

Etude de quelques aspects de la résistance à la sécheresse du sorgho grain* ————— P M SAINT-CLAIR**

ABSTRACT

Studies on drought resistance of grain sorghum were undertaken in controlled environment with three cultivars adapted to the semiarid conditions of Senegal and five others liable to behave alike. Germination tests involving the osmotic polyethylene glycol or PEG and heat resistance tests ($1h \times 51,5^{\circ} C$) using 40, 54 and 68-days old plants were employed. The heat treatment was done through the leaf disc-conductivity method

The results from both series of experiments indicated that most of the cultivars were able to reasonably withstand the adverse conditions. They suggested that the germination technique which is easier to perform might be more practical than the heat test to screen grain sorghum toward drought resistance.

Age apparently had no direct effect on the heat resistance of the cultivars. It influenced however to a certain extent the relation between this aspect and maturity length. The relevant correlation coefficients were -0.22 , -0.44 and -0.61 for 40, 54 and 68-day old plants respectively. They reflected thus the tendency of plants with long growth duration to become more and more heat resistant in the course of the time.

Introduction

LA plus grande partie du sorgho récolté dans le monde s'obtient sans le concours de l'irrigation et il est peu probable que cette situation change avant de nombreuses années (15). Dans les régions semi-arides comme la zone sahélo-soudanienne, la culture de la plante est menacée par des perturbations climatiques qui affectent particulièrement l'unique période pluvieuse. Il ne fait donc pas de doute que toute investigation visant à apporter plus de lumière sur la résistance à la sécheresse du sorgho est très pertinente.

Le phénomène de la résistance à la sécheresse des plantes est très complexe comme en témoigne la pluralité des définitions qui existent (3, 4, 5, 7, 8, 9, 18, 21). Il est lié au caractère inséparable des aspects suivants: morphologie, physiologie et biochimie végétales, conditions du sol et de l'atmosphère (22). On sait

déjà qu'il n'existe pas toujours une corrélation entre les propriétés (des plantes) considérées comme associées à la résistance à la sécheresse. Blum et Ebercon (1) par exemple n'ont trouvé aucun rapport entre la résistance à la dessiccation du sorgho et d'autres propriétés telles que accumulation de proline libre et restauration de la turgescence pendant et après la sécheresse respectivement. Une des nombreuses autres difficultés auxquelles se heurtent les chercheurs qui s'intéressent à la résistance à la sécheresse des plantes est certainement la variabilité des facteurs ambiants. C'est pourquoi on recourt de plus en plus à des travaux effectués en condition contrôlée. Parmi ces derniers il faut mentionner le test osmotique de germination et le test de résistance à la chaleur par la méthode disques foliaires - conductivité électrique. Le premier a, entre autres avantages, ceux de simuler une contrainte hydrique uniforme au niveau des semences et de contourner les difficultés qu'entraîne la mesure de l'état hydrique du complexe sol-plante. Gautreau (2) a trouvé que les réponses des cultivars d'arachide a des tests de germination au sucrose sont liées à leur résistance à la sécheresse dans les conditions naturelles. Cependant maints auteurs ont déjà critiqué l'emploi des glucides

* Manuscrit reçu le 21 mars 1979

** Professeur, Département de Phytologie, Faculté des Sciences de l'Agriculture et de l'Alimentation, Université Laval, Ste Foy, Qué GIK 7P4, Canada

comme agents osmotiques en physiologie végétale. La supériorité du polyéthylène glycol ou PEG sur le sucrose et le mannitol et celle du PEG de faible poids moléculaire sur les autres formules ont fait l'objet de commentaires de la part de Manohar (6), Ordin, Applewhite et Bonner (10), Slavik (13) et Thimann, Loos et Samuel (19).

L'utilisation du test osmotique de germination au PEG pour comparer des cultivars de sorgho du point de vue de la résistance à la sécheresse a commencé en 1976 quand Saint-Clair (11) utilisa cette technique pour étudier les réponses de 11 cultivars. L'auteur conduisit son investigation avec du PEG de poids moléculaire 400 (nom commercial Carbowax 400). Il a observé que les cultivars classés comme résistants à la sécheresse ont accusé les plus forts pourcentages de germination à la pression osmotique maximale de -11 bars environ. Outre sa raisonnable efficacité, cette technique s'est révélée très pratique pour deux raisons. D'une part elle exige très peu de temps: 18 h. D'autre part elle permet de supposer qu'un nombre important de cultivars peuvent être sélectionnés moyennant une main d'oeuvre adéquate.

Le test de résistance à la chaleur par la technique disques foliaires - conductivité électrique est sans doute plus laborieuse que le test de germination mais il constitue un pas important dans les investigations sur la résistance à la sécheresse des plantes et du sorgho en particulier (15, 16). Contrairement aux techniques traditionnelles, il n'utilise pas des plantes entières. De plus il réduit à 1 h au maximum le traitement chaleur qui peut durer jusqu'à 24h avec les autres méthodes (20, 22). Des détails sur son utilisation et son efficacité sont disponibles (15, 16, 18).

