

Expression de différents écotypes de gombo (*Abelmoschus esculentus* L.) au déficit hydrique intervenant pendant la boutonnisation et la floraison.

Mahamadou Sawadogo ⁽¹⁾, Gérard Zombre ⁽²⁾, Didier Balma ⁽³⁾

⁽¹⁾ Université de Ouagadougou, UFR/SVT. 03 BP 7021 Ouagadougou 03 (Burkina Faso). E-mail : sawma@univ-ouaga.bf - amsocologe@yahoo.fr

⁽²⁾ Université de Ouagadougou, UFR/SVT. 03 BP 7021 Ouagadougou 03 (Burkina Faso).

⁽³⁾ Institut de l'Environnement et de Recherches agricoles (INERA). Centre de Recherches environnementales et agricoles de Kamboinse (CREAF). 01 BP 476 Ouagadougou 01 (Burkina Faso).

Reçu le 25 juin 2005, accepté le 27 octobre 2005

Nonobstant ses multiples utilisations et son apport nutritionnel avéré, le gombo est cultivé sur de très petites surfaces, aux abords des cases et souvent dans les dépotoirs. À ce peu d'intérêt s'ajoutent la sécheresse et les maladies qui provoquent une réduction importante de sa production, l'amenant ainsi à jouer les derniers rôles dans les programmes de recherches agricoles du pays et ce malgré l'existence d'écotypes à cycle court ou résistants à certaines contraintes abiotiques. Le faible taux d'existence des variétés améliorées milite en faveur d'une stratégie de sélection participative qui prend en compte les critères de sélection des paysans, intégrant la tolérance ou la résistance du génotype aux conditions drastiques du milieu telles le déficit hydrique aux périodes critiques de la réalisation de son potentiel génétique. Six écotypes obtenus par une sélection variétale participative dans cinq directions régionales agricoles (DRA) du Burkina Faso ont fait l'objet d'une évaluation à la tolérance au déficit hydrique survenant lors de la boutonnisation et de la floraison. Les résultats obtenus montrent que l'effet du stress hydrique en phase de boutonnisation est très néfaste pour le gombo. Il se manifeste par une baisse des composantes du rendement que sont la longueur, le diamètre, le nombre et le poids des fruits. Deux types de période de floraison chez le gombo ont été constatés : celui qui intervient pendant la phase de croissance accélérée de la tige principale (type 1) et celui qui s'installe une fois que commence l'amorce du ralentissement de la croissance de la tige principale (type 2) ; ce dernier type est le plus fréquemment rencontré. Le stress hydrique en phase de boutonnisation conduit à une précocité de floraison chez les plantes de type 2 et à un retard de floraison pour le type 1. Les variables qui discriminent le mieux les écotypes de gombo sous stress hydrique sont la teneur relative en eau (RWC), la longueur et le nombre de fruits. Trois écotypes (V1, V3 et V4) sont retenus pour être inclus dans un programme d'amélioration variétale du gombo à la résistance au déficit hydrique.

Mots-clés. Gombo, déficit hydrique, stress de boutonnisation, stress de floraison.

Behaviour of different ecotypes of okra (*Abelmoschus esculentus* L.) under water deficit during budding and flowering phases. Despite numerous uses and its well known nutritional value, okra is cultivated on very small surfaces, on surroundings of traditional houses and often in dumping ground. To this little interest are added drought, diseases and pests that generate an important reduction of yield, leading okra to play the last roles in agricultural research programs of the country and this, despite the existence of early maturing ecotypes or resistant to some abiotic constraints. The low rate of improved varieties is the proof that it is necessary to develop strategies for participatory breeding programs that take into account farmers selection criteria including genotypes tolerant or resistant to drastic conditions such as water deficit to periods where the plant is expressing its genetic potential. Six ecotypes obtained through participatory plant breeding process in five agricultural districts of the country have been assessed for the tolerance to the drought occurring during the budding and the flowering phases. Results show that water deficit during budding phase has disastrous consequences for okra plants. The yield declines, and also the length, the number and the weight of fruits. Two types of period of flowering phases of okra plant have been observed: the period which intervenes during the accelerated growth phase of the main stem (type 1) and the one which starts once the growth of main stem begins to decline (type 2); this last type is the most frequently met. Water deficit during the phase of budding causes earlier flowering of type 2 plants and leads to delayed flowering of the type 1 plants. The best variables for discriminating okra ecotypes during water deficit are the relative water content (RWC), the length and the number of fruits. Three ecotypes (V1, V3 and V4) are chosen to be used in breeding program of okra for resistance to water deficit.

Keywords. Okra, water deficit, budding stress, flowering stress.

1. INTRODUCTION

Le gombo fait partie de la famille des Malvacées. Cette famille est représentée au Burkina Faso par plusieurs espèces cultivées telles le cotonnier (*Gossypium barbadense* L.) cultivé pour ses fibres et ses graines, l'oseille (*Hibiscus sabdariffa* L.) et le gombo (*Abelmoschus esculentus* L.). Le gombo est caractérisé par une diversité de la forme et de la couleur des fruits et des tiges (Seck, 1991) (**Photo 1**). C'est un légume que l'on retrouve à l'état frais dans tous les marchés durant la période hivernale et à l'état sec (tranches, rondelles séchées ou en poudre) durant la saison sèche. Cela est dû à sa richesse en mucilage, à sa forte valeur marchande et à son importance vitale dans l'alimentation des populations des villes et des campagnes (Projet de conservation *in situ*, INERA/BF, 2001). Il existe même des variétés qui sont recommandées pour faciliter ou enrichir la nutrition des malades. Le gombo revêt une importance économique considérable pour la gent féminine et joue un rôle essentiel dans l'équilibre nutritionnel des populations rurales. Le fruit est en effet riche en glucides (7 à 8 % de la matière sèche) présents sous forme de mucilage. Il est assez pauvre en fibres mais riche en protéines pour un légume fruit (1,8 % de la matière sèche), l'acide aspartique et l'arginine représentent 10 % des acides aminés. Malgré une teneur moyenne en vitamine A (300 UI), les teneurs en thiamine, riboflavine, acide ascorbique (Vitamine C) sont bonnes. Une consommation quotidienne de 100 g de gombo frais fournirait environ 20 % des besoins en calcium, 15 % des besoins en fer et 50 % des besoins en vitamines C (Hamon, 1988). Il contient peu de calcium (90 mg pour 100 g), de phosphore (56 mg) et de magnésium (43 mg pour 100 g), et très peu de potassium.

Selon Hamon (1988), les travaux les plus importants ont été réalisés en Inde et au Sud des États-Unis. Ils ont accordé une importance aux



Photo 1. Deux écotypes de gombo — *Two ecotypes of okra species.*

caractéristiques de la pigmentation des diverses parties de la plante et se sont intéressés aux formes des fruits, aux types foliaires et au degré de pubescence. Hamon (1983) soutient que l'étude de la variabilité génétique du genre *Abelmoschus* n'a jamais été réellement abordée. Très peu d'informations sont disponibles sur la variabilité génétique de l'espèce cultivée *A. esculentus* en général, et en particulier en Afrique de l'Ouest (Hamon, 1988). Les études récentes réalisées sur le genre en Afrique de l'Ouest sont basées sur la caractérisation agromorphologique de certains paramètres tels que la densité des plantes, la productivité (Fondio, Kouame, 1999) ou sur certaines interactions entre le génotype et l'environnement (Ariyo, Ayo, 2000). Aucune de ces études ne sont réalisées dans les conditions agro-écologiques similaires de nos sites. Par ailleurs, les aspects physiologiques de cette plante ne sont nullement abordés.

