taille. Les plantes n'ont pas tiré profit du retour à la normale de l'alimentation en eau pour produire des grains. Cela est mis en évidence par la figure 8 qui montre que l'efficacité de l'utilisation de l'eau pour la production de grains (WUE : PG/ETR) du traitement S2 (stress hydrique gonflement-épiaison) est significativement inférieure aux autres traitements. En d'autres termes, il a davantage utilisé l'eau consommée pour l'élaboration de la matière sèche végétative. Le témoin et le traitement S1 sont significativement égaux mais différents de S3.

Le stress hydrique à la floraison-remplissage des grains affecte la taille des grains et leur nombre mais dans une moindre mesure que la phase précédente. Il y a une accélération de la maturation et un raccourcissement de la phase de remplissage du grain. JORDAN et al. (1984) ont formulé l'hypothèse selon laquelle le remplissage des grains se fait alors à partir d'un transfert d'assimilats des feuilles. La sénescence des feuilles devient rapide et l'activité photosynthétique baisse. DOSSOU-YOVO (1991) a également observé que l'arrêt de l'irrigation à la floraison a une action, beaucoup plus réductrice sur les caractères du grain (taille, poids).

## **2.5/ EFFET DU STRESS HYDRIQUE SUR LA QUALITE DES GRAINS**

### **a/ Poids d'un grain**

Le régime hydrique a eu un effet significatif sur le poids individuel des grains : le témoin a donné un poids individuel de grain (22,4 mg) le plus élevé, suivi de S1 (21, 7 mg), de S3 (19,0 mg) et de s2 (15,4 mg). L'analyse de la quantité de matière sèche accumulée dans un grain suit la même tendance. Il en est de même pour le nombre de grains de poids inférieur à 15 mg et le nombre de grains de poids supérieur à 15 mg. Ces observations sont mises en évidence par la figure 12.

Le traitement S2 a un nombre plus élevé de grains de poids inférieur à 21 mg, suivi du traitement S3 (figure 12 et annexe 7). En valeur relative 46 % pour le témoin, 50 % pour S1, 80 % pour s2 et 60 % pour s3 des grains ont un poids inférieur à 21 mg. Les traitements s2 et s3 ne présentent pas de différence significative (Tableau 4).

Un stress hydrique (ISE = 46 %) au stade gonflement-épiaison du sorgho est accompagné d'un nombre élevé de grains de faible poids.

### **b/ Germination des grains**

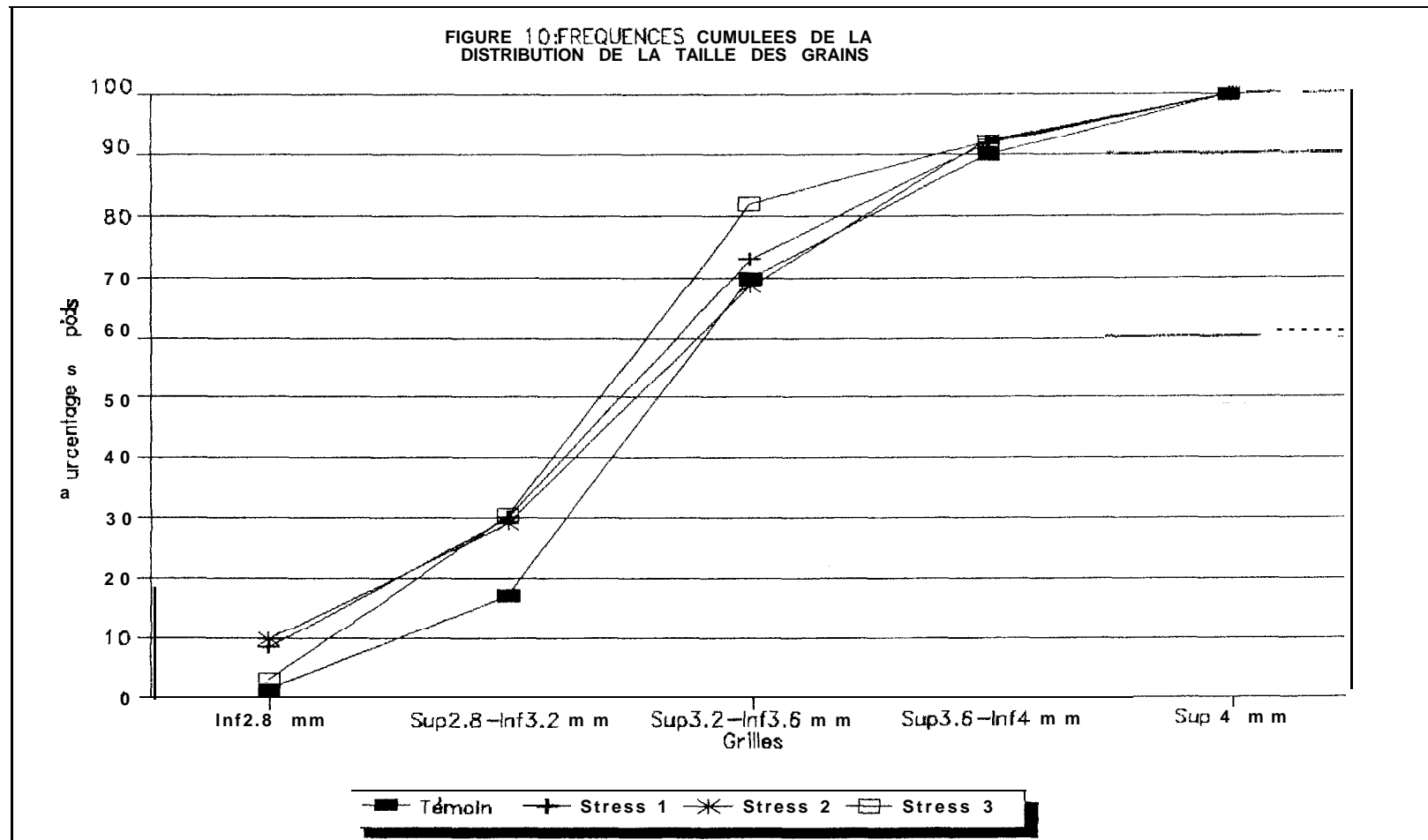
Pour le taux de germination, le traitement S2 est significativement plus faible que le témoin et les traitements S1 et S3 qui ne présentent pas de différence significative entre eux (Tableau 4 et annexe 9). L'essai a montré que, lorsque la variété de sorgho CE 145-66 est soumise à un stress hydrique au gonflement-épiaison, il s'en suit une baisse du pouvoir germinatif de la semence.

