

CR000744

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

CERAAS

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

BP 53 Bambey Sénégal

Tel. 73-60-50

AMELIORATION DE L'ADAPTATION DU SORGHO
(*Sorghum bicolor* L. Moench) A LA SECHERESSE :
ETUDE DE QUELQUES MECANISMES PHYSIOLOGIQUES
CHEZ 5 GENOTYPES SOUMIS A UN STRESS HYDRIQUE
A LA MONTAISON

Kodjo LABARE
DRA/TOGO

Etude réalisée au CERAAS
Rapport Final
Octobre 1991.

LABARE
P.V.S?

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

CERAAS

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

RP 53 Bambey Sénégal

Tél. 73-60 5 0

**AMELIORATION DE L'ADAPTATION DU SORGHO
(*Sorghum bicolor* L. Moench) A LA SECHERESSE :
ETUDE DE QUELQUES MECANISMES PHYSIOLOGIQUES
CHEZ 5 GENOTYPES SOUMIS A UN STRESS HYDRIQUE
A LA MONTAISON**

Kodjo LABA RE
DRA/TOGO

Etude réalisée au **C'ERAAS**
Rapport Final
Octobre 1991.

INTRODUCTION.

Il y a de cela quelques années déjà que la sécheresse est toujours citée au premier plan des causes de la famine dans le monde. Depuis lors, lorsqu'on évoque ce mot, on pense tout d'abord au continent africain où plusieurs milliers de personnes meurent de faim chaque année. En effet, c'est en Afrique et notamment au Sahel que les effets de cette sécheresse sont plus précaires. Les pluies deviennent très rares dans certaines régions et les productions agricoles baissent au fil des ans.

La sécheresse est une notion relative qui ne peut être définie par une valeur absolue de la pluviométrie mais par une diminution de cette pluviométrie par rapport à la normale, qui soit suffisante pour entraîner des modifications écologiques. Pour ANNEROSE (3), elle correspond à une période étendue de la diminution des pluies par rapport à un régime autour duquel l'environnement local et l'activité humaine se sont stabilisés. Cette définition expiye plutôt clairement le climat de ces dernières années en zone sub-saharienne.

Devant la menace de ce dessèchement progressif de cette zone, heureusement assez vite perçue par les pays concernés, la plupart des gouvernements ont entrepris de nombreux programmes de lutte notamment pour la préservation des écosystèmes naturels et la reforestation.

Au Togo, le mot sécheresse évoque un très mauvais souvenir de l'année 1977, qui a été exceptionnellement sèche sur l'ensemble du pays avec de graves conséquences sur la population. Depuis cette année plutôt triste le pays n'a plus connu une sécheresse aussi grave. Cependant, l'analyse des totaux pluviométriques pluriannuels met en évidence une diminution des quantités de pluies depuis quelques années. Pour la partie sud du pays à deux saisons de pluies, POSS (20) a expliqué la diminution des quantités de pluies de la grande saison par une tendance au report de ces quantités sur la deuxième. Si cette tendance se confirmait, les paysans devront s'adapter au nouveau régime climatique en concentrant désormais leurs activités sur la deuxième saison plutôt que sur la première comme c'est toujours le cas dans cette partie du pays. Mais pour ce qui concerne le reste du pays, au nord, où il n'y a qu'une seule saison des pluies, rien ne permet d'expliquer cette sécheresse relative qui se caractérise par les réductions de la durée et des quantités de pluies. Toutefois, la raison principale serait un début de dessèchement du fait de la "sahélisation" progressive de la partie nord du pays.

C'est pourquoi l'utilisation des variétés résistantes à la sécheresse serait une panacée efficace pour sauver l'agriculture au Togo. Et dans le cadre du programme d'amélioration du sorgho et du mil (les deux céréales les plus cultivées au nord), un accent particulier est mis sur le critère **résistance à la sécheresse**. La création variétale devra pouvoir intégrer les mécanismes physiologiques d'adaptation à la sécheresse. Ce qui justifie l'étude de ces mécanismes chez le sorgho à travers ce travail. Certes les connaissances acquises sur la question sont assez nombreuses mais l'intérêt pour nous est d'étudier ces mécanismes sur deux géotypes du Togo très utilisés dans les croisements variétaux dans le cadre du programme de sélection.

Cette étude, entièrement supportée par le CERAAS, a été réalisée en collaboration avec Monsieur DOSSOU-YOVO de la recherche agronomique du Bénin. Ce qui nous a permis de situer l'étude de ces mécanismes à deux stades critiques de la vie de la plante: la Montaison et la Floraison.

L'essentiel de ce document est consacré à la première partie de cette étude à la montaison. L'autre partie fera objet d'un autre rapport qui sera présentée par Monsieur DOSSOU-YOVO qui a suivi cette étude jusqu'à la récolte.

II. CONNAISSANCES GÉNÉRALES SUR LES RÉPONSES DES PLANTES À LA SÈCHERESSE

Tout le monde accepte d'admettre aujourd'hui que l'eau est le facteur primordial de l'équilibre de la végétation. Déjà en 1961, VAL DEYRON (25) déclarait qu'en ce qui concerne le comportement du végétal à l'égard de ce facteur, le milieu joue un rôle beaucoup plus important que le génotype. Désormais, lorsqu'une plante manifeste des symptômes de sécheresse on a toujours cherché la raison dans une pluviométrie insuffisante. Mais en réalité certaines espèces ou certaines variétés d'une même espèce végétale peuvent être plus aptes que d'autres à végéter convenablement avec un faible approvisionnement en eau. Et à ce niveau c'est le génotype qui permet le criblage.

