

## Généralités sur le sorgho [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]

### 1.1. Origine et diffusion

Le sorgho [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], dont l'origine serait en Afrique, précisément entre l'Éthiopie et le Soudan, est actuellement répandue sur les cinq continents (Martin, 1970). Différentes hypothèses ont été émises quant à l'époque de sa domestication, qui date de -5000 à -3000 J-C (Mann *et al.*, 1983). C'est surtout la période de -8000 J-C qui fait l'unanimité (Wendorf *et al.*, 1992). C'est partant de la région Nord-Est entre l'Éthiopie et le Soudan que le sorgho s'est diffusé dans toute l'Afrique, le long des voies maritimes et commerciales, du Proche-Orient à l'Inde (CIRAD *et al.*, 2002). Il s'est ensuite introduit à partir de l'Inde par les migrations humaines, en Chine par la route de la soie et en Asie du Sud-est par les voies maritimes côtières (Clerget, 2004). Il s'introduit en Europe depuis l'Inde et l'Afrique à travers l'Arabie et la Perse, ensuite atteint l'Amérique du Nord à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle (Chantereau *et al.*, 1991).

### 1.2. Systématique et classification

Le sorgho [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] appartient à l'embranchement des Angiospermes, à la classe des Monocotylédones, à l'ordre des Glumales. C'est une plante herbacée de la famille des Poacées, tribu des *Andropogoneae*, genre *Sorghum*, espèce *bicolor*. Il présente une grande diversité de formes illustrée par différentes classifications botaniques (Chantereau et Nicou, 1991). Selon Trouche, (2011), la classification du genre *Sorghum* a fait l'objet de plusieurs évolutions depuis celle proposée par Snowden en 1936. Actuellement, dans la section Eu-Sorghum du genre *Sorghum* on reconnaît quatre espèces (*S. halepense*, *S. bicolor*, *S. propinquum* et *S. alnum*) dont le nombre de chromosomes de base est 10, les espèces *bicolor* et *propinquum* étant diploïdes et les deux autres (*halepense* et *almum*) tétraploïdes (Figure 2). L'espèce *Sorghum bicolor* comprend elle-même trois sous-espèces, dont la sous-espèce *bicolor*, qui regroupe tous les sorghos de type cultivé (Figure 1). Au sein des sorghos cultivés, la classification botanique simplifiée proposée par Harlan et De Wet (1972), basée sur les caractères morphologiques des panicules, des épillets et des grains, distingue cinq races principales : *bicolor*, *guinea*, *durra*, *kafir* et *caudatum* (Figure 2). En outre cette classification différencie dix types raciaux intermédiaires, représentant les combinaisons deux à deux des races principales.