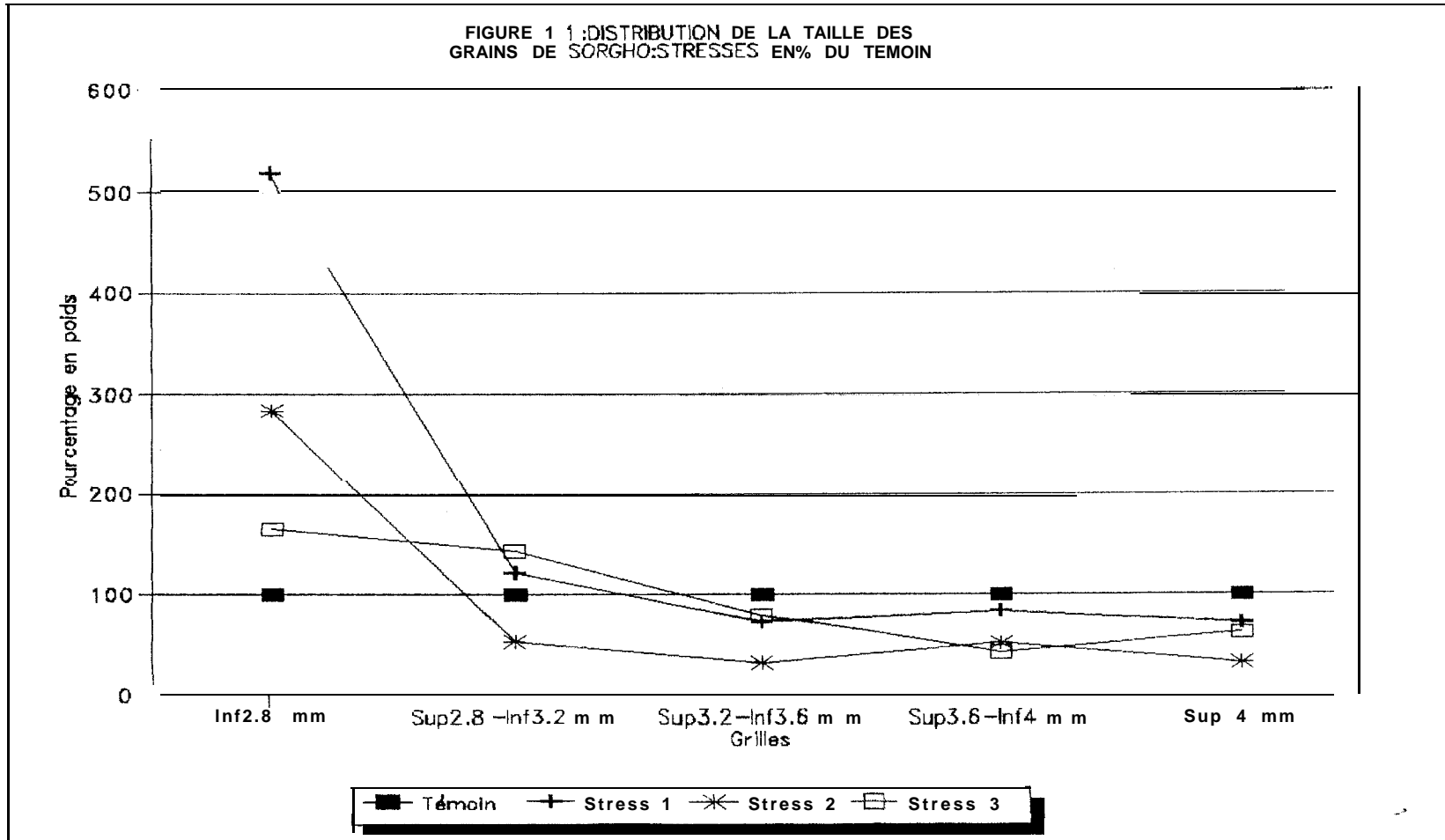
### **c/ Vigueur des plantules**

Le traitement S1 ne diffère pas significativement du témoin pour la quantité de matière sèche élaborée par plantule. Ils sont significativement supérieurs à s2 et s3 qui sont égaux entre eux. Le traitement S1 présente cependant une longueur totale des parties aérienne et racinaire significativement supérieure à celle du témoin. Cela est dû à la rapidité d'accès à la teneur en eau critique pour la germination des grains du traitement S1 (plus petits et plus légers que ceux du témoin) favorisant ainsi l'émergence de la racine puis du coléoptile qui se développent rapidement. Les grains du témoin ont mis plus de temps pour atteindre leur teneur en eau critique pour la germination. La poursuite du test de vigueur qui a duré 7 jours, aurait permis aux plantules du témoin de rattraper celles de S1 pour la longueur des parties aérienne et racinaire.

### **d/ Discussion**

Le poids d'un grain, le pouvoir germinatif et la vigueur de la plantule à la levée sont des attributs essentiels de la qualité des semences. Le faible poids des grains du traitement S2 est attribué à un mauvais remplissage. En effet, suite à un indice de satisfaction des besoins en eau de 46 % pendant le stress hydrique, le sorgho réactive lentement ses fonctions physiologiques (consommation en eau et activité photosynthétique faible) lorsque les conditions d'alimentation hydrique redeviennent favorables.







La variété de sorgho CE 145-66 réagit au stress hydrique par le développement de ramifications à partir des entre-noeuds supérieurs. Les grains produits par ces ramifications ne sont pas arrivés à maturité physiologique dans les conditions de l'expérimentation. Cela est reflété par une faiblesse du pouvoir germinatif (67 %) des grains du traitement S2. Cette faiblesse est liée à la quantité de matière sèche accumulée dans le grain.

**TABLEAU 4 : ANALYSE DE LA QUALITE**

PARAMETRES	TEMOIN	STRESS 1 (S1)	STRESS 2 (S2)	STRESS 3 (S3)	CV %
QMS 1 G (mg)	20.0 a	19.3 a	13.8 b	17.0 ab	20.95
NBGPI à 15 mg	8.00 b	17.00 b	55.00 a	19.00 b	121.8
NBGPS à 15 mg	92.00 a	83.00 a	45.00 b	81.00 a	39.85
NBGPI à 21 mg	46.00 a	50.00 a	80.00 a	60.00 a	51.39
NBGPS à 21 mg	54.00 a	50.00 a	20.00 a	40.00 a	73.73
Germination (%)	90.57 a	84.00 a	66.57 b	86.00 a	15.96
TVHPA (cm)	14.53 b	19.73 a	6.59 c	8.16 c	21.16
TVLPR (cm)	6.13 b	11.56 a	4.63 b	5.87 b	45.28
TVQMSPI (mg)	16.06 a	13.41 a	4.76 b	5.77 b	23.98

Les chiffres de la même ligne, suivis d'une même lettre ne présentent pas d'écart significatif ( $\alpha = 0.05$ ).

- \* QMS 1 G = quantité de matière sèche dans un grain
- \* NBGPI à 15 mg = nombre de grains de poids inférieur à 15 mg
- \* NBGPS à 15 mg = nombre de grains de poids supérieur à 15 mg
- \* NBGPI 21 mg = nombre de grains de poids inférieur à 21 mg
- \* NBGPS 21 mg = nombre de grains de poids supérieur à 21 mg
- \* TVHPA = Test de vigueur : hauteur partie aérienne
- \* TVLPR = Test de vigueur : longueur partie racinaire
- \* TV QMSPI = Test de vigueur : quantité de matière sèche par plantule.

L'essai a montré une corrélation significative positive entre la quantité de matière sèche accumulée dans le grain et le pourcentage de germination ( $r = + 0,728$ ). MASSALY et SAKA (1993) ont obtenu les mêmes résultats. Ils ont observé que le taux de germination d'un lot de semences de sorgho est fortement lié à la quantité de matière sèche accumulée par les grains de ce lot.

Cependant, un des critères les plus pertinents pour l'appréciation de la qualité d'une semence est la vigueur des plantules à la levée. Elle est généralement définie à partir de la quantité de matière sèche produite par plantule. Elle est liée à la densité de la semence. Il faut cependant noter que la vigueur baisse beaucoup plus rapidement que le pouvoir germinatif : elle regresse en fonction de la vitesse de détérioration de la semence.

L'essai a montré que les stress hydriques au gonflement-épiaison et floraison-remplissage des grains affectent significativement, de manière négative, la vigueur des plantules à la levée. Ils participent à la péjoration de la qualité des semences de sorgho (Var. CE 145-66).

