



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
جامعة محمد البشير الإبراهيمي برج بوعرييرج

Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi B.B.A.

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الارض والكون

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers

قسم العلوم الفلاحية

Département des Sciences Agronomiques



# Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine Des Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences agronomiques

Spécialité : Amélioration des plantes

## Thème

« Effet du stress hydrique sur deux populations autochtones du sorgho  
*Sorghumbicolor* L.Moench »

Présenté par : 1) MAAREF Nesrine

2) KERMICHE Leila

Devant le jury :

Président : M<sup>r</sup> Mohamed BIBEK MAA (Université de BBA)

Encadrant : M<sup>r</sup> Redha OULD KIAR MAA (Université de BBA)

Examineur : M<sup>ed</sup> Hayzia KLALICHE MAA (Université de BBA)

Année universitaire : 2017/2018

## Remerciements

Tout d'abord nous remercions *ALLAH* le tout puissant qui nous a éclairées ver le bon chemin.

Nous tenons à remercier très vivement notre encadrant, Mr. *OULD KIAR*, pour ses conseils avisés et ses encouragements constants.

Nos vifs remerciements vont également à tous les enseignants qui ont contribués à notre formation.

Nos sincères remerciements vont également à tous les membres du jury qui ont consacré une part importante de leurs temps à la lecture et à l'évaluation

Nous sommes très honorées que l'enseignant *Mohamed BIBAK* a accepté de présider le jury, et que l'enseignant *Hayzia KLALCHE* a accepté d'examiner notre travail.

Nos remerciements à tous ceux qui ont contribués de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail et à tous les amis et les collègues pour leurs encouragements et leurs amitiés.

*Nesrine et Leila*

## *Dédicace*

*Je dédie ce travail*

*A mes parents Najah et Abide, les mots sont faibles pour exprimer la force de mes sentiments et la reconnaissance que je vous port et je remercie dieu de vous avoir protégé.*

*A mes frères : Mohemd ElAmine, Saifeddine, Aniseet mon petit frère  
Jawade.*

*A mes sœurs : Achoik, Amani, Malak, je vous souhaite une vie pleine de  
bonheur, de santé et de réussite.*

*A mes oncles et tantes sans exception.*

*A mon mari : Youcef*

*A toute la promotion Amélioration des plantes.*

*A tous mes amis.*

*A tous ceux qui m'ont aidé de loin ou de près.*

*Nesrine*

## *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail à ceux qui m'ont offert la vie, le soutien tout au long de mes études, le courage pour aller jusqu'au bout, mes symboles dans la vie, mes chères parents Farida et Ismail. Les mots sont faibles pour exprimer la force de mes sentiments que je vous porte et je remercie le dieu de vous avoir protégé.*

*A mes frères : Redoine, Nassim, Abd El Krim, Saleh.*

*A mes sœurs : Radia, Sam, Warda.*

*Et leurs enfants : Malika, Maha, Maria, Aya, Rahma, Zineddine, Ritaje que je leur souhaite une vie pleine de bonheur, de santé et de réussite.*

*A tous mes oncles et tantes sans exception.*

*A toutes mes copines : IMANE, AHLEM, l'ingénieur B. IMAD.*

*A toute la promotion Amélioration des plantes.*

*A tous ceux qui m'ont aidés de près ou de loin.*

*Leila*

## « Effet du stress hydrique sur quelques populations autochtones du sorgho *Sorghum bicolor* L Moench »

### Résumé :

La mauvaise répartition des précipitations en Algérie, dans l'espace et dans le temps représente le principal facteur de limitation des niveaux du rendement des céréales. Dans des conditions pareilles, le choix des espèces et des variétés tolérantes à la sécheresse est devenu indispensable. Pour cela, une expérimentation a été menée en vue d'étudier l'effet du stress hydrique sur quelques populations autochtones du sorgho «*Sorghum bicolor* L. Moench» les génotypes étudiées étaient TL5 et FR1. L'essai était conduit selon un dispositif expérimental en Bloc Aléatoire Complet.

L'application du stress hydrique (le témoin T : 360ml/pot, Dose1 : 160ml et Dose2 : 80ml) a conduit à la diminution d'assimilation de l'eau qui a influencé significativement sur la croissance (la hauteur finale de la tige et la longueur racinaire) et sur la biomasse de la plante. La variété hybride FR1, originaire de la France, a présenté une sensibilité aux faibles doses d'eau. La population TL5 originaire d'Aïn Salah a montré une certaine tolérance au stress hydrique par l'élongation de son système racinaire pour s'approvisionner en eau.

**Mots clés :** Sorgho (*Sorghum bicolor* L. Moench), stress hydrique, croissance, population.

### "تأثير الإجهاد المائي على بعض مجموعات الذرة الرفيعة المحلية"

#### ملخص:

يعد التوزيع الغير متوازن، في الزمان والمكان، للأمطار في الجزائر، العامل الرئيسي الذي يحدّ من مستوى إنتاج الحبوب. في ظل هذه الظروف بات من الضروري اختيار الأنواع والأصناف التي تقاوم الجفاف، لهذا السبب قمنا بإجراء تجربة لدراسة تأثير الإجهاد المائي على بعض أصناف الذرة الرفيعة المحلية. وقد تمت الدراسة على الصنفين TL5 و FR1 حيث أجريت الدراسة وفقا لنظام يعتمد على العشوائية الكاملة.

تطبيق الإجهاد المائي (360، 160 و 80 مل) أدى إلى انخفاض عملية امتصاص الماء الأمر الذي أثر في النمو (الارتفاع النهائي للساق وطول الجذر) وعلى الكتلة الحيوية للنباتة. أظهر النمط الوراثي الهجين FR1، ذا الأصول الفرنسية، بعض الحساسية لجرعات الماء المنخفضة. وأظهر الصنف TL5 من عين صالح بعض المقاومة للإجهاد المائي بعملية إطالة جذوره للبحث عن الماء.

**الكلمات المفتاحية:** الذرة الرفيعة، الإجهاد المائي، النمو، الصنف.

## « Drought tolerance effect on some local accessions of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) »

### Abstract :

In Algeria, the poor distribution of rainfall in space and time is the main factor limiting grain yield levels. For this, an experiment was conducted to study the effect of water stress on some indigenous populations of *Sorghum bicolor* L. Moench. Sorghum genotypes studied were TL5 and FR1 and the test was conducted according to an experimental device in random block complete.

The application of water stress (T: 360ml, Dose1: 160ml and Dose2: 80ml) decreasing assimilation of water which induces significant differences in the growth (the final height of the stem and root length) and on the biomass of the plant. The FR1 genotype, showed sensitivity to low water doses. TL5 population from Aïn Salah showed some tolerance to water stress.

**Key words:** Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench), water stress, growth, population

# Sommaire

|  | Page      |
|--|-----------|
| Résumé   |           |
| Liste des Tableaux                             |           |
| Liste des Figures                              |           |
| Liste des Abréviations                         |           |
| <b>Introduction</b>                            |           |
| <b>Partie I : Recherche bibliographique</b>    |           |
| <b>Chapitre I : Généralités</b>                |           |
| <b>I.1. Origine et domestication du sorgho</b> | <b>2</b>  |
| <b>I.2. Taxonomie</b>                          | <b>2</b>  |
| <b>I.3. Morphologie du sorgho</b>              | <b>3</b>  |
| I.3.1. Appareil végétatif                      | 3         |
| a. Racines                                     | 3         |
| b. Tiges                                       | 4         |
| c. Feuilles                                    | 4         |
| I.3.2. Appareil reproducteur                   | 5         |
| a. Inflorescence                               | 5         |
| b. Grain                                       | 6         |
| <b>I.4. Croissance et développement</b>        | <b>7</b>  |
| I.4.1. Phase végétative                        | 7         |
| a. Germination et développement de la plantule | 7         |
| b. Tallage du sorgho                           | 8         |
| I.4.2. Phase reproductive                      | 8         |
| I.4.3. Phase de maturation                     | 9         |
| <b>I.5. Stay-green chez le sorgho</b>          | <b>10</b> |
| <b>I.6. Ecologie du sorgho</b>                 | <b>10</b> |
| I.6.1. Besoins en lumière et photopériodisme   | 10        |
| I.6.2. Besoins en température                  | 11        |
| I.6.3. Besoins en eau                          | 11        |
| I.6.4. Exigences du sol                        | 11        |
| <b>I.7. Culture du sorgho</b>                  | <b>11</b> |
| I.7.1. Semis                                   | 11        |
| I.7.2. Désherbage                              | 12        |
| I.7.3. Fertilisation                           | 12        |
| I.7.4. Irrigation                              | 13        |
| I.7.5. Récolte                                 | 13        |
| <b>I.8. Utilisations du sorgho</b>             | <b>14</b> |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Chapitre II : Contraintes hydriques</b>                             |           |
| <b>II.1. Catégories de stress</b>                                      | <b>15</b> |
| II.1.1. Biotique   | 15        |
| a. Insectes ravageurs  | 15        |
| b. Les oiseaux   | 15        |
| c. Maladies  | 16        |
| d. Les plantes adventices  | 16        |
| II.1.2. Abiotique  | 16        |
| a. Le stress thermique   | 16        |
| b. Le stress salin   | 16        |
| c. Le stress hydrique  | 16        |
| <b>II.2. La plant et le stress hydrique</b>                            | <b>17</b> |
| <b>II.3. Effet du déficit hydrique sur la physiologie d'une plante</b> | <b>17</b> |
| - Sur la photosynthèse   | 17        |
| - Sur la transpiration   | 17        |
| <b>II.4. Stratégies de la réponse des plantes au stress hydrique</b>   | <b>18</b> |
| II.4.1. Stratégie d'esquive  | 18        |
| II.4.2. Stratégie d'évitement  | 18        |
| a. Mécanismes morphologiques   | 18        |
| - Fermeture des stomates   | 18        |
| - Réduction de la croissance foliaire                                  | 19        |
| - Développement racinaire accru  | 19        |
| b. Mécanismes physiologiques   | 19        |
| - L'état hydrique de la plante   | 19        |
| II.4.3. Stratégie de tolérance   | 20        |
| <b>Partie II: Partie expérimentale</b>                                 |           |
| <b>Chapitre I : Matériel et méthode</b>                                |           |
| <b>I.1. Objectif de l'essai</b>  | <b>21</b> |
| <b>I.2. Site expérimental et fiche technique</b>                       | <b>21</b> |
| <b>I.3. Matériel végétal</b>   | <b>22</b> |
| <b>I.4. Dispositif expérimental</b>                                    | <b>22</b> |
| <b>I.5. Conduite de la culture</b>                                     | <b>23</b> |
| I.5.1. Préparation du substrat   | 23        |
| I.5.2. Semis et irrigation   | 24        |
| I.5.3. Application du stress   | 24        |

|  |           |
|--|-----------|
| I.5.4. Coupe                                     | 24        |
| I.5.5. Fertilisation azotée                      | 25        |
| <b>I.6. Paramètres étudiés</b>                   | <b>26</b> |
| I.6.1. Hauteur de la tige                        | 26        |
| I.6.2. Longueur de la racine                     | 26        |
| I.6.3. Longueur de la feuille                    | 27        |
| I.6.4. Rapport Racine / Tige                     | 27        |
| I.6.5. La vitesse de croissance                  | 27        |
| I.6.6. Poids frais et poids sec                  | 28        |
| I.6.7. Taux de la matière sèche                  | 28        |
| <b>I.7. Traitement statistique des données</b>   | <b>28</b> |
| <b>Partie III: Résultats et discussion</b>       |           |
| <b>I. Résultats obtenus</b>                      | <b>29</b> |
| <b>I.1. Paramètres étudiés</b>                   | <b>29</b> |
| I.1.1. Hauteur de la tige finale                 | 29        |
| I.1.2. La longueur finale de la partie racinaire | 30        |
| I.1.3. Rapport R/T finale                        | 31        |
| I.1.4. La longueur de la feuille finale          | 32        |
| I.1.5. La vitesse de croissance                  | 33        |
| I.1.6. Poids frais de la tige                    | 34        |
| I.1.7. Poids sec de tige                         | 35        |
| I.1.8. Matière sèche de tige                     | 35        |
| I.1.9. Matière sèche de racine                   | 36        |
| <b>I.2. Les corrélations</b>                     | <b>37</b> |
| <b>Conclusion</b>                                |           |
| Références bibliographiques                      |           |
| Annexes  |           |

## Liste des tableaux

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Tableau 01:</b> Fiche technique de la pépinière El Hammadia                                    | <b>21</b> |
| <b>Tableau 02:</b> Origine et date de récolte des génotypes étudiés                               | <b>22</b> |
| <b>Tableau 03:</b> Volume d'eau apporté pour les trois traitements étudiés                        | <b>24</b> |
| <b>Tableau 04:</b> dates d'application de stress  | <b>24</b> |
| <b>Tableau 05 :</b> Date des coupes réalisées   | <b>25</b> |
| <b>Tableau 06:</b> Corrélations, ajustées par le test de bonferroni, entre les paramètres étudiés | <b>37</b> |

## Liste des figures

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Figure 01:</b> Un plant de sorgho   | <b>3</b>  |
| <b>Figure 02:</b> Racines adventives de sorgho   | <b>4</b>  |
| <b>Figure 03:</b> Tige du sorgho   | <b>4</b>  |
| <b>Figure 04:</b> Feuille du sorgho  | <b>5</b>  |
| <b>Figure 05:</b> Panicule du sorgho   | <b>6</b>  |
| <b>Figure 06:</b> Schéma du grain de sorgho  | <b>7</b>  |
| <b>Figure 07:</b> Stades de développement du sorgho  | <b>7</b>  |
| <b>Figure 08:</b> Ensilage du sorgho   | <b>13</b> |
| <b>Figure 09:</b> Sorgho épié en fin d'été   | <b>13</b> |
| <b>Figure 10:</b> Localisation du site expérimentale   | <b>21</b> |
| <b>Figure 11:</b> Dispositif expérimental «B A C»  | <b>23</b> |
| <b>Figure 12:</b> Dispositif expérimental  | <b>23</b> |
| <b>Figure 13:</b> Étapes de prélèvement  | <b>25</b> |
| <b>Figure 14 :</b> Apport de l'urée super 46   | <b>26</b> |
| <b>Figure 15 :</b> Mesure la hauteur de la tige  | <b>26</b> |
| <b>Figure 16 :</b> Mesure de la longueur racinaire à l'aide d'un ruban mètre                             | <b>27</b> |
| <b>Figure 17:</b> Mesure de la longueur de la feuille  | <b>27</b> |
| <b>Figure 18:</b> Dessèchement de la plante dans l'étuve   | <b>28</b> |
| <b>Figure 19 :</b> Hauteur des plantules sous différentes doses d'eau au cours du différent stress       | <b>29</b> |
| <b>Figure 20 :</b> Variation de la longueur racinaire chez deux génotypes du sorgho sous stress hydrique | <b>30</b> |
| <b>Figure 21:</b> Rapport (R/T)  | <b>31</b> |
| <b>Figure 22 :</b> Histogramme représentant la variation de la longueur de feuille                       | <b>32</b> |
| <b>Figure 23 :</b> La vitesse de croissance des plantes sous différents dose d'eau                       | <b>33</b> |
| <b>Figure 24:</b> Poids frais de la tige sous différentes doses d'eau                                    | <b>34</b> |
| <b>Figure 25:</b> Poids sec de la tige sous différentes doses d'eau                                      | <b>35</b> |
| <b>Figure 26:</b> Matière sèche de la tige sous différentes doses d'eau                                  | <b>35</b> |
| <b>Figure 27:</b> Matière sèche de la racine sous différentes doses d'eau                                | <b>36</b> |

## Liste des abréviations :

**A:** Are.

**BAC :** Bloc Aléatoire Complet

**BBA:** Bordj Bou Arreridj.

**Ca:** Centiare.

**Cl :** l'ion chlore.

**Cm:** Centimètre.

**C°:** Degré Celsius.

**CO<sub>2</sub>:** Dioxide de carbone.

**FAO:** Organisation des nations unies pour l'agriculture et l'alimentation.

**Ha:** Hectare.

**HCN :** Acide cyanhydrique.

**ICRISAT:** InternationaleCropsResearch Institute for the Semi-AridTropics.

**JC:**Jésus Christ.

**K<sup>+</sup>:** IonPotassium.

**K<sub>2</sub>O :**Oxyde de potassium.

**Kg:** Kilogramme.

**Km:**Kilometer.

**m:** Mètre.

**MF :** Matière fraiche.

**MS :** Matière sèche

**ml :** Millilitre.

**mm:** Millimètre.

**Moy:** Moyenne.

**MS:** Matière sèche.

**Na<sup>+</sup>:**L'ion sodium.

**Ns :** Non significatif

**P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> :** Pentoxyde de phosphore.

**PF:** Poids frais.

**PH :** Potentiel hydrogène.

**PS :** Poids sec.

# ***Introduction***

Le sorgho (*Sorghumbicolor* (L.) Moench) occupe le cinquième rang mondial et le deuxième en Afrique sub-saharienne, en terme de production céréalière, avec une production mondiale d'environ 64 millions de tonnes par ans sur 45 millions hectares (FAOSTAT, 2016). Il est parmi les cultures fourragères prometteuses pour l'Algérie, il représente un soutien supplémentaire qui permet de renforcer la production des fourrages et peut être d'une grande utilité en élevage et par conséquence de la production laitière (Robin, 2014).