En dépit des progrès enregistrés dans l'étude de la résistance à la chaleur du sorgho, il existe une indigence d'information sur d'importants aspects de cette propriété, notamment l'influence du cycle de la plante et celle de son âge. Smit (14) a considéré ce premier aspect comme négligeable. Il a de plus fait observer que dans les conditions de champ, les températures ambiantes peuvent affecter la résistance à la chaleur. Sullivan *et al.* (16) ont trouvé que dans les conditions de serre, la résistance à la chaleur du cultivar de sorgho M 35-1 restait la même, que les plantes soient âgées de 19 ou de 27 jours. Il a signalé le contraire dans le cas du cultivar RS626.

Le présent travail met à profit toutes les considérations susmentionnées. Il a été réalisé en 1977 à l'Université Laval de Québec avec huit cultivars de sorgho choisis en fonction des conditions semi-arides du Sénégal. Les objectifs visés peuvent se résumer comme suit:

- Etudier les réactions du matériel végétal au test osmotique de germination au PEG et au test de résistance à la chaleur par la méthode disques foliaires - conductivité électrique
- Déterminer l'influence de l'âge et du cycle des plantes sur leur résistance à la chaleur.

- Comparer les résultats obtenus avec ces deux tests et évaluer la capacité des cultivars à s'adapter aux conditions du Sénégal.

Matériel et méthodes

Détails sur le matériel végétal

Les cultivars utilisés pour le test osmotique de germination et le test de résistance à la chaleur présentés ci-après sont au nombre de huit: CE-90, 7410 KHONE, 7531-V15, 51-69 AT, 68-20, NK300, MN 1056 et 954063. Les trois premiers sont originaires du Sénégal, le quatrième du Tchad, le cinquième de l'Inde et les autres des Etats-Unis. Leur cycle semis-maturité est de 100, 110, 110, 135, 100, 100, 120 et 90 jours respectivement. CE-90, 51-69 AT et NK300 sont considérés comme résistants à la sécheresse dans les conditions du Sénégal.* Le dernier jouit aussi de cette réputation dans le Nord-Est brésilien (11). CE-90 est un parent commun à 7410 KHONE et à 7531-V15 qui appartiennent tous deux à la génération F₂ d'un croisement effectué au Centre National de la Recherche Agronomique de Bambey, Sénégal. 7531-V15 est considéré toutefois comme plus résistant à la sécheresse que 7410 KHONE.

Protocole expérimental pour le test osmotique de germination

On a mené le test de germination suivant une méthodologie qui a été employée dans un travail antérieur sur le sorgho (11). Avec le dessiccant polyéthylène glycol ou PEG, (nom commercial Carbowax 400) on a préparé des concentrations de 0, 6, 8, 10 et 12% en poids. Les pressions osmotiques développées par celles-ci ont été mesurées avec une chambre Wescor C-51. Elles correspondaient à 0,86, 4,80, 6,58, 8,70 et 10,88 bars respectivement. On plaça ensuite par lots de 50 les semences (des huit cultivars) de sorgho, préalablement traitées au thirane, sur deux disques de papier filtre Whatman N° 1, 9,0 cm. On disposa les disques dans des boîtes de Patri. Avant d'ajuster le couvercle de ces boîtes, on recouvrit les semences d'un troisième disque. L'humectation de chaque boîte se fit avec 6 ml de l'une des concentrations déjà mentionnées. L'arrangement des boîtes eût lieu suivant un dispositif en tiroir ("split plot") mis en place dans une chambre de croissance Model EF7 Conviron. La température à l'intérieur de cet appareil a été maintenue à 28° C à l'obscurité.

Le dispositif se composa de 5 blocs × 5 traitements × 8 cultivars. On recommença l'essai une semaine plus tard. Les observations ainsi enregistrées représentèrent les nombres moyens de semences qui ont germé au cours des deux essais. Ces valeurs furent ensuite exprimées en pourcentages de germination par

* DENIS, J.C. Communication personnelle, CNRA, Bambey, Sénégal. 1976.

rapport aux témoins pour supprimer les effets des différences de viabilité entre les cultivars. Dans le texte, on a envisagé la germination dans ce sens, sauf précision contraire. Une conversion des données en arcsin $\sqrt{\text{pourcentages}}$ préleva à l'analyse de variance. Pour réaliser cette opération, on a utilisé une calculatrice Hewlett Packard.

Protocole expérimental pour le test de la résistance à la chaleur

La croissance des cultivars de sorgho se réalisa dans une serre gardée à 33° c pendant le jour et 23° C la nuit et maintenue à une humidité relative de 70% environ. Ces conditions ont simulé celles qui prévalent en moyenne à Bambey, Sénégal durant la saison agricole ou pluvieuse, c'est-à-dire de juin à octobre.