Chez le sorgho comme chez de nombreuses autres espèces cultivées, on a pu mettre en évidence plusieurs mécanismes qui permettent à certains génotypes d'accomplir normalement leur cycle dans des conditions de contraintes hydriques. Parmi ces mécanismes figurent ceux permettant à la plante d'améliorer son système d'absorption hydrique, de limiter ses pertes en eau pendant les heures chaudes ou encore de résister à la dislocation de ses membranes cellulaires sous le choc de la dessiccation ou de la chaleur.

2.1. AMÉLIORATION DE L'ABSORPTION HYDRIQUE

De nombreux travaux (2,3,4,17,19) sur l'importance du système racinaire dans l'alimentation de la plante ont attribué aux racines un grand rôle dans la résistance des plantes à la sécheresse. En effet la tranche d'eau mise par le sol à la disposition des racines varie dans une large mesure du fait de la variation de la profondeur de la couche de terre qu'elles explorent. Ainsi, en cas de stress hydrique, les variétés pouvant développer un système racinaire profond et dense pourront s'alimenter dans les zones profondes plus humides et non encore explorées par les racines.

2.2. LIMITATION DES PERTES

On explique ces mécanismes par la nécessité pour la plante de maintenir son état hydrique à un niveau satisfaisant en vue d'assurer notamment l'équilibre des échanges gazeux avec le milieu ambiant. Les réactions des plantes à un déficit hydrique ont été étudiées (8,11,18). Les plantes réagissent en développant des caractères morphologiques ou physiologiques leur permettant de réduire l'eau qu'elles perdent par transpiration. Cas du développement des éléments de protection comme les cires ou la cutine et de l'enroulement des feuilles pour diminuer la surface foliaire exposée à l'énergie solaire. Mais c'est surtout par le contrôle du degré d'ouverture des stomates que la plante réduit ses pertes en eau (5,7,18,24).

Les mécanismes de maintien de l'absorption racinaire et de régulation des pertes en eau sont des mécanismes dits d'évitement de la sécheresse suivant la classification de nombreux auteurs (2,3,17,19). Ils permettent à la plante de maintenir ses tissus à un potentiel hydrique élevé pendant le dessèchement; ce qui est particulièrement important pour la poursuite de l'activité photosynthétique au cours de cette période sèche (18). Les autres mécanismes d'adaptation, mécanismes de tolérance, comprennent surtout le pouvoir de l'ajustement stomatique pendant le stress et la résistance des membranes à la dessiccation et à la chaleur (2,3,17). L'ajustement stomatique est un mécanisme qui permet aux stomates, en modifiant leur potentiel osmotique, de maintenir la turgescence des tissus foliaires, assurant ainsi le contrôle des échanges de CO₂ nécessaires à la photosynthèse. Mais selon une étude récente (12), il semble bien que la baisse de l'activité photosynthétique pendant un stress hydrique ne soit pas seulement liée à la fermeture des stomates. La sécheresse agirait donc directement sur cette activité et de ce fait, les mécanismes de résistance dans ce cas auraient également d'autres origines que le seul ajustement stomatique.

2.3. RESISTANCE DES MEMBRANES PROTOPLASMIQUES

La réduction de la transpiration par la fermeture des stomates entraîne des perturbations dans les échanges de vapeur d'eau plante-atmosphère, notamment dans le contrôle de l'élévation de la température des tissus foliaires. L'échauffement qui s'y produit peut conduire à des transformations biochimiques induisant par suite la rupture des membranes cellulaires (16). Ainsi la résistance de ces membranes à la dénaturation et à la rupture sous un choc thermique ou osmotique est un mécanisme de tolérance à la sécheresse (2,3,17).

2.4. AUTRES MECANISMES PHYSIOLOGIQUES

On a pu établir une relation entre un certain nombre de processus biochimiques chez la plante et sa capacité de résister à la sécheresse. C'est le cas du pouvoir de constitution des réserves en sucres qui devront permettre à la plante d'assurer ses fonctions de croissance et d'entretien pendant la contrainte hydrique (17), de l'accumulation de l'acide abscissique (5) ou de celle de la proline libre (7,23) dans les feuilles.

La mesure de ces derniers mécanismes qui reposent sur des bases biochimiques dépasse le cadre de cette étude. Ainsi nous limiterons-nous à l'étude du système racinaire qui est très important pour l'absorption de l'eau dans les couches profondes ainsi que celle de la réponse du sorgho cultivé dans des conditions hydriques limitantes en suivant l'évolution des paramètres tels que la conductance stomatique, la transpiration, la photosynthèse le potentiel hydrique foliaire et la résistance protoplasmique. La connaissance de la réponse de ces paramètres au dessèchement devrait permettre de caractériser les mécanismes physiologiques d'adaptation du sorgho à la sécheresse.

III- MATERIEL ET METHODES

Cette étude a eu pour cadre le Centre d'Etude Régional pour l'Amélioration de l'Adaptation à la Sécheresse (CERAAS) au Centre National de Recherche Agronomique (CNRA) de Hambey au Sénégal. Elle a été réalisée au cours de la saison hivernale (1991) qui a connu cette année quelques perturbations. Les pluies ont été plutôt très rares après le début de la saison. Ce qui a entraîné de très grandes variations de températures avec des maxima d'en moyenne 45 °C à midi et des minima de 25 °C la nuit. En raison de ces fortes températures, nous avons eu à déplacer l'essai préalablement installé dans une serre ("glass-house").