En Algérie le climat est caractérisé par l'irrégularité de la pluviosité dans le temps et dans l'espace ainsi que par une tendance vers plus d'aridité et donc un impact accru des sécheresses. Ces dernières sont considérées comme les facteurs d'une perte partielle ou totale de la production, en particulier dans le cas des céréales (Hassani *et al.*, 2008).

Le sorgho est cultivé dans des zones sujettes à la sécheresse (régions semi-arides), il est cultivé avec un minimum d'intrants, dans des conditions de faible fertilité du sol et des précipitations irrégulières et inadéquates. Les accessions traditionnelles, montrent une bonne adaptation mais présentent de faibles rendements (Rai *et al.*, 1999).

Le déficit en eau est l'une des contraintes les plus courantes de l'environnement qui influe sur la croissance et le développement des plantes (Sadras and Milroy, 1996 ; Aslam *et al.*, 2006). Cette sécheresse ou manque d'eau qui peut intervenir à différentes périodes du cycle de la vie de la plante est étroitement lié au stade de développement de la plante (Chaves *et al.*, 2002; Jaleel *et al.*, 2008) et peut affecter le rendement en biomasse et en grains des cultures (Araus *et al.*, 2002; Tester and Bacic, 2005). Plusieurs études ont montré que, lors d'un déficit hydrique, les plantes adoptent des stratégies d'adaptation qui diffèrent d'une espèce à une autre et qui font intervenir une large combinaison de facteurs morphologiques, physiologiques et biochimiques (Farooq *et al.*, 2008; Reynolds and Tuberosa, 2008 ; Razmjoo *et al.*, 2008).

L'objectif de notre travail est d'évaluer l'effet d'un stress hydrique sur des paramètres agro-morphologiques en relation avec le stade végétatif du sorgho tout en comparant une population autochtone du sud Algérien avec une variété hybride introduite de la France, lors de la phase de croissance. Cette étude a porté sur l'exposition des jeunes plantules à trois périodes de stress.

Notre document commence par une introduction suivie par une partie bibliographique qui traite des généralités sur le sorgho et les contraintes hydriques, la deuxième partie expérimentale subdivisée en matériel et méthodes et résultats et discussion. Nous terminerons vers la fin par une conclusion et des perspectives.

***Partie I***  
***Recherche***  
***bibliographique***

## Chapitre I : Généralités

### I.1. Origine et domestication du Sorgho :

Le sorgho aurait été domestiqué entre le quatrième et le troisième millénaire avant J.C. en Ethiopie avant de diffuser très tôt (au Néolithique) vers l'Ouest de l'Afrique à travers le Soudan puis vers les autres parties du continent en se diversifiant (House, 1987 ; Ollitrault et *al.*, 1989).

Selon Gnansounou et *al.*, 2005 De l'Afrique, le sorgho atteint l'Asie par l'Inde (environ 1500 ans avant notre ère) puis la Chine (vers le troisième siècle après JC) par la route de la soie. Depuis l'Inde et la Chine, il s'est propagé vers l'Europe (Italie) à travers la Perse. Le sorgho serait originaire du Nord-Est de l'Afrique.

Son introduction en Amérique est relativement récente et daterait de la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle à partir de la Chine et de l'Afrique du Sud avec la traite négrière (Grassi, 2001).

Pour Harlan et De Wet (1972), cette domestication du sorgho s'est faite en deux phases :

- Un sorgho primitif de type bicolore aurait été d'abord domestiqué en bordure sud du Sahara.
- De ce type primitif, les races modernes auraient été ensuite développées dans diverses régions d'Afrique.

### I.2. Taxonomie :

Le sorgho (*Sorghumbicolor* L. Moench), est une herbacée annuelle de la famille des poaceae (ex-Graminées), sous famille des *Panicoïdeae*, tribu des *Andropogoneae* et du genre *Sorghum*.

C'est une espèce monoïque préférentiellement autogame. Le taux d'allogamie varie en fonction de la race considérée : très faible pour les variétés cléistogames dont les fleurs ne s'ouvrent qu'après l'anthèse, il est de l'ordre de 5 à 7% pour les variétés à panicules compactes et varie largement (20 à 29%) pour les variétés à panicules lâches de la race botanique *Guinea* (Doggett, 1988).

Le sorgho a d'abord été désigné sous différents noms au cours du XVI<sup>ème</sup> siècle : *Millium saracenaceum*, *Millium indicum sive melica*, *Millium indicum* et *Millium aethiopicum*. La taxonomie moderne ne reprend le nom qu'à partir de Linné qui fut le premier à décrire le sorgho en 1753. Celui-ci désigne le sorgho sous le nom de *Holcus*, et décrit sept (07) espèces, dont trois (03) font toujours partie du genre *Sorghum* : *Holcus saccharatus*, *Holcus sorghum* et *Holcus bicolor*.

Toutefois, la systématique actuelle s'inspire des bases données par Moench qui fut le premier à définir le genre *Sorghum* et l'espèce *bicolor* (L.) Moench (Harlan and DeWet, 1972)

### I.3. Morphologie :

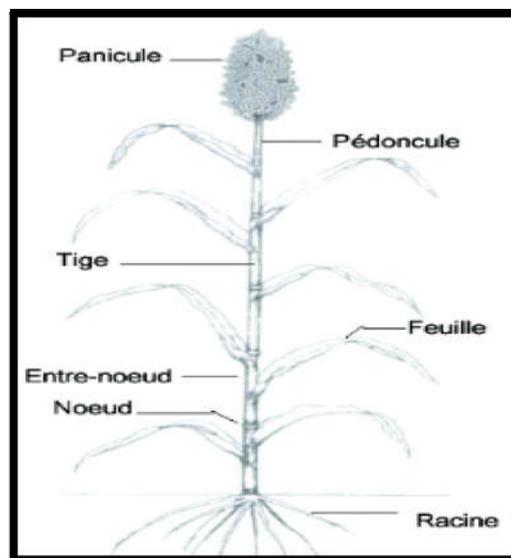


Figure 01: Un plant de sorgho (Trouche, 2009)

#### I.3.1. Appareil végétatif :

**a. Racines :** selon Chantereau et Nicou (1991), Les sorghos se caractérisent par un puissant système racinaire avec de nombreux poils absorbants qui lui confèrent une grande résistance à la sécheresse. En effet les racines adultes entièrement adventives partent du collet et s'enfoncent profondément dans la terre jusqu'à 2m.

Elles émettent des ramifications qui donnent des racines latérales assurant l'exploration du sol dans toutes les directions (Figure 02).



**Figure 02** : Racines adventives de sorgho (Zolikpo, 2010)

**b. Tiges :** Comme les sorghos ordinaires, le plant du sorgho est constitué d'une tige principale accompagnée ou non selon les variétés de talles issues du développement de bourgeons adventifs sur le collet du maître brin (Zongo, 1991). Il est généralement érigée, mince ou très robuste de consistance solide (House, 1987). La tige du sorgho formée d'entrenœuds de taille variable alternant avec des nœuds est longue de 80cm à 500cm et large de 1cm à 5cm (Grassi, 2001).

Nebie (2009) au Burkina Faso, a trouvé que la tige des sorghos à grains sucrés est constituée de 6 à 11 entrenœuds dont le diamètre varie entre 1,43cm à 1,90cm. Le tallage est relativement faible (au plus 2/plant) ou nul comparativement aux sorghos fourragers. En effet le nom Sorgho dérive du latin « surgo » qui signifie « je m'élève » et ce terme serait lié à la grande taille de la plante (Figure 03).



**Figure 03** : Tige du sorgho (Dehaynin, 2007)

**c. Feuilles :** Le sorgho a des feuilles simples, longues de 30cm à 135cm, larges de 10cm à 15cm, glabres et retombantes en disposition alterne, munies de très longues gaines. Le nombre de feuilles varie de 14 à 17 et peut atteindre 30 dans certains cas. Les limbes

cutinisés combinés à l'efficacité du système racinaire (densité racinaire et profondeur d'enracinement) confèrent au sorgho une meilleure résistance à la sécheresse que le maïs (Ademe, 1998).

Selon Nebie (2009) les sorghos à grains sucrés ont des feuilles longues de 65cm à 80 cm et larges de 7cm à 10cm (Figure 03).

Certaines variétés de sorghos présentent sur la face inférieure de leurs feuilles des poils de tailles microscopiques appelés trichomes qui confèrent aux jeunes plantes une résistance à la mouche du pied *Atherigona soccata*. Pendant la saison hivernale, à la suite d'attaques fongiques ou d'insectes, des taches de couleur rouge ou jaune peuvent apparaître sur les feuilles permettant ainsi de déterminer respectivement les sorghos de type « anthocyane » de ceux du type « tan » (Chantereau et Nicou, 1991).

Tiges et feuilles peuvent contenir de l'acide cyanhydrique (HCN) très toxique pour les animaux "la diurne". On a cependant constaté que ce produit toxique apparaissait surtout dans les repousses et dans les tiges lorsque la plante est blessée ou stressée (Ademe, 1998). (fig 04)



**Figure 04** : Feuille du sorgho (Dehaynin, 2007)

### **I.3.2. Appareil reproducteur :**

**a. Inflorescence** : est une panicule qui peut être courte et compacte ou bien lâche et ouverte : de 4 à 25 cm ou plus de long sur 2 à 20 cm ou plus de large. L'axe central de la particule ou rachis peut se trouver complètement masqué par la densité des branches secondaires et tertiaires de la panicule ou être complètement exposé. Le rachis est très variable morphologiquement : de long et mince à trapu et robuste. Un certain nombre de branches secondaires prend naissance à chaque nœud. Chacune peut varier en longueur, étant trapue ou

grêle, rigide ou souple, velue ou quasi glabre, ramifiée près de sa base (branches tertiaires) ou non jusqu'au voisinage du sommet (House, 1987), (Figure 05).



**Figure 05 :** Panicule du sorgho (Dehaynin, 2007).

**b. Grain :** Le grain du sorgho est un caryopse de forme plus ou moins sphérique ou un peu aplatie sur une face. Les grains de forme elliptique ou presque symétrique sont de couleur rouge ou grise et entièrement farineux. Les glumelles sont pour la plupart non aristés (Nebie, 2009).

Selon Asiedu (1989) le grain du sorgho est constitué de trois parties principales : l'enveloppe ou péricarpe, l'albumen ou endosperme et l'embryon. Entre le péricarpe et l'albumen, se trouve une couche brune ou rouge appelée testa. La présence du testa confère une résistance aux moisissures. L'endosperme est blanc ou jaune. La coloration jaune est due à deux pigments: la xanthophylle et le carotène (Figure 06).

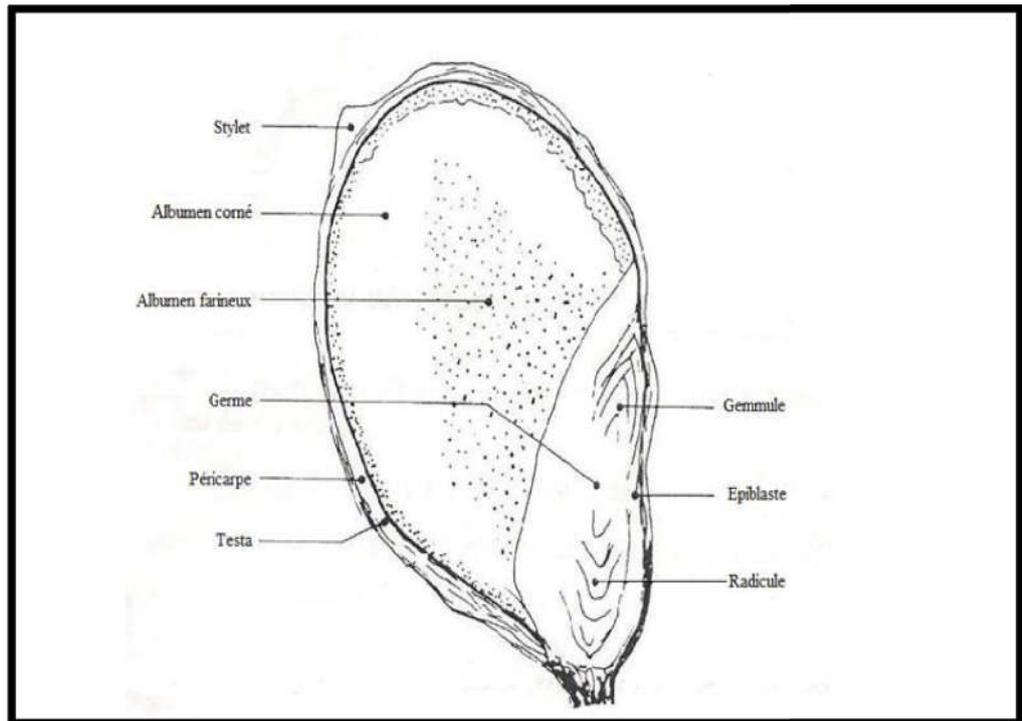


Figure 06 : Schéma du grain de sorgho (Sautier et O'deye, 1989)

#### I.4. Croissance et développement :

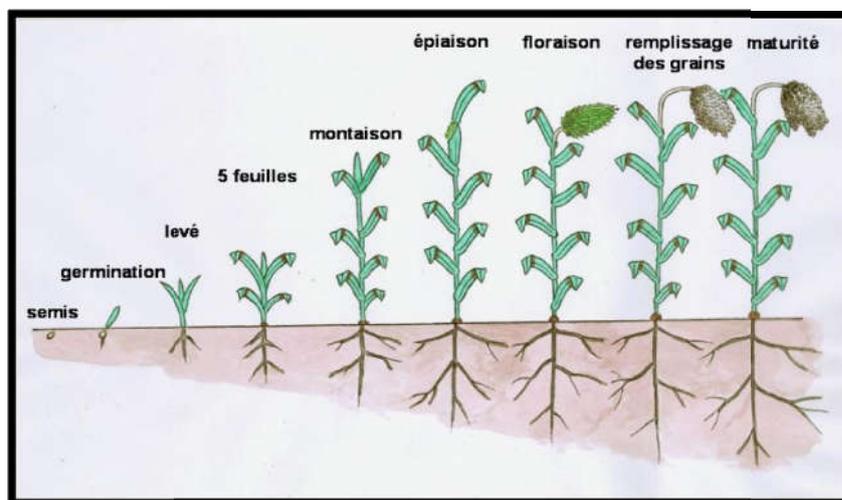


Figure 07 : Stades de développement du sorgho (Chantereau et al., 2013).