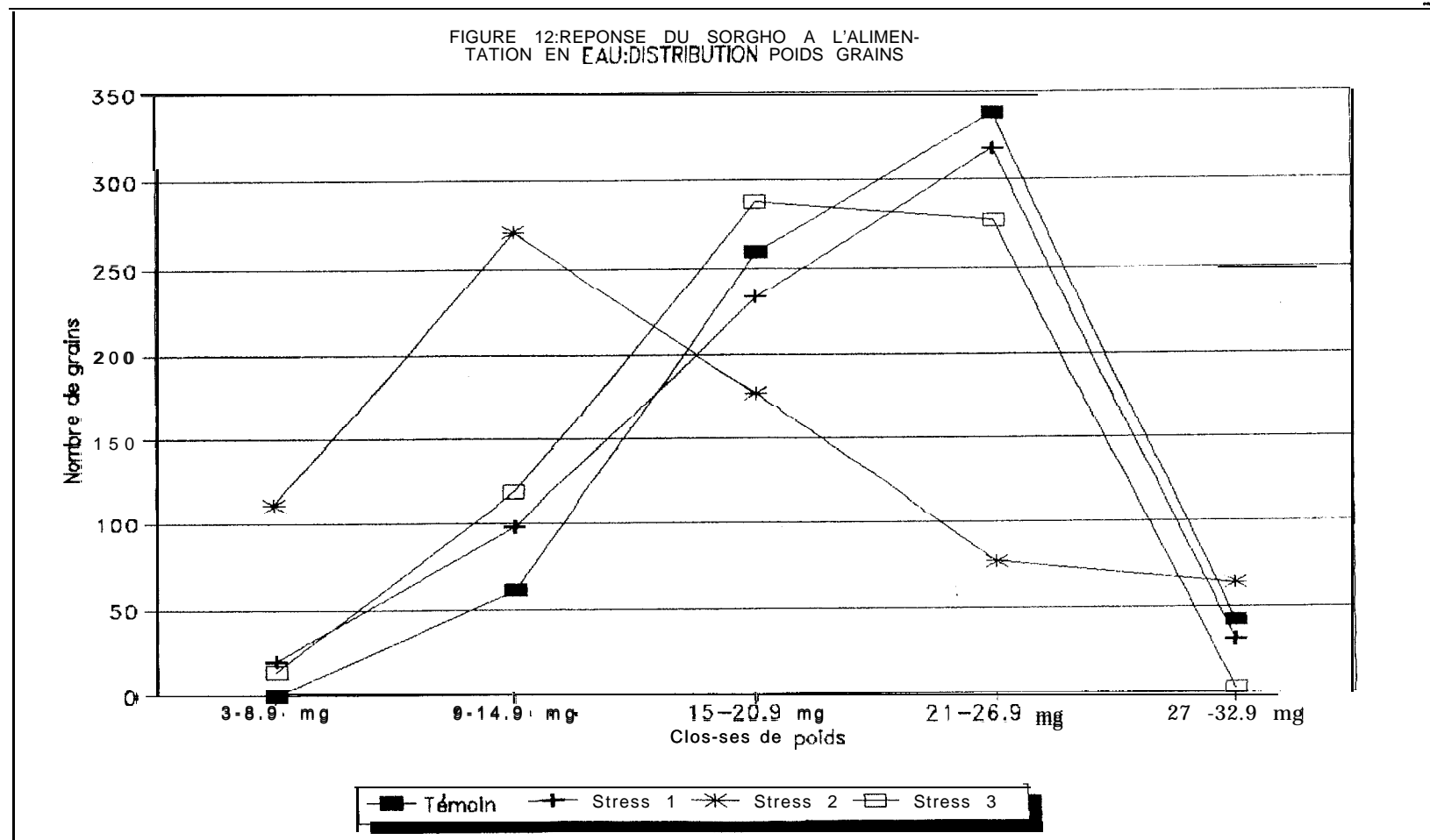
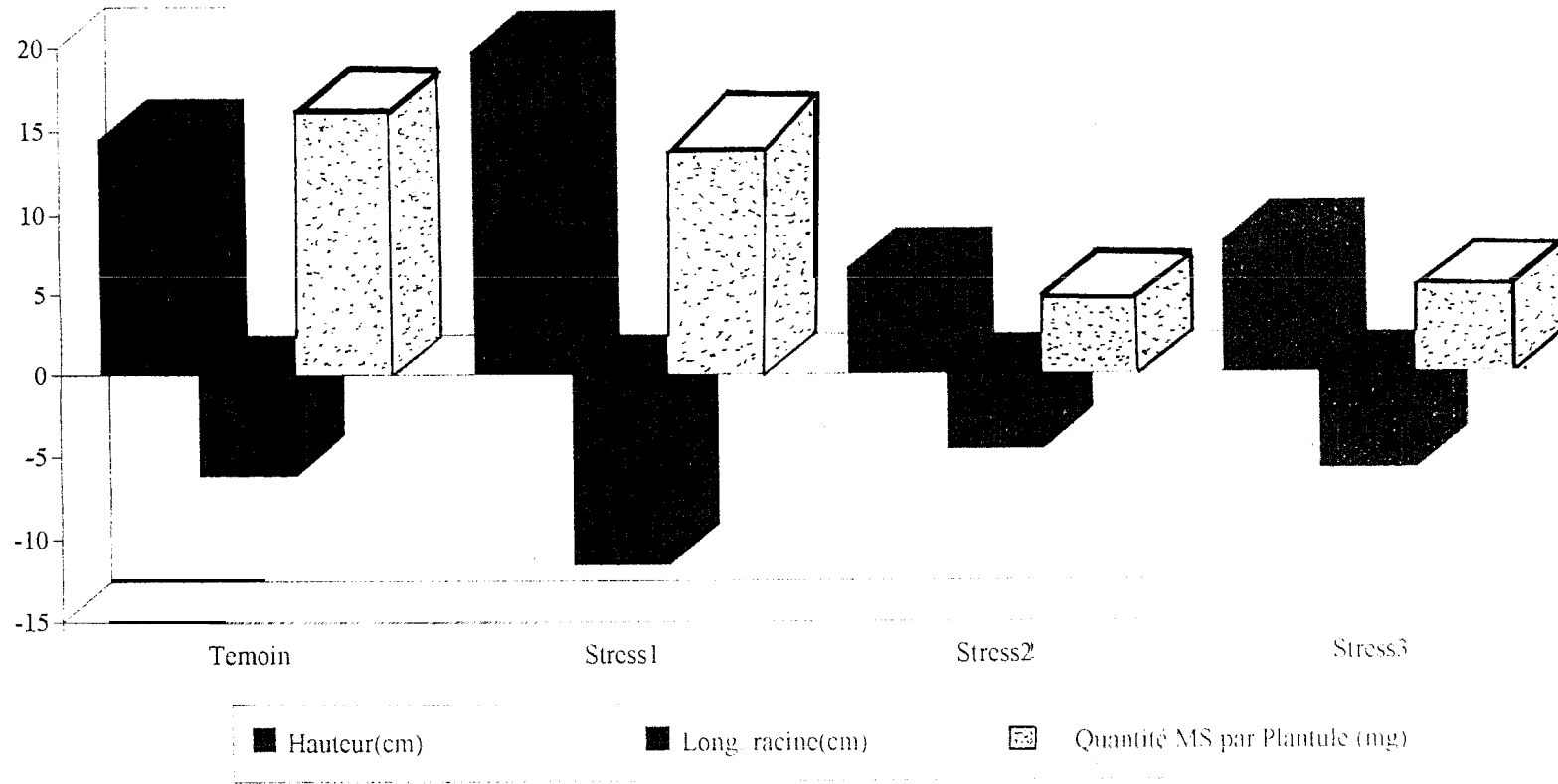


Figure 13: Test de vigueur des plantules



## **2.6/ DISCUSSION GENERALE**

L'absorption de l'eau par la plante est une fonction physiologique qui contribue largement à l'élaboration de la matière sèche végétative. Le stress hydrique est accompagné d'une baisse de l'ETR. Un stress hydrique (ISE inférieur ou égal à 74 %) appliqué au début de la phase initiation florale ralentit la croissance de la plante. Cependant, l'essai a montré que la vitesse de croissance passe de 0,4 cm/jour pendant le stress hydrique à 2 cm/jour lorsque les conditions d'alimentation en eau redeviennent normales toutes autres conditions étant à leur optimum. La variété de sorgho CE 145-66 est capable de mettre en place des mécanismes physiologiques de rattrapage de la croissance végétative après un stress hydrique précoce.