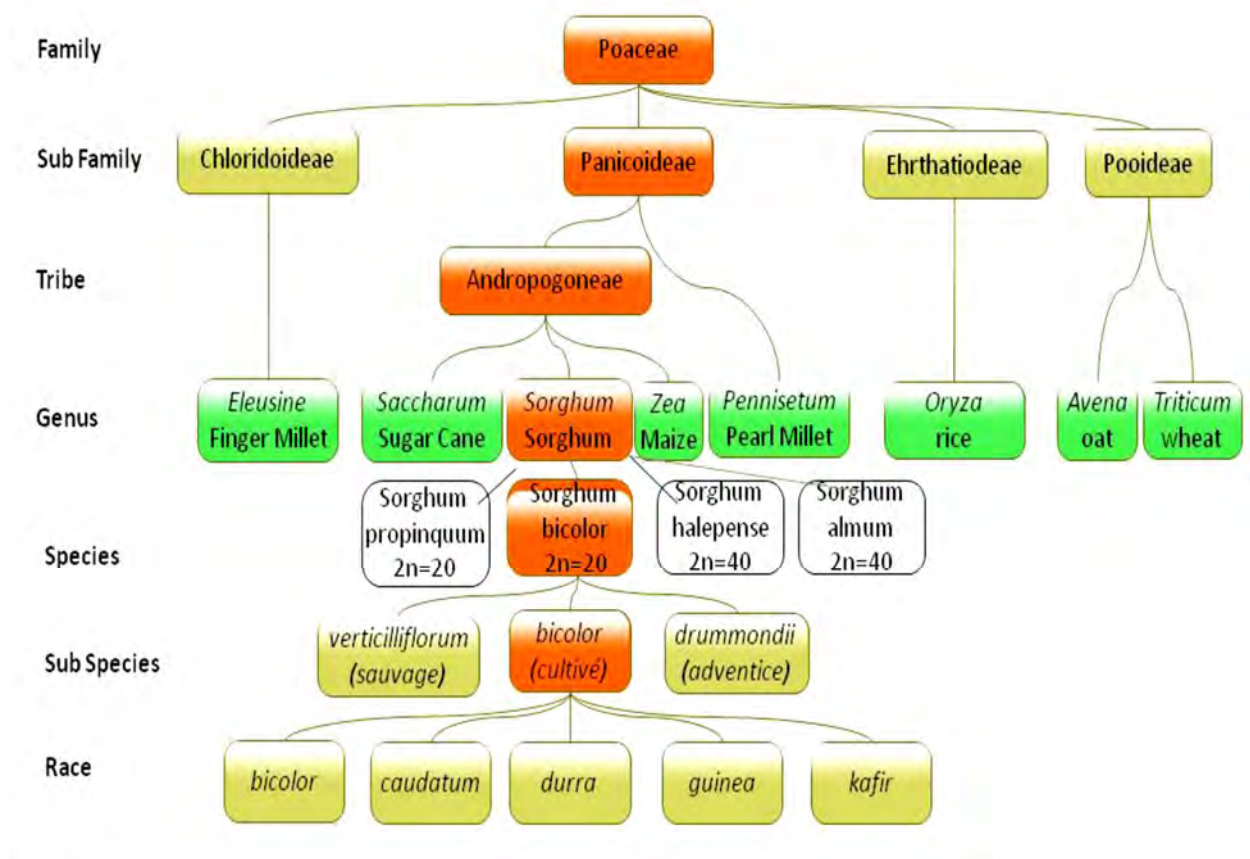


Figure 1: Taxonomie du sorgho, Trouche (2011)

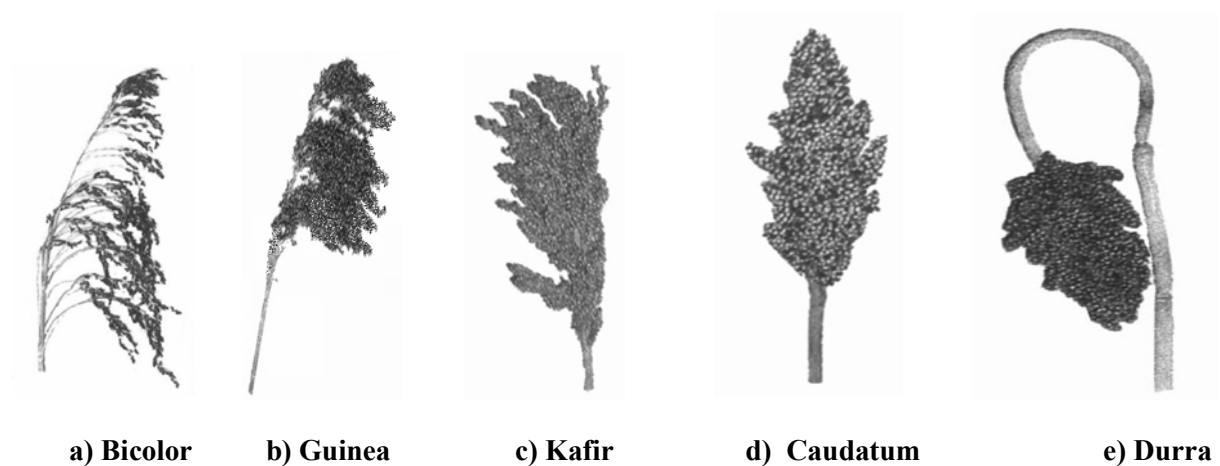


Figure 2: Classification des sorghos selon la forme des panicules, Clerget (2004)