3.1. LES RHIZOTRONS

Ils sont utilisés pour l'étude de la croissance racinaire. Ce sont des tubes en PVC de 100 cm de hauteur et de 16 cm de diamètre et qui comportent une face plane transparente en plexiglass. Par cette face plane les rhizotrons sont disposés sur un châssis métallique qui offre un plan incliné de 45° par rapport à la verticale. Par géotropisme les racines s'appliquent contre le plexiglass à travers lequel on peut faire toutes les mesures. L'obscurité au niveau des tubes est maintenue grâce à des manchons plastiques en noir qu'on utilise pour les envelopper.

3.2. LES POTS

Mis à part l'étude du système racinaire, tous les autres paramètres étudiés ont été mesurés sur des plantes cultivées dans les pots. Ils sont aussi constitués de tubes en PVC de 80 cm de hauteur et 25 cm de diamètre. Ces tubes sont disposés sur des planchettes pour éviter le contact de la base avec le sol. Les écartements sont de 80 cm entre les planches et de 40 cm entre les pots.

3.3. LE SOL

Les pots et les rhizotrons sont remplis avec un sol de type ferrugineux très sableux localement appelé "Dior" (= sable). Avant le remplissage il est d'abord finement tamisé pour homogénéiser les particules de terre. Au cours du remplissage, l'engrais de fond apporté à raison de 2g par tube est mélangé au sol dans les 20 cm supérieurs.

3.4. LE MATERIEL VEGETAL

Il comprend 5 variétés cultivées de diverses zones écologiques. Il s'agit d'une variété sénégalaise (51-69) cultivée dans le centre sud du pays dans la région de Nioro, de deux variétés à grains blancs du nord et du centre du Bénin (Karimama et Bagou) et de deux variétés cultivées dans la Région des Savanes au nord du Togo (Tchouléli et Dimoni). Ces variétés d'origines diverses ont été retenues sur la base de leurs cycles végétatifs proches (tableau 1)

Tableau 1 Caractéristiques générales des variétés utilisées

variétés	type	origine	grain	cycle	P(mm)*
51-69	Caudatum	Sénégal	blanc	120-130	800-900
Karimama	Guinea	Bénin	blanc	120	800
Bagou	Guinea	Bénin	blanc	150	1000
Tchouléli	Guinea	Togo	blanc	120-130	900-1000
Dimoni	Guinea	Togo	rouge	120-130	900-1000

* pluviométrie de la région où la variété est cultivée

3.5 DISPOSITIFS EXPERIMENTAUX

Le dispositif statistique retenu pour l'étude dans les pots et les rhizotrons est le dispositif complètement randomisé ("Completely Randomized Design"). Pour les rhizotrons on a deux traitements hydriques I (= témoin normalement irrigué) et S (= stressé par suspension d'arrosage) et 4 répétitions soit au total $5 \times 2 \times 4 = 40$ rhizotrons en randomisation totale. Dans le cas de la culture en pots, on a retenu 3 traitements dont un témoin I et deux stressés (S1 à la montaison et S2 à la floraison) et 9 répétitions soit $5 \times 3 \times 9 = 135$ pots randomisés.

3.6 CONDUITE DE L'ETUDE

3.6.1 ETUDE DU SYSTEME RACINAIRE

a)- CONDITIONS DE CULTURE

Les rhizotrons bien remplis de sol sont arrosés à la capacité au champ avant le semis. Le semis est fait à 3 grains/tube et on a démarré à un plant après émergence au 4^e jour après le semis (jas). L'arrosage est fait 2 fois/jour (matin et soir) à la même dose à tous les tubes avant le stress. Un apport d'urée a été fait au 10^e jas. Le stress est appliqué 15 jas et les tubes ont été couverts avec du papier aluminium. Cette période a duré 20 jours au cours desquels plusieurs mesures sont faites.

b)- MESURES

Elles ont porté sur la **profondeur** d'enracinement et le nombre et la **densité** des racines. Les 3 **mesures** sont faites simultanément tous les 3 jours. La **profondeur** est une moyenne qui porte sur la mesure des 3 racines les plus profondes. Le nombre et la densité sont **mesurés** par horizon suivant une division virtuelle des tubes en 5 horizons de 20 cm. Le nombre de racines dans chaque horizon concerne **seulement** celles qui ont leur bout dans cet horizon. Pour la **densité**, elle est évaluée à partir d'une notation subjective de 1 (= densité faible) à 5 (= densité forte). Enfin, une mesure du volume des racines a été faite après le **dépotage** des tubes.

3.6.2 CULTURE DANS LES POTS

a)- CONDITIONS DE CULTURE

Comme dans les **rhizotrons** le semis est réalisé après arrosage des pots à la capacité au champ. On a semé à 4 **grains/pot** et **démarié** à un plant 6 jas. Au 10^e jas une chlorose **ferrique** a été corrigée au séquestrène 138 Fe. Au 30^e jas on a appliqué 0.5g d'**urée** /pot. L'apport d'eau se fait matin et soir à raison de 200 ml /pot /jour au début puis de 1000 ml tout le reste du temps. L'application du stress (**S1**) à la montaison est faite au 40^e jas soit au stade 10-1 1 feuilles de la plupart des plants. Le nombre total des feuilles de ces variétés variant entre 15 et 20, ce stade correspond environ à 65 % du nombre total des feuilles visibles qui correspond au stade de l'**initiation florale** chez le sorgho (10).

b)- MESURES

Les différents **paramètres** mesurés sont: le contenu relatif en eau, le potentiel hydrique foliaire, la transpiration, la conductance stomatique, la photosynthèse. et la résistance protoplasmique.