La culture du gombo reste une activité essentiellement féminine au Burkina Faso. Depuis les semis jusqu'aux récoltes, les fruits, les feuilles et les graines de gombo sont manipulés par la gent féminine qui l'affectionne surtout pour ses multiples utilisations : sauce, salade, beignets et nutrition des malades. Le gombo demeure aussi une source sûre de revenus pour les femmes qui exploitent plus de 87,32 %, 93,12 % et 96,51 % des superficies occupées par cette culture respectivement dans les trois sites retenus : Pobé-Mengao, Thiougou et Tougouri, situés dans trois zones agro-écologiques différentes du Burkina Faso que sont respectivement la zone nord (située en région sahélienne entre l'isohyète 400 mm et 500 mm, avec une pluviométrie annuelle autour de 400 mm), la zone centre nord (située en région sahélo-soudanienne, entre les isohyètes 500 mm et 600 mm avec près de 700 mm d'eau par an) et la zone du sud-est (située dans la région soudanienne entre les isohyètes 800 mm et 1000 mm avec plus de 900 mm d'eau par an).

Les jeunes fruits frais du gombo sont plus appréciés. En effet, lorsqu'ils ont trois à cinq centimètres de long ils sont récoltés et vendus sur la place du marché à raison de quatre à cinq fruits pour 100 à 150 F CFA ; le plat ou "assiettée" (environ 800 g) de gombo sec coûte 1500 F CFA à certains marchés de la campagne (Projet de conservation *in situ*, INERA/BF, 2001) contre 1800 à 2000 F CFA aux marchés de Ouagadougou. Ces coûts déjà élevés sont souvent augmentés de 50 à 60 % pendant les périodes sèches de l'année.

Malgré ses multiples utilisations, son apport nutritionnel avéré et sa valeur financière, le gombo est cultivé sur de très petites surfaces, aux abords des cases et souvent dans les dépotoirs. On ne signale pas encore la culture de variétés améliorées de gombo au Burkina Faso. Ce sont souvent des écotypes locaux que l'on observe chez les paysans burkinabé en

empruntant le point de vue de Leland (1987) selon lequel l'écotype est une race locale (race écologique) dont les génotypes sont adaptés à un habitat spécifique limité par suite de la sélection naturelle dans le milieu local. Ces écotypes cultivés par des paysans seraient probablement plus des populations que des lignées pures. À ce peu d'intérêt, s'ajoutent la sécheresse, les maladies et les attaques des insectes ravageurs qui provoquent une réduction importante de sa production (Dubey, Bhagat, 1998 ; Fugro, 1999 ; Ali, Hossain, 2000) l'amenant ainsi à jouer les derniers rôles dans les programmes de recherches agricoles du pays et ce malgré l'existence d'une diversité d'écotypes pouvant être utilisés dans la création de variétés à cycle court ou résistantes à certaines contraintes abiotiques. Le faible taux d'existence des variétés améliorées milite en faveur d'une stratégie de sélection participative qui prend en compte les critères de sélection des paysans, intégrant la tolérance ou la résistance du génotype aux conditions drastiques du milieu tel le déficit hydrique aux périodes critiques de la réalisation de son potentiel génétique (Sawadogo *et al.*, 2004). L'objectif premier de nos travaux est d'étudier l'impact du déficit hydrique temporaire survenant lors de la boutonnisation et de la floraison à travers l'évaluation des éléments de rendement, la teneur en eau et la perméabilité membranaire. Cela permet d'évaluer le niveau de réaction anatomo-morphologique et physiologique de différents morphobiotypes dans les conditions de stress hydrique et de retenir les meilleurs génotypes pour un programme d'amélioration.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Matériel végétal

Le matériel végétal est constitué de six écotypes du Burkina Faso obtenus par sélection variétale participative (Witcombe, Joshi, 1996 ; Weltzien *et al.*, 1998) avec les paysans relevant de trois zones agro-

écologiques différentes (zone nord, zone centre nord et sud-est) dans le cadre du projet de conservation *in situ* de la diversité biologique agricole. L'écotype V1 est issu de l'épuration d'une collecte de gombo du marché de Yako (situé à 100 km de la capitale Ouagadougou et approximativement à 145 km de Pobe Mengao) que l'équipe d'amélioration génétique des légumineuses a réalisé durant les campagnes agricoles 2002-2003 et 2003-2004. Ces écotypes ont été par ailleurs caractérisés suivant les critères de sélection des paysans et les caractéristiques essentielles sont présentées dans le **tableau 1**.

2.2. Dispositif expérimental et conditions de culture

L'expérimentation a eu lieu dans les serres de l'Unité de Formation et de Recherche (UFR) en Sciences de la Terre et de la Vie (SVT) de l'Université de Ouagadougou durant la campagne agricole 2003-2004. Chaque écotype est semé dans six pots de 15 m³ chacun dont trois d'entre eux ont servi de témoin (arrosé deux fois par jours) tandis que les trois autres pots sont appelés essai (dont l'arrosage est interrompu à l'apparition de 50 % des boutons floraux ou de 50 % floraison). Les différents paramètres physiologiques de la plante sont mesurés une fois que la plante commence à se faner (on estime alors que l'effet du stress est sensible). Après la mesure des différents paramètres physiologiques, on reprend l'arrosage des plantes essai. Ceci permet d'apprécier le niveau de réparation des différents organismes. Les semis ont été réalisés le 30 juin 2004 à cinq graines par pot et les jeunes pousses de deux semaines d'âge ont été démarrées à deux pieds par pot. Un traitement au Décis (deltaméthrine) à 2 ml par litre d'eau a été appliqué contre les insectes piqueurs-suceurs pendant la phase de boutonnisation. Les données climatiques ont été relevées à l'aide des appareils placés sous les serres durant l'expérimentation.

Tableau 1. Nom, origine et caractéristiques des écotypes de gombo — *Name, origin and traits of okra ecotypes.*

Écotype, n° d'expérimentation	Appellation	Origine		Cycle à maturité	Caractéristiques données par les paysans
		Site	Zone		
Eco 22 (V1)	UPV-Yako	Yako	Nord	50 jours	Précoce, fruits minces allongés, gombo vert.
Eco 19 (V2)	Rayita	Thiougou	Sud-est	45–50 jours	Très précoce, fruits très petits.
Eco 03 (V3)	Kamsissurma	Pobe mengao	Nord	50 jours	Précoce, fruits courts.
Eco 12 (V4)	Man yanga	Thiougou	Sud-est	50–60 jours	Précoce.
Eco 05 (V5)	Furbila	Pobe mengao	Nord	50–jours	Plante de grande taille, fruits intéressants.
Eco 32 (V6)	Gnyuega	Tougouri	Centre nord	60–70 jours	Plante ramifiée avec des capsules en "joue de chat".

2.3. Méthodes de collecte des données

La longueur (LF) et le diamètre (DF) des trois premiers fruits sont mesurés à maturité à l'aide d'une règle graduée et exprimés en centimètres. Le diamètre de la tige principale (DP) à maturité est pris au niveau du premier nœud et exprimé en millimètres.

Dix variables ont été observées. Il s'agit des caractères 50 % boutonnisation (50B), 50 % floraison (50F), fixés visuellement dès l'apparition du premier bouton floral ou de la première fleur et exprimés en nombre moyen de jours sur l'ensemble des six plantes que compte chacune des variantes, soit six plantes pour chaque témoin et six autres plantes pour les essais. La longueur (LP) et le diamètre (DP) de la plante sont mesurés tous les trois jours à partir de la boutonnisation jusqu'à la maturité. Le nombre de fruits (NF) est obtenu par comptage depuis le premier fruit jusqu'au dernier de la récolte. Les poids frais et sec des fruits (PFF, PFS) sont obtenus par pesée ainsi que les poids frais (PPF) et sec (PPS) de la partie aérienne de la plante et le poids frais des racines (PRF).