### 1.3. Description botanique

Plusieurs auteurs ont décrit la morphologie du sorgho (House, 1987 ; Chantereau et Nicou, 1991 ; Raimond, 1999 ; Mathieu, 2005 ; Nicolas, 2007 ; Chantereau *et al.*, 2013). Le sorgho (*S. bicolor*) se caractérise par un système racinaire, capable de descendre rapidement à une grande profondeur du sol pour y extraire l'eau et les éléments minéraux. Cette particularité explique en grande partie les qualités de rusticité et de résistance à la sécheresse observée chez les sorghos (Chantereau *et al.*, 2013). Au moment de la germination, l'enracinement primaire se développe avec une fine racine pivotante issue de l'embryon (racine séminale). La mise en place des racines adventives (enracinement secondaire) au niveau du collet se fait dès le stade 3 feuilles (Figure 3). Celles-ci peuvent s'enfoncer jusqu'à deux mètres. Elles prennent naissance sur les entre-nœuds comprimés en plateau de tallage à la base de la tige (Mathieu, 2005).

La plante comprend une tige principale accompagnée de talles issues du développement de bourgeons adventifs sur le collet du maître brin. L'épaisseur des tiges est généralement très variable avec un diamètre qui peut aller de 5 mm à 3 cm (Chantereau et Nicou, 1991). La tige de sorgho appelée aussi chaume est constituée de séries de nœuds alternant avec des entre-nœuds (House, 1987). Elle peut atteindre 5 à 8 m de hauteur, en fonction des variétés et des conditions de cultures. Son diamètre varie de 1 à 4 cm à la base et diminue progressivement en s'élevant. Chaque nœud porte une feuille dont la gaine fendue recouvre souvent le nœud supérieur avant de laisser s'étaler son limbe (Raimond, 1999 ; Mathieu, 2005). Le nombre de talles par plante varie en fonction des variétés et des conditions de culture. Le tallage du sorgho repiqué est peu fréquent, mais peut avoir lieu dans de bonnes conditions d'alimentation hydrique (Mathieu, 2005).

Les feuilles sont alternes et souvent disposées au niveau des nœuds de la tige à raison d'une par entre-nœud. Chaque feuille est constituée d'une gaine enveloppant, puis d'un limbe avec, à leur accollement une ligule (Chantereau *et al.*, 2013). Généralement sur les plants du sorgho, le nombre de feuilles varie de 14 à 17, et peut atteindre 3 feuilles suivant les variétés. La longueur des feuilles peut atteindre 30 à 135 cm et de largeur comprise entre 1,5 à 13 cm. (Nicolas, 2007). L'inflorescence chez le sorgho est une panicule rameuse. Elle est portée par l'entre-nœud supérieur, de dimension variable suivant les variétés (House, 1987). Son apparition est précédée par un gonflement de la gaine de la dernière feuille (feuille drapeau). Elle est soit lâche de 20 à 25 cm de long, soit compacte ou dense de 12 à plus de 60cm (Chantereau *et al.*, 2013).

La graine est un caryopse composé de trois parties, une enveloppe appelée péricarpe, un tissu de réserve ou albumen encore appelé endosperme et un embryon. (House, 1987). Entre le péricarpe et l'endosperme peut se trouver une couche hautement pigmentée, de couleur rouge foncé ou brun foncé appelé testa. L'albumen du sorgho présente à l'extérieur une couche périphérique de cellules riches en vitamines, protéines et huile, c'est la couche d'aleurone (Chantereau et Nicou, 1991).