Un stress hydrique appliqué au début de la phase gonflement-épiaison ou au début de la phase floraison-remplissage des grains n'a pas d'effets significatifs limitant la production de matière sèche végétale. A ces stades, la plante a déjà atteint son plateau de croissance végétative, le développement des organes reproducteurs (panicule, fleurs, grains) commence. Par contre, le développement des organes reproducteurs est affecté négativement par ces stress. En effet, dans nos conditions d'essai, lorsque la satisfaction des besoins en eau de la plante est inférieure ou égale à 45 %, aussi bien le rendement que la qualité semencière des grains de sorgho baissent. Cette baisse du rendement et de la qualité semencière est plus marquée lorsque le stress hydrique survient au début de la phase gonflement-épiaison. Le rendement du traitement S2 a baissé de 57 % par rapport au témoin dans les conditions de l'essai. BACC1 et al. (1992) ont observé une baisse du rendement de 35 à 45 %. Le nombre de grains, leur taille et la quantité de matière sèche accumulée dans les grains sont faibles. La proportion de grains immatures est beaucoup plus importante que celle des autres traitements. Pendant cette phase de gonflement-épiaison, la variété de sorgho CE 145-66 diminue la surface évapotranspirante par la sénescence des feuilles. L'activité photosynthétique baisse et la quantité de photosynthétats diminue. Le processus de remplissage des grains est alors ralenti voire bloqué. Des avortements de panicules entières ont été observés. Cette observation est mise en évidence par l'efficacité d'utilisation de l'eau pour la production de grains (WUE: PG/ETR : figure 5) qui montre que les plantes du traitement S2' ont davantage consommé de l'eau pour l'élaboration de matière sèche végétale que pour la production de grains. Cette observation est aussi mise en évidence par la figure 9 qui montre un nombre élevé de grains de poids inférieur à 15 mg qui ne sont pas de bonnes semences.

Un stress hydrique au début de la phase floraison-remplissage des grains affecte dans une moindre mesure la taille, le poids et le nombre de grains. JORDAN et al. (1984) ont observé que le remplissage des grains se fait alors à partir de transfert d'assimilats des feuilles. L'essai a montré que la taille, le poids et le nombre de grains sont affectés négativement et cela est en accord avec les observations de DOSSOU-YOVO (1991). Ce dernier observe que l'arrêt de l'irrigation à la floraison affecte plus les caractères du grain (taille, poids).

Il apparaît clairement que pour le sorgho, le stade végétatif le plus sensible au stress hydrique est la phase gonflement-épiaison. Dans notre étude, la variété CE 145-66 a montré une baisse significative tant de la quantité que de la qualité de la production avec des taux de satisfaction des besoins en eau de l'ordre de 46 % durant cette phase.

Un stress hydrique pendant cette phase affecte également la vigueur à la levée des plantules issues de ces grains. L'analyse de la vigueur montre que la quantité de matière sèche élaborée par les plantules des traitements **S2** et **S3** est significativement inférieure à celle du témoin et du traitement **S1**. Les grains de petite taille et de poids faible ont donné des plantules moins vigoureuses. Cette faible vigueur est plus accentuée pour les plantules issues du traitement **S2**. De même un faible taux de germination est observé pour le traitement **S2**. L'analyse montre une corrélation significative ( $n = 7 : r^2 = 0.5$ ) entre le poids des grains et le taux de germination. MASSALY et SAKA (1993) ont fait les mêmes observations. Selon ces auteurs, il existe une forte relation entre le poids d'un grain (quantité de matière sèche accumulée) et la vigueur de la plantule à la levée d'une part et entre la quantité de matière sèche d'un grain et le taux de germination d'autre part. Bien que le témoin et le traitement **S1** soient significativement égaux pour la production de matière sèche par plantule (test de vigueur), le traitement **S1** est significativement supérieur au premier pour la longueur moyenne des parties aérienne et racinaire. En effet, l'imbibition des petites graines légères se passe beaucoup plus rapidement que celle de grosses graines et lourdes. Les petites graines légères, en atteignant plus rapidement leur teneur en eau critique pour la germination, démarrent de manière plus précoce leur croissance racinaire et aérienne. Cependant, si la durée du test de vigueur (7 jours ici) est prolongée, les plantules issues des grosses graines et lourdes dépasseraient en hauteur celles issues de petites graines légères.

De ce qui précède, il en découle qu'un stress hydrique appliqué au début de la phase de gonflement-épiaison participe à la faiblesse du rendement (taille, poids, nombres de grains faibles) et à la péjoration de la qualité des semences de sorgho : quantité de matière sèche accumulée dans le grain, taux de germination, vigueur des plantules faibles.

## CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Au cours de l'expérimentation, les effets de l'alimentation hydrique sur la productivité et la qualité des semences de sorgho ont été étudiés. Les objectifs particuliers étaient de déterminer et d'analyser les implications directes de l'alimentation en eau sur le rendement de la culture et sur la qualité des semences, de déterminer le stade le plus sensible en quantifiant le niveau de satisfaction des besoins en eau pour lequel un effet significatif pouvait être observé. Les résultats obtenus à la fin de l'essai ont confirmé l'hypothèse de départ selon laquelle : l'alimentation hydrique de la plante peut affecter la productivité et la qualité des semences de sorgho. Pour la variété de sorgho CE 145-66, le stade phénologique le plus sensible à un stress hydrique de 10 jours est la phase de gonflement-épiaison. Le taux de satisfaction des besoins en eau inférieur à 50 % affecte la production et sa qualité. Le stress entraîne une baisse de rendement par une réduction de la taille, du poids et du nombre de grains. Ce stress entraîne aussi une détérioration de la qualité des grains. Cette détérioration est mise en évidence par une faible vigueur des plantules et un faible taux de germination.

Lorsque le stress survient pendant la phase de floraison-remplissage des grains, il provoque dans une moindre mesure les mêmes effets qui sont plus marqués pour la vigueur des plantules.

Un stress hydrique précoce appliquée à l'initiation florale n'affecte pas significativement le rendement et la qualité des semences de la variété de sorgho CE 145-66.

L'expérience montre cependant que les différents stress appliqués n'ont pas d'effets significatifs sur la production de biomasse végétale. Toutefois, un stress précoce ralentit la production de matière sèche au début de la phase de pleine croissance végétative du sorgho (Var. CE 145-66). Cette croissance redevient normale avec le retour à des conditions d'alimentation en eau plus favorables.

Dans une approche générale, il faudra être un peu prudent quant à la généralisation de ces résultats à l'ensemble des autres variétés de sorgho, encore plus aux autres cultures pluviales (arachide, mil, riz, niébé, etc.) du fait de certaines limites liées à cette étude.

La culture en pots durant la saison chaude a dû affecter le fonctionnement normal de la plante.

Pour ce faire, il s'agira dans un premier temps de mener des expériences similaires sur les variétés de sorgho vulgarisées au Sénégal afin de mettre en évidence les éventuelles relations entre le régime d'alimentation hydrique et la qualité des semences, et dans un deuxième temps, les élargir aux autres espèces cultivées. Cela fera appel aux méthodes de la bioclimatologie, de la physiologie végétale et de l'agrophysiologie des semences. Ce travail pluridisciplinaire doit déboucher sur une modélisation de la qualité des semences produites pendant la saison des pluies au Sénégal.