2.4. Méthodes de mesure des paramètres physiologiques

Mesure de la teneur en eau (TE) et de la teneur relative en eau (RWC). Des disques d'environ 0,5 à 1 cm de diamètre sont réalisés dans la feuille fraîche lavée à l'eau distillée à l'aide d'un emporte-pièce. Ils sont pesés et représentent la masse fraîche (MF). Ils sont ensuite disposés dans une boîte de Petri dont le fond est tapissé de papier filtre humidifié. L'ensemble est mis à 4 °C, à l'obscurité pendant 15 heures. Après avoir légèrement épongé l'échantillon entre deux feuilles de papier absorbant, celui-ci est pesé, sa masse est dite à saturation (MT). Enfin, l'échantillon est placé dans une étuve à 85 °C pendant 24 à 48 heures. Il est pesé et la masse sèche (MS) est enregistrée. La teneur relative en eau est exprimée par le rapport de la masse d'eau contenue dans l'échantillon après récolte sur la masse d'eau contenue dans l'échantillon à pleine turgescence :

$$\text{RWC (\%)} = (\text{MF}-\text{MS}) \cdot 100 / (\text{MT}-\text{MS}).$$

La teneur en eau (TE) est calculée par le rapport à la masse d'eau contenue dans l'échantillon sur la masse sèche de l'échantillon (Bin Yan *et al.*, 1996 ; Qiujie Dai *et al.*, 1997) :

$$\text{TES (\%)} = (\text{MF}-\text{MS}) \cdot 100 / \text{MS}.$$

Elle est aussi exprimée par rapport à la masse fraîche de l'échantillon :

$$\text{TEF (\%)} = (\text{MF}-\text{MS}) \cdot 100 / \text{MF}.$$

Mesure de la perméabilité membranaire. Cinq disques sont prélevés dans une feuille grâce à un emporte-pièce et sont rincés dans une boîte de Petri contenant de l'eau distillée. Les disques sont ensuite placés dans un tube contenant 10 ml d'eau distillée. La conductivité de la solution est alors mesurée (C1) pour une première fois avec un conductimètre préalablement étalonné. L'échantillon est mis ensuite au bain-marie bouillant pendant 20 min puis refroidi à la température ambiante. La conductivité est mesurée une seconde fois (C2). Le pourcentage de fuite d'électrolytes est calculé suivant la formule (Bin Yan *et al.*, 1996 ; Qiujie Dai *et al.*, 1997) :

$$\text{PM (\%)} = \text{C1} \cdot 100 / \text{C2}.$$

Analyses statistiques. Les données ont fait l'objet d'une analyse de variance simple réalisée avec le logiciel XLSTAT (version 6.1.9 d'évaluation 2004). Avec le logiciel de STAT-ITCF (version 5), on a mis en évidence les liaisons entre variables par le calcul des corrélations totales. Une analyse en composante principale (ACP) (Cherisey, 1983 ; Philipeau, 1986) a été effectuée sur les données et a permis d'établir les matrices de corrélation. De même une classification ascendante hiérarchique (CAH) a été faite à partir des coordonnées des individus fournies par l'ACP avec troncature de l'arbre hiérarchique à 0,20 de dissimilarité. Les contributions relatives des axes et les variables explicatives ont servi au choix des axes à retenir (Bonifas *et al.*, 1984 ; Escofier, Pages, 1998). Les groupes d'individus semblables ont été constitués grâce à la troncature de l'arbre hiérarchique en maximisant la variance interclasse.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1. Variation des paramètres du fruit des différents génotypes de gombo sous le stress hydrique

Le stress survenu en phase de boutonnisation a eu pour effet la réduction des quatre paramètres du fruit que sont la longueur (LF), le diamètre (DF), le nombre (NF) et le poids frais (PF) des fruits (**Figure 1**). Cette réduction est fonction des écotypes ; en effet les écotypes V1, V3 et V4 enregistrent une variation moindre que les écotypes V2, V5 et V6 chez qui la réduction de la longueur des fruits atteint 63,69 % (V2) et celle du poids des fruits 60,66 % (V6). Par ailleurs les paramètres les plus

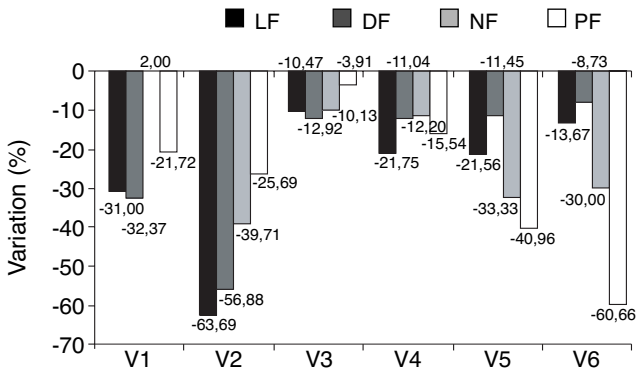


Figure 1. Variation des paramètres du fruit de gombo durant un déficit hydrique survenu à la boutonnisation — *Variation of okra fruit parameters under water deficit during budding phase.*

LF : longueur moyenne du fruit — *fruit length* ; DF : diamètre moyen du fruit — *fruit diameter* ; NF : nombre de fruits par plante — *number of fruits* ; PF : poids des fruits — *fruit weight*.

affectés sont la longueur du fruit et le nombre de fruits par plante à la récolte.

Lorsque le déficit hydrique intervient durant la phase de floraison, les réponses sont beaucoup plus variables en fonction des génotypes en présence (Figure 2). Les écotypes V1, V4 et V6 se caractérisent par une baisse des paramètres du fruit mais à des degrés différents. Les écotypes V2 et V5 enregistrent une augmentation de la longueur du fruit jusqu'à plus de 75 %. En outre on remarque que si l'écotype V1 perd des fruits avec une réduction du nombre de 8,82 %, la V3 voit le nombre de ses fruits augmenter de 25 % alors que les autres paramètres diminuent. Néanmoins, les écotypes V1 et V2 paraissent les moins touchés par le stress survenu en floraison.

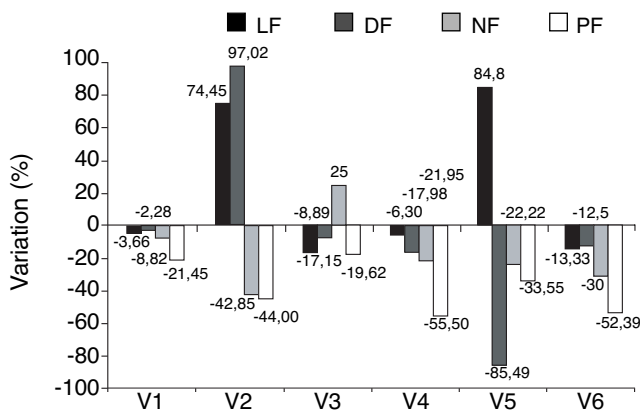


Figure 2. Variation des paramètres du fruit de gombo durant un déficit hydrique survenu à la floraison — *Variation of okra fruit parameters under water deficit during flowering phase.*

LF : longueur moyenne du fruit — *fruit length* ; DF : Diamètre moyen du fruit — *fruit diameter* ; NF : nombre de fruits par plante — *number of fruits* ; PF : poids des fruits — *fruit weight*.

3.2. Variation de la teneur en eau et de la perméabilité membranaire des différents génotypes sous le stress hydrique

Une comparaison de la variation de la teneur en eau et de la perméabilité membranaire durant le déficit hydrique en phase de boutonnisation (Figure 3) montre, en général, une réduction des paramètres de la teneur en eau (TES, TEF, RWC) et une valeur plus élevée de la perméabilité membranaire traduisant une fuite importante des électrolytes. Les réponses des différents génotypes sont variables. Ainsi les écotypes V3 et V4 enregistrent la plus faible variation de la perméabilité membranaire : soit respectivement une réduction de 2,29 % et 1,97 % ; contre une augmentation de 9,52 % à 25,04 % pour les quatre autres écotypes (V1, V2, V5 et V6). L'écotype V3 montre une augmentation du nombre de ses fruits de 25 % (Figure 2), or ce même écotype enregistre la plus faible variation de la perméabilité membranaire (Figure 3).