- le contenu relatif en eau (**CRE %**) est obtenu par le rapport [(poids frais - poids sec) / (poids turgescent - poids sec) * 100]. C'est une mesure destructive qui nécessite des **prélèvements** de feuilles.
- le potentiel hydrique foliaire (**PHF**) est aussi une mesure destructive. Il est mesuré sur des disques foliaires à l'aide d'une presse hydraulique à membrane **graduée** en Psi (1 Psi = 0.07 bar).
- la transpiration, la conductance stomatique et la photosynthèse sont **mesurées** directement sur les plantes par un appareil ADC (**Analytical Development Co.Ltd**) du type LCA3 (Leaf Chamber Analyser) portable. Toutes les mesures, y compris le **CRE** et le **PHF** ont été faites sur la 3^e ou la 4^e feuille à partir du sommet comme Pavaient fait **ACKERSON** et **KRIEG (1)** pour éviter les mesures sur des feuilles de **différents** âges. Ces mesures sont faites le même jour et tous les 3 jours entre 12h et 13h.
- l'étude de la résistance protoplasmique a été réalisée en deux temps; d'abord au 30^e jour de **cycle**, peu avant le début du stress sur les plantes témoins puis, une semaine après la réhydratation afin d'**évaluer** la **capacité** de récupération des plantes stressées chez les écotypes **étudiés**. La résistance à la chaleur est étudiée par rapport à la température de 49 °C et la dessiccation à un PEG de 240g /l qui correspondent à 50% de dommages chez le mil
- la croissance et le développement sont analysés également à la fin du stress par la mesure de la taille des plants et le comptage du nombre total de toutes les feuilles y compris les sénescents.

3.7 ANALYSE STATISTIQUE DES RESULTATS

Tous les résultats ont été traités à l'ordinateur avec un logiciel MSTA I

IV RESULTATS ET DISCUSSIONS

4.1 ETUDE DU SYSTEME RACINAIRE

4.1.1. Croissance en début de cycle

Les mesures de l'enfoncement du front racinaire réalisées une semaine après le semis ont donné une vitesse de croissance de 1.4 à 2 cm /jour. Jusqu'à l'application du stress (15 jas). il n'y a pas eu de différences significatives entre les écotypes testés (tableau 2).

Tableau 2: profondeur racinaire (cm) 13 jours après semis

VARIETES					
51-69	Karimama	Bagou	Tchouléli	Dimoni	signe
20.86	22.31	22.90	23.0	316.31	ns

ns = non significatif

4.1.2. Progression des racines en fonction de l'état hydrique du sol

La profondeur d'enracinement a été quotidiennement mesurée pendant le dessèchement entre le 15^e et le 34^e jas (tableau 3). Une comparaison **intervariétale** a montré des différences significatives à partir du 1^{er} jour de stress et qui se sont maintenues jusqu'à la fin de l'étude. Par contre il ne semble pas avoir d'effet du dessèchement sur la profondeur d'enracinement dans notre étude. Toutefois, tous les géotypes à l'exception de 51-69 ont réagi positivement en augmentant leur profondeur en conditions sèches (fig. 1).

Tableau 3: Profondeur moyenne d'enracinement mesurée chez 5 écotypes après 20 jours de sécheresse.

var	51-69		Kar		Bagou		Tchou		Dimoni			
JAS	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	V	T
17	27.5	22.7	21.8	23.6	27.2	23.5	20.1	27.7	16.5	18.9	n	n
20	33.5	27.9	24.3	31.7	30.5	29.2	27.4	32.0	19.2	20.6	n	n
26	49.6	53.4	40.5	41.2	37.3	41.7	43.3	41.8	24.4	28.4	**	n
30	68.4	65.9	50.5	55.9	50.2	55.2	55.0	65.0	27.5	38.3	**	n
34	88.2	77.3	67.7	76.9	66.9	67.0	74.9	80.4	48.5	53.6	**	n

V = variétés; T = traitement: n = non significatif;
 ** hautement significatif; 0 = témoin; 1 = stressé.

4.1.3. Distribution et densité racinaires

Le nombre de racines et la densité racinaire sont mesurés par horizon pendant le développement du stress suivant la méthodologie décrite au 2.6.1. L'évolution générale de ces deux paramètres dans les différents horizons permet de distinguer trois réactions différentes de ces écotypes à l'effet du stress:

- la sécheresse a un effet dépressif sur le nombre et sur la densité des racines dans tous les horizons. C'est le cas de l'écotype Tchouléli qui a développé très peu de racines avec de faibles densités chez les plantes stressées par rapport aux témoins. Il semble par conséquent moins efficace à s'adapter aux conditions de déficit hydrique de début de cycle.
- l'influence du dessèchement se manifeste dans les horizons supérieurs (0-40 cm pour Karimama et Bagou; 0-60 cm pour 51-69) en réduisant le nombre de racines et la densité mais en profondeur, la sécheresse a entraîné une augmentation des racines et de la densité. Cette augmentation explique la capacité de ces 3 génotypes à explorer les couches profondes en cas de sécheresse survenant au cours de leurs cycles végétatifs.
- les plantes suessées développent beaucoup plus de racines et augmentent leur densité par rapport aux témoins. Ce comportement s'observe chez Dimoni qui semble être assez peu sensible à l'effet de la sécheresse.