L'intensité lumineuse au niveau des plantes atteignait 3000 pied-chandelles (600 ME)*. Vingt lampers High Pressure Multivapor Sodium de 1000 watts chacune la garantissaient 12 heures/jour.

On réalisa le semis dans des pots suivant le dispositif employé pour le test osmotique de germination. La présente expérience s'effectua avec 5 blocs \times 3 niveaux d'âge (40, 54 et 68 jours) \times 8 cultivars soit 120 pots au total. Ces derniers avaient un diamètre de 15 cm. Ils étaient remplis chacun de 3,5 kg d'un milieu contenant en pourcentage, base poids, les produits suivants:

— Vermiculite	: 4,700
— Perlite	: 4,700
— Mousse de tourbe	: 12,100
— Sable	: 77,772
— Engrais (20-20-20)	: 0,219
— Mag Amp (4-40-6)	: 0,029
— CaCO ₃ hydrate	: 0,316
— Superphosphate 200	: 0,027
— Phosphate de calcium	: 0,012
— Fritt 302 (microéléments concentrés)	: 0,030
— Chelate de fer	: 0,001

Ce milieu accusait un pH de 6,8 environ. La densité des plantes par pot était de 3 après la levée. L'arrosage se faisait au besoin. L'application du traitement chaleur portait sur une plante par pot. La procédure employée fut celle de la technique des disques foliaires - conductivité électrique, telle que commentée précédemment. Elle est détaillée ci-après.

Avec un emporte-pièce on a prélevé 20 disques de 1 cm de diamètre sur la deuxième feuille bien développée (en partant du sommet) des plantes, soit 10 de chaque côté de la nervure principale. On les a placés dans des béciers contenant de l'eau déionisée. Le lavage des disques s'effectua dans des tubes à essai remplis aux trois quarts de cette eau et gardés sur des supports. L'opération s'est répétée trois fois pendant une période de 24 h.

A la fin du dernier lavage, les tubes sont divisés en 2 groupes: témoins et traitements. Les premiers ont reçu chacun 30 ml d'eau déionisée. Une couche de papier transparent Saranwrap étendue sur leur extrémité libre prévient l'évaporation. Les tubes "traitements" reçurent aussi la même protection. Les soins spéciaux dont ils étaient l'objet consistaient à les exposer pendant 1h à la température de 51,5° d'un bain-marie. Après refroidissement à la température du laboratoire, ces tubes reçurent également 30 ml d'eau déionisée chacun. Tous les tubes à essai de l'expérience passèrent la nuit dans une chambre de croissance maintenue à 10° C.

Le lendemain on a rapporté tous les tubes au laboratoire où ils n'ont pas tardé à prendre la température du laboratoire. La mesure de la conductivité électrique eût lieu à la température standard de 25° C avec un conductimètre (pont de conductivité). Une exposition immédiate de tous les tubes à la température de 85° C pendant 15 minutes a permis de tuer les disques. Une nouvelle mesure de la conductivité électrique s'effectua ensuite dans les mêmes conditions que précédemment.

La détermination du pourcentage des dommages causés aux tissus foliaires est basée sur les détails présentés ci-après. A titre d'exemple, on a jugé utile de donner des valeurs à la conductivité électrique des catégories de tubes:

— Témoin (To)	: 3,35 micromhos/cm
— Témoin tué (Tot)	: 57,00
— Traitement (T)	: 26,18
— Traitement tué (Tt)	: 47,45

Calculs

$$\frac{To}{Tot} = \frac{3,35}{57,00} = 5,88\%; 100\% - 5,88\% =$$

94,12% intact.

$$\frac{T}{Tt} = \frac{26,18}{47,45} = 55,17\%; 100\% - 55,17\% =$$

44,83% intact

$$\frac{44,83}{94,12} = 47,63\% \text{ intact}; 100\% - 47,63\% =$$

52,37% de dommages.

Comme ce fut le cas avec le test osmotique de germination, on a répété deux fois l'expérience et pris la moyenne des observations des deux essais. Une transformation des données en arcsin $\sqrt{\text{pourcentages}}$ eût également lieu avec l'analyse de variance. Le programme SACADOS-APL disponible à l'Université Laval a permis de réaliser cette opération et celles qui sont commentées plus loin dans le texte.

* 32.291, 7 lux

Tableau 1.—Germination de 8 cultivars de sorgho grain sous l'action de 5 concentrations de Carbowax 400; les observations entre parenthèses représentent les pourcentages moyens de semences qui ont germé au cours des deux tests.