Les fortes variations de la perméabilité membranaire constatées chez V1, V2, V5 et V6 attestant une fuite importante d'électrolytes, traduisent une rupture probable de la structure normale des membranes cellulaires. Cette situation peut entraîner le déplacement des protéines membranaires contribuant ainsi à une perte de sélectivité des membranes, un accroissement dans la cellule de la concentration en électrolytes. La conséquence de tous ces événements serait une perturbation du métabolisme cellulaire lors de la réhydratation (Hopkins, 2003), ce qui aurait abouti à une réduction des paramètres du fruit constatée chez ces variétés.

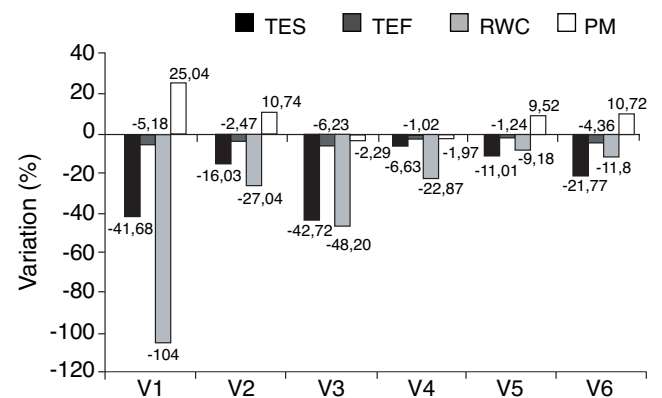


Figure 3. Variation de la teneur en eau et de la perméabilité membranaire durant un déficit hydrique survenu à la boutonnisation — *Variation of water content and membrane permeability under water deficit effect during budding phase.*

TES : teneur en eau/masse sèche — *water content/dried vegetative mass* ; TEF : teneur en eau/masse fraîche — *water content/fresh vegetative mass* ; RWC : teneur relative en eau — *relative water content* ; PM : perméabilité membranaire — *membrane permeability*.

Quand ce déficit hydrique se manifeste durant la phase de floraison (**Figure 4**), on observe la même tendance qu'en phase de boutonnisation sauf que l'écotype V3 se caractérise par une diminution de 61,11 % de la perméabilité membranaire.

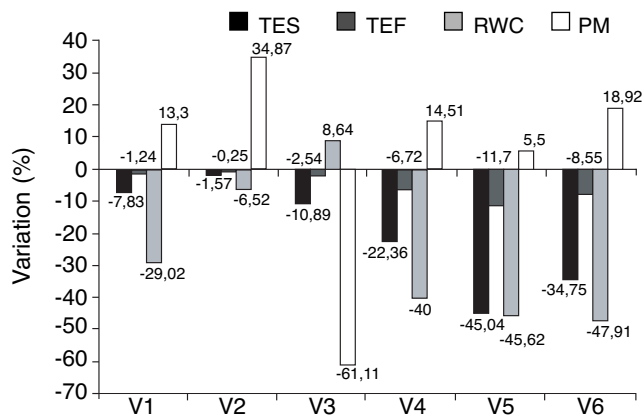


Figure 4. Variation de la teneur en eau et de la perméabilité membranaire durant un déficit hydrique survenu à la floraison — *Variation of water content and membrane permeability under water deficit effect during flowering phase.*

TES : teneur en eau/masse sèche — *water content/dried vegetative mass* ; TEF : teneur en eau/masse fraîche — *water content/fresh vegetative mass* ; RWC : teneur relative en eau — *relative water content*.

3.3. Variabilité des paramètres sous l'effet du stress hydrique

Les paramètres les plus variables permettant de mieux discriminer les écotypes sont la teneur relative en eau (RWC), la longueur du fruit (LF) et le nombre de fruits (NF) qui, indépendamment de la période d'intervention du déficit hydrique, présentent un coefficient de variation relativement élevé, allant de 0,24 (RWC) à 0,39 (LF) (**Tableau 2**).

Le nombre et le poids des fruits constituent de bons indicateurs de rendement du gombo et leur niveau de variation peut être utilisé pour apprécier le niveau de tolérance d'un génotype à la sécheresse. Ainsi nous pouvons constater que, quelle que soit la période du stress, la variation du nombre des fruits de l'écotype V1 reste relativement faible (**Tableau 2**). Le nombre de fruits reste 2,00 pour V1T et 2,00 aussi pour V1E sous le stress de boutonnisation. Il passe de 1,46 pour V1T à 1,18 pour V1E sous le stress à la floraison. Cette faible variabilité témoigne de la tolérance de V1 aux deux types de stress. Néanmoins les écotypes les moins sensibles au stress de boutonnisation sont V3T (5,93) et V4E (5,70), la variation étant très faible (**Tableau 2**). Par contre, V5T (4,19) passe à V5E (2,47), donc une variation élevée qui montre

Tableau 2. Comparaison des paramètres du déficit hydrique et du fruit sous le stress à la boutonnisation — *Comparison of water deficit and fruit parameters under stress effect during budding phase.*

IND	TES	TEF	RWC	PM	LF	DF	NF	PF
V1T	682,126	87,040	120,955	58,39	13,20	17,19	2,00	7,62
V1E	481,468	82,750	59,292	77,89	9,11	11,63	2,00	5,97
V2T	490,625	82,862	104,577	67,35	9,84	23,96	1,75	4,91
V2E	422,854	80,867	82,317	75,46	3,57	10,33	1,06	3,65
V3T	537,738	83,778	107,825	61,78	8,65	21,27	1,33	5,93
V3E	376,781	78,867	72,758	60,40	7,74	18,53	1,20	5,70
V4T	467,556	82,233	119,814	74,99	14,69	23,98	1,71	9,30
V4E	438,493	81,400	97,516	73,53	11,50	21,33	1,50	7,86
V5T	606,391	85,550	126,977	71,88	9,17	19,25	1,50	4,19
V5E	546,224	84,500	116,301	79,44	7,19	17,05	1,00	2,47
V6T	395,218	79,750	78,662	70,97	5,00	29,33	1,67	8,89
V6E	324,553	76,417	70,359	79,49	4,32	26,77	1,17	3,55
Minimum	324,55	76,42	59,29	58,39	3,57	10,33	1,00	2,47
Maximum	682,13	87,04	126,98	79,49	14,69	29,33	2,00	9,30
Moyenne	480,84	82,17	96,45	70,96	8,66	20,05	1,49	5,84
CV	0,21	0,04	0,24	0,10	0,39	0,28	0,23	0,38
ET	96,52	2,83	22,00	7,09	3,27	5,41	0,33	2,11

T : témoin (avec arrosage tous les jours) — *control (with watering everyday)* ; E : essai (avec interruption d'arrosage) — *trial (with interruption of watering)* ; TES : teneur en eau/masse sèche — *water content/dried vegetative mass* ; TEF : teneur en eau/masse fraîche — *water content/fresh vegetative mass* ; RWC : teneur relative en eau — *relative water content* ; PM : perméabilité membranaire — *membrane permeability* ; LF : longueur moyenne du fruit — *fruit length* ; DF : diamètre moyen du fruit — *fruit diameter* ; NF : nombre de fruits par plante — *number of fruits* ; PF : poids des fruits — *fruits weight*.

CV : coefficient de variation — *variation coefficient*.