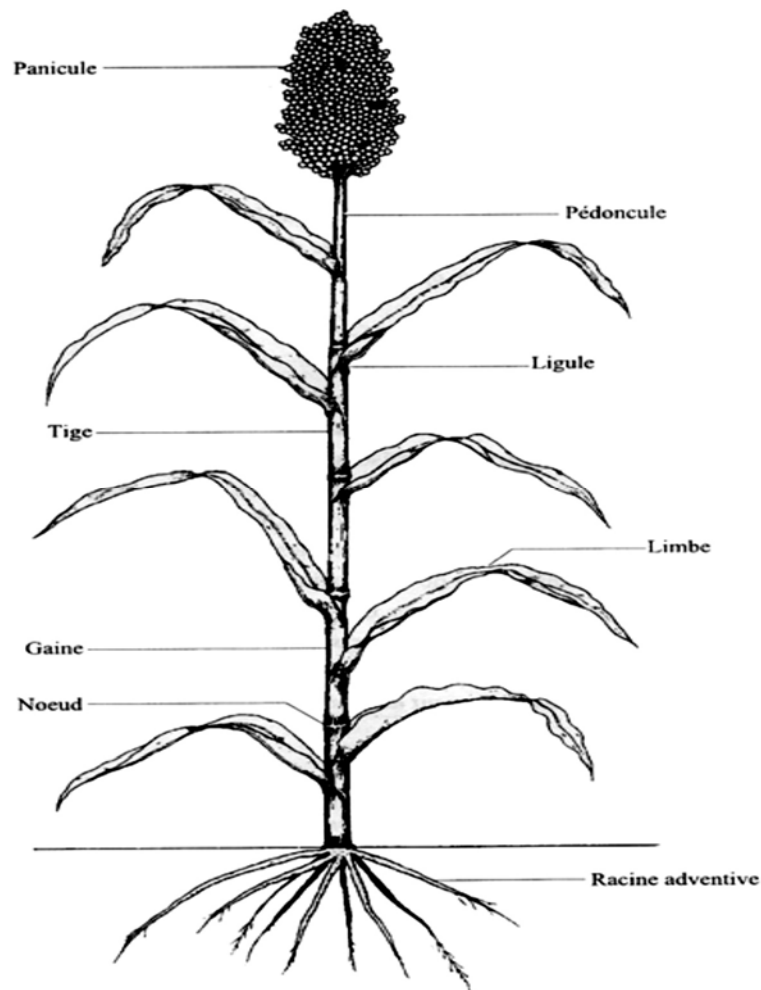


Figure 3: Schéma d'un plan de sorgho (d'après Lafarge, 1998)

#### 1.4. Exigences écologiques

- Température

La croissance physiologique des plantes dépend de trois températures seuils : la température de base, la température optimale et la température maximale. Les exigences thermiques chez les sorghos cultivés varient en fonction des variétés et des zones de culture. La graine de sorgho n'est pratiquement pas dormante. Pour germer, elle demande un sol humide et des températures moyennes journalières supérieures à 12°C (Chantereau *et al.*, 2013). Si les conditions sont bonnes, les semences lèvent en trois ou quatre jours. Le développement floral et la formation des graines se déroulent normalement à des températures de 40 à 42°C avec une humidité relative de 15 à 30% si la plante dispose d'eau dans le sol. Le sorgho est exigeant du point de vue température et sensible au froid humide. (House, 1987).

- Photopériodisme

Le photopériodisme indique la réponse de certaines plantes vis-à-vis de l'altération de la lumière et de l'obscurité favorisant l'accomplissement des différents stades de leur croissance (Champagnat *et al.*, 1969). Chez le sorgho, pour chaque zone climatique, il y a une étroite synchronisation entre la floraison des variétés locales photopériodiques et la fin de la saison des pluies, qui intervient généralement à une date plus régulière que le début (Ouattara *et al.*, 1998). Il en résulte que la photosensibilité est le principal facteur d'allongement du cycle végétatif du sorgho. Dans certaines conditions culturales, les différences de durée de cycle observées entre variétés sont principalement dues à la plus ou moins forte réaction photopériodique (Chantereau *et al.*, 2013). Ainsi, le caractère photopériodique des sorghos ouest-africains autorise une grande souplesse dans les dates de semis, selon la date d'arrivée des premières pluies (Martinez, 2003). Ce comportement photopériodique leur confère une remarquable adaptation à la grande variabilité géographique et interannuelle des pluies qui caractérise les climats tropicaux semi-arides (Vaksmann *et al.*, 1996).

- Besoin en eau

Le sorgho, plante de type C4, est une des céréales les plus efficaces pour l'utilisation de l'eau et de l'azote du sol pour la production de biomasse. Ses besoins élevés en eau sont liés à une très grande capacité d'extraction de l'eau du sol et aux caractéristiques morphologiques de ses tiges et feuilles (système racinaire profond et faible taux de transpiration du système aérien). En conditions hydriques très défavorables, le sorgho a la capacité d'interrompre son

métabolisme et rester en latence durant une période prolongée (Doggett, 1988). Les besoins en eau du sorgho varient en fonction de la longueur du cycle, de la masse du couvert végétal et de la pluviométrie (Chanterreau et Nicou, 1991).