Concentration de Carbowax (% en poids)	Pression osmotique (bars)	Cultivars de sorgho grain										Moyenne
		CE-90	74110 KHONE	7531-V15	51-69AT	6820	NK300	MN 1056	954063			
0	0,86	100 a* (96)	100 a (72)	100 a (97)	100 a (89)	100 a (79)	100 a (83)	100 a (98)	100 a (84)	100 a (98)	100 a (84)	100 a (84)
6	4,80	86 b	27 b	85 b	77 b	44 b	84 b	81 b	69,8 b	81 b	69,8 b	69,8 b
8	6,58	72 c	13 c	72 b	64 c	20 c	70 c	60 c	53,5 c	60 c	53,5 c	53,5 c
10	8,70	56 d	3 d	47 c	43 d	15 cd	48 d	44 d	42,5 c	44 d	42,5 c	42,5 c
12	10,88	36 eB**	0 dA	27 dB	23 eB	8 dA	26 eB	25 eB	21,1 d	25 eB	21,1 d	21,1 d

* Les valeurs suivies d'une même lettre minuscule dans une colonne ne sont pas significativement différentes (P=0,05 test multiple de Duncan).

** Les valeurs suivies d'une même lettre majuscule dans une rangée ne sont pas significativement différentes (P=0,05 test multiple de Duncan).

Tableau 2.—Germination de 11 cultivars de sorgho grain sous l'action de 6 concentrations en poids de Carbowax 400; les valeurs entre parenthèses représentent les pourcentages moyens de semences qui ont germé au cours des deux tests (11).

Concentration de Carbowax (% en poids)	Pression osmotique (bars)	Cultivar											Moyenne
		CE-90	69-1	RS626	NK300	C-12Y	X-1027	RS610	NB9776K	G393	M 35-1	Meloland	
0	0,86	100 a* (94)	100 a (84)	100 a (87)	100 a (77)	100 a (78)	100 a (92)	100 a (57)	100 a (74)	100 a (88)	100 a (71)	100 a (53)	100 (77,7)
4	3,22	98 a	97 ab	96 b	88 b	87 b	90 b	76 b	90 b	71 b	88 b	69 b	86,3
6	4,80	97 a	90 bc	89 b	79 b	75 b	83 b	68 b	86 b	55 bc	61 c	43 c	75,0
8	6,58	84 b	75 c	64 c	60 c	57 c	56 c	46 c	51 c	39 c	42 d	21 d	54,0
10	8,70	62 c	46 d	41 d	43 c	32 d	29 d	27 d	32 d	21 d	22 e	13 d	33,4
12	10,88	38 dA**	25 eAB	23 eAB	21 dAB	21 dAB	14 eBC	12 eBC	11 eBC	6 eCD	5 fCD	1 eD	16,0

* Les valeurs suivies d'une même lettre minuscule dans une colonne ne sont pas significativement différentes (P=0,05 test multiple de Duncan).

** Les valeurs suivies d'une même lettre majuscule dans une rangée ne sont pas significativement différentes (P=0,05, test multiple de Duncan).

Résultats

Test osmotique de germination

Le Tableau 1 présente les réponses des huit cultivars de sorgho aux contraintes hydriques développées par les diverses concentrations de PEG (Carbowax 400)

Ces données indiquent de façon nette que toute augmentation de la concentration du PEG se traduit par une diminution sensible de la germination des cultivars. Le graphique de Fig 1 met en évidence la linéarité des relations existant entre le pourcentage moyen de germination pour l'ensemble des cultivars et la pression osmotique du dessiccant. La valeur négative qui accompagne x dans l'équation de régression indique que le droite décline à raison de $-7,33\%$ de germination par bar de pression osmotique. La corrélation existant entre la germination et la pression osmotique ($r^{**} = -0,993$) est négative naturellement et voisine de l'unité.

Il est intéressant de noter que sur la base des réponses enregistrées à la pression osmotique de 10,88 bars, les cultivars tendent à se diviser en 3 groupes (Tableau 1):

- 1er. groupe: CE-90 (30-36% de germination)
- 2e. groupe: 51-69AT, MN1056, 954063, NK300 et 7531-V15 (23-27% de germination)
- 3e. groupe: 7410 KHONE, 68-20 (0-8% de germination).

Au point de vue statistique il n'y a pas de différences significatives entre les cultivars qui figurent dans les 2 premiers groupes. Par contre ces cultivars ont une plus forte capacité de germer que 68-20 et 7410 KHONE ($P = 0,05$). Le fait que les premiers représentent 75% du matériel végétal n'a rien d'étonnant si l'on considère que dans le choix de ce matériel on a misé sur ses fortes possibilités de s'adapter aux conditions semi-arides du Sénégal.

En jetant un coup d'oeil sur le Tableau 2 extrait du travail antérieur sur le sorgho (11) auquel on a déjà fait allusion, il est facile d'observer que le sorgho qui y figure est beaucoup plus diversifié que celui du Tableau 1. De plus celui-là paraît plus affecté en moyenne par les pressions osmotiques de 8,70 et de 10,88 bars. On peut signaler en passant que l'étude des relations entre la germination au PEG et la résistance à la sécheresse du sorgho et non l'évaluation de cette résistance constitue l'objectif poursuivi dans l'investigation d'où est extrait le Tableau 2.