ET : écart-type — *standard deviation*.

l'existence d'une plus grande sensibilité au stress de cette période de formation des boutons floraux. Par ailleurs, si le stress intervient pendant la floraison, V2, V4, et V6 sont les plus touchés et les plus résistants sont V1 et V3 (**Tableau 3**).

Une remarque importante à noter par rapport au rendement par plante est la valeur du poids des fruits sous l'effet du stress hydrique en phase de boutonnisation et de floraison ; même si l'écotype V3 semble plus résistant au stress de boutonnisation, il demeure moins productif que les écotypes V1 et V4 sous les mêmes conditions de stress. Les écotypes V1 et V4 sont les mieux adaptés pour une poche de sécheresse intervenant durant la boutonnisation. L'écotype V3 est adapté au stress hydrique intervenant en phase de floraison.

3.4. Variation de la longueur de la tige principale des différents écotypes de gombo sous stress hydrique

La période de récupération de la plante après l'effet d'un stress est très déterminante pour le rendement. Les écotypes précoces V1 et V2 sont les premiers à avoir les boutons, soit 26 jours après les semis (**Tableau 4**). L'évolution de la longueur de la tige principale (**Figure 5**) montre que la croissance dans le temps de V1 est plus grande que celle de V2. Cette croissance atteint 25 cm à

Tableau 4. Durée du stress hydrique en phase de boutonnisation. Date de semis : 30/06/2004 — *Duration of water stress expressed during budding phase. Date of the sowing : 30/06/2004.*

Variante	Bouton/ arrêt arrosage	Flétrissement	Floraison	Durée du stress	50F
V1T	26/07/04		13/08/04		43 jours
V1E	26/07/04	09/08/04	21/08/04	13 jours	51 jours
V2T	26/07/04		13/08/04		43 jours
V2E	26/07/04	09/08/04	17/08/04	13 jours	47 jours
V3T	28/07/04		30/08/04		60 jours
V3E	28/07/04	12/08/04	28/08/04	14 jours	58 jours
V4T	28/07/04		25/08/04		55 jours
V4E	28/07/04	12/08/04	25/08/04	14 jours	55 jours
V5T	28/07/04		25/08/04		55 jours
V5E	28/07/04	12/08/04	23/08/04	14 jours	52 jours
V6T	01/08/04		28/08/04		58 jours
V6E	01/08/04	12/08/04	27/08/04	11 jours	57 jours

50F : 50% de floraison.

Tableau 3. Comparaison des paramètres du déficit hydrique et du fruit sous le stress à la floraison — *Comparison of water deficit and fruit parameters under stress effect during flowering phase.*

IND	TES	TEF	RWC	PM	LF	DF	NF	PF
V1T	531,452	84,156	86,854	52,14	7,25	23,17	1,46	6,01
V1E	492,866	83,127	67,319	60,14	6,33	17,35	1,18	4,31
V2T	461,600	82,165	94,265	36,28	5,33	11,63	1,75	4,91
V2E	454,473	81,963	88,495	55,71	9,30	22,90	1,00	2,75
V3T	335,435	77,033	73,103	36,40	8,65	21,27	1,33	5,93
V3E	302,492	75,123	80,013	22,59	7,16	19,38	1,67	4,76
V4T	260,981	72,067	69,041	37,49	14,69	23,98	1,71	9,30
V4E	213,290	67,528	49,314	43,85	13,77	19,67	1,33	4,14
V5T	317,372	75,922	75,511	42,00	9,17	19,25	1,50	4,19
V5E	218,814	67,972	51,855	44,44	16,94	2,79	1,17	2,78
V6T	289,324	73,933	64,867	36,07	5,00	29,33	1,67	8,89
V6E	214,710	68,111	43,857	44,49	4,33	25,67	1,17	4,23
Minimum	213,29	67,53	43,86	22,59	4,33	2,79	1,00	2,75
Maximum	531,45	84,16	94,27	60,14	16,94	29,33	1,75	9,30
Moyenne	341,07	75,76	70,37	42,63	8,99	19,70	1,41	5,18
CV	0,34	0,08	0,23	0,24	0,45	0,35	0,18	0,40
ET	109,96	5,85	15,35	9,69	3,91	6,64	0,24	1,99

T : témoin (avec arrosage tous les jours) — *control (with watering everyday)* ; E : essai (avec interruption d'arrosage) — *trial (with interruption of watering)* ; TES : teneur en eau/masse sèche — *water content/dried vegetative mass* ; TEF : teneur en eau/masse fraîche — *water content/fresh vegetative mass* ; RWC : teneur relative en eau — *relative water content* ; PM : perméabilité membranaire — *membrane permeability* ; LF : longueur moyenne du fruit — *fruit length* ; DF : diamètre moyen du fruit — *fruit diameter* ; NF : nombre de fruits par plante — *number of fruits* ; PF : poids des fruits — *fruits weight*.

CV : coefficient de variation — *variation coefficient*.

ET : écart-type — *standart deviation*.

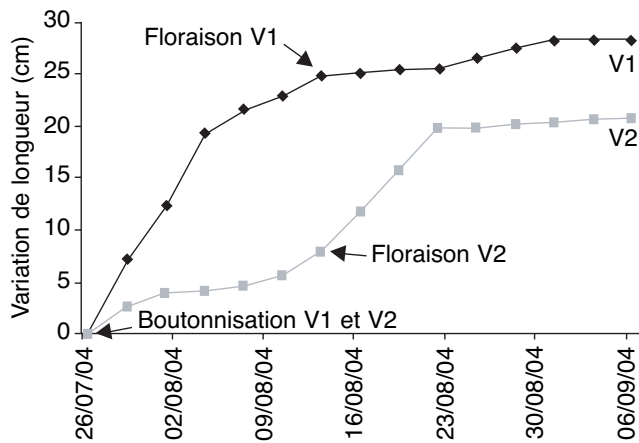


Figure 5. Évolution de la longueur de la tige chez le gombo de type 1. — *Growth evolution of main stem of okra plant for type 1.*

la floraison chez V1 contre moins de 10 cm chez V2. La croissance de V1 devient très lente à partir de la phase de floraison alors que la croissance maximale de V2 est observée après la floraison : V2 continue de croître après la floraison.

La **figure 6** montre que les écotypes V3, V4, V5, V6 ont une croissance lente à partir de la floraison. Mais avant cette étape on observe une croissance rapide de la tige principale de gombo qui se stabilise quelques jours après la floraison.

3.5. Effet du stress hydrique sur la croissance de la tige principale du gombo

Lorsque le stress intervient à la boutonnisation, il y a un ralentissement de la croissance de V2 (**Figure 7**). L'apport d'eau réalisé le 9 août 2004 a permis une légère remontée de sa croissance mais sans atteindre le témoin. La plante stressée reste naine et la floraison intervient quatre jours après celle du témoin ; le même comportement est observé chez V1 dont la floraison sous stress de boutonnisation intervient une semaine après la floraison du témoin (**Tableau 5**).

Les résultats obtenus chez V3, V4, V5 et V6 sont légèrement différents des deux écotypes précédents. En effet pour ce groupe, le stress survenu en phase de boutonnisation conduit à une précocité de la floraison. Ainsi, on peut constater que V3E fleurit deux jours avant V3T (**Figure 8, Tableau 4**).

Cet effet de stress en phase de boutonnisation est d'autant plus néfaste pour ces écotypes V1 et V2 qu'il contribue à un rallongement du cycle 50 % floraison (50F). En effet, le cycle passe de 43 à 51 jours pour V1 et 43 à 47 jours pour V2 (**Tableau 4**).