- Type de sol et fertilisation

Le sorgho peut s'adapter à des sols peu fertiles. Les meilleurs sols pour sa culture sont les sols sablo-argileux, profonds, avec un bon drainage et un pH autour de 6 à 7 (Djadjaglo et Richter, 2008). En Afrique, il est cultivé seul ou en association avec d'autres plantes (*i.e. niébé*) généralement sur des sols de texture plus argileuses que ceux réservés au mil et au maïs (Bazil *et al.*, 2008). On le trouve également sur des sols lourds des dépressions, au niveau de plaines inondables et sur les sols sableux des plateaux (Chanterreau et Poulain, 1963).

Au Sénégal, dans le Nord du bassin arachidier, les sols « deck » ou « deck-dior » sont les meilleurs pour le sorgho. Les sols lourds de Casamance et de la vallée du fleuve sont aussi très favorables (Balole, 2006). Le sorgho répond bien à la fumure minérale lorsqu'il est cultivé dans de bons sols bien drainés, sans excès d'eau (Dugué *et al.*, 1994). Cette réponse varie en fonction des variétés. L'engrais, même dans des conditions de faible pluviométrie, favorise le développement des racines qui sont ainsi capables d'extraire l'humidité d'un plus grand volume de sol (House, 1987).

- Types de culture

Le sorgho est une céréale importante particulièrement pour les zones chaudes à pluviométrie réduite de la zone tropicale. Toutefois, c'est une culture traditionnelle pratiquée en système pluvial, mais aussi en système de décrue, (Le Roy, 2005).

- Sorgho pluvial

Le sorgho est principalement cultivé dans les zones de climat Soudano-Sahélien pratiquée en saison des pluies, là où les précipitations sont supérieures à 400 - 500 mm (Chanterreau *et al.*, 1991). Au Sénégal, la culture du sorgho sous pluie est essentiellement pratiquée dans le Centre-Sud et le Sud (Moyenne et haute Casamance). La période des semences est très échelonnée dans le temps. Elle peut aller d'avril à juillet selon les contraintes subies par le cultivateur. Au commencement de l'hivernage, le terrain est semencé sans autre préparation du sol et sans apport de fertilisants. Si les semis ont lieu plus tardivement, le paysan effectue un sarclage pour éliminer les mauvaises herbes. Les semis interviennent généralement après

une bonne pluie. Ils peuvent cependant être réalisés en sec, en particulier si les pluies s'installent tardivement (Chopart, 1980).

- Sorgho de décrue

Le sorgho de décrue est cultivé traditionnellement en fin de saison des pluies sur les terres de bas de pente après le retrait des inondations. Cette culture est une production stratégique pour la sécurité alimentaire des populations les plus démunies. Le cycle cultural du sorgho de décrue se déroule essentiellement en contre-saison et la récolte se fait aux périodes de soudure. Le semis est effectué en une seule fois alors que la date d'arrêt des pluies qui conditionne le repiquage ne peut être connue à l'avance. Aussi, afin de disposer de plants en état d'être repiqués, les paysans jouent-ils sur l'hétérogénéité des pépinières qui module la précocité et éventuellement se procurent des plants chez des voisins ou des cultivateurs habitant d'autres zones (Raimond, 1999).

Au Sénégal, la culture de sorgho de décrue se fait en octobre à novembre dans les bassins des fleuves Sénégal (Cissé, 2001). Ces terres correspondent aux lits majeurs des fleuves soumis à des inondations annuelles, aux cuvettes, aux aménagements de décrue contrôlée et aux barrages aménagés dans les zones où les pluviométries se situent au-dessus de 200mm/an (FAO & AECI, 2001).

Au nord du Cameroun et dans les autres Etats du bassin du lac Tchad entre les 10<sup>e</sup> et le 13<sup>e</sup> degrés de latitude nord, les cultivateurs disposent de sorghos fort appréciés au plan de l'alimentation humaine et occupant dans le temps et dans l'espace une situation très particulière (Mathieu, 2005).