Cette modélisation prendra en compte les caractéristiques du sol, le climat, la phénologie de la culture et les techniques culturales.

Une telle modélisation a plusieurs applications majeures dont :

- une application agronomique : elle servirait de référence pour le producteur de semences afin de lui permettre une bonne conduite de ses cultures. Il aura également un outil pour la prédiction de la qualité de ses semences ;
- une application économique : du fait de la contribution de la semence de bonne qualité à l'augmentation de la production agricole nationale, un modèle de la qualité semencière permettra :
  - . d'identifier de manière précoce les sites où la production semencière sera de meilleure qualité ;
  - . de donner les bases pour l'estimation de quantité attendue de semences de qualité ;
  - . et de prendre à l'avance les dispositions qui s'imposent (programmes de production de semences de contre saison) pour corriger les éventuels déficits.

## BIBLIOGRAPHIE

- \* BACCI L., MARACCHI G. et SENNI B., 1992 : Les stratégies agrométéorologiques pour les pays sahéliens. Programme AGRHYMET, Niamey. Niger
- \* BLONDEL D. 1971 : Contribution à l'étude de la croissance de la matière sèche et de l'alimentation azotée des céréales de cultures sèches au Sénégal. Agro Trop N° 6-7, Juin-Juillet,
- \* BLUM A., 1984 : Sélection criteria for **improving** drought résistance in sorghum (Review)
- \* CALLOT G., CHAMAYOU H., MAERTENS C., SALSAC L., 1983 : Mieux comprendre les **interactions** sol-racinaire, incidence sur la nutrition minérale. INRA, Paris.
- \* CHANTEREAU J. et NICOU R., 1991 : Le sorgho. Editions Maisonneuse et Larose, Paris. 159 p.
- \* COLLECTIF, 1991 : Mémento de l'**Agronome** (4e édition) Ministère de la coopération et du développement, Paris.
- \* COLLOQUE CIRAD -GERDAT - ISRA, 1984 : Résistance à la sécheresse en milieu intertropical : quelles recherches pour le moyen terme ? Dakar, SENEGAL, 24-27 Septembre.
- \* CHOPART J.L., 1980 : Etude au champ des systèmes racinaires des principales cultures pluviales au Sénégal (arachide, mil sorgho, riz pluvial). Thèse INAP, Toulouse - France.
- \* DANCETTE C., 1971 : Contrôle avec l'humidimètre à neutrons de l'alimentation hydrique d'une culture de mil "**souna**" pendant deux hivernages différents. In Agro Trop, n° 6-7, Juin-Juillet.
- \* DE RAISSAC M., 1992 : Mécanismes d'adaptation à la sécheresse et maintien de la productivité des plantes cultivées. Agro Trop 1992, 46-1
- \* DELOUCHE J.C., 1973 : The problem of vigor. Proc MS Short Course 16 : 1-20 Miss State Univ. Miss State MS.
- \* DIEHL R., 1975 : Agriculture générale (2e édition). Editions J.B. BAILLIERE, Paris 6ème. 396 pages.
- \* DOSSOU-YOVO S., 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 floraison. CERAAS-ISRA/CNRA - Bambey - Sénégal - 19 pages



- \* FOREST F. et LIDON B., 1984 : Simulation du bilan hydrique pour l'explication du rendement
- \* GAY J.P., 1980 : Le cycle du maïs Revue **cultivar** n° 133.
- \* GRANES D. et CARON H., 1993 : Agriculture spéciale CERDI, ENCR/Bambey-Sénégal
- \* HOUSE L.R., 1987 : Manuel pour la sélection du sorgho (2e édition) ICRISAT Patancheru, Andhra Pradesh 502324, Inde.
- \* JORDAN W. R., CLARK R.B. and SEETHARMA, 1984 : The role of edaphic factors in disease development. In Sorghum root and stalk rots. A critical Review. ICRISAT - Patancheru . India
- \* KRIEG D.R., 1989 : Water use **efficiency** of grain Sorghum Review - USA.
- \* LABARE K., 1991 : Amélioration de l'adaptation du sorgho (*Sorghum bicolor* L. Moench) à la **secheresse** : Etude de quelques aspects physiologiques chez 5 géotypes soumis à un stress hydrique à la montaison. CERAAS - ISRA/CNRA - Bambey - Sénégal. 17 pages
- LOUVEL D., 1982 : Mycoflore des grains de sorgho : Essais préliminaires pour une application du taux de levée et de la vigueur à la levée au champ ISRA/CNRA Bambey - Sénégal
- LOUVEL D. et Col, 1983 : Phytopathologie du sorgho : Les moisissures des grains. Etude du pouvoir pathogène de quelques éléments de la mycoflore. ISRA/CNRA Bambey - Sénégal
- \* MAÏS J.C. et MADERNI M., 1992 : Cours de physiologie végétale CERDI - ENCR/Bambey Dakar ; Sénégal
- \* MARONE E., 1994 : Etude des relations hydriques entre le sol et la plante chez l'arachide pour une meilleure définition des concepts de sécheresse et de stress hydrique. CERASS - ISRA/CNRA Bambey - Sénégal
- \* MASSALY F., 1992 : Effet du calibre des graines sur le développement racinaire de *Vigna unguiculata* Walp. semé en rhizotron. CERAAS - ISRA/CNRA Bambey - Sénégal
- \* MASSALY F. et SAKA M.G.; 1993 : Etude de la maturation de la semence de sorgho de type *caudatum* : détermination de la date optimale de récolte, variation inter-site de la maturité en culture pluviale. ISRA/CNRA Bambey - Sénégal.

- \* MASSALY F. et ZENALLAH A. M., 1993 : Etude de l'influence de la qualité des semences sur la levée, la croissance et le développement du sorgho. ISRA/CNRA Bambey.- Sénégal
  
- \* OKEN A.B. et WENDT C.W., **Soil** fertility management and water relation ships.
  
- \* PIERI C., 1989 : Fertilité des terres des savanes : bilan de trente ans de recherche et de développement agricole au sud du Sahara.  
Ministère français de la Coopération et du Développement et CIRAD-IRAT, Paris. 444 pages.
  
- \* SOLTNER D., 1992 : Les bases de la production végétale. Tome 1 - (19e édition)  
Collection Sciences et Techniques Agricoles
  
- \* TROUCHE G., 1990 : Comportement de 6 géotypes de sorgho en conditions de stress hydrique post-floral-CERAAS-ISRAKNRA Bambey/Sénégal - 8 pages
  
- \* TROUCHE G., 1991 : Programme sorgho. Rapport de synthèse ISRA/CNRA Bambey/Sénégal
  
- \* VILAIN M., 1993 : La production végétale Vol 1 : Les composantes de la production TEC & DOC (Lavoisier). 2e édition. Paris 438 pages.