Les **tableaux 4** et **5** laissent entrevoir que l'installation de l'effet de stress hydrique en phase de boutonnisation ou en phase de floraison est d'une

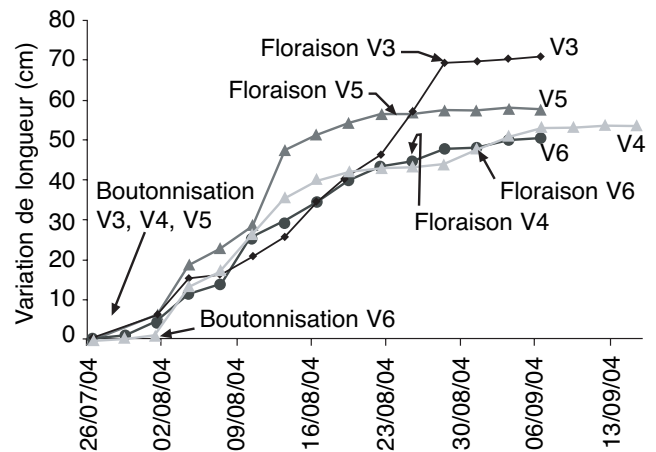


Figure 6. Évolution de la longueur de la tige principale chez le gombo de type 2. — *Growth evolution of main stem of okra plant for type 2.*

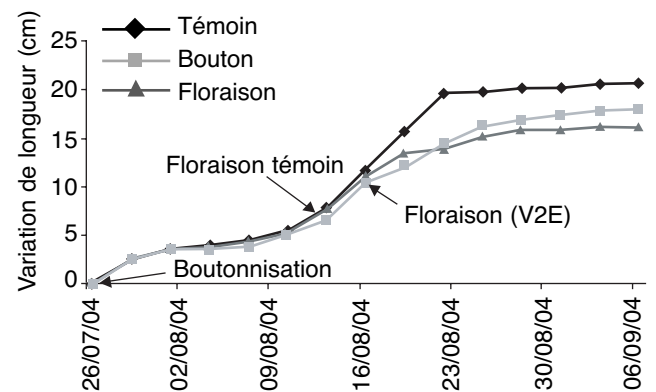


Figure 7. Graphiques comparatifs de la longueur de la tige de gombo (V2) sous l'effet du stress. — *Comparative graphics of main stem length under water deficit effect of okra ecotype (V2).*

Tableau 5. Durée du stress hydrique en phase de floraison. Date de semis : 30/06/2004 — *Duration of water stress expressed during flowering phase. Date of the sowing : 30/06/2004.*

Variante	Bouton	Floraison arrêt arrosage	Flétrissement	Durée du stress
V1T	26/07/04	13/08/04		
V1E	26/07/04	13/08/04	24/08/04	11 jours
V2T	26/07/04	13/08/04		
V2E	26/07/04	13/08/04	24/08/04	11 jours
V3T	28/07/04	30/08/04		
V3E	28/07/04	30/08/04	17/09/04	17 jours
V4T	28/07/04	25/08/04		
V4E	28/07/04	25/08/04	10/09/04	15 jours
V5T	28/07/04	25/08/04		
V5E	28/07/04	25/08/04	10/09/04	15 jours
V6T	01/08/04	28/08/04		
V6E	01/08/04	28/08/04	10/09/04	12 jours

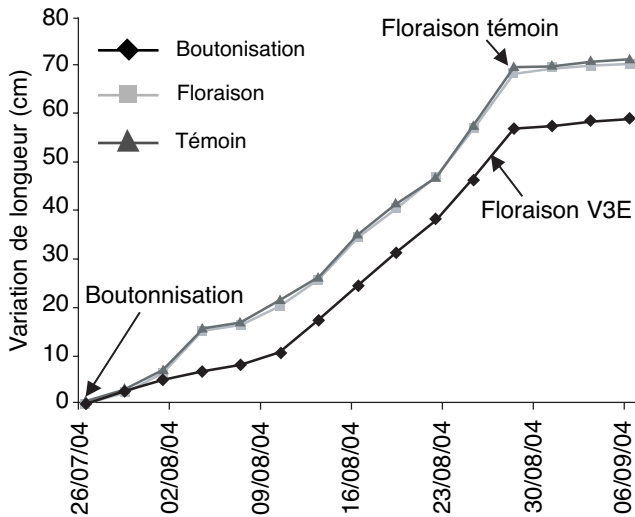


Figure 8. Graphiques comparatifs de la croissance de la tige de gombo (V3) sous le stress — *Comparative graphics of main stem growth of okra ecotype (V3) V3E-V3 with water stress.*

durée moyenne de 13 à 14 jours. Elle est très vite ressentie par V1 et V2 et moins vite par V3.

3.6. Associations des caractères

Les relations entre les variables sont décrites par les coefficients de corrélation totale (Tableau 6). Le poids des fruits par plante est fortement lié au nombre de fruits par plante. Outre les corrélations telles que celles entre le nombre de fruits, le poids des fruits secs et frais, on observe une corrélation positive et significative entre le nombre de fruits par plante et les teneurs en eau par masse sèche et par masse fraîche. Ainsi les écotypes précoces possédant un grand nombre de fruits sont ceux qui ont une teneur élevée en eau. Par ailleurs, plus la plante possède de fruits, plus la perméabilité membranaire est réduite.

3.7. Stratification de la variabilité des écotypes testés

La variabilité des écotypes testés a été décrite grâce à l'analyse en composante principale (ACP) suivie de la classification ascendante hiérarchique. Les deux premières composantes de l'ACP expliquant 61 % de l'information ont été retenues (Figure 9). La première composante expliquant 34,15 % de l'information est liée aux variables teneur en eau par rapport à la masse fraîche et sèche, nombre de fruits par plante et à une moindre mesure la teneur relative en eau (Tableau 7). L'axe deux qui explique 26,36 % de l'information est lié à la biomasse fraîche et sèche de la plante et au poids des fruits secs.

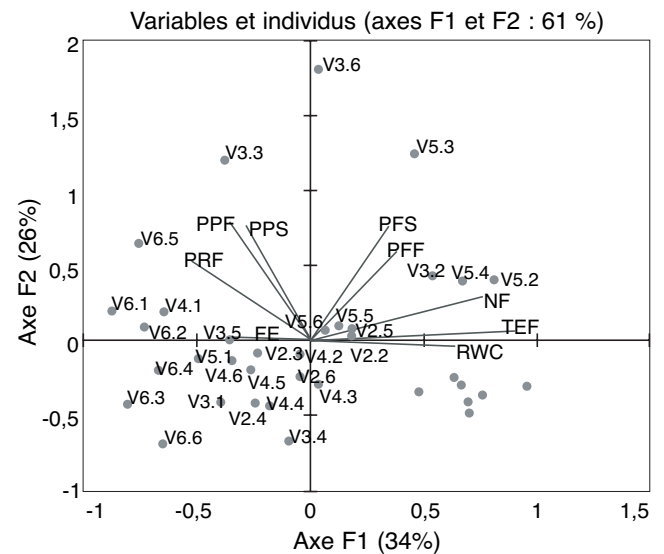


Figure 9. Représentation des variables et des individus selon les axes 1 et 2 — *Graphical representation of variables and individual ecotypes according to axe 1 and 2.*

Tableau 6. Matrice de corrélation — *Correlation matrix.*

	NF	PFF	PFS	PPF	PPS	PRF	TES	TEF	RWC	PM
NF	1	0,626	0,501	-0,184	-0,098	-0,200	0,512	0,564	0,208	-0,396
PFF	0,626	1	0,716	0,109	0,096	0,142	0,132	0,187	0,126	0,046
PFS	0,501	0,716	1	0,392	0,351	0,155	0,170	0,242	0,171	-0,067
PPF	-0,184	0,109	0,392	1	0,929	0,547	-0,111	-0,133	-0,122	0,117
PPS	-0,098	0,096	0,351	0,929	1	0,406	-0,052	-0,084	-0,173	0,015
PRF	-0,200	0,142	0,155	0,547	0,406	1	-0,356	-0,386	-0,300	0,199
TES	0,512	0,132	0,170	-0,111	-0,052	-0,356	1	0,949	0,574	-0,294
TEF	0,564	0,187	0,242	-0,133	-0,084	-0,386	0,949	1	0,647	-0,249
RWC	0,208	0,126	0,171	-0,122	-0,173	-0,300	0,574	0,647	1	0,103
PM	-0,396	0,046	-0,067	0,117	0,015	0,199	-0,294	-0,249	0,103	1