Au vu de ces résultats représentés par les courbes de la fig.2 on peut dire, en général, que dans les conditions sèches le sorgho développe son système racinaire plus en profondeur qu'en surface; c'est un caractère d'adaptation à la sécheresse. Mais lorsqu'on observe les volumes des racines obtenus chez les plantes stressées à la fin de l'étude, ils sont nettement inférieurs à ceux des témoins (tableau 4). Ce qui ne permet pas d'expliquer les augmentations apparentes observées en profondeur. Ainsi ceci peut s'expliquer par la formation dans ces horizons non pas de vraies racines mais de très fines qui tout en augmentant la densité n'ont pas d'effet significatif sur le volume total des racines. Par ailleurs les faibles volumes racinaires chez les stressées peuvent aussi être expliqués par une diminution de turgescence de leurs tissus du fait de la sécheresse. Cette dernière hypothèse pourra être vérifiée dans l'avenir notamment en rapportant les densités obtenues non seulement aux volumes mais aussi aux poids secs des racines dans les différents cas.

Tableau 4: volumes racinaires (cm³) mesurés 35 JAS.

VARIETES	51-69	Karimama	Bagou	Tchouléli	Dimoni
Témoin	62.50	63.75	57.50	68.75	25.50
S tresse	30.00	47.50	31.25	38.75	21.25
signif	ns	ns	**	ns	ns

** effet du traitement hautement significatif

Les résultats de cette étude sur le comportement du système racinaire du sorgho soumis à une contrainte hydrique montrent, malgré la diversité écologique des génotypes étudiés que la réponse à la sécheresse est la même chez 4 génotypes sur les 5 étudiés: diminution ou non des racines et de la densité dans les horizons supérieurs et leurs augmentations sensibles en profondeur. Ce qui est très important en matière d'adaptabilité des plantes à la sécheresse. Mais si le système racinaire doit servir de critère de sélection pour l'amélioration de l'adaptation à la sécheresse, cette sélection, pour être efficace, devra pouvoir intégrer de nombreux autres facteurs pouvant influencer le développement du système racinaire. C'est le cas par exemple du facteur sol, de ses propriétés physiques et chimiques, des techniques culturales mais aussi de la pluviométrie de la région à laquelle sera destinée la variété améliorée.

4.2 DEVELOPPEMENT DU STRESS ET PARAMETRES PHYSIOLOGIQUES

4.2.1 LE POTENTIEL HYDRIQUE ET LE CONTENU EN EAU

Ces deux paramètres physiologiques sont fortement liés. Dans la bibliographie il est fréquemment soutenu que les plantes résistantes à la sécheresse montrent une plus faible diminution du contenu relatif en eau (CRE), pour une diminution donnée du potentiel hydrique foliaire (PHF), que celles moins résistantes (20). Pendant le dessèchement, ils ont été périodiquement mesurés. Les résultats sont consignés, dans le tableau 5. Le CRE et le PHF diminuent avec le dessèchement mais il n'y a pas de différence entre les génotypes.

Par contre, l'effet du traitement devient très significatif en fonction du développement du stress.

Tableau 5: Evolution du PHF (-bars) et du CRE (%) avec ta durée du stress (DS) chez les plantes stressées

	DS	ECOTYPES					TRAITEM ENT			
		1	2	3	4	5	sig	I	S	sig
	6	7.9	8.5	6.6	7.3	8.6	ns	6.5	7.8	*
PHF	10	9.7	8.8	7.1	9.4	9.5	ns	6.3	8.9	**
	13	12.5	13.7	11.9	13.1	13.3	ns	7.1	12.9	**
	6	92.2	91.2	92.8	94.4	92.3	ns	94	92	ns
CRE	10	85.8	89.1	87.0	91.1	90.3	ns	94	89	**
	13	82.8	79.2	79.9	81.5	82.0	ns	87	80	**

1 = 5 I-69; 2 = Karimama; 3 = Bagou; 4 = Tchouléli; 5 = Dimoni

I = témoin irrigué; S = stressé; ns = non significatif

* = significatif; ** = hautement significatif.

42.2 REPOSE DES STOMATES AU DEVELOPPEMENT DU STRESS

Les résultats de cette étude montrent que les plantes commencent à fermer leurs stomates quand le dessèchement s'accroît. Ce qui s'est traduit par une diminution de la conductance stomatique par rapport à celle mesurée chez les témoins. Après 6 jours de sécheresse, le niveau de cette conductance ne représentait plus que 30 % du témoin, toutes variétés confondues. Les différences variétales pour ce paramètre n'ont été observées qu'au 13^e jour après le début du stress quand la conductance stomatique était nulle pour 51-69, Karimama et Bagou alors qu'elle était de 0.003 cm.s⁻¹ et de 0.013 cm.s⁻¹ respectivement pour Tchouléli et Dimoni. Le potentiel hydrique foliaire à cette date était voisin de -13 bars chez les 5 variétés. Comme on le voit, pour Tchouléli et Dimoni, les stomates ne seront entièrement fermés qu'à un potentiel hydrique encore inférieur. Ce qui semble beaucoup plus proche des résultats de SANCHEZ et KRAMER (21) qui avaient obtenu un potentiel de 16 bars pour lequel les stomates restaient complètement fermés chez le sorgho.