##### I.4.1. Phase végétative :

**a. Germination et développement de la plantule :** selon House (1987), Lorsqu'une graine est enfouie dans un sol humide, elle s'imbibe d'eau et gonfle. La germination se produit rapidement et dans les sols chauds, la coléoptile apparaît le premier au-dessus du sol au bout de trois à quatre jours (le temps est plus long, jusqu'à dix jours dans des sols plus froids).

Lorsque la graine gonfle, son tégument se brise et une coléoptile mince ainsi que la racine primaire (radicule) apparaissent. La coléoptile s'allonge et quelques racines primaires commencent à se développer. La coléoptile commence à émerger du sol, la première feuille sort bientôt en perçant son sommet. La jeune plante commence sa croissance, en produisant d'autres feuilles, la coléoptile restant à la base du pied sous forme d'une gaine.

La mésocotyle croit durant cette période et un nœud se forme à la base de la coléoptile juste en-dessous de la surface du sol. Des racines secondaires commencent à se développer au niveau de ce nœud, trois à sept jours après l'émergence du plant. La jeune plantule vit durant cette période sur les éléments nutritifs stockés dans l'endosperme. A peu près au moment où les racines secondaires ont commencé à se développer, la mésocotyle commence à disparaître et un système racinaire plus important se développe à partir des racines secondaires ou adventives. Les plantes restent en phase végétative environ 30 à 40 jours, durant lesquels toutes les feuilles sont formées. Après cette période, la croissance se fait par élongation cellulaire (Doggett, 1988).

**b. Tallage du sorgho :** La plante de sorgho n'a généralement qu'une seule tige. Certains sorghos tallent abondamment en particulier le Sudangrass et les sorghos fourragers. Les sorghos-grains ont une capacité de tallage variable mais en général ils ne tallent que si l'humidité du sol est convenable ou que si le peuplement est clair. Chez les variétés qui tallent normalement, les talles prennent naissance à partir de bourgeons adventifs au nœud basal aussitôt après la sortie des racines secondaires. L'inflorescence de la tige principale fleurit en même temps que celles des talles, ou bien ces dernières fleurissent après (House, 1987).

L'aptitude au tallage dépend aussi bien de la variété que des conditions du milieu en occurrence de la densité de la population, de l'apport d'azote, de la température et de la photopériode (Doggett, 1988).

#### **I.4.2. Phase reproductive :**

Selon House, (1987), Les ébauches florales initiales apparaissent 30 à 40 jours après la germination (mais la formation de la fleur peut demander de 19 à 70 jours ou plus). En général, l'ébauche florale apparaît à 15-30 cm au-dessus du sol lorsque les plants ont entre 50 et 75 cm de haut. L'initiation florale marque la fin de la période végétative de croissance, résultat de l'activité des méristèmes. La grande période de croissance chez le sorgho suit la formation du bourgeon floral et basée pour une grande part sur l'élongation cellulaire. Durant

cette période d'élongation cellulaire rapide, le bourgeon floral initial se développe en une inflorescence. Environ 6 à 10 jours avant la floraison, la feuille + paniculaire forme un renflement dans la gaine de la feuille. Ceci se produit dans une variété fleurissant 60-65 jours, environ 55 jours après la germination. Le sorgho en général fleurit au bout de 55 à 70 jours dans les climats chauds, mais la floraison peut s'échelonner entre 30 et plus de 100 jours.

La panicule de sorgho commence à fleurir à partir du sommet et la floraison se poursuit par étage successif en allant vers le bas durant une période de 4 à 5 jours. Étant donné que toutes les panicules d'un champ ne fleurissent pas simultanément, le pollen est en général disponible durant une période de 10 à 15 jours. Au moment de la floraison, les glumes s'ouvrent et les trois anthères pendent librement tandis que les deux stigmates sortent, chacun d'entre eux est porté par un style rigide. La floraison commence souvent juste avant ou juste après le lever du soleil, mais peut être retardée les matinées où le temps est humide et nuageux. Les anthères effectuent leur déhiscence lorsqu'elles sont sèches, mais pas en condition de forte rosée ou de pluie et le pollen est entraîné dans l'air. Le sorgho est surtout auto-pollinisé (2 à 10% de pollinisations croisées environ) ce qui signifie que le pollen d'une panicule féconde les ovules de cette même panicule. Le pollen s'amasse sur le stigmate, où il germe ; le tube pollinique, à deux noyaux descend à travers le style pour féconder l'ovule et former un noyau à 2n chromosomes.

#### **I.4.3. Phase de maturation :**

L'ovule au début de son développement à l'aspect d'une sphère vert-clair à presque crème : après dix jours, il prend un volume et passe au vert foncé. Il faut environ trente jours aux graines pour atteindre leur poids sec maximum (maturité physiologique).

Durant ce développement les graines passent par trois stades :

- laiteux
- début pâteux
- fin pâteux.

Les graines commencent à passer du vert à la couleur qu'elles auront à maturité. Les graines contiennent environ 30% d'humidité à leur maturité physiologique ; elles sèchent jusqu'à 10-15% d'humidité durant les 20 à 25 jours qui suivent. Durant cette période, elles perdent jusqu'à 10% de leur poids sec. La graine peut être récoltée à n'importe quel moment

entre la maturité physiologique et la siccité de la graine, toutefois les graines qui ont plus de 12% d'humidité doivent être séchées avant stockage. Il est facile d'identifier le péricarpe, l'endosperme et l'embryon dans une section de graine mûre. Les feuilles plus basses commencent à mourir et à sécher durant la période. Au moment où le grain commence à sécher, quatre ou cinq des feuilles plus basses peuvent sécher et tomber du plant. Il existe de nettes différences variétales dans le taux de sénescence des feuilles qui persistent. Toutes les feuilles peuvent avoir séchées ou presque séchées, au moment où le grain est mûr, ou le plant entier peut encore rester vert (House, 1987).

### **I.5. Stay-green chez le sorgho :**

Le Stay-green consiste au maintien d'un certain nombre de feuilles vertes après la floraison pour assurer un bon remplissage des grains en composés azotés et en sucres. Ce caractère a été ciblé par des programmes de sélection australiens qui ont permis le développement de sorgho plus petits mais plus vigoureux, et assurant une récolte de qualité. Le Stay-green est un caractère qui traduit la capacité de la plante à tolérer la sécheresse post-floraison (Gaufichon *et al.*, 2010).

### **I.6. Ecologie du sorgho :**

#### **I.6.1. Besoins en lumière et en photopériodisme :**

Le sorgho est une plante de jours courts qui réagit de diverses façons à la photopériode. A des latitudes élevées, certains cultivars tropicaux ne fleurissent pas ou ne produisent pas de graines. Aux Etats-Unis, en Australie et en Inde, on a noté l'existence de cultivars moyennement sensibles à quasiment insensibles à la photopériode.

Une partie des variétés de sorgho est dite photopériodique parce que la durée de leur cycle semis-floraison change avec la date de semis tandis que chez les variétés non-photopériodiques la durée de ce cycle reste fixe. Cela veut dire que chaque fois que les journées sont courtes (moins de 11 heures) plus le sorgho n'accélère pas sa floraison. Le seuil de photopériodisme pour les variétés de sorgho tropicales est compris entre 12 et 13 heures (Chantereau et Nicou, 1991).

**I.6.2. Besoins en température :**

Le sorgho tolère des températures de tous niveaux et il est largement cultivé dans les régions tempérées et sous les tropiques jusqu'à 2300 m d'altitude. La température optimale est de 25-31°C, mais des températures aussi faibles que 21°C n'ont pas d'incidence grave sur la croissance et le rendement. Mais si la température nocturne tombe en dessous de 12-15°C au cours de la période de floraison, cela peut entraîner la stérilité. Le sorgho est sensible au gel, mais moins que le maïs, et de légères gelées nocturnes pendant la période de maturation provoquent peu de dégâts (Patane *et al.*, 2009).

**I.6.3. Besoins en eau :**

Le sorgho est surtout une plante des milieux tropicaux chauds et semi-arides qui sont trop secs pour le maïs. Il est particulièrement adapté à la sécheresse en raison d'un ensemble de caractéristiques morphologiques et physiologiques, notamment un système racinaire étendu, la pruine de ses feuilles qui limite ses pertes en eau, et une aptitude à interrompre sa croissance pendant les périodes de sécheresse et à la reprendre une fois le stress disparu. Des précipitations de 500-800 mm également réparties pendant la saison de production conviennent généralement aux cultivars qui mûrissent en 3-4 mois. Le sorgho tolère l'asphyxie racinaire et on peut le faire pousser dans des zones à fortes précipitations (Grassi, 2001 ; FAO, 2002).

**I.6.4. Exigences du sol :**

Le sorgho est bien adapté sur les vertisols lourds que l'on trouve couramment dans les tropiques, où sa tolérance à l'asphyxie racinaire est souvent nécessaire, mais les sols sableux légers lui conviennent tout autant. C'est toutefois sur les limons et les limons sableux que sa culture réussit le mieux. La fourchette de pH du sol supportée par le sorgho est de 5,0-8,5, et il tolère davantage la salinité que le maïs. Il est adapté aux sols pauvres et peut produire du grain sur des sols où beaucoup d'autres cultures échoueraient (Clement et Vanasse, 2008).

**I.7. Culture du sorgho :****I.7.1. Semis :**

Le semis s'effectue en avril-mai dès que la température du sol est supérieure à 12° C. La date de semis doit être suffisamment précoce pour permettre un cycle de développement

suffisamment long, mais ne doit pas être trop précoce pour ne pas entraîner de difficultés au démarrage du sorgho fibre. On utilisera un semoir mono graine exclusivement (à l'exception des sorghos fourragers) (REGIX, 2010).

Les pertes à la levée sont souvent importantes (de 10 à 50% selon les cas). L'objectif est l'obtention d'une densité de peuplement de 150 000 à 200 000 plantes/ha, qui permet un bon compromis entre la recherche d'une productivité élevée, d'une bonne qualité, et d'un risque de verse minimisé (Ademe, 1998).

La petite taille des graines, de faible pouvoir germinatif, et la faible vigueur des plantules (jusqu'au stade 5-6 feuilles) font du sorgho une plante exigeante vis-à-vis des conditions de levée (CASDAR, 2013).

### **I.7.2. Désherbage :**

Le sorgho est très sensible à la concurrence des adventices notamment au cours des premières semaines qui suivent le semis (ARVALIS, 2013).

La stratégie de désherbage est la même que pour un sorgho grain : les interventions se positionnent en post levée précoce, à partir du stade 3 feuilles de la culture. ARVALIS - Institut du Végétal publie tous les ans un dépliant qui fait le point sur la sélectivité et l'efficacité des matières actives des produits homologués sur la culture (ARVALISE, 2013).

### **I.7.3. Fertilisation :**

Le sorgho dispose de bonnes facultés d'extraction des minéraux du sol. Dans de nombreux cas, la culture pourra être conduite sans fertilisation azotée, les besoins du sorgho pouvant être couverts par la fourniture du sol. Cependant une fertilisation de 80 à 100 unités d'azote peut permettre de ne pas mobiliser tout l'azote du sol pour la culture suivante (REGIX, 2010).

Pour la fertilisation phosphatée et potassique, les apports devront couvrir les exportations de la culture, soit en sol correctement pourvu de l'ordre de 40 unités de  $P_2O_5$ /ha et 100 unités de  $K_2O$  (Ademe, 1998).

**I.7.4. Irrigation :**

Les besoins en eau sont plus faibles que le maïs, de l'ordre de 400 mm sur la période de croissance (réserve du sol+ pluie + irrigation éventuelle). Le sorgho présente une meilleure tolérance à la sécheresse que le maïs. Toutefois en région sèche une irrigation d'appoint peut être nécessaire, elle sera alors très bien valorisée. Les périodes les plus sensibles sont le semis (pour assurer une bonne levée en zone sèche) et la période d'élongation des tiges (REGIX, 2010).

**I.7.5. Récolte :**

Pour les sorghos biomasse, une récolte en ensilage est envisageable dès l'épiaison en fin d'été et se prolonger, si nécessaire, jusqu'au début du remplissage des grains. Durant cet intervalle de temps d'environ un mois, la quantité et la qualité de la matière première évoluent faiblement. Pour les sorghos fourragers multi-coups, la récolte peut avoir lieu à l'épiaison dès la mi-juillet pour des semis à date normale (fin avril à mi-mai). Pour des semis plus tardifs (culture dérobée derrière une céréale récoltée tôt), la récolte peut avoir lieu environ 60 à 80 jours après (Itavi *et al.*, 2010).(fig 08) .



**Figure 08 :** Ensilage du sorgho **Figure 09 :** Sorgho épié en fin d'été (Itavi *et al.*, 2010).

**I.8. Utilisations du sorgho :**

Selon FAO (1991), la consommation totale de sorgho dans le monde correspond géographiquement d'assez près à sa production, puisqu'il est pour l'essentiel consommé dans les pays où il est cultivé. Le sorgho a deux usages distincts:

- L'alimentation humaine
- L'alimentation animale.

Au début des années 60, une très grande partie de la production servait directement à l'alimentation humaine, mais depuis cette proportion n'a cessé de baisser. En fait, la consommation de sorgho pour l'alimentation animale a plus que doublée depuis le début des années 60, passant de 30 à 60%, alors que le volume de l'utilisation totale pour l'alimentation humaine est resté inchangé ou a même légèrement diminué. Si dans les principales régions productrices d'Afrique et d'Asie, plus de 70% du sorgho sont consommés par l'Homme, en Amérique du Nord, Amérique centrale, Amérique du Sud et Océanie par contre la plus grande partie de la production sert à l'alimentation animale. La culture a également une vocation industrielle orientée sur la production de la pâte à papier, la production du fuel, etc.

## Chapitre II : Contraintes hydriques

Le stress est l'ensemble des conditions qui provoquent des changements des processus physiologique résultant éventuellement en dégâts, dommage blessures, inhibition de la croissance ou de développement. Les stress est fondamentalement un concept mécanique défini par les ingénieurs et les physiciens comme étant une force exercée par unité de surface d'un objet en réponse au stress, l'objet oppose une déformation ou un changement de dimensions (Hopkins, 2003). On peut donc considérer que la notion de stress implique d'une part, une déviation plus ou moins brusque par rapport aux conditions normales de la plante et de l'animale, et d'autre part par une réaction sensible de l'individu dans les différents aspects de sa physiologie (Leclerc, 1999).

### II.1. Catégories des stresses :

On distingue deux grandes catégories de stresses :

#### II.1.1. Stress biotique :

Les contraintes biotiques sont essentiellement liées aux insectes ravageurs, aux maladies, aux mauvaises herbes et aux oiseaux.

**a. Insectes ravageurs :** Les insectes posent un sérieux problème pour la culture du sorgho. La mouche des pousses du sorgho (*Atherigonasoccata*) peut causer des dégâts sévères à la culture. Compte tenu de l'importance économique du ravageur, de nombreux efforts en matière de recherches sont fournis afin de limiter ses dégâts, tels que les pratiques culturales, la lutte chimique, la lutte biologique et la résistance variétale.