Test de chaleur

Le degré de résistance à la chaleur des cultivars est reflété au Tableau 3 par les pourcentages des dommages causés aux disques foliaires. Sullivan (15)

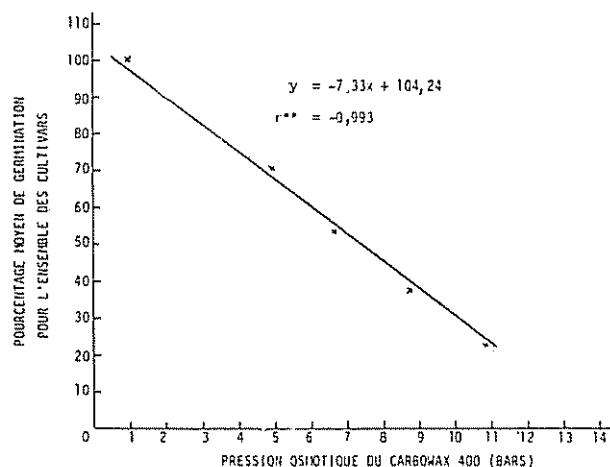


Fig. 1.—Effet dépressif du Carbowax 400 sur le profil moyen de germination pour les huit cultivars de sorgho.

a évalué de cette façon la résistance à la chaleur des cultivars de maïs, de sorgho et de millet. Il va de soi que plus un pourcentage est élevé, plus faible est la résistance à la chaleur.

Les valeurs moyennes obtenues à 40, 54 et 68 jours indiquent que l'âge n'a pas d'effet apparent sur la résistance à la chaleur des cultivars pris dans leur ensemble. Au niveau individuel, on observe cependant

Tableau 3.—Résistance à la chaleur de huit cultivars de sorgho grain de cycle variable à 40, 54 et 68 jours après le semis; traitement 1h X 51,5° C.

Cultivars	Cycle (jours)	Pourcentages de dommages causés aux disques foliaires (moyennes de 2 tests)			
		Age (jours)			
		40	54	68	Moyenne
CE-90	100	56,7 b*	38,7 ab	48,3 ab	47,9 ab
7410 KHONE	110	48,0 ab	47,3 ab	47,4 ab	47,5 ab
7531-V15	110	42,2 ab	53,9 b	41,0 ab	45,7 ab
51-69AT	135	44,9 a	31,1 a	33,6 a	36,5 a
68-20	100	68,3 b	76,8 c	55,3 b	66,8 c
NK300	100	51,1 ab	51,3 b	35,4 a	45,9 ab
MN 1056	120	48,6 a	56,5 b	48,2 a	51,1 b
954063	90	39,9 a	50,8 ab	55,8 b	48,8 a
Moyenne	108,1	49,9 A**	50,8 A	45,6 A	48,7 A

* Les valeurs suivies d'une même lettre minuscule dans une colonne ne sont pas significativement différentes ($P=0,05$, test multiple de Duncan).

** Les valeurs suivies d'une même lettre majuscule dans une rangée ne sont pas significativement différentes ($P=0,05$, test multiple de Duncan).

certaines fluctuations dans le comportement de ces derniers. 7410 KHONE se distingue par une étonnante stabilité.

En comparant les tendances dégagées par les cultivars au niveau de chaque âge, on remarque que l'ordre de résistance à la chaleur subit certaines modifications avec le temps. Par exemple 51-69AT n'est pas significativement différent de MN1056 à 40 jours. Il n'en est pas de même à 54 jours. Le cultivar 68-20 est nettement différent des autres cultivars à 40 jours. Cependant, sa résistance est statistiquement comparable à celle des autres, 51-69AT et NK 300 exceptés, à 68 jours.

L'étude des rapports entre la durée du cycle (semis-maturité) des cultivars et la résistance à la chaleur calculée pour chaque niveau d'âge a abouti aux coefficients de corrélation suivants:

$$r = -0,22 \text{ pour } 40 \text{ jours}$$

$$r = -0,44 \text{ pour } 54 \text{ jours}$$

$$r = -0,61 \text{ pour } 68 \text{ jours}$$

Ces valeurs signalent une augmentation *pari passu* de r avec l'âge des plantes de sorgho. Elles indiquent donc une influence de plus en plus forte du cycle sur les plantes qui vieillissent. Le caractère négatif de la corrélation permet d'affirmer que les cultivars tendent à être d'autant plus résistants à la chaleur que leur cycle est plus long. Cette opinion est valable jusqu'à concurrence de 22, 44 et 61% pour les niveaux d'âge respectifs de 40, 54 et 68 jours.