## **2. Importance socio-économique du sorgho**

Le sorgho *S. bicolor* est l'une des principales denrées alimentaires des régions les plus pauvres du monde où la sécurité alimentaire est la plus menacée. Les grains de sorgho jouent un rôle primordial dans l'alimentation des populations des régions semi-arides d'Afrique et d'Asie car ils constituent leur principale source d'énergie, de protéines, de vitamines et de minéraux - en particulier le fer et le zinc - (Kumar *et al.*, 2011). Toutefois, les grains servent également à la fabrication d'aliments concentrés pour l'alimentation des volailles et des porcs, notamment dans les pays tempérés et les pays émergents d'Amérique latine et d'Asie. La plante entière mais aussi les pailles sont souvent utilisées en régions tropicales pour l'alimentation des ruminants, sous forme d'ensilage ou de foin.

Les tiges des variétés sucrières, juteuses et riches en sucres solubles, servent à produire des sirops et dans plusieurs pays (Chine, USA, Inde) du carburant à base d'éthanol (Trouche, 2011). Le sorgho est consommé sous différentes formes, selon la région, le pays ou la situation dans la société. En général, il est utilisé sous forme de grain entier ou transformé en farine pour la préparation de la bouillie, du couscous, du pain et de boissons alcoolisées (non-vin). Le sorgho a une teneur élevée en hydrates de carbone et sa consommation fournit des quantités importantes de calories ainsi que des apports appréciables en protéines et lipides (Fao et Aeci, 2001). C'est une culture africaine par excellence de par ses origines. Mais les plus gros producteurs sont les Etats-Unis d'Amérique (près de 17% de la production mondiale), grâce surtout à des rendements très élevés, suivis par l'Inde, le Nigéria, la Chine, le Mexique, le Soudan et l'Argentine (FAO, 2011). Au Sénégal, la production de sorgho pendant la campagne 2014-2015 sur une superficie emblavée de 125 006 ha et représente 9% de la production total céréalière qui s'élève à 2 152 000 t en 2015 (DAPSA/MAER, 2014).

### **3. Contraintes à la production du sorgho**

La culture du sorgho rencontre certaines contraintes biotiques et abiotiques susceptibles d'affecter négativement sa productivité.

#### **3.1. Contraintes biotiques**

Les contraintes biotiques sont essentiellement liées aux insectes ravageurs, aux maladies, aux mauvaises herbes (surtout le *Striga*) et aux oiseaux. Le cas des maladies qui affectent la panicule tels que les moisissures des grains ; le charbon allongé (*Tolyposporium ehrenbergii*) ; le charbon de la panicule (*Sphacelothera cruenta*) et la pourriture sèche de la panicule (*Fusarium moniliforme*). En plus de ces maladies, on note également la présence d'insectes ravageurs comme les foreurs de tiges (*Chilo partellus*), la mouche des pousses (*Atherigona soccata*), les chenilles défoliatrices (*Spodoptera frugiperla* et *Mythimna separata*), les pucerons (*Schizaphis graminum*) Chantereau et Nicou, (1991).

Les adventices extrêmement agressifs tels que (*Digitaria*, *Bracharia*, *Echinochloa*, *Setaria*, *Rottboellia* et *Pennisetum*). Les oiseaux (i.e. *Quelea quelea*), par leurs dégâts, peuvent constituer un problème sérieux au moment de la récolte comme l'indique Ramaiah et Parker, cité par Clerget, 2004.



### **3.2. Contraintes abiotiques**

Les contraintes abiotiques sont particulièrement la pauvreté des sols, la variabilité de la pluviométrie tant dans le temps que dans l'espace et les sécheresses cycliques dues au phénomène récurrent des changements climatiques. Les variétés locales de sorgho qui ont essentiellement des cycles longs et ne tolérant pas la sécheresse n'arrivent plus à donner de bon rendement. A cela s'ajoutent les problèmes socio-économiques tels l'étroitesse du marché des produits agricoles, l'enclavement des zones de production dans un pays lui-même enclavé ; coût élevé des intrants. Le manque d'organisation de la commercialisation des produits vivriers, la faiblesse du système de vulgarisation, l'insuffisance de crédit agricole et des moyens de stockage. La non existence d'un réseau bien organisé de distribution de semences améliorées ; la faible productivité des variétés locales ; la divagation des animaux dont les conséquences sont les conflits agriculteurs- éleveurs (FAO, 2011).