Au Burkina Faso, la solution aux problèmes posés par cet insecte a d'abord reposé sur l'utilisation des variétés résistantes mises au point par l'ICRISAT. Malheureusement, celles-ci se sont avérées inadaptées aux conditions du pays, en raison de leur sensibilité à d'autres contraintes biotiques (maladies foliaires, moisissures des grains et punaises des panicules) entraînant une mauvaise qualité de grains. Aussi, la nécessité d'un programme de création de variétés tolérantes et adaptées aux contraintes et objectifs de production (Dakouo et *al.*, 2005).

**b. Les oiseaux :** Les oiseaux granivores constituent un risque majeur pour les cultures de sorgho et de mil. Le quelea à bec rouge (*Quelea*) est considéré comme l'un des plus nombreux et dangereux prédateur aviaire du monde. Ces oiseaux se nourrissent normalement

des semences de graminées sauvages, mais peuvent provoquer d'importants dégâts dans les cultures de sorgho en cours de maturation. Cela sera d'autant plus grave que cette maturation sera décalée, avant ou après, celle de la flore sauvage et des champs environnants (Bruggers et Jaeger, 1982).

**c. Maladies :** Un certain nombre de maladies sont d'un intérêt économique majeur sur le sorgho. Les plus importantes sont les moisissures des grains, le mildiou (*Peronosclerosporasorghii*), la pourriture charbonneuse (*Macrophominaphaseolina*) et l'anthracnose (*Colletotrichumgraminicola*) (Ratnadass et al., 1997).

**d. Les plantes adventices :** Appelé sêgê en jula, zeeme ou waongo en moore, le striga (*Strigahermonthica*) qui présente le gène ShContig 9483 de *Strigahermonthica* est très semblable à un gène de *Sorghumbicolor*. Il est même un facteur limitant de la production du sorgho dans certaines régions en Afrique. Le strige lève pendant la montaison du sorgho et fleurit pendant sa maturation. Il est associé aux conditions de faible fertilité des sols (Ramaiah and Parker, 1982).

### II.1.2. Stress abiotique :

Provoqué par un déficit ou un excès de l'environnement comme la sécheresse, la température extrême, la salinité (Azri et Benrouina, 2009). On peut citer quelques types des stress abiotiques qui peuvent affecter les végétaux :

**a. Le stress thermique :** Provoqué par la température, c'est l'un des facteurs les plus limitant et qui conditionne la production et la croissance des plantes.

**b. Le stress salin :** Est défini comme une concentration excessive en sel ; il s'applique surtout à un excès des ions, en particulier ( $\text{Na}^+/\text{Cl}^-$ ) (Hopkins, 2003).

**c. Le stress hydrique :** Provoqué par un déficit en eau constituant une menace permanente pour la survie des plantes, néanmoins, beaucoup d'espèces produisent des modifications morphologiques et physiologiques qui leurs permettent de survivre dans les régions de faible pluviosité et dont la teneur en eau des sols est peu élevée (Hopkins, 2003).

## II.2. La plante et le stress hydrique :

Le manque d'eau, déficit hydrique ou la sécheresse, représente le stress abiotique le plus sévère, auquel la plante fait face dans les conditions de productions des zones arides et semi-arides (Chenafietal., 2006). Ce stress hydrique peut se définir comme le rapport entre la quantité d'eau nécessaire à la croissance de la plante et la quantité d'eau disponible dans son environnement, sachant que la réserve d'eau utile pour la plante est la quantité d'eau du sol accessible par son système racinaire (Laberche, 2004).

La demande en eau de la plante est déterminée par le niveau de transpiration ou évapotranspiration, ce qui inclut les pertes d'eau tant au niveau des feuilles qu'au niveau du sol (Laberche, 2004).

L'adaptation est un mécanisme nécessaire pour les variétés à adopter dans les régions arides et semi-arides, pour tolérer la sécheresse (Slama et al., 2005).

## II.3. Effet d'un déficit hydrique sur la physiologie d'une plante :

L'eau à un rôle fondamentale dans la vie des plantes dans la mesure où elle conditionne leurs activités physiologiques et métaboliques, elle est le vecteur de l'élément nutritif de la plante (Riou, 1993).

**A- Sur la photosynthèse :** Lors d'un déficit hydrique, l'activité physiologique de la feuille, et plus particulièrement la photosynthèse la conductance stomatique sont affectées (lower et cornic, 2002), la réduction de la photosynthèse ,liée a la diminution du potentiel hydrique foliaire , et supposée dépendre a la fois de la fermeture des stomate , avec pour conséquence une diminution de la conductance a la diffusion du CO<sub>2</sub> et d'une limitation biochimique du chloroplaste a fixer le CO<sub>2</sub> (Tardieu et Simoneau, 1998; Escalonaet al., 1999) .

**B- Sur la transpiration :** La transpiration résiduelle au cubculaire représente plus de 50% de transpiration totale chez les plantes soumises une contrainte hydrique (Clark et Romagosa, 1991), le bilan d'énergie du couvert végétale monter qu'une partie importante de l'énergie radiative incidente et dispersée sous forme de transpiration,une réduction de transpiration par fermeture stomatique se traduit donc par un échauffement de la feuille, souvent de plusieurs degrés (Leinonen et Jones 2004 ,in Tardieu,2007 in Saidat,2007 in Naceri et Dihaat 2010).

## II.4. Stratégies de la réponse des plantes au stress hydrique :

Pour lutter le manque d'eau, les plantes développent plusieurs stratégies adaptatives qui varient en fonction de l'espèce et des conditions du milieu (Esquive, Evitement et tolérance). La tolérance d'une plante à un stress hydrique peut être définie, du point de vue physiologique, par sa capacité à survivre et à s'accroître et, du point de vue agronomique, par l'obtention d'un rendement plus élevé que celui des plantes sensibles. La tolérance globale d'une plante vis-à-vis du déficit hydrique est la résultante de nombreuses modifications phénologiques, anatomiques, morphologiques, physiologiques et biochimiques. Ces dernières interagissent pour permettre le maintien de la croissance, du développement et de la production (Passioura, 2004).

### II.4.1. Stratégie d'esquive :

Consiste à éviter de subir le déficit hydrique en effectuant le cycle de développement pendant des périodes pluvieuses. On réduit alors le risque de perte de rendement, en échange d'une réduction du rendement maximum atteignable (Jean-Pierre et *al.*, 2006). Le décalage du cycle cultural depuis des périodes à forte demande climatique vers des périodes à plus faible risque est la stratégie des cultures d'hiver, qui réalisent leur cycle sur une période à faible risque de déficit hydrique et compensent une croissance à une saison où le rayonnement incident est réduit par une durée plus longue du cycle (Folkert et *al.*, 2001).

### II.4.2. Stratégie d'évitement :

Cette stratégie consiste à empêcher que la plante soumise à des conditions hydriques défavorables ne subisse un stress hydrique trop important. Ces adaptations réduisent le risque de perte de rendement, mais ont le plus souvent un coût en terme de rendement maximum (Jean-Pierre et *al.*, 2006). Les mécanismes d'évitement sont de type morphologique et physiologique.

#### a. Mécanismes morphologiques :

- **Fermeture des stomates:** La réduction de la perte en eau par la fermeture stomatique est un moyen d'adaptation des plantes au stress hydrique. Si la fermeture des stomates permet à la plante de réduire la sortie d'eau, elle limite aussi l'entrée de CO<sub>2</sub> (Benhamou, 2009). Cette diminution de la transpiration peut engendrer une réduction de la photosynthèse (Hopkins,

2003). La régulation de la conductance stomatique reste le mécanisme majeur intervenant à court terme pour limiter les pertes d'eau: le potentiel hydrique foliaire sera maintenu d'autant plus longtemps que la fermeture des stomates est précoce (Maury *et al.*, 2011).

- **Réduction de la croissance foliaire** : Une réduction de la croissance foliaire est bénéfique aux plantes soumises à un stress hydrique, la surface des feuilles est diminuée et la transpiration réduite par l'enroulement des feuilles. Habituellement, l'effet exercé par un potentiel hydrique faible est attribué à une perte de turgescence des cellules des zones en croissance (Nabors, 2008). Du fait que le grandissement cellulaire intervenait suite à une entrée d'eau qui après la relaxation du stress de la paroi cellulaire provoquait la pleine turgescence des cellules, donc un apport réduit de l'eau se traduit par la réduction de la croissance (Hopkins, 2003). Chez le blé, l'enroulement des feuilles chez certaines variétés peut être considéré comme un indicateur de perte de turgescence en même temps qu'un caractère d'évitement de la déshydratation, il entraîne une diminution de 40 à 60 % de la transpiration (Amokrane *et al.*, 2002).

- **Développement racinaire accru** : L'efficacité de l'extraction de l'eau du sol par les racines figure parmi les types d'adaptation permettant à la plante d'éviter ou, plus exactement, de retarder la déshydratation de ses tissus (Turner *et al.*, 2001). L'augmentation de l'absorption peut être due à l'extension de l'absorption en profondeur et en surface, à la vitesse de croissance et de ramification des racines. L'absorption d'eau est maximisée par un ajustement autrement dit, un investissement élevé au niveau des racines (Laurent et Sané, 2007).

**b.Mécanismes physiologiques** : Au niveau cellulaire, la réduction du module d'élasticité permet aux cellules de conserver un potentiel élevé malgré un dessèchement important (Tardieu *et al.*, 2006). L'ajustement osmotique par accumulation de soluté dans la vacuole et la réduction de la taille des cellules permettent, pour une même teneur en eau, une diminution du potentiel foliaire et donc un maintien d'un gradient de potentiel hydrique important du sol vers la feuille (Laurent et Sané, 2007). Ce mécanisme tient à la fois de l'évitement et de la tolérance (Jean-Pierre *et al.*, 2006).

-**L'état hydrique de la plante** : La caractérisation du statut hydrique d'une plante pourrait passer par la seule évaluation de la teneur relative en eau. Clarke et Mc Craig(1982) attirent l'attention sur l'utilisation de la teneur relative en eau comme indicateur de l'état hydrique de

la plante sous stress. Scofield et *al.*, 1988 notent que la teneur en eau diminue lorsque le stress augmente, mais elle diminue plus vite chez les variétés sensibles que chez les variétés résistantes. La teneur en eau en plus de sa relation avec le volume cellulaire reflète plus précisément la balance entre l'eau disponible dans la feuille et le taux de transpiration, le potentiel osmotique et de turgescence. ElHakimi et *al.*, 1995 montrent que cette caractéristique présente un coefficient d'héritabilité élevé et qu'elle se fixe rapidement chez les lignées en ségrégation d'un croisement donné. Ainsi, les variétés tolérantes au stress hydrique sont celles qui sont capables de perdre le moins d'eau par unité de temps et unité de surface sous stress.

#### II.4.3. Stratégie de tolérance :

Cette stratégie consiste à maintenir les fonctions de la plante, croissance, transpiration et la photosynthèse, malgré le déficit hydrique (Jean-pierre et *al.*, 2006). La tolérance à la déshydratation implique des mécanismes intracellulaires qui visent à préserver l'intégrité structurale et fonctionnelle des tissus lorsque le potentiel hydrique diminue (Laurent et Sané, 2007). L'ajustement osmotique est un exemple d'une telle adaptation, il permet le maintien d'une turgescence positive pour des teneurs en eau relativement faible (Hopkins, 2003). L'ajustement osmotique, il consiste en la synthèse des molécules solubles, ce qui se traduit par une plus grande capacité d'attraction et de rétention des molécules d'eau. Ces molécules, appelées osmoticum, s'accumulent le plus souvent dans le cytoplasme (Nabors, 2008). Cette forte accumulation de solutés ioniques ou organiques dans les cellules provoque une diminution du potentiel osmotique. Les principales substances accumulées en réponse aux stress osmotiques peuvent être des acides aminés (proline, alanine), des sucres (saccharose, tréhalose, fructanes), des ions quaternaires (bêtaïnes, proline-bêtaïne), des ions inorganiques ( $K^+$ ) ou encore des acides organiques (malate, glutamate, citrate), des hormones (acide abscéique) (Hopkins, 2003). La nature des osmolytes impliqués dans l'ajustement osmotique est généralement spécifique de l'espèce étudiée. Les solutés organiques ne perturbent généralement pas ou peu le métabolisme des cellules et sont qualifiés à ce titre d'osmoticum compatibles (Radhouane, 2011).

***Partie II***  
***Matériel et Méthodes***

## Chapitre I : Matériel et méthodes

### I.1. Objectif de l'essai :

La présente étude a pour but l'étude des mécanismes de tolérance de deux populations de sorgho (*Sorghum bicolor* L. Moench) sous stress hydrique. Durant notre expérimentation, nous nous sommes intéressés à plusieurs paramètres morphologiques liés à la croissance et au développement des plantes sorgho sous différents volumes d'eau.

### I.2. Site expérimental et fiche technique :

Nous avons réalisé cette expérience au niveau de la pépinière d'El Hammadia située à 12 km au sud du chef-lieu de la wilaya de Bordj Bou Arreridj.

Latitude: 35.9796, Longitude : 4.74747.



**Figure 10** : Localisation du site expérimental : A. Pépinière El Hammadia, B. Site expérimental (Google Map, 2018).

**Tableau 01** : Fiche technique de la pépinière El Hammadia.

|   |   |
|---|---|
| Direction de gestion<br>Projet de production des plants-Sétif | Superficies total : 62ha 12a 45ca<br>Forestier : 10ha 00a 00ca<br>Fruitier : 15ha 00a 00ca<br>Céréales cultures : 30ha 00a 00ca                         |
| Capacité de production  | Plants forestiers : 5.000.000 plants<br>Plants fruitiers : 500.000 plants<br>Plants ornementaux : 15.000 plants<br>Plants à haute tige : 200.000 plants |
| Investissements   | 2929 serres tunnels<br>02 serres multi-chapelle<br>02 serres d'ombrage<br>01 serre de nébulisation  |
| Pente   | 1 à 2%  |
| Altitude  | 850 m   |

|                        |   |
|------------------------|---|
| Nature du sol          | Argilo-siliceux avec calcaire   |
| Conditions climatiques | Température minimale : 06°<br>Température moyenne : 18°<br>Température maximale : 39°<br>Pluviométrie annuelle : 300 mm |

Source : Personnel de la pépinière El Hammadia

### I.3. Matériel végétal :

Le matériel végétal retenu dans notre essai est composé de deux (02) géotypes de sorgho. Le tableau 02 nous montre l'origine et la date de récolte de chacun.

**Tableau 02** : Origines et dates de récoltes des géotypes étudiés.

| N° | Code | Origine                            | Date de récolte |
|----|------|------------------------------------|-----------------|
| 01 | Fr1  | Caussade – France                  | 2013            |
| 02 | TL5  | Aïn Salah – Sud algérien (Azzaoui) | 2015            |

Source : Redha OULD KIARE

### I.4. Dispositif expérimental :

Les pots ont été placés selon un dispositif en Bloc Aléatoire Complet (BAC) composé de 3 blocs, Chaque bloc comporte 6 pots représentant les deux géotypes avec ses 3 traitements (Le témoin, volume d'eau V1 et volume d'eau V2) (figure 11), soit un total de 18 pots. Nous avons semé 3 plantules dans chaque pot pour nous servir pendant les coupes.



Figure 11 : Dispositif expérimental «BAC»(Original).