Variables	Traitement	1	2	3	4	5	6	7	Moyenne	SIGMA
ETR Cycle (mm)	Temoin	1062.2	1013.3	914.9	1151.7	871.0	957.2	946.9	981.2	95.1
	Stress 1	946.1	803.9	852.4	829.8	122.1	951.6	1045.3	893.0	89.5
	Stress 2	847.2	904.3	a423	896.2	859.4	771.1	719.2	834.2	66.9
	Stress 3	856.7	772.4	914.2	944.7	780.4	951.9	932.9	876.2	78.1
ETR Semis-Florale (mm)	Temoin	246.5	212.9	212.3	215.7	230.1	200.0	245.6	223.5	17.8
	Stress 1	231.3	226.0	220.6	231.7	225.4	202.9	215.9	221.7	10.3
	Stress 2	217.7	216.3	198.4	207.2	20aa	163.7	165.7	196.8	22.9
	Stress 3	205.4	191.7	212.5	213.0	179.7	214.9	206.1	203.3	13.0
ETR LFlorale-Coeff (mm)	Temoin	524.7	475.3	423.1	496.2	444.9	438.9	465.2	466.5	35.7
	Stress 1	410.11	340.1	370.9	361.4	344.1	378.6	389.2	370.6	24.8
	Stress 2	440.6	474.3	410.5	426.2	431.9	369.3	358.2	415.9	40.6
	Stress 3	434.9	405.1	486.2	481.5	400.8	477.5	469.1	450.7	36.7
ETR Gonfl-Flor-Rempl (mm)	Temoin	156.7	166.7	151.7	244.6	110.6	159.6	150.7	160.1	42.0
	Stress 1	150.9	126.2	147.9	126.5	125.7	185.5	228.7	155.9	38.6
	Stress 2	75.9	91.4	76.4	87.4	92.5	92.5	66.7	85.3	10.2
	Stress 3	127.3	110.5	139.0	152.8	128.4	161.3	166.1	140.8	20.3
ETR Flor-Rempl-Mat (mm)	Temoin	134.5	158.4	127.8	195.2	85.4	161.7	105.4	138.3	37.0
	Stress 1	153.8	11.6	112.8	110.2	126.9	184.6	213.5	144.8	40.9
	Stress 2	113.0	122.3	157.0	175.4	126.1	145.6	128.6	138.3	22.1
	Stress 3	69.1	65.1	76.5	97.4	71.5	98.2	91.6	81.5	14.0
Nombre de pieds par poquet	Temoin	3	3	2	3	3	3	3	3	0
	Stress 1	3	3	3	3	3	3	3	3	0
	Stress 2	3	3	a	3	3	3	3	3	0
	Stress 3	3	3	3	3	3	3	3	3	0
Nombre de particules récoltées	Temoin	3	3	2	3	3	3	3	3	0
	Stress 1	3	3	3	3	3	3	3	3	0
	Stress 2	1	3	3	3	3	3	3	3	1
	Stress 3	3	3	3	3	3	3	3	3	0
Poids Frais de la biomasse aérienne (g)	Temoin	405.38	443.82	375.23	450.51	344.38	469.84	346.02	405.03	51.35
	Stress 1	392.55	361.85	350.14	366.87	418.82	525.80	393.02	401.29	59.60
	Stress 2	395.25	418.29	392.11	447.43	424.72	366.68	339.43	397.71	36.56
	Stress 3	340.50	306.71	327.14	432.13	349.64	410.73	433.87	371.57	52.74
Poids Sec de la biomasse aérienne(g)	Temoin	160.20	178.70	148.98	187.84	158.50	173.81	175.51	169.08	13.56
	Stress 1	168.11	148.47	154.16	143.63	160.43	199.55	153.43	161.11	18.71
	Stress 2	146.50	169.63	148.03	160.54	166.59	128.44	122.03	148.82	18.37
	Stress 3	157.07	133.02	181.37	178.82	135.51	175.91	174.66	162.34	20.72
Contenu en eau de la biomasse aérienne (g)	Temoin	245.18	265.12	226.25	262.67	185.88	296.03	170.51	235.95	44.99
	Stress 1	224.44	213.38	195.98	225.24	258.39	326.25	239.59	240.18	42.71
	Stress 2	246.75	246.66	244.15	286.89	258.13	238.24	217.40	248.89	21.04
	Stress 3	183.73	173.69	145.77	253.31	214.13	234.82	259.21	209.24	42.93
Poids Frais des particules (g)	Temoin	59.86	69.67	54.44	65.55	48.26	76.90	60.40	62.15	9.54
	Stress 1	65.58	52.87	57.01	49.02	64.02	96.32	59.07	63.41	15.63
	Stress 2	17.99	59.95	43.28	47.83	62.56	47.46	30.78	44.26	15.69
	Stress 3	46.19	35.48	68.00	71.46	21.08	64.77	54.50	51.64	18.56
Poids Sec des particules (g)	Temoin	47.54	59.09	51.15	58.15	46.48	53.29	52.53	52.66	4.79
	Stress 1	58.78	40.06	50.69	41.41	44.07	64.91	41.15	48.72	9.79
	Stress 2	8.82	51.63	17.54	21.68	51.93	19.55	13.40	26.36	17.86
	Stress 3	42.13	30.61	64.15	59.94	18.21	53.91	41.76	44.46	16.48
Poids des grains par poquet (g)	Temoin	40.94	50.43	43.34	49.47	38.58	44.71	44.32	44.54	4.26
	Stress 1	48.87	34.54	40.67	34.44	37.75	55.50	31.91	40.53	8.65
	Stress 2	6.55	43.52	9.19	13.80	44.01	11.77	6.46	19.33	16.90
	Stress 3	34.49	24.11	52.91	51.27	12.91	45.84	34.58	36.62	14.69
Nombre de grains par poquet	Temoin	1540	1968	2250	2057	2018	2068	2020	1989	217
	Stress 1	2301	1363	2202	1871	1704	2230	1360	1862	402
	Stress 2	415	1632	957	958	1644	1029	546	1054	523
	Stress 3	1407	1339	2559	1217	989	1957	1637	1586	528
Poids des grains par pied (g)	Temoin	1.3	6.5	18.81	16.49	12.86	14.90	14.77	16.16	3.11
	Stress 1	16.29	11.51	13.56	11.48	12.58	18.50	10.64	13.51	2.88
	Stress 2	2.18	14.51	3.06	4.60	14.67	3.92	2.15	6.44	5.64
	Stress 3	11.50	1.06	17.66	17.09	4.30	15.31	11.51	12.20	4.90
Nombre de grains par pied	Temoin	513	656	1250	686	673	689	673	734	236
	Stress 1	767	454	734	624	568	743	453	620	134
	Stress 2	138	611	319	319	548	343	182	351	174
	Stress 3	469	446	855	406	330	652	546	529	176
Poids de 100 grains (g)	Temoin	2.60	2.48	2.04	2.35	1.86	2.12	2.27	2.24	0.25
	Stress 1	1.03	2.43	1.89	1.98	2.23	2.32	2.32	2.03	0.48
	Stress 2	1.45	2.33	0.96	1.36	1.46	1.13	1.09	1.40	0.45
	Stress 3	2.02	1.67	2.19	2.19	1.24	2.25	1.92	1.90	0.35
Quantité de MS de 100 grains (g)	Temoin	2.31	2.15	1.84	2.07	1.66	1.89	2.05	2.00	0.22
	Stress 1	1.61	1.69	1.69	1.77	1.07	2.07	2.07	1.03	0.18
	Stress 2	0.87	2.07	0.87	1.21	2.22	1.00	0.99	1.38	0.54
	Stress 3	1.81	1.51	1.82	1.94	1.12	2.00	1.72	1.70	0.30
WUE (ml/m2/str) (g/mm)	Temoin	0.15	0.18	0.16	0.16	0.18	0.18	0.19	0.17	0.01
	Stress 1	0.18	0.18	0.18	0.17	0.20	0.21	0.15	0.18	0.02
	Stress 2	0.17	0.19	0.18	0.18	0.19	0.17	0.17	0.18	0.01
	Stress 3	0.19	0.17	0.20	0.19	0.17	0.18	0.19	0.18	0.01
WUE (PG/str) (g/mm)	Temoin	0.04	0.05	0.05	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.00
	Stress 1	0.05	0.04	0.05	0.04	0.05	0.06	0.03	0.05	0.01
	Stress 2	0.01	0.05	0.01	0.02	0.05	0.02	0.01	0.02	0.02
	Stress 3	0.04	0.03	0.06	0.05	0.02	0.05	0.04	0.04	0.01
Test de Vigueur Plantule hauteur (cm)	Temoin	19.0	18.1	13.3	12.7	13.2	11.0	13.4	14.5	3.2
	Stress 1	20.9	21.4	21.6	18.8	20.9	19.1	15.4	19.7	2.2
	Stress 2	8.6	5.8	0.0	6.0	11.7	9.4	4.6	6.6	3.8
	Stress 3	11.3	11.9	11.1	9.5	2.7	6.2	4.4	8.2	3.7
Test de Vigueur Plantule Longueur Lancrainaire (cm)	Temoin	18.0	9.5	4.3	4.4	3.0	2.0	4.7	6.1	4.6
	Stress 1	11.5	15.6	12.5	10.5	9.1	13.5	8.2	11.6	2.6
	Stress 2	6.7	3.5	0.0	1.0	9.7	8.4	3.1	4.6	3.7
	Stress 3	7.2	9.1	7.5	6.2	2.6	5.8	2.7	5.9	2.4
Test de V. I. I. Plantule Quantité MS/Plantule (mg)	Temoin	18.5	16.3	13.6	12.2	18.4	14.7	18.7	16.1	2.5
	Stress 1	12.5	16.6	16.6	12.0	13.5	13.8	12.6	13.4	1.6
	Stress 2	6.5	6.0	0.0	3.2	9.4	5.3	2.9	4.8	3.0
	Stress 3	7.4	7.6	7.0	7.7	2.1	5.3	3.3	5.8	2.3