Si l'on analyse maintenant le comportement moyen des cultivars tel qu'évalué à la dernière colonne du Tableau 3, il est facile de déduire que le sorgho étudié dans le présent travail est raisonnablement résistant à la chaleur. Deux cultivars seulement ont accusé des pourcentages de dommages supérieurs à 50%: MN 1056 et 68-20. Au point de vue statistique, 51-69AT est significativement comparable au reste des cultivars à l'exception de MN1056 et de 68-20 ($P=0,05$). 68-20 est plus susceptible à la chaleur que tous les autres cultivars. On a vu qu'il fait partie avec 7410 KHONE du groupe de cultivars le plus faible en ce qui a trait à la germination à la contrainte hydrique maximale (Tableau 1). Cependant la résistance à la chaleur du dernier cultivars est de loin supérieure à sa capacité de germer dans les conditions adverses d'humidité.

Comparaison des résultats du test de la résistance à la chaleur avec ceux du test osmotique de germination.

Dans l'ensemble on peut dire que le test de la résistance à la chaleur, à l'instar du test osmotique de germination, a fait ressortir la rusticité de la plupart des cultivars engagés dans la présente étude. Même s'il n'est pas possible de parler de concordance parfaite entre les résultats des deux tests, il est pertinent de souligner qu'ils sont liés par des coefficients de corrélation intéressants. La valeur de r qui associe les

pourcentages moyens des dommages (Tableau 3) aux pourcentages de germination enregistrés à la contrainte hydrique maximale (Tableau 1) est de $-0,42$. Comme la valeur des pourcentages moyens de dommages, 48,7, (Tableau 3) est voisine de 50, il s'avère utile de faire une nouvelle comparaison, basée cette fois-ci sur les réponses à la contrainte hydrique qui réduit de 50% environ la germination moyenne des cultivars. C'est à la contrainte hydrique de 6,58 bars qu'on obtient le pourcentage moyen de germination (53,5%) qui satisfait à cette condition. En étudiant le degré de corrélation entre les réponses susmentionnées et les pourcentages moyens de dommages causés par la chaleur, on obtient une valeur de r égale à $-0,57$.

Le caractère négatif des deux valeurs de r indique que ces pourcentages de dommages et les pourcentages de germination évoluent en sens contraire. En d'autres termes, plus le pourcentage de dommages est élevé, plus faible tend à être le pourcentage de germination. On a déjà signalé qu'un pourcentage de dommages élevé est un indice d'une faible résistance à la chaleur et vice-versa.

Discussion

Les résultats du test osmotique de germination réalisés dans le présent travail (Tableau 1) ont été obtenus avec la même précision expérimentale que ceux qui sont extraits d'une étude antérieure sur le sorgho (Tableau 2). En effet les cultivars communs aux deux investigations, CE-90 et NK300, exposés à la contrainte hydrique de $-10,88$ bars ont gardé dans les deux cas le même profil de réponse. En ce qui concerne la pertinence même du test dans des recherches sur l'adaptation du sorgho en milieu semi-aride, il est nécessaire de souligner que, lors de la sécheresse sévère qui a frappé la zone sahélo-soudanaïenne au début de cette décennie, 2/3 des plantations de sorgho ont été anéanties très peu de temps après le semis. Par ailleurs, le test osmotique de germination, en plus de confirmer la réputation dont jouissent les cultivars CE-90, NK 300, 51-69AT et 7531-V15, a l'avantage d'être très pratique pour la sélection du sorgho au point de vue de la résistance à la sécheresse. N'utilisant que des semences, il permet en effet de travailler à la fois avec un grand nombre de cultivars, moyennant une main-d'oeuvre adéquate.

Ces considérations n'affectent en rien l'importance du test de la résistance à la chaleur et de celle des résultats auxquels cette étude a conduit. Comme l'ont fait remarquer Sullivan, Norcio and Eastin (18), dans les conditions naturelles, des températures élevées accompagnent fréquemment la sécheresse. Dans le cas concret du Sénégal, les vents secs et chauds qui y soufflent font craqueler ou briser les plantes de sorgho. En ce qui a trait au comportement des cultivars testés dans le présent contexte, il est permis de faire état de la grande rusticité de la plupart d'entre eux, à l'instar de ce qui s'est produit avec le test osmotique.

de germination. Dans le cas particulier des cultivars 7531-V15 et 7410 KHONE qui ont CE-90 comme parent commun, un rétrocroisement avec le dernier cultivar n'est pas susceptible d'améliorer leur résistance à la chaleur. Une telle démarche serait bénéfique cependant à 7410 KHONE pour améliorer sa capacité de résister aux conditions adverses d'une contrainte hydrique sévère (Tableaux 1 et 3).