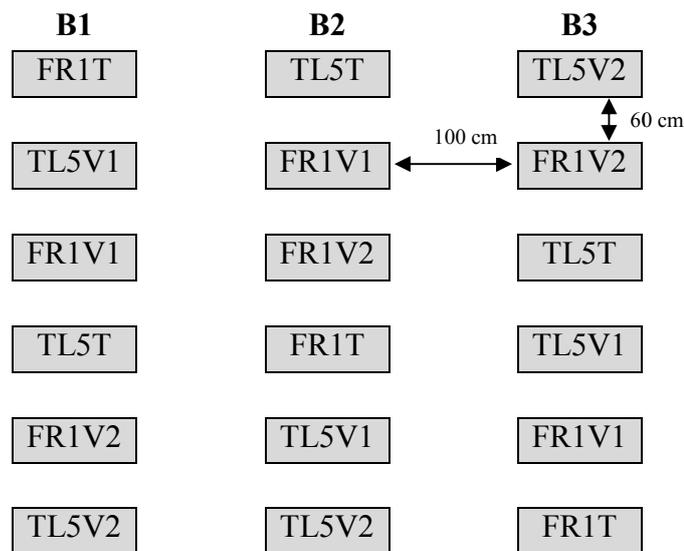


Figure12 : Dispositif expérimental

**I.5. Conduite de la culture :**

**I.5.1. Préparation du substrat :** Nous avons choisie des pots à 5 kg de contenance. Une petite couche de gravier a été mise en bas des pots pour faciliter le drainage de l'eau d'irrigation. Un bon mélange du substrat ( $\frac{3}{4}$  entre sol et sable et  $\frac{1}{4}$  matière organique) a été effectué avant de remplir les pots. Une irrigation abondante a été effectuée pour vérifier labonne percolation du substrat (le bon drainage).

**I.5.2. Semis et irrigation :** Nous avons choisi deux génotypes du sorgho : la population autochtone TL5 et la variété hybride Fr1. Nous avons semé 3 grains dans chaque pot sur la même ligne le 03 avril 2018. Le semis a été effectué superficiellement (1 à 1,5cm de profondeur), suivi par une irrigation immédiate par l'eau de robinet d'un même volume d'eau dans chaque pot (il s'agit d'une irrigation normale perpétuelle avant l'application du stress).

**I.5.3. Application du stress :** L'application du stress n'a été effectuée qu'après 19 jours après le semis. Les volumes d'eau d'irrigation dans le tableau 03 avec la date d'application des stressés dans le tableau 04 sont présentés dans le suivant :

**Tableau 03 :** Volume d'eau apporté pour les trois traitements étudiés.

| Traitement  | Volume d'eau |
|-------------|--------------|
| Témoin      | 320ml        |
| Dose 1 (D1) | 160ml        |
| Dose 2 (D2) | 80ml         |

**Tableau 04 :** dates d'application de stress

| N° | Date d'application du stress |
|----|------------------------------|
| 01 | 22 avril 2018                |
| 02 | 17 mai 2018                  |
| 03 | 05 Juin 2018                 |

Pour minimiser les risques de pertes de nos plantules, suite à un stress permanent, une période d'environ 7 jours après l'application de chaque stress (*la fin de la période du premier stress et le début du deuxième stress et vis-vers-ça*) a été adoptée.

**I.5.4. Coupe :** Comme nous avons semé 3 plants/pot, trois coupes ont été possibles pour estimer les taux de la matière fraîche et sèche (Tableau 4).

**Tableau 5:** Dates des coupes réalisées.

| N°      | Date de la coupe |
|---------|------------------|
| Coupe 1 | 05 avril 2018    |
| Coupe 2 | 29 mai 2018      |
| Coupe 3 | 13 Juin 2018     |

Les racines ont été coupées à l'aide d'un ciseau puis rincer et essuyer rapidement à l'aide d'un papier torchon et enfin peser à l'aide d'une balance de précision (Fig 13).

**Figure 13 :** Étapes de prélèvement (original)

**I.5.5. Fertilisation azotée :** Un apport d'azote sous forme granules d'uréeSuper46. Il est signalé que lamême quantité d'engrais a été appliquée pour chaque pot.



**Figure 14** : Apport de l'urée super46 (Original)

### **I.6. Paramètres étudiés :**

**I.6.1. Hauteur de la tige :** Nous avons mesuré la hauteur de la végétation à l'aide d'un mètre ruban. Plusieurs mesures, à l'ordre d'une mesure chaque trois jour, ont été effectués pour estimer la vitesse de la croissance.



**Figure15** : Mesure la hauteur de la tige (Original)

**I.6.2. Longueur de la racine :** nous avons mesuré la longueur de la racine, du collet jusqu'à l'extrémité inférieure (coiffe), juste après le prélèvement.



**Figure 16 :** Mesure de la longueur racinaire à l'aide d'un ruban mètre (original)

**I.6.3. Longueur de la feuille :** Nous avons mesuré la longueur de la feuille à l'aide d'un mètre ruban de la ligule de la feuille (le point d'attache de la feuille avec la tige) jusqu'à l'extrémité de la feuille.



**Figure 17 :** Mesure de la longueur de la feuille (Original)

#### **I.6.4. Rapport Racine / Tige :**

Il s'agit d'un rapport entre la longueur de la partie racinaire et la longueur de la partie aérienne pour estimer l'effet stress sur la morphologie de la plante, ce qui explique normalement l'adaptation.

**I.6.5. La vitesse de croissance :** Nous avons calculé (vit) entre la hauteur maximale ( $MAX_{Lt}$ ) et minimale ( $MIN_{Lt}$ ) de tige divisé sur le nombre des jours du prélèvement des mesures selon la formule suivante :  $VIT = (MAX_{Lt} - MIN_{Lt}) / \text{nombre des jours}$  (site web 1).

**I.6.6. Poids frais et poids sec :** Après l'application d'une coupe et la séparation de la partie aérienne de la partie racinaire, nous avons pesé le poids frais de la partie aérienne et de la partie racinaire, à l'aide d'une balance de précision. Après séchage à 70°C pendant trois jours sous étuve, d'autres pesées ont été effectuées pour le poids sec.



**Figure 18 :** Dessèchement de la plante dans l'étuve (Original)

**I.6.7. Taux de la matière sèche:** Le taux de la matière sèche pour la partie aérienne et la partie racinaire a été déduit par le rapport suivant :  $MS\% = (PS \text{ tige} / PF \text{ tige}) \times 100$  (site web 2).

### **I.7. Traitement statistique des données :**

L'analyse statistique uni-dimensionnelle (analyse de la variance ANOVA) et bi-dimensionnelle (Corrélation) ont été adoptées pour déduire les effets significatifs des deux facteurs étudiés à l'aide du logiciel STATISTICA 8.0. Les résultats obtenus sont représentés sous forme d'histogramme grâce au logiciel Office Excel.

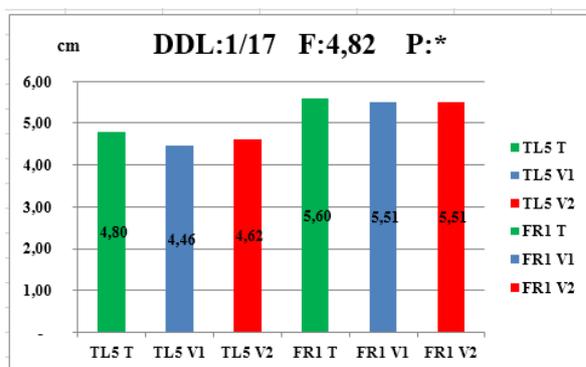
***Partie III***  
***Résultats et discussion***

## I. Résultats obtenus :

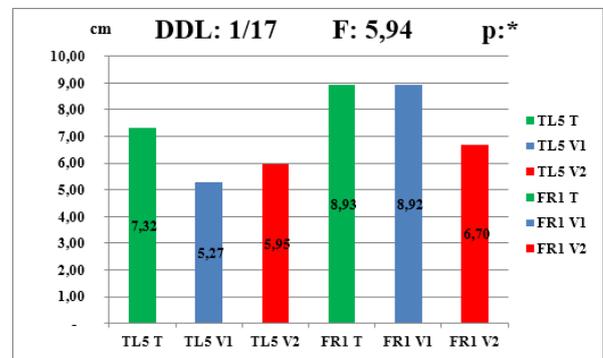
### I.1. Hauteur de la tige finale :

L'analyse de la variance de la hauteur de la tige fait ressortir des différences statistiques :

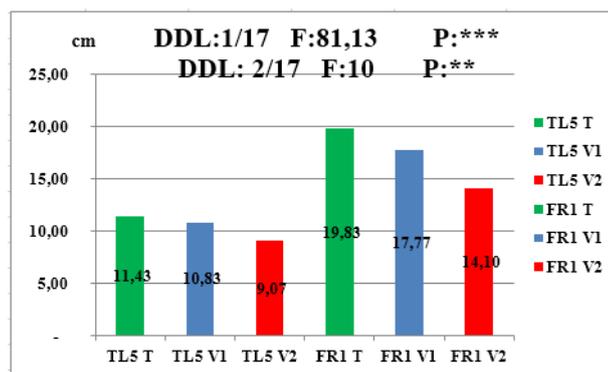
- Pour le premier et le deuxième stress une différence significative pour le facteur génotype.
- Pour le troisième stress une différence très hautement significative pour les deux facteurs étudiés (génotypes et stress).



Stress 1



Stress 2



Stress 3

Figure 19 : Hauteur des plantules sous différentes doses d'eau au cours des différents stress.

## Résultats et discussion

- à 320ml : Le témoin a enregistré les hauteurs les plus élevées. La variété hybride Fr1 connue par une morphologie haute, a donné 5.60, 8.93 et 19.83cm. La population TL5 a présenté des hauteurs moins élevées avec 4.8, 7.32 et 11.43cm, c'est la morphologie finale de la plante qui a fait la différence (il s'agit d'une population courte).

- à 160ml et 80ml : en condition de stress, nous avons remarqué une baisse importante de la hauteur chez la variété hybride FR1 contrairement à la population TL5 qui a enregistré une faible baisse, sauf pour le premier stress où nos génotypes n'ont pas donné de grandes modifications.

Une diminution considérable de la hauteur de la tige est due à l'effet du stress hydrique qui est expliqué probablement par un retard dans la croissance végétative suite à une baisse de divisions et l'élongation cellulaires. Selon (Benmahioul et al., 2009 ; Kuiper et al., 1990) la réduction se traduit par une diminution de la hauteur et du diamètre de la tige, un raccourcissement des entre-nœuds et une diminution du nombre de feuilles et de la surface foliaire. La réduction de la croissance aérienne observée au niveau des plantules peut aussi expliqué des mécanismes mis en jeu qui font intervenir, entre autres, le système hormonal de la plante par des augmentations des taux de certains régulateurs de croissance, notamment l'acide abscissique et les cytokinines induites par le sel (El Hassani, 1992).

### I.2. Longueur de la partie racinaire finale :

L'analyse de la variance de la longueur racinaire fait ressortir des différences significatives pour le facteur stress (troisième).

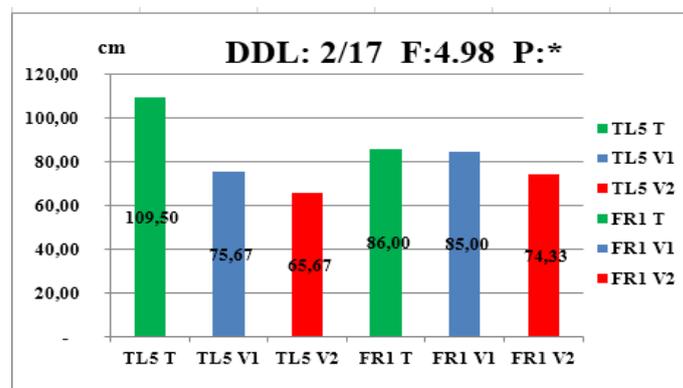


Figure 20 : Variation de la longueur racinaire sous stress hydrique.

La population TL5 connue par une faible hauteur de la tige a donné une longueur intéressante de son système racinaire en comparaison avec la variété FR1. Une réaction

## Résultats et discussion

significative par la diminution de la longueur racinaire a été enregistrée chez les deux génotypes.

Sous l'effet d'un volume d'eau de 160 ml, la longueur des racines oscille entre une valeur maximale de 85cm enregistrée chez le génotype FR1 et une valeur minimale de 75.67cm enregistrée chez le génotype TL5.

Au deuxième niveau du stress 80ml. Une nette diminution de la longueur racinaire est observée chez les deux génotypes. La longueur racinaire varie entre 74.33cm chez le génotype FR1 et 65.67cm chez le génotype TL5.

Le résultat de la longueur de la racine indique que le stress hydrique a affecté la croissance des racines. La morphologie, la croissance, la physiologie du système racinaire, orientées vers une absorption d'eau maximale, confèrent à certaines espèces une particularité adaptative à la sécheresse paradoxale : s'offrir une «consommation de luxe», aussi importante que celle de plantes de régions humides, tout en maintenant leur turgescence et un potentiel hydrique élevé dans des conditions arides. La littérature rapporte que sous conditions de stress, l'assimilation de l'eau par la plante est directement liée au degré de développement du système racinaire (Richard et Passioura, 1981).

### I.3. Rapport R/T finale :

L'analyse de variance du rapport Racine/Tige fait ressortir des différences hautement significatives pour le facteur génotype.

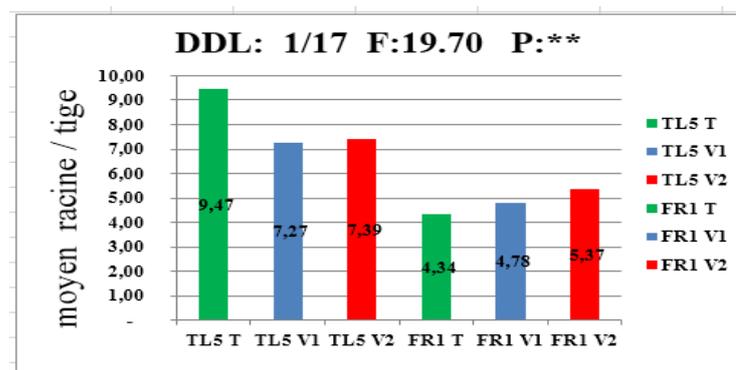


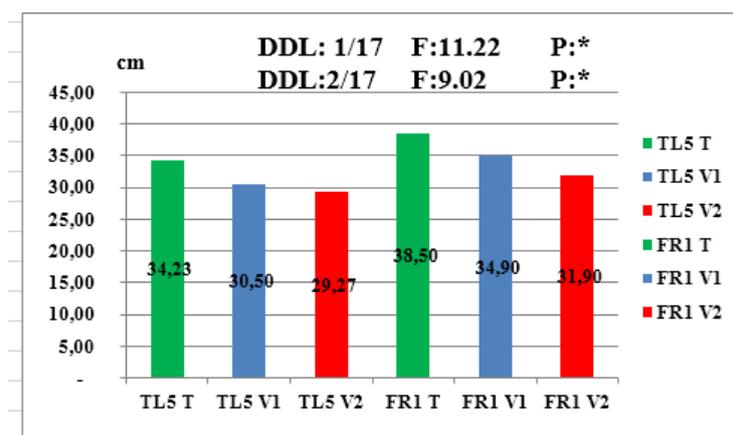
Figure 21: Rapports Racine/Tige sous différents volumes d'eau.

Le rapport R/T a montré une nette supériorité chez la population TL5 avec des valeurs supérieures à 7.27 pour toutes les doses d'irrigations utilisées en comparaison avec la variété FR1. Un système racinaire performant aidera sans doute la plante à tolérer la sécheresse.

Le rapport Racine/Tige a enregistré des augmentations sous contrainte hydrique à cause de la croissance racinaire due à un nombre élevé de leur division cellulaire par contre au niveau aérien, une baisse de la croissance à cause de la présence des hormones et molécule qui inhibe leur développement et de conserver le potentiel élevé d'eau malgré un dessèchement important par accumulation de soluté dans la vacuole et la réduction de la taille des cellules. Selon Hussain (2006), parmi les solutés, accumulés sous stress hydrique, on note une augmentation des sucres solubles, des acides aminés comme la proline et à un degré moindre la glycine-bétaïne, dont le rôle est la protection des membranes.