En gras, valeurs significatives (hors diagonale) au seuil alpha = 0,050 (test bilatéral) ; NF : nombre de fruits par plante — *number of fruits* ; PFF : poids des fruits frais — *fresh fruits weight* ; PFS : poids des fruits sec — *dried fruits weight* ; PPF : poids frais de la partie aérienne — *fresh area part weight* ; PPS : poids sec de la partie aérienne — *dried area part weight* ; PRF : poids frais des racines — *fresh roots weight* ; TES : teneur en eau/masse sèche — *water content/dried vegetative mass* ; TEF : teneur en eau/masse fraîche — *water content/fresh vegetative mass* ; RWC : teneur relative en eau — *relative water content* , PM : perméabilité membranaire — *membrane permeability*.

La représentation des individus montre une certaine hétérogénéité de distribution des individus d'un même écotype. Cela témoigne d'un certain degré d'hétérogénéité *intra* écotype, à l'exception de l'écotype V2 qui a une meilleure représentation de tous les six individus sur ce plan.

3.8. La classification ascendante

La classification ascendante suivie de la troncature de l'arbre hiérarchique (à 0,20) a permis la constitution de 17 classes d'écotypes semblables (**Figure 10**) exhibant 83 % de variation interclasse.

Il ressort de cette analyse une forte hétérogénéité à l'intérieur d'un même écotype. En effet à l'exception de l'écotype V1 qui a, au niveau de la classe 11, cinq de ses six individus, tous les autres écotypes enregistrent un éparpillement des individus d'un même écotype à travers plusieurs classes différentes : ainsi l'écotype V5 est représenté dans six classes différentes (classes 4, 7, 12, 13, 14 et 15) par un individu (**Tableau 8**). Ceci témoigne d'un niveau élevé d'hétérogénéité de cet écotype. Il en est de même pour l'écotype V3 dont les individus sont dans plusieurs classes.

Cette hétérogénéité est beaucoup plus visible chez les écotypes (V3, V4, V5) les plus résistants au stress hydrique. Si on considère ce facteur, on pourrait affirmer que l'hétérogénéité à l'intérieur de l'écotype assure une certaine résistance du gombo à la sécheresse.

4. CONCLUSIONS

La sélection participative qui a abouti aux choix de ces différents écotypes comme les plus préférés par les paysans des différentes régions agricoles permet de fixer rapidement les objectifs de la sélection en tenant compte des préoccupations réelles de ces derniers. Ceci facilite le choix des caractères à améliorer et permet de raccourcir le cycle de la sélection variétale. Le choix du paysan est beaucoup plus lié aux caractéristiques morphologiques et culinaires du fruit, à la capacité de résistance ou de tolérance à la sécheresse des écotypes. Ce comportement des paysans s'explique par le fait que les régions agro-écologiques concernées au Burkina Faso connaissent des poches de sécheresse tous les ans. Ceci oblige le paysan à rechercher des variétés précoces et produc-

Tableau 7. Cosinus carrés des variables — *Cosine square of variables.*

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
NF	0,576	0,087	0,182	0,025	0,006	0,026	0,033	0,064	0,000	0,001
PFF	0,147	0,372	0,303	0,087	0,000	0,004	0,017	0,069	0,000	0,000
PFS	0,119	0,609	0,068	0,016	0,044	0,044	0,092	0,008	0,001	0,000
PPF	0,125	0,661	0,172	0,010	0,006	0,000	0,002	0,000	0,024	0,000
PPS	0,083	0,608	0,166	0,057	0,037	0,014	0,018	0,000	0,017	0,000
PRF	0,277	0,291	0,001	0,005	0,415	0,008	0,001	0,001	0,001	0,000
TES	0,734	0,002	0,153	0,010	0,028	0,034	0,013	0,010	0,000	0,016
TEF	0,812	0,004	0,121	0,000	0,014	0,017	0,009	0,000	0,000	0,022
RWC	0,414	0,001	0,175	0,221	0,000	0,151	0,036	0,001	0,000	0,000
PM	0,129	0,001	0,019	0,740	0,003	0,099	0,002	0,008	0,000	0,000

TES : teneur en eau/masse sèche — *water content/dried vegetatif mass* ; TEF : teneur en eau/masse fraîche — *water content/fresh vegetative mass* ; RWC : teneur relative en eau — *relative water content* ; LF : longueur moyenne du fruit — *fruit length* ; DF : diamètre moyen du fruit — *fruit diameter* ; NF : nombre de fruits par plante — *number of fruits* ; PF : poids des fruits — *fruits weight* ; PM : perméabilité membranaire — *membrane permeability*.

Tableau 8. Composition des classes du dendrogramme — *Dendrogram structure of different ecotypes of okra.*

Classe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Effectif	1	1	2	1	3	2	2	1	1	3	5	1	3	1	3	3	3
	V3.3	V3.6	V3.2	V5.2	V4.2	V1.2	V5.1	V2.6	V4.1	V2.1	V1.1	V5.5	V2.4	V5.3	V2.2	V6.2	V3.1
			V3.5		V4.5	V2.3	V6.1			V4.3	V1.3		V3.4		V2.5	V6.4	V6.3
					V4.6					V4.4	V1.4		V5.6		V5.4	V6.5	V6.6
											V1.5						
											V1.6						

En gras les individus centraux

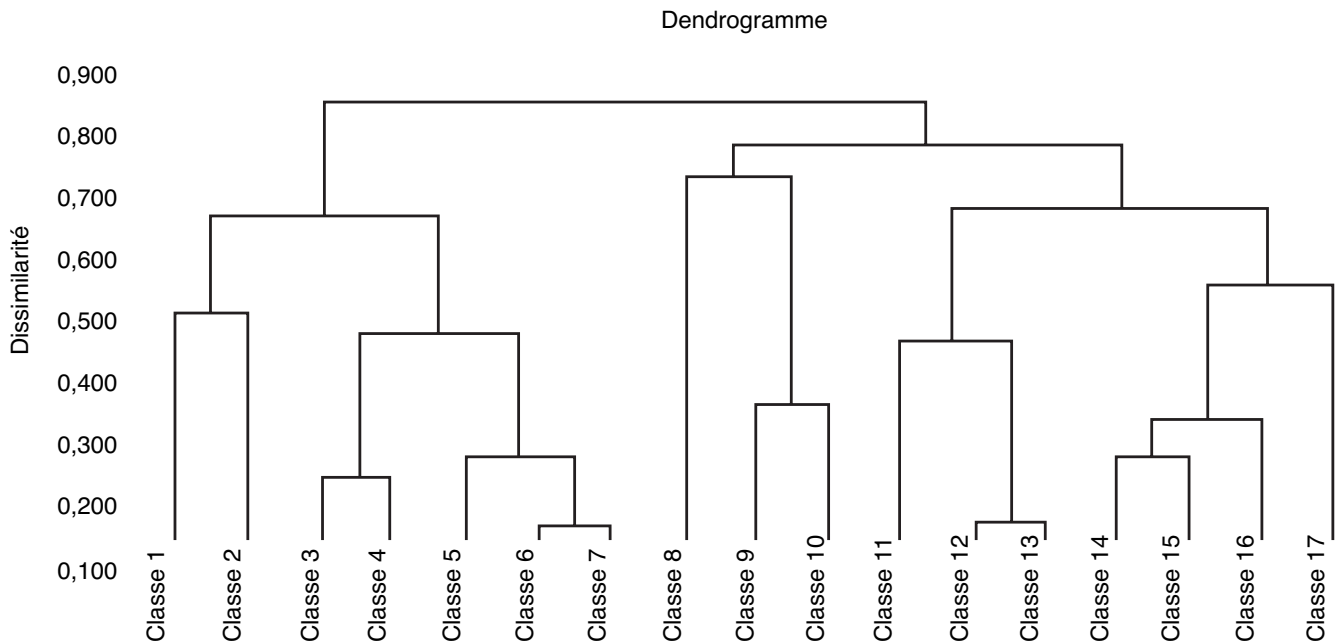


Figure 10. Classification hiérarchique ascendante des individus des différents écotypes — *Ascendant hierarchical classification of different ecotypes of okra.*