Les plantes soumises au dessèchement transpirent moins que les témoins avec des différences de plus de 90% au 13^e jour de stress. Entre génotypes, pas de différences significatives; ce qui nous amène à conclure, malgré des différences de conductance, à des réductions des pertes en eau comparables chez tous ces génotypes. Y aurait-il même efficacité de ces pertes en eau dans les mécanismes, d'adaptation de ces génotypes à la sécheresse? Dans plusieurs publications (2, 18) on estime que la régulation des pertes en eau par la fermeture des stomates n'aura d'intérêt pour la résistance à la sécheresse que si cette réduction des pertes peut permettre à la plante de maintenir son activité de photosynthèse. Les mesures de ce paramètre n'ont pas montré de différences variétales comme le montrent les valeurs de la photosynthèse nette des plantes stressées après 13 jours de sécheresse (tableau 6).

Tableau 6: Photosynthèse nette mesurée sur des plantes stressées de 5 écotypes 13 jours après le début du stress

VAR	51-69	Kar	Bagou	Tchou	Dimoni
P.N	4.23	4.60	4.37	6.60	8.13
% témoin	20.05	23.33	26.40	33.67	57.95

Dans notre étude, le développement de la sécheresse a provoqué un abaissement du potentiel hydrique foliaire induisant la fermeture totale des stomates vers les valeurs de 13 bars. Cette fermeture des stomates a permis aux plantes de réduire leur taux de transpiration pour les stressées. Mais cette réduction de la transpiration comme mécanisme de régulation des pertes en eau n'a pas permis mettre des différences entre les 5 génotypes étudiés malgré leurs diversités écologiques. Même en considérant le maintien de la photosynthèse comme étant un mécanisme de résistance peu lié au potentiel hydrique (6,12, 18), aucune différence n'est observée dans le maintien de cette photosynthèse par les différents génotypes. Il nous semble alors que le sorgho ne soit pas en mesure de développer des mécanismes d'évitement de la sécheresse pouvant lui permettre de s'adapter lors des périodes sèches qui peuvent survenir au cours de son cycle de développement

4.2.3 LA RESISTANCE PROTOPLASMIQUE

Cette étude a été faite en deux temps comme décrit au 2.6.2. Les résultats ont montré que les plantes soumises au choc thermique au 30è puis au 75è jas maintiennent l'intégrité de leurs membranes à des niveaux comparables chez tous les écotypes étudiés. Par contre, par rapport au choc osmotique ces écotypes ont montré des différences hautement significatives, dans leur capacité de maintenir cette intégrité. Par ailleurs on note une augmentation de la résistance des membranes à un stade de développement plus avancé dans les deux cas (tableau 7).

Les mesures de la tolérance: à la sécheresse une semaine après la réhydratation ont montré une grande capacité de récupération chez les plantes stressées. De plus chez tous les génotypes les plantes préalablement soumises au dessèchement ont conservé plus que les témoins l'intégrité de leurs membranes sous l'effet du choc osmotique (tableau 8). Ceci peut s'expliquer par l'endurcissement des membranes pendant le dessèchement et qui est un mécanisme adaptatif efficace (17).

Tableau 7: Pourcentage d'Intégrité relative mesurée chez 5 écotypes bien irrigués soumis à un choc thermique (49 °C) et à un choc osmotique (PEG 600, 240g/l) aux 30è et 75è jas.

TRAIT J A S	51-69	Kar	Bagou	Tchou	Dimoni	
Chaleur	30	56.2	76.4	63.5	53.2	68.0
	75	91.7	97.3	92.2	94.1	95.3
PEG 600	30	59.2	64.2	40.9	46.1	53.8
	75	75.8	85.5	50.0	60.0	76

Tableau 8: Pourcentage d'Intégrité relative mesurée 7 jours après réhydratation (choc osmotique)

VAR	51-69	Kar	Bagou	Tchou	Dimoni
\bar{x}	81.275	85.5	60.0	60.0	85.9

Les résultats montrent une tolérance protoplasmique **très** élevée qui augmente encore avec l'âge de la plante. Cette tolérance est associée à une grande capacité de récupération due surtout à l'endurcissement des membranes cellulaires pendant le développement du stress. Cet phénomène qui permet une plus grande résistance du tonoplaste à la rupture sous l'effet des chocs thermique ou osmotique constitue un **mécanisme** d'adaptation à la sécheresse.