**ANNEXE 2 : EVOLUTION DE L'ELABORATION DES BIOMASSES**

**RACINAIRES ET AERIENNES (POIDS MOYEN (g) DE 3 PIEDS)**

DATES	VARIABLES	BIOMASSE RACINAIRE		BIOMASSE AERIENNE		TOTAL		% M.S/MOY. PH		HAUTEUR DU BRIN-MAITRE (cm)
		PH.	PS (MS)	PH	PS (MS)	PH	PS (MS)	Br	Ba	
29ème Jas	T16	78.98	14.19	92.87	16.31	171.85	30.50	10.23	11.76	70.0
	S116	41.84	8.07	50.03	9.13	91.87	17.20	5.82	6.58	54.0
	S216	91.45	17.36	79.27	13.36	170.72	30.72	12.52	9.63	69.0
	S316	57.93	8.74	62.26	10.00	120.19	18.74	6.30	7.21	70.0
39ème Jas	T15	84.16	33.78	135.44	34.19	219.60	67.97	15.58	15.77	94.0
	S115	44.63	20.86	69.62	17.20	114.25	38.06	9.62	7.93	77.0
	S215	129.57	39.83	166.83	35.99	296.40	75.82	18.37	16.60	91.0
	S315	99.16	36.45	138.04	30.53	237.20*	66.98	16.81	14.08	84.0
73ème Jas	T14	344.40	90.79	488.95	137.54	833.35	228.33	11.68	17.70	--
	S114	305.52	99.90	383.42	101.08	688.94	200.98	12.86	13.01	--
	S214	324.48	106.34	497.94	140.59	822.42	246.93	13.69	18.09	--
	S314	310.20	86.19	452.98	152.83	763.18	239.02	11.09	19.67	--
91ème Jas	T13	262.76	67.23	455.29	153.39(*)	718.05	220.62	8.63	19.68	--
	s113	378.73	109.91	508.50	133.88	887.23	243.79	14.10	17.18	--
	S213	297.56	79.92	433.55	125.51	731.11	205.43	10.25	16.10	--
	s313	302.87	85.61	477.98	155.18	780.85	240.79	10.98	19.91	--
101ème Jas	T12	329.61	134.27	493.95	155.72(*)	823.56	289.99	18.10	21.00	--
	S112	259.52	65.36	405.01	134.05(+)	664.53	199.41	8.81	18.07	--
	s212	250.41	83.64	336.28	107.52(.)	586.69	191.16	11.28	14.50	--
	S312	351.09	113.39	540.81	165.81(*)	891.90	279.20	15.29	22.36	--

(\*) : en phase de maturation

(+) : en phase de floraison - remplissage des graines

(.) : en phase de floraison.

PH = Poids humide

PS = Poids sec

Br = Biomasse racinaire

Ba = Biomasse aérienne.

**ANNEXE 3 : EVOLUTION DE L'ELABORATION DE LA MATIERE SECHE (g)****ET COEFFICIENTS TRANSPIRATOIRES (CT)**

PHASES PHENO	S - IF		IF - G		G - FRg		FRg - M	
	QMS	CT	QMS	CT	QMS	CT	QMS	CT
T	30.50	7.3	228.33	2.4	251.12	7.0	251.12	X
S1	17.20	12.9	200.98	2.0	243.79	3.6	243.79	X
s2	30.72	6.4	246.93	1.9	264.40	4.8	264.40	X
s3	18.74	10.8	239.02	2.0	258.26	7.3	258.26	X
MOYENNE	24.29	9.4	228.82	2.1	254.39	5.7	254.39	X

**ANNEXE 4 : EXERTION PANICULAIRE (EP) ET HAUTEUR DU BRIN-MAITRE (HB)****AU 115ème JOUR (en cm)**

TRAITEMENTS	T		S1		s2		s3	
	EP	HB	EP	HB	EP	HB	EP	HB
1	16	166	12	140	1	92	9	110
2	11	136	9	133	4	113	4	110
3	8	126	15	145	6	120	6	110
4	6	127	8	151	6	111	9	114
5	13	126	10	135	5	120	3	114
6	5	113	11	160	6	114	10	126
7	7	125	11	134	5	106	0	112
MOYENNE	9.4	131.3	10.9	142.6	4.7	110.9	5.9	113.7

**ANNEXE 5 : DISTRIBUTION DE LA TAILLE DES GRAINS DE SORGHO**  
**(VARIETE : CE 145-66) : POURCENTAGE DU POIDS**

GRILLE	IG7	SG7-IG8	SG8-IG9	SG9-IG10	SG10
TRAITEMENT					
T	1.5	15.7	52.9	19.9	<b>10.0</b>
S1	8.5	21.5	43.2	18.7	<b>8.0</b>
S2	9.7	19.4	39.6	23.9	<b>7.5</b>
s3	2.9	27.4	51.8	10.3	<b>7.5</b>

**ANNEXE 6 : DISTRIBUTION DE LA TAILLE DES GRAINS DES TRAITEMENTS**  
**STRESSES EN POURCENTAGE DU POIDS DU TRAITEMENT TEMOIN**

GRILLE	IG7	SG7-IG8	SG8-IG9	SG9-IG10	SG10
TRAITEMENT					
T	100.0	100.00	100.00	100.00	100.00
S1	518.80	122.00	73.10	84.30	71.90
S2	284.20	53.26	32.00	52.00	32.50
s3	164.50	143.00	80.50	42.60	61.70

**IG7** = Inférieur à la grille 7 (2.8 mm)

**SG7** : Supérieur " "

**IG8** : Inférieur à la grille 8 (3.2. mm)

**SG8** : Supérieur " "

**IG9** : Inférieur à la grille 9 (3.6 mm)

**SG9** : Supérieur " "

**IG10** : Inférieur à la grille 10 (4.0 mm)

**SG10** : Supérieur

**ANNEXE 7 : DISTRIBUTION DU POIDS DES GRAINS DE SORGHO (CE 145 -66)**

CLASSES	115'				s15'				I21				S21				
	T	S1	S2	S3	T	S1	S2	S3	T	S1	S2	S3	T	S1	S2	S3	
1	39	6	48	1	61	94	52	99	100	63	99	61	0	37	1	39	
2	0	1	0	32	100	99	100	68	8	13	45	79	92	87	55	21	
3	3	30	100	8	97	70	0	92	50	67	100	48	50	33	0	52	
4	0	15	59	1	100	85	41	99	20	51	98	34	80	49	2	66	
5	1	2	4	1	79	88	96	99	21	75	35	17	100	25	65	83	0
6	4	1	84	1	96	99	16	99	40	25	100	25	60	75	0	75	
7	3	61	90	10	97	39	10	90	27	97	100	73	73	3	0	27	