L'analyse d'autres aspects des résultats du test de chaleur suscite plusieurs raisonnements. Primo, les quelques changements que connaît avec l'âge l'ordre de la résistance (à la chaleur) des cultivars ne sont pas sans rappeler ceux qu'ont observés Blum et Ebercon (1) avec la résistance à la dessiccation du sorgho. Secundo, l'influence grandissante du cycle sur la résistance à la chaleur des plantes en instance de vieillissement pourrait être exploitée dans les zones où la saison pluvieuse est assez longue pour permettre la culture de cultivars à cycle long. Tertio, l'existence d'une corrélation négative entre les réponses des cultivars aux contraintes hydriques de $-6,58$ et de $-10,88$ bars et celles qu'engendre le traitement chaleur suggère que jusqu'à concurrence de 42 à 57% les résultats des deux tests évoluent en sens contraire. Force est cependant de tenir compte des remarques antérieures sur la signification des pourcentages de dommages au point de vue de la résistance à la chaleur. Quant à l'importance de la corrélation, il est utile de mentionner que les quelques valeurs de r calculées pour les propriétés du sorgho associées à la résistance à la sécheresse sont très variables. Par exemple Blum et Ebercon (1) ont trouvé des valeurs de $-0,065$ et $-0,165$ pour les rapports entre les pourcentages de dommages causés par la dessiccation d'une part, l'accumulation maximale de proline dans les feuilles et le degré de turgescence de ces organes après sécheresse et arrosage subséquent d'autre part. Ces auteurs ont trouvé par contre une valeur de r de $0,876$ pour les rapports degré de turgescence foliaire - accumulations de proline.

Pour résumer, il est permis de croire que 75% des cultivars de sorgho soumis au test osmotique de germination et au test de chaleur possèdent des propriétés qui expliquent ou peuvent faciliter leur adaptation aux conditions semi-arides du Sénégal. Le doute subsiste pour 7410 KHONE. Quant à 68-20, il est prudent de l'écartier de tout programme de vulgarisation variétale dans cette région. A ce stade du raisonnement, il convient de signaler que la complexité du phénomène de la résistance à la sécheresse, interdit qu'on considère comme exhaustive l'information expérimentale accumulée sur les huit cultivars. D'autres aspects non étudiés ici comme la résistance à la dessiccation, l'équilibre entre la croissance des parties aériennes et celle des parties souterraines des plantes peuvent jouer un rôle occasionnel ou permanent dans le comportement de ces dernières dans les conditions de champ (12). Il en est de même des facteurs ambiants.

Résumé

On a entrepris l'étude de la résistance à la sécheresse du sorgho-grain en milieu contrôlé avec trois cultivars adaptés aux conditions semi-arides du Sénégal et cinq autres qui sont susceptibles de l'être.

Les travaux expérimentaux se composèrent de tests osmotiques de germination avec le polyéthylène glycol ou PEG et de tests de résistance à la chaleur ($1h \times 51,5$ C) avec des plantes âgées de 40, 54 et 68 jours. Pour les tests de résistance à la chaleur on a utilisé la méthode disques foliaires - conductivité électrique.

Les résultats expérimentaux ont démontré que la plupart des cultivars étaient capables de résister aux conditions adverses. Ils ont permis de déduire que la technique de germination, plus facile à réaliser que le test de chaleur est plus pratique que ce dernier pour sélectionner les cultivars de sorgho au point de vue de la résistance à la sécheresse. Apparemment l'âge n'a pas eu d'effet direct sur la résistance à la chaleur des cultivars. Il a cependant influencé les relations entre cette propriété et le cycle semis-maturité des plantes. Les valeurs du coefficient de corrélation étaient de $-0,22$, $-0,44$ et $-0,61$ pour les plantes âgées de 40, 54 et 68 jours respectivement. Elles ont donc reflété la tendance des plantes à devenir plus résistantes à la chaleur en vieillissant.

Remerciements

L'auteur tient à remercier de façon particulière Dr. Jacques Denis, responsable de l'amélioration du sorgho au Centre National de la Recherche Agronomique de Bambey, Sénégal, pour le rôle important qu'il a joué dans la sélection et l'envoi du matériel végétal utilisé dans l'investigation. Il le remercie également de son sens critique et de l'aide apportée dans l'accumulation de l'information pertinente.

La reconnaissance est due aux Drs J.D. Eastin et C.Y. Sullivan de l'Université de Lincoln-Nebraska pour l'intérêt soutenu qu'ils ont manifesté envers les présentes recherches. Celles-ci ont été financées par le Centre de Recherches pour le Développement International d'Ottawa.

Resumen

Se realizaron estudios de resistencia a la sequía del sorgo de grano, en condiciones controladas, con tres cultivares adaptados a las condiciones semiáridas de Senegal y cinco de posible comportamiento similar. Los trabajos experimentales comprendieron pruebas osmóticas de germinación con el polietileno glicol (PEG), y de pruebas de resistencia al calor ($1h \times 51,5$ C) con plantas de 40, 54 y 68 días de edad. Para las pruebas de resistencia al calor se utilizó el método de conductividad eléctrica con discos foliares.