4.3 CROISSANCE ET DEVELOPPEMENT

Nous avons fait remarquer plus haut l'importance primordiale de l'eau dans la croissance et le développement de la plante. Aussi il nous a semblé utile, à la fin du **stress**, de compter le nombre de feuilles et de mesurer la taille des plantes dans les deux conditions hydriques de manière à comparer ces grandeurs dans les deux cas

Les résultats montrent une très grande réduction de la taille des plantes **stressées** par rapport aux témoins; cette **réduction** varie de 45 à plus de 75 cm selon le **génotype**. Le nombre de feuille par plante se trouve également réduit de 2.5 feuilles en moyenne pour tous les génotypes (tableau 9). Nais quelques jours après la réhydratation des plantes, on a pu observer l'apparition de nouvelles feuilles sur les plantes **stressées**. Ce qui suppose que l'arrêt de la croissance et du développement chez ces plantes n'était que momentané. Toutefois ceci n'est pas sans conséquence puisqu'à ce stade les **témoins** étaient en gonflement. Cependant on peut supposer que cette **capacité** pour la plante de ralentir sa croissance permet, durant la sécheresse, de diminuer les besoins en eau (petite taille) tout en limitant les pertes (peu de feuilles = surface foliaire réduite). Il s'agira alors de déterminer l'incidence de ces changements morphophysologiques sur la production de la matière utile finale quand on sait le rôle des feuilles dans la constitution de cette matière. La quantification de cette incidence pourrait être possible avec les résultats du Dr DOSSOU-YOVO qui évaluera les rendements en grains dans les deux cas.

Tableau 9: Hauteurs (H en cm) et nombre de feuilles (NF) mesurés après 20 jours de stress (65 jas).

VAR		51-69	Kar	Bagou	Tchou	Dimoni
H	T	168.83	202.83	180.17	229.50	197.33
	S	121.17	123.67	136.33	165.67	143.00
signification :				**		
NF	T	15.83	16.83	15.83	15.67	17.17
	S	13.83	13.33	-13.83	-14.17	14.33
signification :				**		

** = Hautement significatif

CONCLUSION

Les différents résultats physiologiques obtenus nous amène à conclure en une certaine diversité génotypique des **mécanismes** physiologiques d'adaptation du sorgho à la sécheresse. Dans l'ensemble, le sorgho ne semble pas apte à développer les mécanismes d'évitement de la **sécheresse**. Certes des différences sont observées dans la vitesse de fermeture de stomates; mais les pertes d'eau par transpiration en fin de compte sont restées équivalentes chez tous les génotypes. Ce qui traduit en somme une même efficacité de l'utilisation de l'eau par ces différents génotypes malgré leurs origines diverses. D'autre part le **développement** du système racinaire en condition de stress n'a pas été modifié par rapport au témoin.

Par contre la tolérance à la dessiccation semble être le mécanisme d'adaptation développé par le sorgho dans les conditions hydriques limitantes. Le phénomène d'endurcissement qui permet aux tissus de conserver l'intégrité du tonoplaste sous le coup de la sécheresse et de la chaleur et la grande capacité de récupération après le stress sont des mécanismes d'adaptation permettant à la plante de limiter les effets de la sécheresse.

Ces résultats sont obtenus sur des plantes ayant subi le stress à la montaison. Ils pourront peut être varier en fonction de l'âge de la plante ou de son stade végétatif. Des **études** à venir dont celle de M.DOSSOU-YOVO permettront de mieux situer ces mécanismes. Mais il convient déjà de signaler, comme c'est le cas dans tout programme de sélection de ce genre, que le programme d'amélioration de l'adaptation du sorgho à la sécheresse devra pouvoir répondre à un certain nombre de **questions préalables** sur la région concernée par le problème de la sécheresse: fréquence des pluies et leur intensité, périodes éventuelles de **sécheresse** au cours de la saison, la nature du sol de la **région** et réserve utile, les techniques culturales et leur influence sur le sol... Les réponses à ces différentes questions permettront de se situer par rapport au climat (type de sécheresse), au sol (résistances à la pénétration des **racines**, **capacité de réserve** d'eau...) et à l'homme (techniques culturales) afin de fixer les idéotypes de la **sélection**. Dans tous les cas le choix d'un bon géniteur des caractères recherchés est essentiel pour le **démarrage** du programme. Ainsi nous pensons que la grande contribution de cette étude pour nos différents programmes d'amélioration du sorgho au Togo et au Bénin sera la caractérisation de la réponse de chacun des génotypes à la sécheresse. En fonction de chaque zone climatique

l'un ou l'autre génotype pourrait ainsi être intégré au programme de sélection pour l'adaptation à la sécheresse.