115 :Inférieur à 15 mg

I21 : Inférieur à 21 mg

S15 : Supérieur à 15 mg

S21 : Supérieur à 21 mg

CLASSES	3 -8.9	9-14.9	15-20.9	21-26.9	27-32.9
TRAITEMENTS	mg	mg	mg	mg	mg
T	0	61	259	338	42
S1	20	98	233	318	31
S2	111	271	177	77	64
S3	14	118	288	277	3

**ANNEXE 8 : TEST DE VIGUEURBORGHIO : VAR. CE 145-66**

CLASSES	LONGUEUR PARTIE AERIENNE (cm)				LONGUEUR PARTIE RACINAIRE (cm)				QUANTITE DE MS ELABORE (mg)			
	REPETITION	T	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	T	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	T	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>
1	19.0	20.9	8.6	11.3	15.0	11.5	6.7	7.2	18.5	12.5	6.5	7.4
2	19.1	21.4	5.8	11.9	9.5	15.6	3.5	9.1	16.3	16.6	6.0	7.6
3	13.33	21.6	0.0	11.1	4.43	12.5	0.0	7.5	13.6	12.9	0.0	7.0
4	12.7	18.8	6.0	9.55	4.4	10.5	1.0	6.2	12.2	12.0	3.2	7.7
5	13.2	20.9	11.7	2.7	3.0	9.1	9.7	2.6	18.4	13.5	9.4	2.1
6	11.0	19.1	9.4	6.2	2.0	13.5	8.4	5.8	14.7	13.8	5.3	5.3
7	13.0	15.4	4.6	4.4	4.7	18.2	8.1	8.7	11.1	11.1	8.1	8.1
<b>MOYENNE</b>	<b>14.5</b>	<b>19.7</b>	<b>6.6</b>	<b>8.2</b>	<b>6.1</b>	<b>11.6</b>	<b>4.6</b>	<b>5.9</b>	<b>16.1</b>	<b>13.4</b>	<b>4.8</b>	<b>5.8</b>

**ANNEXE 9 : GERMINATION DU SORGHO (en %)****VARIETE CE 145 - 66**

TRAITEMENTS	TEMOIN	STRESS 1	STRESS 2	STRESS 3
REP				
1	98	92	84	82
2	94	74	88	78
3	86	86	58	90
4	90	92	58	84
5	90	80	88	78
6	80	90	56	92
7	96	74	34	98
<b>MOYENNE</b>	<b>91</b>	<b>84</b>	<b>67</b>	<b>86</b>



## LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

- FIGURE 1 :** Les cinq races principales du sorgho
- FIGURE 2 :** Schéma du grain et morphologie du sorgho
- FIGURE 3 :** Bourgeons végétatif et floral, feuille de sorgho et section longitudinale d'un embryon 16 jours après fécondation
- FIGURE 4 :** Conditions climatiques de l'expérimentation ; relevés de la station de Bambey • CNRA
- FIGURE 5 :** Evolution des stocks du sol d'après les simulations des 4 traitements (BIPODE)
- FIGURE 6 :** Consommations en eau aux différentes phases phénologiques.
- FIGURE 7 :** Evolution de l'élaboration de la matière sèche du sorgho
- FIGURE 8 :** Efficience de l'eau pour la production de matière sèche et de grains
- FIGURE 9 :** Distribution de la taille des grains de sorgho : effet du stress hydrique (variété CE 145 • 66);
- FIGURE 10 :** Fréquences cumulées de la distribution de la taille des grains de sorgho: effet du stress hydrique
- FIGURE 11 :** Distribution de la taille des grains de sorgho : traitements stressés en % du poids du témoin (var. CE 145-66)
- FIGURE 12 :** Réponse du sorgho à l'alimentation en eau : distribution du poids des grains en fonction du régime hydrique
- FIGURE 13 :** Test de vigueur des plantules
- TABLEAU 1 :** Principales variétés améliorées de sorgho recommandées au Sénégal
- TABLEAU 2 :** Consommations en eau des cultures (mm)
- TABLEAU 3 :** Analyse de la production
- TABLEAU 4 :** Analyse de la qualité

## LISTE DES ABREVIATIONS ET SIGLES UTILISES

<b>AGR.HY.MET</b>	Programme <b>d'Agrométéorologie</b> et hydrologie opérationnelle (Sahel). Niamey -Niger
<b>C.E.R.A.A.S. :</b>	Centre <b>d'Etudes</b> Régionales pour <b>l'Amélioration</b> et <b>l'Adaptation</b> à la Sécheresse - Bambey - Sénégal
<b>CE.R.D.I. :</b>	Centre <b>d'Edition</b> , de Reproduction et de <b>Diffusion</b> de Documents Pédagogiques. Dakar , Sénégal
<b>C.N.R.A. :</b>	Centre National de Recherches Agronomiques Bambey - Sénégal
<b>C.I.R.A.D. :</b>	Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement. Paris, France.
<b>C.S.C. :</b>	Contre Saison Chaude
<b>C.S.F. :</b>	Contre Saison Froide
<b>C.T. :</b>	Coefficient Transpiratoire
<b>C.T.A. :</b>	Centre Technique de Coopération Agricole
<b>E.N.C.R. :</b>	Ecole Nationale des Cadres Ruraux. Bambey, Sénégal
<b>E.T.M. :</b>	EvapoTranspiration Maximale
<b>E.T.P. :</b>	EvapoTranspiration Potentielle
<b>E.T.R. :</b>	EvapoTranspiration Réelle
<b>G.E.R.D.A.T. :</b>	Groupement <b>d'Etudes</b> et de Recherches pour le Développement de <b>l'Agronomie</b> Tropicale
<b>I.C.R.I.S.A.T. :</b>	International Crops Research <b>Institute</b> for <b>the Semi-Arid</b> Tropics. Patancheru, Inde.
<b>I.N.A.P.T. :</b>	Institut National Polytechnique de Toulouse, France
<b>I.N.R.A. :</b>	Institut National de la Recherche Agronomique
<b>I.S.R.A. :</b>	Institut Sénégalais de Recherches Agricoles
<b>M.S. :</b>	Matière Sèche
<b>RDT :</b>	Rendement
<b>R.U. :</b>	Réserve Utile
<b>R.U.m :</b>	Réserve Utile maximale
<b>W.U.E. :</b>	Water Use Efficiency (Efficience de l'utilisation de l'eau).
<b>%</b>	pour <b>cent</b> ou pourcentage
<b>≤</b>	inférieur ou égal
<b>&lt;</b>	inférieur
<b>&gt;</b>	supérieur
<b>/</b>	par ou divisé par
<b>ha</b>	hectare
<b>°</b>	degré
<b>°C</b>	degré Celsius
<b>kg</b>	kilogramme
<b>g</b>	gramme
<b>mm</b>	millimètre
<b>cm</b>	centimètre
<b>m<sup>2</sup></b>	mètre carré
<b>cc</b>	centimètre cube
<b>l</b>	litre
<b>jas</b>	jour après semis
<b>h</b>	heure
<b>+</b>	additionné de
<b>=</b>	égal à
<b>r<sup>2</sup></b>	coefficient de détermination