## **4. Effet de la sécheresse et mécanismes d'adaptation chez le sorgho**

### **4.1. Effet de la sécheresse**

La sécheresse définit un manque de pluviométrie non systématique, elle est caractérisée par l'intensité de sa déviation par rapport aux valeurs moyennes ou normales de pluviométrie, avec des éléments quantitatifs indiquant : sa durée (sécheresse prolongée), sa période d'occurrence ; son extension géographique ; sa dynamique de mise en place (brutale ou progressive); le moment de son apparition par rapport au cycle cultural (Gaufichon *et al.*, 2010). Trois types de sécheresse ayant des conséquences sur les céréales sont rapportés en rapport avec leurs effets sur la morphologie des plants et le rendement en grain. Il s'agit de la sécheresse météorologique, la sécheresse édaphique, ou agricole et la sécheresse hydrologique (Gaufichon *et al.*, 2010). Chez les céréales, le stade reproductif est potentiellement le plus sensible au déficit hydrique et les conséquences sur les rendements sont les plus graves. Le stress hydrique qui survient au cours de l'anthèse, entraîne la stérilité des fleurs. Pendant le remplissage du grain, il entraîne la diminution du poids des grains (N'da, 1984). Parmi les symptômes d'un stress post-floral, on retrouve une sénescence prématurée des feuilles et de la plante, une verse de fin de cycle, et la réduction de la taille des grains. Le déficit pré-floral aboutit quant à lui à une réduction du nombre de grains et un allongement du cycle. (Bruce *et al.*, 2002).

Lors de la sécheresse, les échanges gazeux entre la plante et l'atmosphère sont limités. Cet effet varie suivant les organes de la plante et l'âge du tissu. C'est ainsi que la photosynthèse des feuilles est plus sensible au déficit hydrique que celle de la tige. L'effet dépressif d'un

déficit hydrique sur la photosynthèse résulte d'une baisse de la conductance stomatique, d'une altération de l'appareil photosynthétique et/ou d'une diminution de la surface foliaire (Sarda *et al.*, 1992). Tout d'abord la photosynthèse est réduite en raison de la fermeture des stomates, puis elle est affectée par suite de l'altération de l'appareil photosynthétique (réduction de l'assimilation chlorophyllienne, inactivation de l'enzyme fixatrice du CO<sub>2</sub> (Gharti et Lales 1990). Cela conduit à une limitation du transfert des assimilats des feuilles vers les épis et réduit, en conséquence, le remplissage des grains (Ricards, 1983 ; Khaldoun *et al.*, 1990).

#### **4.2. Mécanismes d'adaptation chez le sorgho**

Les plantes sont capables de mettre en place des mécanismes de réponses physiologiques leur permettant d'agir sur leur propre état hydrique afin de s'adapter aux conditions environnementales, de limiter les effets du stress sur leur métabolisme, d'assurer leur survie et leur reproduction (Farm, 2010). Trois grands mécanismes conduisent la tolérance des plantes à la sécheresse (Chantereau *et al.*, 2013), mécanisme d'échappement qui conduit à la capacité de celles-ci à éviter la sécheresse en réduisant le cycle ; mécanisme d'évitement relié à la conservation d'un bon état hydrique des plantes en situation de stress hydrique et la tolérance qui traduit la capacité des plantes à rester fonctionnelles sous faible teneur en eau. Cependant, le sorgho présente ces trois mécanismes :

- l'échappement est assuré par l'existence de variétés à cycles courts ou photopériodiques ;
- l'évitement assuré par le système racinaire profond du sorgho ainsi que sa bonne régulation de la fermeture des stomates ;
- la tolérance résultant de l'équilibre membranaire chez certains génotypes.

Le sorgho est généralement reconnu comme une plante tolérante à la sécheresse de par ses capacités de tolérance supérieures et d'enracinement efficace, qui lui permettent de maintenir son activité photosynthétique pour une gamme étendue d'états hydriques du sol. L'architecture du système racinaire ainsi que les propriétés intrinsèques d'absorption des racines pourraient être la cause de sa capacité à maintenir le prélèvement d'azote dans le sol en condition sèche (Lemaire *et al.*, 2005). Un système racinaire capable d'extraire l'eau du sol en profondeur est un trait essentiel pour la résistance à la sécheresse. Le maintien de la surface foliaire verte favorise la stabilisation de la production en permettant une reprise rapide et complète de l'activité photosynthétique dès le retour à des conditions hydriques normales (Farm, 2010).