BIBLIOGRAPHIE

1. ACKERSON R & KRIEG D.R. 1977. Stomatal and nonstomatal regulation of water use in cotton, corn and sorghum. *Plant Physiol.* 60 p.850 - 853
3. **ANNEROSE D.J.** 1988. Critères physiologique? pour l'amélioration de l'adaptation à la sécheresse de l'arachide. *Oléagineux*, vol. 43, n 5. p.217 - 221
3. **ANNEROSE D.J.** 1990. Recherche sur les mécanismes physiologiques d'adaptation à la sécheresse. Application au cas de l'arachide (*Arachis hypogea* L.) cultivée au Sénégal. Thèse de Doctorat en Sciences Naturelles. Univers. de Paris VII. 282 p
4. BATCHO E.; DAOUDA O.S.; DO F.; **ANNEROSE D.J.**; KHALFAOUI J.L.; FOFANA A.; LAFFRAY D. & LOUGUET P. 1991. Etude de la croissance racinaire de six cultivars de mil (*Pennisetum americanum* L.). *CERAAS Publ.* n 1. 17 p.
5. BEARDSSELL M.F. & COHEN D. 1975 Relationship between leaf water status, Abscisic Acid levels and stomatal resistance in maize and sorghum. *Plant Physiol.* 56. p. 207 -212
6. BERKOWITZ G.A. & GIBBS M. 1983 Reduced osmotic potential effects on photosynthesis. Identification of stromal acidification as mediating factor. *Plant Physiol.* 71.p.905-911
7. BLUM A. & EBERCON A. 1976. Genotypic responses in sorghum to drought stress. III- Free proline accumulation and drought resistance. *Crop Sci.* 16. p. 428 431.
8. BLUM A. & SULLIVAN C.Y. 1986. The comparative drought resistance of Landraces of sorghum and millet from dry and humid regions. *Annals of Botany* 57 p 835 - 846.
9. BRETAUDEAU A.; **TRAORE B.** & SIMPARA B. 1990. Amélioration de la résistance du sorgho à la sécheresse. Etude réalisée au CERAAS. 17 p.
10. **CULTIVAR** 1981. Sorgho: du semis à la floraison. *Revue mensuelle* n ° 136. p 60-63.
11. **DELANGE Y.** 1991. L'adaptation à l'aridité de la flore en Afriyue australe *Sécheresse* n ° 1 vol. 2 p.21-24.
12. GUPTA A.S. & **BERKOWITZ G.A.** 1988. Chloroplast osmotic adjustment and water stress effects on potosynthesis. *Plant Physiol.* 88 p. 200 - 206.
13. HJCKS S.K.; LASCANO R.J.; WENDT C.W. & ONKEN A.B. 1986. Use of hydraulic press for estimation of leaf water potential in grain sorghum. *Agron. J* 78 p.749-751.
14. **ITCF** (Institut Technique des Céréales et Fourrages). 1986. Le sorgho grain culture, utilisation et marché. *ITCF.* 32 p.
15. KAREN L.K. & LEOPOLD A.C. 1988. Sugars and desiccation tolerance in seeds *Plant Physiol.* 88 p. 829 - 832.
16. KENNETH L.G.; COHEN D. & BEARDSSELL M.F. 1976. Effects of water stress on the ultrastructure of leaf cells of *Sorghum bicolor*. *Plant Physiol.* 57 p. 11-14.

17. **KHALFAOUI L.** 1988. Approche de l'amélioration génétique de l'adaptation à la sécheresse des espèces cultivées en zones semi-arides. Application au cas de L'arachide (*Arachis hypogea* L.) destinée à la région sèche du Sénégal. Thèse de Doctorat en Sciences Univers. Paris Sud ORSAY. 296 p.
18. **LAFFRAY D. & LOUGUET P.** 1990. L'appareil stomatique et la résistance à la sécheresse. Labo. Physiol. Vég. et d'Ecophysiol. vég. appliquée. UFR de sciences- Univers. Paris Val de Marne. 20 p.
19. **MILLER D.E.** 1986. Root systems in relation to drought tolerance. Hortscience vol. 21(4) p. 963- 970
20. **POSS R.** 1988. Etude de la pluviométrie du Togo méridional. ORSTOM Lomé 12p.
21. **SANCHEZ-DIAZ M.F. & KRAMER P.J.** 1971. Behaviour of corn and sorghum under water stress and during recovery. Plant Physiol.48. p. 613 - 616.
22. **SHARP R.E. & BOYER J.S.** 1986. Photosynthesis at low water potentials in sunflower: lack of photoinhibitory effects. Plant Physiol. 82 p. 90-95.
23. **SIVARAMAKRISHNAN S.; PATELL V.Z.; FLOWER D.J. & PEACOCK J.M.** 1988. Proline accumulation and nitrate reductase activity in contrasting sorghum lines during mid-season drought stress. Plant. Physiol. 74 p. 418 - 426.
24. **TURNER N.C.** 1974. Stomatal behaviour and water status of maize, sorghum and tobacco under field conditions, I- At low soil water potential. Plant Physiol. 53 p. 360 - 365.
25. **VALDEYRON G.** 1961. Génétique et amélioration des plantes, Nouvelles Encyclopédie Agricole. Ed. J. B. Baillièrre et Fils.

REMERCIEMENTS

Nos sincères remerciements à MM. D . **ANNEROSE** e t **J.L. KHALFAOUI**, Responsables scientifiques du CERAAS, pour avoir bien voulu nous associer aux programmes de recherches du CERAAS. Nous tenons aussi à les remercier pour leur grande contribution dans la réalisation de ce travail en servant de référence pour tous les problèmes rencontrés pendant l'étude

Notre collaboration avec le Dr DOSSOU-YOVO nous aura largement aidé à par-taire ce Travail; nous lui témoignons toute notre reconnaissance en souhaitant cette collaboration dans les programmes à venir

Nous remercions également. pour l'aide apportée à la réalisation de cette étude,

C. MATHIEU, Responsable de toute l'administration du CERAAS, pour les moyens mis à notre disposition pour la réussite du travail et pour sa contribution dans la **finalisation** du document

G. TROUCHE, Sélectionneur Sorgho - **ISRA/CNRA**- qui a été souvent sollicité pour certains problèmes observés sur les plantes et qui nous a beaucoup appris de son programme de sélection lors notre tournée à Nioro

M. SALL, Technicien du CERAAS, pour sa grande disponibilité et sa franche collaboration

F. ABDOU et **H. MATAR** du Laboratoire de physiologie végétale pour leur grande assit **ance**.

Nous remercions enfin MM. A.T. DIOP, **H. NDONG**, **S. PAPE** et fous les autres membres du CERAAS.. qui nous ont aidé dans ce travail, de trouver ici l'expression de notre gratitude pour le service rendu.