### I.4. Longueur de la feuille finale :

L'analyse de la variance de la longueur feuille fait ressortir des différences significatives pour le facteur génotype et le facteur stress.



**Figure 22 :** Histogramme représentant la variation de la longueur feuille.

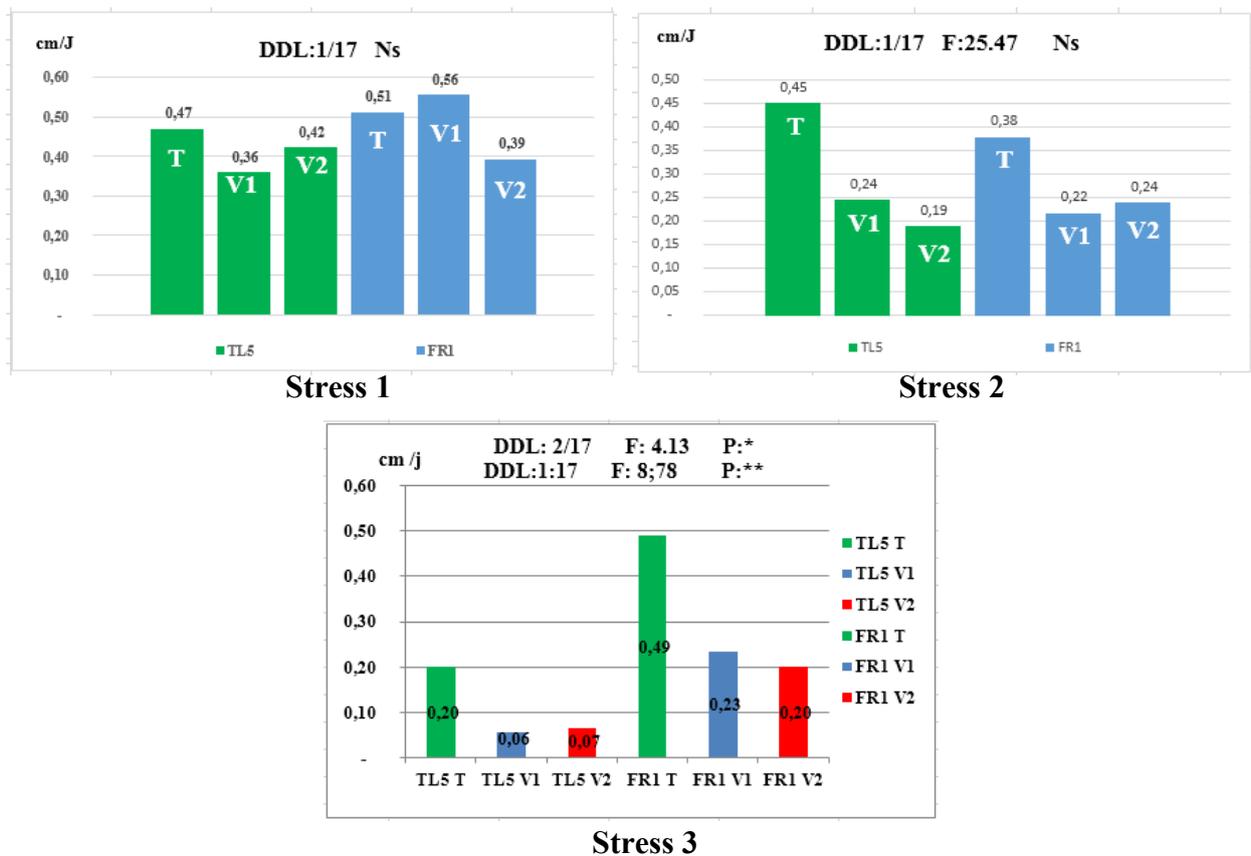
Volume d'eau 320 ml (témoin) a enregistré les longueurs les plus élevées avec 38.50cm chez FR1 et 34.23cm chez TL5. Une légère diminution de la longueur feuille a été enregistrée suite au stress hydrique.

Une réduction de la croissance foliaire est bénéfique aux plantes soumises à un stress hydrique, la longueur des feuilles est diminuée et la transpiration réduite par l'enroulement des feuilles, pourrait s'expliquer par une sénescence précoce de ces dernières en condition hydrique limitant, peut être due à une baisse de l'activité mitotique des cellules épidermiques qui aboutit une réduction du nombre total des cellules de la feuille. Selon Lebon (2006) a montré que la diminution de la longueur des feuilles sous le

régime hydrique limitant est un mécanisme adaptatif des plantes visant à limiter leur transpiration foliaire lorsque les conditions hydriques deviennent défavorables.

## I.5. Vitesse de croissance :

L'analyse de variance de la vitesse de la croissance fait ressortir des différences très hautement significatives pour le facteur génotype et le facteur stress<sup>3</sup>. Le stress 1 et Stress 2 n'ont pas révélé des différences significatives.



**Figure 23 :** La vitesse de croissance des plantes sous différents volumes d'eau.

Les deux premiers stress n'ont montré aucune différence significative. Le témoin (non stressé), lors du troisième stress, a donné la vitesse de croissance la plus élevée pour les deux génotypes étudiés avec 0.49cm/jour chez le génotype FR1 et une valeur minimale de 0.20cm/jour chez le génotype TL5. Une diminution de la vitesse de croissance a été enregistrée après l'application du stress à 160ml et aussi à 80 ml. Par contre dans les résultats Ns (non significatif) pour le facteur génotype donne des valeurs inférieure par rapporte au témoin dans le deuxième rappelle de stress chez les deux génotypes, alors que dans le premier rappelle de stress le même régime que le deuxième.

## Résultats et discussion

Il ressort de l'analyse de vitesse de croissance l'effet de stress hydrique n'est pas identique pour toutes les deux variétés, une a montré une réduction de la croissance beaucoup moins faible que d'autres due au facteur génotype. Cependant ces réduction de la vitesse de croissance pourrai être utiles pour estimer la tolérance ou la sensibilité des variétés vis -à-vis le déficit hydrique. Selon Thakur et Rai, 1982, le déficit hydrique entraine un retard dans la vitesse de croissance végétale.

### I.6. Poids frais de la tige :

L'analyse de variance du poids frais de la tige fait ressortir des différences :

- Pour le premier stress un différence très hautement significative pour l'effet génotype.
- Pour le deuxième stress très hautement significatives pour l'effet stress.

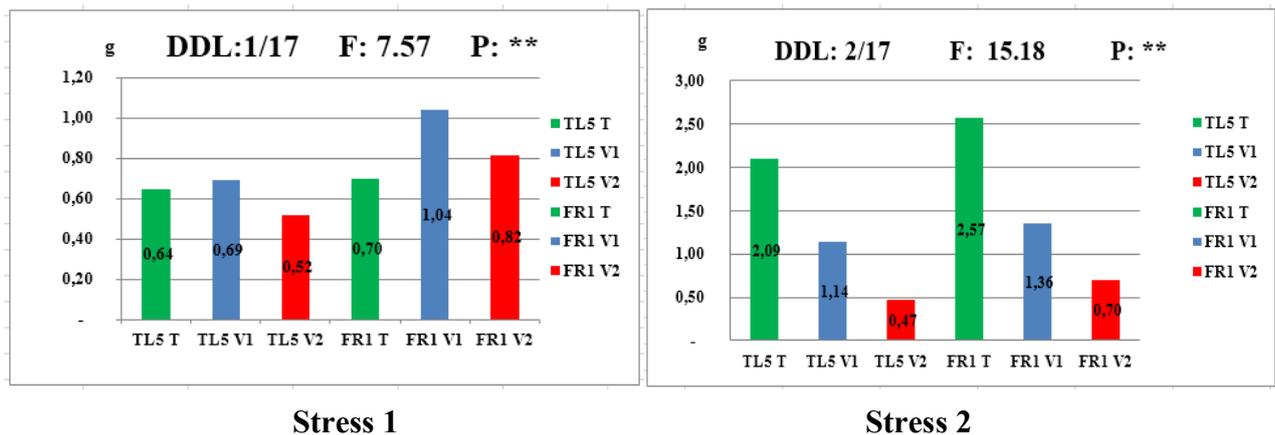


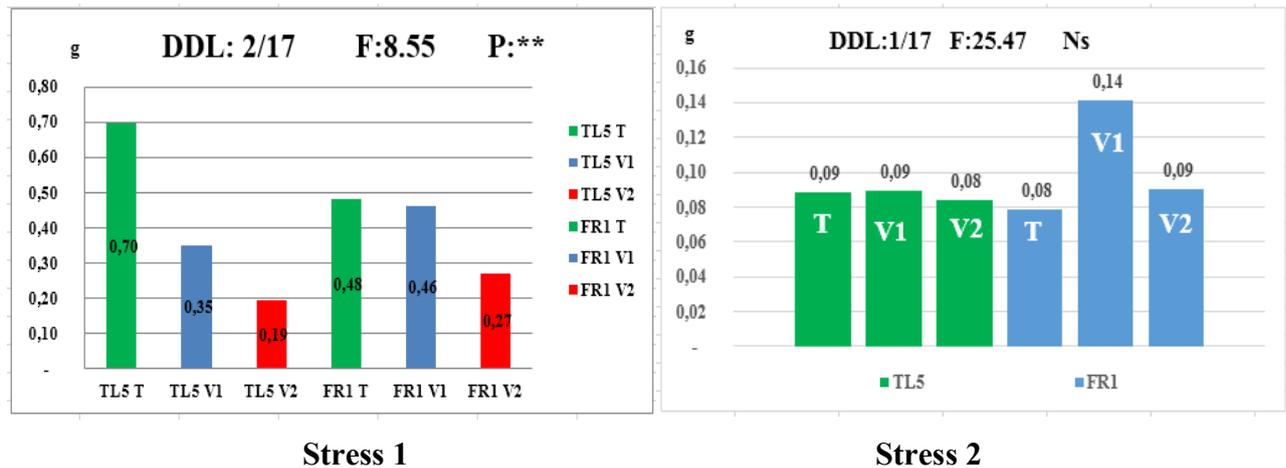
Figure 24: Poids frais de la tige sous différentes doses d'eau.

Le poids frais de la tige le plus élevée est notée chez le témoin dans le deuxième stress, avec une valeur maximale de 2.57g chez FR1 et une valeur minimale de 2.09g chez TL5. Le premier stress, les témoins ont donné de faibles valeurs avec 0.70g chez FR1 et 0.64g chez TL5.

Sous un déficit hydrique, Le volume d'eau 2 a donné les poids frais les plus faibles en comparaison avec le volume d'eau 1 qui a donné même des valeurs plus élevées que le témoin en stress 1.

## I.7. Poids sec de la tige :

L'analyse de variance du poids sec de la tige fait ressortir des différences hautement significatives pour le facteur stress 1 contrairement au stress 2.

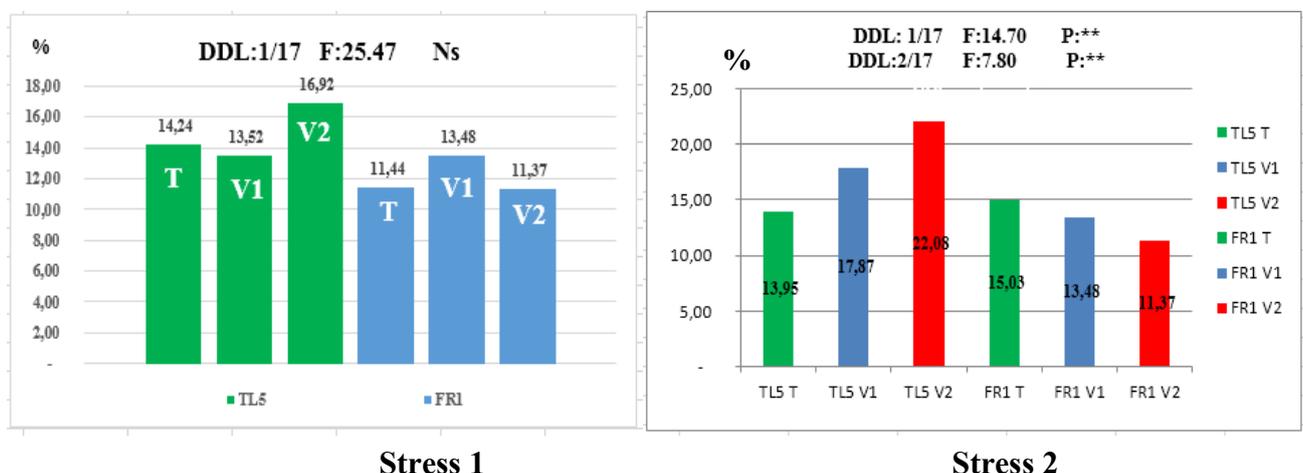


**Figure 25:** Poids sec de la tige sous différents volumes d'eau.

Les deux génotypes TL5 et FR1 ont montré les meilleures valeurs en absence du stress avec respectivement 0.70 et 0.48g pour TL5 et FR1. L'application du stress hydrique a influencé négativement sur le poids sec tige avec 0.35 et 0.46g respectivement pour TL5 et FR1 V1 et 0.19 et 0.27g de matière sèche respectivement pour toujours TL5 et FR1 V2.

## I.8. Matière sèche de la tige :

L'analyse de variance de la matière sèche de la tige fait ressortir des différences hautement significatives pour le facteur génotype. Cependant le premier stress n'a montré aucune différence significative.



**Figure 26:** Matière sèche de la tige sous différents volumes d'eau.

## Résultats et discussion

Pour le deuxième stress, de faibles taux de matière sèche ont été enregistrés chez le témoin avec respectivement 13,95 et 15,03 pour TL5 et FR1. Des augmentations pour TL5 et des diminutions pour FR1 ont été enregistrées après application du stress. Une nette augmentation chez le génotype TL5 au deuxième niveau de stress 80 ml par rapport au témoin avec 22,08%. Quant au premier stress, la différence non significative pourra être expliquée par un début d'adaptation des plantes stressées au stress hydrique, sachant que la population autochtone a montré les meilleurs résultats pour le troisième volume en comparaison avec la variété FR1.

### I.9. Matière sèche racine :

L'analyse de la variance de la matière sèche de la racine fait ressortir des différences hautement significatives pour le facteur stress.

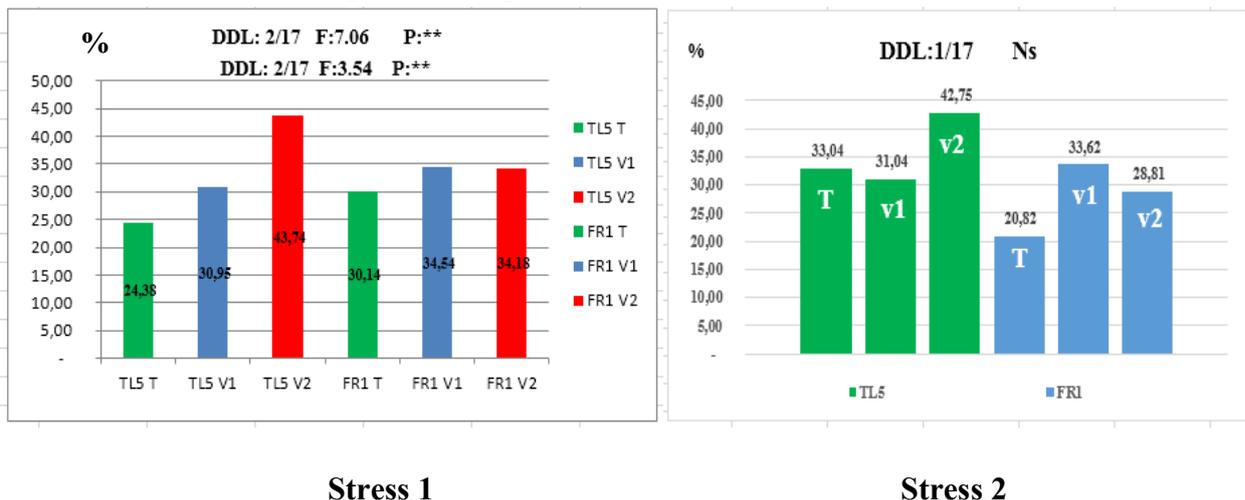


Figure 27: Matière sèche de la racine sous différents volumes d'eau.