Los resultados experimentales demostraron que la mayor parte de los cultivares fueron capaces de resistir las condiciones adversas. Permiten deducir que la

técnica de germinación, más fácil de realizar, es más práctica que la prueba de calor para seleccionar los cultivares de sorgo desde el punto de vista de la resistencia a la sequía. Aparentemente, la edad no tiene un efecto directo sobre la resistencia de los cultivares al calor. Sin embargo, influyó en cierto modo la relación entre esta propiedad y el ciclo de la madurez en las plantas. Los valores de los coeficientes de correlación fueron de $-0,22$, $-0,44$ y $-0,61$ para plantas de 40, 54 y 68 días de edad, respectivamente. Reflejaron así la tendencia de las plantas a volverse más resistentes al calor conforme pasa el tiempo.

Littérature citée

1. BLUM, A et EBERCON, A Genotypic responses in sorghum to drought stress III. Free proline accumulation and drought resistance. *Crop Science* 16 (3): 428-431 1976
2. GAUTREAU, J. Recherches variétales sur la résistance de l'arachide à la sécheresse I. Les tests de germination à pression osmotique élevée. *Oléagineux* 7: 441-444 1966
3. KROCHKO, J.E. et BEWLEY, D. Poikilohydrous plants: the extreme case of drought tolerance. What's New in Plant Physiology (WNPP) 7 (8): 1-3. 1975.
4. LEVITT, J. The hardiness of plants. New York, Academic Press, 1956. 278 p.
5. ——— Responses of plants to environmental stresses. New York, Academic Press, 1972. 697 p.
6. MANOHAR, M.S. Effect of osmotic systems on germination of peas. *Planta* 71: 81-86. 1966.
7. MARTIN, J. The comparative drought resistance of sorghum and corn. *Journal of the American Society of Agronomy* 22:903-1003. 1930.
8. MAY, L. et MILTHORPE, F. Drought resistance of crop plants. *Field Crop Abstracts* 15 (3): 171-179. 1962
9. OPPENHEIMER, H. Adaptation to drought: Xerophytism. *In* Recherches sur la zone aride. Echange hydrique des plantes en milieu aride ou semi-aride. Compte-rendu de recherches. Paris, UNESCO. 1961 pp. 105-138.
10. ORDIN, K., APPLEWHITE, T.H. et BONNER, J. Auxin-induced water uptake by *Avena* coleptile sections. *Plant Physiology*, 31:44-53 1956.
11. SAINT-CLAIR, P.M. Germination of *Sorghum bicolor* L. under polyethylene glycol-induced stress. *Canadian Journal of Plant Science* 56:21-24. 1976.
12. ——— Croissance racinaire de cultivars de sorgho grain. *Le Naturaliste Canadien* 104 (6): 537-541 1977.
13. SLAVIK, B. Method of studying plant-water relations. New York, Springer-Verlag, 1974. 4-49 p. (Ecological Studies 9).
14. SMIT, D.H. Selected studies in heat tolerance in grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). *In* Research in the physiology of yield and management of sorghum in relation to genetic improvement. University of Nebraska Annual Report 7. 1973. 167 p.
15. SULLIVAN, C.Y. Mechanisms of heat and drought resistance in grain sorghum and methods of measurement. *In* Sorghum in seventies. Editors RAO, N.G.P. and HOUSE, I.R. Oxford and IBH, New Delhi, 1972. 638 p.
16. ——— et al. Physiological selections for drought resistance in sorghum. *In* Research in the physiology of yield and management of sorghum in relation to genetic improvement. University of Nebraska Annual Report 7. 1973. 167 p.
17. ———, EASTIN, J.D. et KINBACHER, E.J. Finding the key to heat and drought resistance in grain sorghum. *The Farm, Ranch and Home Quarterly*, University of Nebraska. Summer. 1968.
18. ———, NORCIO, N.V. et EASTIN, J.D. Plant responses to high temperatures. *Proceedings of International Symposium on Genetic Diversity in Plants*. Lahore, Pakistan, 1976. Sous presse.
19. THIMANN, K.V., LOOS, G.M. et SAMUEL, E.W. Penetration of mannitol into potato discs. *Plant Physiology* 35:848-853. 1960.
20. WILLIAMS, T., SNELL, R. et ELLIS, J. Methods of measuring drought tolerance in corn. *Crop Science* 7: 179-182. 1967.
21. WILSIE, C. The moisture factor. *In* Crop adaptation and distribution, San Francisco. W. H. Freeman, 1961.
22. WRIGHT, N. et STREETMAN, I. Grass improvement for the Southwest relative to drought evaluation. Tucson Agricultural Experiment Station, University of Arizona, Technical Bulletin 143. 1960. 16 p.