tives en raison des conditions agro-écologiques. En effet comme nous pouvons le constater, tous ces écotypes dont le cycle 50 % floraison est compris entre 43 et 60 jours arrivent à supporter jusqu'à 10 à 14 jours de déficit d'eau.

L'effet du stress hydrique en phase de boutonisation est très néfaste pour le gombo. Il se manifeste par une baisse des composantes du rendement que sont la longueur, le diamètre, le nombre et le poids des fruits. Néanmoins les écotypes réagissent différemment face à cette contrainte. Ainsi, V3 et V4 sont les moins sensibles et peuvent être recommandés pour les cultures en début de saison hivernale où très souvent les pluies sont interrompues créant des poches de sécheresse allant de une à deux semaines après les semis.

Une grande disparité de réponses des plantes de gombo au stress hydrique s'observe lorsque le déficit s'installe en phase de floraison ; ceci permet de mieux discriminer les écotypes.

La plante de gombo a une croissance rapide de la boutonisation à la floraison. Ensuite cette croissance ralentit considérablement durant la phase de fructification pour s'annuler quelques temps après. La plante a atteint sa croissance maximale et ses efforts sont beaucoup plus consacrés à l'accumulation de la matière plastique synthétisée dans les organes de réserve.

L'analyse des résultats et les observations font ressortir deux types de période de floraison chez le gombo : celui qui intervient pendant la phase de

croissance accélérée de la tige principale (type 1) et celui qui s'installe une fois que commence l'amorce du ralentissement de la croissance de la tige principale (type 2). Ce dernier groupe est le plus fréquemment rencontré.

Le stress hydrique en phase de boutonisation conduit à une précocité de floraison chez les plantes de type 2 et à un retard de floraison pour le type 1.

Les variables qui discriminent le mieux les écotypes de gombo sous stress hydrique sont la teneur relative en eau (RWC), la longueur et le nombre de fruits.

Ces caractères agro-morphologiques ne sont pas suffisants pour distinguer génétiquement les cultivars du paysan au Burkina Faso. En termes de diversité génétique, les écotypes cultivés par le paysan méritent une investigation moléculaire poussée pour mieux les discriminer.

Toutefois les informations agro-morphologiques ont permis d'identifier trois écotypes (V1, V3 et V4) qui pourraient être introduits dans un programme de sélection pour la tolérance ou la résistance au déficit hydrique.

Bibliographie

Ali M., Hossain MZ. (2000). Inheritance of Yellow Vein Mosaic Virus (YVMV) tolerance in a cultivar of okra (*Abelmoschus esculentus* L. Moench). *Euphytica* **111** (3), p. 205–209.

- Ariyo OJ., Ayo VMA. (2000). Analysis of genotype x environment interaction of okra (*Abelmoschus esculentus* L. Moench). *J. Genet. Breed.* **54** (1), p. 35–40.
- Bin Yan, Qiujie Dai, Xiaozhong Liu. (1996). Flooding induced membrane damage, lipid oxidation and activated oxygen generation in corn leaves. *Plant Soil* **179**, p. 261–268.
- Bonifas I., Escoufier Y., Gonzalez P.L., Sabatier R. (1984). Choix de variables en analyse en composantes principales. *Rev. Statist. Appl.* **23**, p. 5–15.
- Cherisey M. (1983). *Contribution à l'évaluation des ressources génétiques du millet* (*Setaria italica*). Variabilité des caractères quantitatifs. Thèse de 3^{ème} cycle. ORSAY, 219 p.
- Escoufier B., Pages J. (1998). *Analyses factorielles simples et multiples* (3^e éd.). Paris : Dunod.
- Dubey VK., Bhagat KP. (1998). Effect of insecticides and plant products against shoot and fruit borer of okra, *Earias vittella* (Fab.). *Agric. Sci. Digest.* **18** (2), p. 120–122.
- Fondio L., Kouame CNG. (1999). Sowing density, growth and yield of two okra cultivars (*Abelmoschus* spp.) in Côte d'Ivoire. *Cah. Agric.* **8** (5), p. 413–415.
- Fugro PA. (1999). A new disease of okra (*Abelmoschus esculentus* L.) in India. *J. Mycol. Plant Pathol.* **29** (2), p. 264.
- Hamon S. (1983). Discrimination de deux espèces de gombo cultivées en Côte d'Ivoire (*A. esculentus* et *A. sp.*) sur la base de leurs profils enzymatiques. ORSTOM Adiopodoumé, rapport multigraphié.
- Hamon S. (1988). *Organisation évolutive du genre Abelmoschus (gombo). Coadaptation et évolution de deux espèces de gombo cultivées en Afrique de l'Ouest, A. esculentus et A. caillei*. Paris : ORSTOM, Travaux et documents microédités **46**, 191 p.
- Hopkins WG. (2003). Physiologie des stress. *In Physiologie végétale*. USA : Université d'Ontario, p. 451–473.
- Leland R. House (1987). *Manuel pour la sélection du sorgho*. (2^e éd.). Andhra Pradesh, Inde : ICRISAT.
- Philippeau G. (1986). *Comment interpréter les résultats d'une analyse en composantes principales?* ITCF, 63 p.
- Projet de conservation *in situ* INERA/BF. (2001). Rapport Technique Annuel (Janvier à Décembre 2001. Coordination Nationale du Projet *in situ*). Ouagadougou, Burkina Faso : INERA.
- Qiujie Dai, Bin Yan, Shaobai Huang (1997). Response of oxidative stress defense systems in rice (*Oryza sativa*) leaves with supplemental UV B radiation. *Physiol. Plant.* **101**, p. 301–308.
- Sawadogo M., Ouedraogo J., Belem M., Balma D., Dossou B., Jarvis D. (2004). Influence of ecosystem components on cultural practices affecting the *in situ* conservation of agricultural biodiversity. *PGR News.* **139**, p. 19–25.
- Seck A. (1991). Okra germplasm evaluation in Senegal. Workshop on okra genetic resources. *In Report of an international workshop on okra genetic resources held at the National Bureau for Plant Genetic Resources, International Crop Network Series N°5.*, Rome : IBPGR. New Delhi, India, 8-12 Oct. 1990.
- Weltzien RE., Whitaker ML., Rattunde HFW., Dhamotharan M., Anders MM. (1998). Participatory approaches in pearl millet breeding. *In Witcombe JR., Virk DS., Farrington J. (eds.). Seeds of Choice. Making the most of new varieties for small farmers*. New Delhi, India : Oxford and IBH, 271 p.
- Witcombe JR., Joshi A. (1996). The impact of farmer participatory research on biodiversity of crops. *In Sperling L., Loevinsohn M. (eds.) Using diversity. Enhancing and maintaining genetic resources on-farm, Proceedings of a workshop held on 19-21 June 1995*. New Delhi, India : International Development Research Centre, p. 87-101.

(20 réf.)