Le taux de la matière sèche de la racine a montré de faibles valeurs pour le témoin. TL5 avec 24,38% et FR1 avec 30,14%. Une augmentation d'accumulation de la matière sèche est enregistrée suite à l'application du stress pour les génotypes. Il est signalé que l'augmentation chez TL5 est plus élevée surtout pour la dose D2. Pour la variété hybride FR1 qui a montré une diminution du taux de MS de la tige, pour la racine cette variété a enregistré une augmentation du taux. Quant au deuxième stress, la différence non significative pourra être expliquée par l'adaptation des plantes stressées est commencé leurs système racinaire.

D'après les résultats obtenus, il est devenu claire l'existence d'un effet de stress hydrique sur la matière sèche, notant que la teneur en eau diminue lorsque le stress

augmente. La matière sèche augmente progressivement, mais elle reste sous le seuil de 50%, comparativement à l'évolution de la matière sèche du témoin non stressé. Cette réduction est assez conséquente pour affecter significativement le rendement grain (Bouzerzour et Benmahammed, 2009).

### I.2. Les corrélations :

**Tableau 05 :** Corrélations, ajustées par la correction Bonferroni, entre les paramètres étudiés :

|        | Lt1          | Lt2         | PFt1  | MSt1  | Lt1          | PFt2         | PSt2         | MSr2         | Ltige1       | Ltige2       | Vit         | Lf           | Lr          | R/T          |
|--------|--------------|-------------|-------|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|
| Lt2    | <b>0,96</b>  |             |       |       |              |              |              |              |              |              |             |              |             |              |
| PFt    | 0,28         | 0,21        |       |       |              |              |              |              |              |              |             |              |             |              |
| MSt1   | -0,35        | -0,27       | -0,49 |       |              |              |              |              |              |              |             |              |             |              |
| Lt1    | <b>0,88</b>  | <b>0,82</b> | 0,21  | -0,38 |              |              |              |              |              |              |             |              |             |              |
| PFt    | 0,33         | 0,21        | 0,23  | -0,19 | 0,38         |              |              |              |              |              |             |              |             |              |
| PSt    | 0,33         | 0,22        | 0,14  | -0,46 | <b>0,53</b>  | <b>0,67</b>  |              |              |              |              |             |              |             |              |
| MSr2   | -0,09        | -0,12       | -0,04 | 0,36  | -0,10        | <b>-0,53</b> | <b>-0,52</b> |              |              |              |             |              |             |              |
| Ltige1 | <b>0,54</b>  | <b>0,50</b> | 0,39  | -0,44 | <b>0,63</b>  | 0,43         | 0,19         | -0,18        |              |              |             |              |             |              |
| Ltige2 | <b>0,52</b>  | 0,46        | 0,39  | -0,45 | <b>0,61</b>  | 0,45         | 0,20         | -0,21        | <b>0,99</b>  |              |             |              |             |              |
| Vit    | 0,18         | 0,07        | 0,19  | -0,37 | 0,29         | 0,43         | 0,25         | -0,30        | <b>0,60</b>  | <b>0,68</b>  |             |              |             |              |
| Lf     | 0,28         | 0,19        | 0,09  | -0,45 | <b>0,55</b>  | <b>0,50</b>  | 0,43         | -0,35        | <b>0,80</b>  | <b>0,83</b>  | <b>0,74</b> |              |             |              |
| Lr     | -0,06        | -0,09       | 0,14  | -0,40 | 0,04         | <b>0,51</b>  | <b>0,60</b>  | <b>-0,67</b> | 0,14         | 0,17         | 0,34        | 0,30         |             |              |
| R/T    | <b>-0,50</b> | -0,46       | -0,26 | 0,13  | <b>-0,51</b> | -0,03        | 0,19         | -0,29        | <b>-0,74</b> | <b>-0,72</b> | -0,33       | <b>-0,49</b> | <b>0,53</b> |              |
| T/R    | <b>0,51</b>  | 0,46        | 0,33  | -0,21 | <b>0,53</b>  | 0,13         | -0,16        | 0,21         | <b>0,82</b>  | <b>0,81</b>  | 0,42        | <b>0,59</b>  | -0,41       | <b>-0,98</b> |

- D'après le tableau ci-dessus, il existe des corrélations positives citant :
  - Le pois sec de la tige (PSt2) durant deuxième coupe est corrélé avec la longueur de la racine (Lr), alors qu'il est corrélé négativement avec MSr2. Une corrélation négative veut dire l'augmentation du premier signifie la diminution du deuxième.
  - La longueur feuille est fortement corrélée avec la longueur tige (Ltige1 et Ltige2) et la vitesse de croissance (Vit).
  - Le poids frais de la tige (PFt2) du deuxième coupe est fortement corrélé avec le poids sec de la tige (PSt) ; la longueur de la feuille (Lf) et aussi fortement corrélée avec la longueur de la tige (Ltige).

Nous pouvons déduire que les paramètres corrélées peuvent être un objet pour choisir le caractère d'importance. Ce dernier pourra nous aider à étudier un seul paramètre au lieu d'étudier tous les paramètres. C'est donc, par exemple, étudier la longueur de la tige pour estimer la longueur de la feuille, et vice versa.

***Conclusion***

Les programmes actuels d'améliorations sont basés sur la diversité des cultures qui est la clé de la production durable. L'évaluation des ressources génétiques disponibles est nécessaire pour l'exploitation efficace des céréales (Zubair et *al.*, 2007; Singh et *al.*, 2015). Pour cela nous avons réalisé une étude basée sur l'application des contraintes hydriques durant le stade végétatif sur une population autochtone en comparaison avec une variété hybride introduite.

Les résultats obtenus ont montré que le génotype FR1 montre une meilleure performance en absence du déficit hydrique à l'inverse de la population TL5 d'origine Aïn Salah qui a montrée de performances moyennes en absence du Stress hydrique. Alors, que la population TL5 a montré une certaine adaptation par la forte maintenance du système racinaire et la réduction de la surface foliaire. Le génotype FR1 a montré une sensibilité vis-à-vis le stress hydrique a cause de leur taux réduit de la matière sèche et avec une faible moyenne de longueur racinaire.

Notre expérimentation nous a montré la bonne résistance du sorgho vis-à-vis l'adaptation aux conditions de sécheresse. Ces indicateurs d'adaptation peuvent être utilisés comme paramètres de sélection et d'amélioration du rendement du sorgho dans les zones semi-arides en Algérie.

Dans le cadre d'un travail futur, il serait souhaitable :

- D'établir une stratégie de sélection des variétés productives et résistantes aux multiples conditions climatiques, tout en continuant d'étudier les caractères phénologiques et morpho-physiologiques qui restent importants dans la caractérisation variétale du sorgho.
- La compréhension approfondie des mécanismes physiologiques et génétiques impliquées dans la résistance.
- D'utiliser des marqueurs moléculaires spécifiques qui pourraient être liés à l'adaptation.
- Introduire les gènes impliqués dans la résistance et accélérer le processus de création variétale.

*Références*  
*bibliographiques*

## Références bibliographiques

---

1. **Ademe., 1989** : sorghos. Céréaliers de France, p8
2. **Amokrane A., Bouzerzour H., Benmahammed A., Djekoun A., 2002**: Caractérisation des variétés locales, Syriennes et européennes de blé dur évaluées Constantine, p 33-38.
3. **Araus J.L., Slafer G.A., Reynolds M.P. et Royo C., 2002**: Plant breeding and drought in C3 cereals: what should we breed for **89**: 925-940.
4. **Aslam M., Khan I. A., Saleem M. and Ali Z., 2006**: Assessment of water stress tolerance in different maize accessions at germination and early growth stage. *Pak. J. Bot.*, **38**: 1571- 1579.
5. **Asieduj J., 1989**: Transformation des produits agricoles en zone tropicale : approche technologique. Edit. Karthala et CTA, ISBN 2-86537-3347, 335p.
6. **Benmahammed A., Kribaa M., Bouzerzour H. et Djekoun A., 2008**: Relationships between F2, F3 and F4-derived lines for above ground biomass and harvest index. of three barley (*Hordeum vulgare* L.) crosses in a Mediterranean-type environment. *Agricultural Journal*, **3**, 313-318.
7. **Bruggers R.L. et Jaeger M.M., 1982**: Bird pests and crop protection strategies for cereals of the semi-arid african tropics. In: Sorghum in the eighties. ICRISAT Center, Patencheru, India, ICRISAT, Patencheru, India, 303-312.
8. **CASDAR, ARVALIS, ADEME et AGRICE, 2013**: Fiche technique, RMT biomasse énergie environnement et territoire, Pp1-7.
9. **Chantereau J. et Nicou R., 1991**: Le sorgho. Paris, Maisonneuve et Larousse, collection le technicien de l'agriculture tropicale, p 159.
10. **Chantereau J., 1994**: La taxonomie du sorgho. In : Acte de l'atelier de formation sur les variétés locales de sorgho, 10-14 octobre, Bamako/Mali, Pp 17-27.
11. **Chantereau J., Cruz J., Ratnadass A. et Trouche G., 2013** : *Le sorgho* Versailles-Gembloux, Éditions Quæ-Presses agronomiques de Gembloux, « Agricultures tropicales en poche », p 245.
12. **Chenafi H.A., Aïdaoui H., Bouzerzour A. et Saci, 2006**: Yield response of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivar Waha to deficit irrigation under semi-arid growth conditions. *Asian J Plant Sci.*, **5**, 854-860.
13. **Chaves M.M., Pereira J.S., Maroco J., Rodriques M.L., Ricardo C.P.P., Osorio M.L., Carvatho I., Faria T. et Pinheiro C., 2002**: How plants cope with water stress in the field photosynthesis and growth ? *Ann. Bot.*, **89**: 907–916.
14. **Clark J.M., Romagosa I., 1991**: Evaluation of excised leaf water loss rate for selection of durum wheat for dry environments. *Les colloques*, **55**: 401-414.
15. **Clarke J.M. et Mc Craig T.N., 1982**: Evaluation of techniques for screening for drought resistance in wheat. *Crop Sci.*, **22**: 503-506p.
16. **Clement M.C. et Vanasse A., 2008**: Produire de l'éthanol et du fourrage avec le millet perché sucré et le sorgho sucré pour mieux développer la production bovine en Outaouais. 71<sup>ième</sup> congrès de l'ordre des agronomes du Québec, 7p.
17. **Dakouo D., Trouche G., Ba M.N., Neya A. et Kabore B.K., 2005**: Lutte génétique contre la cécidomyie du sorgho *Stenodiplosis sorghicola* : une contrainte majeure, à la production du sorgho au Burkina Faso. *Cahiers Agricultures* vol. **14**, p8.
18. **Dehaynin N., 2007**: Utilisation du sorgho en alimentation animale. Thèse, Université Claude-Bernard. Lyon. France.18.

## Références bibliographiques

---

19. **Doggett H., 1965:** *Striga hermonthica* on sorghum in East Africa. *J. Agric. Sci* **65**, 183-194.
20. **Doggett H., 1988:** The potential for energy production using sweet sorghum in southern Africa. Longman Scientific Technical **5**, 31-38.
21. **Escalona J. M., Flexas J., Bota J. and Medrano H., 1999:** Distribution of leaf photosynthesis and transpiration within grapevine canopies under different drought conditions, **42**: 57–64
22. **F.A.O., 1991:** Annuaire de la production 1990. 44. Série statistique de la FAO. Rome.
23. **F.A.O., 2002:** Le sorgho à sucre en Chine. Sommet mondial de l'alimentation, p3.
24. **Folkert A., Hoekstra E., Golvina C. et Buitink M., 2001:** Mechanisms of plant desiccation tolerance. *Trends in plant science*. Vol 6, **9**: 431-438.
25. **FAOSTAT, 2016:** <http://faostat.fao.org>.
26. **Farooq M., Basra S.M.A., Wahid A., Cheema Z.A., Cheeman M.A. et Khaliq A., 2008:** Physiological role of exogenously applied glycine betaine in improving drought tolerance of fine grain aromatic rice (*Oryza sativa* L.). *J. Agron. Crop Sci.*, **194**: 325–333.
27. **Gaufichon L., Prioul J.L. et Bachelier B., 2010:** Quelles sont les perspectives d'amélioration génétique des plantes cultivées tolérantes à la sécheresse ? FARM, p 61.
28. **Gnansounou E., Dauriat A. et Wyman C.E., 2005:** Defining sweet sorghum to ethanol and sugar: Economic trade-offs in the context of North China. *Bioresource Technology*, **96**: 985-1002
29. **Grassi G., 2001:** Sweet sorghum: One of the best world food-feed-energy Crops. Latin America Thematic Network on Bioenergy, p 3.
30. **Harlan J.R. et De Wet J. M. J., 1972:** Une classification simplifiée des sorghos cultivés. *Crop Science*, **9** : 172-176.
31. **Hopkins G.W., 2003:** physiologie végétale" traduit de l'anglais par RAMBOUR S. Edit. De Boeck, Pp 38 -58 -458.
32. **House L.R., 1987:** Manuel pour la sélection du sorgho. Deuxième édition. Crop Research Institute for the Semi-Arid Tropics, p 229.
33. **Hassani A., Dellal A., Belkhodja., Kaid- Harche M., 2008 :** Effet de la Salinité sur l'eau et certains osmolytes chez l'orge (*Hordeum Vulgare* L.). European Journal of scientific Research, **23** : Pp 61-6
34. **Hussain S.S., 2006:** Molecular breeding for abiotic stresses tolerance: drought perspective. *Proc Pak Acad Sci.*, **43**:189–210.
35. <https://www.sciencebuddies.org/science-fair->
36. **ISO 11465, 1993 cor 1994 :** Qualité du sol, Détermination de la teneur pondérale en matière sèche et en eau, Méthode gravimétrique.
37. **ITAVI, IDELE, ADEME, CEMAGREF, 2010:** Fiche culture Outil de simulation technico-économique pour la méthanisation. Ifip, Aile, Solagro, Trame, Chambres d'Agriculture de Bretagne, p 7.
38. **Jaleel C.A., Gopi R. et Panneerselvam R., 2008:** Growth and photosynthetic pigments responses of two varieties of *Catharanthus roseus* to triadimefon treatment. *Comp. Rend. Biol.*, **331**: 272–277.
39. **Jean-Pierre A., Philippe D., Bernard I., Gilles L., Bernard S., François T. et Alban T., 2006:** Sécheresse et agriculture. Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, INRA. France , p 72.
40. **Laberche J.C., 2004:** La nutrition de la plante In Biologie Végétale. Dunod. Paris: 154 -163.

## Références bibliographiques

---

41. **Laurent H. et Sané P., 2007:** Transfert d'eau et d'énergie. In : Bioclimatologie. Concept et application. Ed. Quae. Paris, p 246.
42. **Louise A., Paul K. et Akanza M.B., 2007:** Bien cultiver le sorgho en Côte d'Ivoire, CNRA, p123.
43. **Leclerc., 1999:** Ecophysiologie végétale" Ed. ISBN, Paris.
44. **Lawlor D. W., Cornic G., 2002:** Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants, **25:** 275-294.
45. **Maas E.V., 1996:** Plant response to soil salinity. In: 4th National Conference and Workshop on the Productive Use and Rehabilitation of Saline Land. Promaco conventions Ptyltd, 25-30.
46. **Maury P., Langlade N., Grieu P., Rengel D., Sarrafi A., Debaeke P. et Vincourt P., 2011:** Ecophysiologie et génétique de la tolérance à la sécheresse chez le tournesol. Innovations Agronomiques, **14** : 123-138.
47. **Nabors M., 2008:** Réponse des plantes aux hormones et aux stimuli environnementaux. In : biologie végétal. Structure, fonctionnement, écologie et biotechnologie. Ed. Pearson Education. France, p 247.
48. **Nebie B., 2009:** Etude de la variabilité agro-morphologique de quelques écotypes de sorghos sucrés (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) du Burkina Faso. Mémoire DEA, UFR/SVT Université. Ouaga, p 62.
49. **Ollat N., 2010:** INRA-ISVV UMR Ecophysiologie et Génomique Fonctionnelle de la Vigne
50. **Ollitrault P., 1989:** Evaluation génétique des sorghos cultivés (*Sorghum bicolor* L. Moench) par l'analyse conjointe des diversités enzymatique et morpho physiologique Relations avec les sorghos sauvages. Thèse université. Paris XI entre d'Orsay, p 187.
51. **Passioura, J., 2004:** Increasing crop productivity when water is scarce: From breeding to field management In: Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Crop Science Congress "New directions for a diverse planet" Brisbane, Australia, p 12.
52. **Patane C., Cavallaroa V. et Cosentino S. L., 2009:** Germination and radicle growth in unprimed and primed seeds of sweet sorghum as affected by reduced water potential in NaCl at different temperatures. Industrial Crops and Products, **30:** 1-8.
53. **Radhouane L., 2011 :** Comportement physiologique de deux espèces de tabac au stress salin. Revue des régions aride. Institut des régions arides-Médenine-Tunisie, **5:** 3-14.
54. **Ramaiah K.V. et Parker C., 1982:** Striga and other weeds in sorghum. In: Sorghum in the eighties. Patencheru, India, ICRISAT, 291-302.
55. **Ratnadass A., Cisse B. et Butler D., 1997:** Bioecology of the panicle-feeding bug *Euristylus oldi* Poppius (Heteroptera : Miridae), a key pest of sorghum in Mali. In. Amélioration du sorgho et de sa culture en Afrique de l'Ouest et du Centre, CIRAD. Montpellier, France, 105-111.
56. **Rai K.N., Murty D.S. et Bramelcox P.J., 1999:** Genetic enhancement of pearl millet and sorghum for the semi-arid tropics of Assia and Africa. *Genome*, **42:**617-628.
57. **Razmjoo K., Heydarizadeh P. et Sabzalian M.R., 2008:** Effect of salinity and drought stresses on growth parameters and essential oil content of *Matricaria chamomile*. *Int. J. Agric. Biol.*, **10:**451-454.
58. **Leinonen I., Jones H.G., 2004:** Combining thermal and visible imagery for estimating canopy temperature and identifying plant stress. *J. Exp. Bot.*, **55:** 1423 – 1431.
59. **Reynolds M. et Tuberosa R., 2008:** Translational research impacting on crop productivity in drought-prone environments. *Curr. Opin. Plant Biol.*, **11:**171-179.
60. **Robin Vergonjeanne., 2014:** Algérie: le sorgho, fourrage d'avenir. Terre-net media..

## Références bibliographiques

---

61. **Riou C., 1993** : L'eau et la production végétale. *Sécheresse*, **2** : 75-83.
62. **REGIX, 2010**: Fiche technique, RMT biomasse énergie environnement et territoire, Pp1-7.
63. **Sautier D. et O'deye M., 1989**: Mil, Mais, Sorgho techniques et alimentation au sahel. Harmattan. Paris, France, p 171.
64. **Sadras V.O. et Malory S.P., 1996**: Soil-water thresholds for the responses of leaf expansion and gas exchange: A review. *Field Crops Res*, **47**: 253-266.
65. **Scofield T., Evans J., Cook M.G., et Wardlaw I.F., 1988**: Factors influencing the rate and duration of grain filling in wheat. *Aust. J. Plant physiol*, **4** : 785-797.
66. **Slama A., Ben Salem., Ben Naceur M., Zid M.E., 2005**: Les céréales en Tunisie : production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance (Inrat), **16** : 225-229
67. **Tardieu F., and Simonneau T., 1998**: Variability among Species of Stomatal Control under Fluctuating Soil Water Status and Evaporative Demand: Modelling Isohydric and Anisohydric Behaviours. *Journal of Experimental Botany*, **49**: 419-432.
68. **Tardieu F., 2005**: Plant tolerance to water deficit: Physical limits and possibilities for progress. *Geo SCI*, **337** : 57 -67.
69. **Trouche G., Da S., Pale G., Sohero A., Ouedraogo O., et Chantereau J., 2009**: Problématiques de sélection du sorgho comme culture multi-usage, p 56.
70. **Turner N.C., 2001**: Osmotic adjustment of sorghum and sunflower crops in response to deficits influence on the water potential at with stomatal close.
71. **Tester, M. and Bacic, A.; 2005**: Abiotic stress tolerance in grasses. From model plants to crop plants. *Plant Physiol.*, **137**: 791-793.
72. **Zongo J.D., 1991**: Ressources génétiques des sorghos [*Sorghum bicolor* (L) Moench] du Burkina Faso: Évaluation agro morphologique et génétique. Thèse de doctorant, Université d'Abidjan, p 175.

# *Annexes*

**Annexe 01:****Tableau 01 :** La superficie et la production du sorgho dans le monde

| <b>Anne</b> | <b>Superficies/ha</b> | <b>Production/tonne</b> |
|-------------|-----------------------|-------------------------|
| 2010        | 42175294              | 60123538                |
| 2011        | 42173015              | 56651554                |
| 2012        | 39261445              | 57183553                |
| 2013        | 43891889              | 61752570                |
| 2014        | 44659742              | 68237439                |
| 2015        | 41643439              | 65924626                |
| 2016        | 44771056              | 63930558                |

Source : (FAOSTAT, 2016).

**Annexes 02:****Tableaux 02 :** La superficie et la production du sorgho en Algérie.

| <b>Année</b> | <b>Superficie /ha</b> | <b>Production /tonne</b> |
|--------------|-----------------------|--------------------------|
| 2014         | 62000                 | 465                      |
| 2015         | 121689                | 2665                     |
| 2016         | 255800                | 8953                     |

Source : (FAOSTAT, 2016).

**Annexes 03 :**

**Tableaux 03 :** Résultats de l'analyse statistique de la variance des facteurs étudiés, population, stress, et l'interaction population x stress : Stress 1 longueur de tige finale, stress 2 point frés tige.

| <b>Effet</b>     | <b>DDL</b> | <b>Stress 1 longueur de tige finale</b> |           |          |             | <b>stress 2 point frés tige</b> |           |          |              |
|------------------|------------|---|-----------|----------|-------------|---------------------------------|-----------|----------|--------------|
|                  |            | <b>SCE</b>                              | <b>CM</b> | <b>F</b> | <b>Prob</b> | <b>SCE</b>                      | <b>CM</b> | <b>F</b> | <b>Prob.</b> |
| <b>Intercept</b> | 1          | 465,125                                 | 465,125   | 596,1254 | 0           | 9,702012                        | 9,702012  | 296,6659 | 0            |
| <b>Pop</b>       | 1          | 3,766                                   | 3,766     | 4,8267   | 0,048399    | 0,247573                        | 0,247573  | 7,5702   | 0,017556     |
| <b>Stress</b>    | 2          | 0,1433                                  | 0,0717    | 0,0919   | 0,912876    | 0,153302                        | 0,076651  | 2,3438   | 0,138267     |
| <b>Pop*St</b>    | 2          | 0,0505                                  | 0,0252    | 0,0324   | 0,968244    | 0,076407                        | 0,038203  | 1,1682   | 0,343919     |
| <b>Erreur</b>    | 12         | 9,363                                   | 0,7802    |          |             | 0,392442                        | 0,032704  |          |              |
| <b>Total</b>     | 17         | 13,3228                                 |           |          |             | 0,869725                        |           |          |              |

**Annexes 04 :**

**Tableaux 04 :** Résultats de l'analyse statistique de la variance des facteurs étudiés, population, stress, et l'interaction population x stress : Stress 1 longueur de tige finale stress, 2 point frés tige.

| Effet            | ddl | Stress 1 longueur de tige finale |          |          |          | Stress 2 point frés tige |          |         |          |
|------------------|-----|----------------------------------|----------|----------|----------|--------------------------|----------|---------|----------|
|                  |     | SCE                              | CM       | F        | Prob.    | SCE                      | CM       | F       | Prob.    |
| <b>Intercept</b> | 1   | 928,0868                         | 928,0868 | 305,0687 | 0        | 34,68057                 | 34,68057 | 112,849 | 0        |
| <b>Pop</b>       | 1   | 18,1001                          | 18,1001  | 5,9496   | 0,031204 | 0,43338                  | 0,43338  | 1,4102  | 0,257998 |
| <b>Stress</b>    | 2   | 9,7911                           | 4,8956   | 1,6092   | 0,240366 | 9,33613                  | 4,66807  | 15,1897 | 0,000515 |
| <b>Pop*St</b>    | 2   | 6,6478                           | 3,3239   | 1,0926   | 0,366505 | 0,06556                  | 0,03278  | 0,1067  | 0,899665 |
| <b>Erreur</b>    | 12  | 36,5067                          | 3,0422   |          |          | 3,68782                  | 0,30732  |         |          |
| <b>Total</b>     | 17  | 71,0457                          |          |          |          | 13,5229                  |          |         |          |

### Annexes 05:

**Tableaux 05 :** Résultats de l'analyse statistique de la variance des facteurs étudiés, population, stress, et l'interaction population x stress : stress 2 poids sec tige, stress 2 matière sèche racine.

| Effet            | ddl | Stress 2 poids sec tige |          |          |          | Stress 2 matière sèche racine |          |          |          |
|------------------|-----|-------------------------|----------|----------|----------|-------------------------------|----------|----------|----------|
|                  |     | SCE                     | CM       | F        | Prob.    | SCE                           | CM       | F        | Prob.    |
| <b>Intercept</b> | 1   | 2,999617                | 2,999617 | 134,6049 | 0        | 19587,06                      | 19587,06 | 672,9505 | 0        |
| <b>Pop</b>       | 1   | 0,000304                | 0,000304 | 0,0137   | 0,908919 | 0,03                          | 0,03     | 0,0009   | 0,976776 |
| <b>Stress</b>    | 2   | 0,381303                | 0,190652 | 8,5553   | 0,004907 | 411,41                        | 205,71   | 7,0674   | 0,009371 |
| <b>Pop*St</b>    | 2   | 0,09745                 | 0,048725 | 2,1865   | 0,154996 | 206,18                        | 103,09   | 3,5419   | 0,061815 |
| <b>Erreur</b>    | 12  | 0,267415                | 0,022285 |          |          | 349,27                        | 29,11    |          |          |
| <b>Total</b>     | 17  | 0,746473                |          |          |          | 966,9                         |          |          |          |

**Annexes 06 :**

**Tableaux 06 :** Résultats de l'analyse statistique de la variance des facteurs étudiés, population, stress, et l'interaction population x stress :3 longueur tige, stress 3 vitesse de croissance.

| Effet            | ddl | stress 3 longueur tige |          |          |          | stress 3 vitesse de croissance |          |          |          |
|------------------|-----|------------------------|----------|----------|----------|--------------------------------|----------|----------|----------|
|                  |     | SCE                    | CM       | F        | Prob.    | SCE                            | CM       | F        | Prob.    |
| <b>Intercept</b> | 1   | 3447,267               | 3447,267 | 1348,637 | 0        | 0,774321                       | 0,774321 | 37,78313 | 0,00005  |
| <b>Pop</b>       | 1   | 207,401                | 207,401  | 81,139   | 0,000001 | 0,18                           | 0,18     | 8,78313  | 0,01184  |
| <b>Stress</b>    | 2   | 51,121                 | 25,561   | 10       | 0,002781 | 0,169383                       | 0,084691 | 4,13253  | 0,043112 |
| <b>Pop*St</b>    | 2   | 8,548                  | 4,274    | 1,672    | 0,228795 | 0,019259                       | 0,00963  | 0,46988  | 0,636107 |
| <b>Erreur</b>    | 12  | 30,673                 | 2,556    |          |          | 0,245926                       | 0,020494 |          |          |
| <b>Total</b>     | 17  | 297,743                |          |          |          | 0,614568                       |          |          |          |

**Annexes 07 :**

**Tableaux 07 :** Résultats de l'analyse statistique de la variance des facteurs étudiés, population, stress, et l'interaction population x stress : stress 3 longueur de feuille, stress 3 longueur de racine.

| Effet            | ddl | stress 3 longueur de feuille |          |          |          | stress 3 longueur de racine |          |         |          |
|------------------|-----|------------------------------|----------|----------|----------|-----------------------------|----------|---------|----------|
|                  |     | SCE                          | CM       | F        | Prob.    | SCE                         | CM       | F       | Prob.    |
| <b>Intercept</b> | 1   | 19860,25                     | 19860,25 | 3490,718 | 0        | 123090,7                    | 123090,7 | 519,644 | 0        |
| <b>Pop</b>       | 1   | 63,85                        | 63,85    | 11,222   | 0,005781 | 15,1                        | 15,1     | 0,0639  | 0,804784 |
| <b>Stress</b>    | 2   | 102,74                       | 51,37    | 9,029    | 0,004048 | 2360,4                      | 1180,2   | 4,9823  | 0,026592 |
| <b>Pop*St</b>    | 2   | 2,9                          | 1,45     | 0,255    | 0,778898 | 1056,6                      | 528,3    | 2,2303  | 0,150116 |
| <b>Erreur</b>    | 12  | 68,27                        | 5,69     |          |          | 2842,5                      | 236,9    |         |          |
| <b>Total</b>     | 17  | 237,77                       |          |          |          | 6274,6                      |          |         |          |

**Annexes 08:**

**Tableaux 08 :** Résultats de l'analyse statistique de la variance des facteurs étudiés, population, stress, et l'interaction population x stress : stress 3 rapporte (racine /tige), stress 3 rapporte (tige /racine).

| Effet            | ddl | stress 3 rapporte (racine /tige) |          |          |          | stress 3 rapporte (tige /racine) |          |         |          |
|------------------|-----|----------------------------------|----------|----------|----------|----------------------------------|----------|---------|----------|
|                  |     | SCE                              | CM       | F        | Prob.    | SCE                              | CM       | F       | Prob.    |
| <b>Intercept</b> | 1   | 745,8044                         | 745,8044 | 316,6459 | 0        | 0,532487                         | 0,532487 | 491,628 | 0        |
| <b>Pop</b>       | 1   | 46,4061                          | 46,4061  | 19,7026  | 0,000809 | 0,027597                         | 0,027597 | 25,4799 | 0,000286 |
| <b>Stress</b>    | 2   | 2,339                            | 1,1695   | 0,4965   | 0,620611 | 0,000413                         | 0,000207 | 0,1908  | 0,828791 |
| <b>Pop*St</b>    | 2   | 8,4187                           | 4,2093   | 1,7872   | 0,209235 | 0,004693                         | 0,002346 | 2,1664  | 0,157295 |
| <b>Erreur</b>    | 12  | 28,2639                          | 2,3553   |          |          | 0,012997                         | 0,001083 |         |          |
| <b>Total</b>     | 17  | 85,4277                          |          |          |          | 0,045701                         |          |         |          |