

SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE SAAD DAHLEB –BLIDA I -



FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT DE BIOLOGIE DES POPULATIONS ET DES ORGANISMES

## MEMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de Master

OPTION : Biodiversité et physiologie végétale

### Thème

**Identification de traits morpho-physiologiques et biochimiques  
d'adaptation de quelques populations d'*Aegilops* sous stress  
*hydrique***

Soutenu le : 14 /07/2019

Présenté par :

• ABDE RRAHMANE Marwa

• BOUIZZOUL Nesrine

Devant le jury :

**Présidente :** Mme TOUABIA M.....MCB

**Examinatrice :** Mme. AMAEDJKOUH H.....MAA

**Promoteur :** Mr. ROUIBI Abdelhak .....MAC

**CO- Promoteur:** Mme .MERDAS Samira..... Attachée de Recherche

Année universitaire : 2018/2019

# Didicace

*Je dédie ce modeste travail à :*

*A la bougie de ma vie, la fleur de mes jours, ma mère qui veille*

*Avec amour et tendresse à notre éducation.*

*A mon père qui a sacrifié sa vie pour notre instruction*

*A ma belle sœur et mes frères :*

*Amina, Mohamed Amine, Sid Ahmed et Anes.*

*Et toute ma famille : BOUIZZOUL et Errokarma*

*Et toutes mes amies spécialement Maroua ,Chasme El Amel,  
Boutheyna et Rima*

*A mon belle chérie et binôme MARWA*

*A toutes mes amies de la promotion de biodiversité et physiologie végétale 2018 /2019*

*Nesrine*

# Didicace

*Je dédie ce travail à :*

*A la bougie de ma vie, la fleur de mes jours, ma mère qui veille*

*Avec amour et tendresse à notre éducation.*

*A mon père qui a sacrifié sa vie pour notre instruction*

*A mes frères :*

*Chemseddine, Aymen, Fares et Wail.*

*A Ma grand mère Djemiaa.*

*Et Toute ma famille.*

*A Mes voisines Souad , FAToma , Selma, Ikrame, Amina et Fella.*

*Et toutes mes amies Boutheyra, roufaïda et manel*

*Spécialement Rima*

*A mon belle chérie et binôme Nesrine*

*A toutes mes amies de la promotion de biodiversité et physiologie végétale 2018 /2019*

*Marwa*

# **REMERCIEMENT**

*Nous remercions avant tout ALLAH tout puissant, de nous avoir guidé toutes les années d'étude et de nous avoir donné la volonté, la patience et le courage pour terminer ce travail.*

*Nous adresse l'expression de mes très vives gratitudee et respects à notre encadreur, Monsieur ROUIBI ABDELHAK pour son soutien, pour ses conseils utiles et sa gentillesse et pour ses appréciations sur ce travail.*

*Nous voudrions remercier du fond du cœur Madame MERDAS SAMIRA chercheur de l'Institut National de la recherche Agronomique d'Algerie de Braki .qui aide dans cette étude au quotidien. Elle fut toujours présente, en particulier lorsque nous sommes confrontée au doute, je lui suis reconnaissante pour : sa grande disponibilité, son ouverture d'esprit, son dynamisme et son optimisme, ainsi que pour ses multiples et précieux conseils scientifiques, professionnels ou tout simplement humains.*

*Nous adressons tous mes remerciements au Professeur Issoulah Rachida., responsable de l'équipe de division de phytoressource génétique, qui a accepté de Nous accueillir au sein de son équipe.*

*Nous tiens à remercier les membres du jury:*

*Au président du jury, Professeur Mme TOUIBIA. M Chef de département de BPO à l'Université de Saad Dahlab Blida1, Qui m'a fait l'honneur de présider ce jury.*

*À Madame AMADJCOUH.H, Maître de conférence à l'université Saad dahlab du Blida I, de m'avoir jugé ce travail*

*Nous remercions tous les enseignants du département de science de la nature et la vie pour leurs aides et encouragements au cours de notre étude.*

*Nous tiens enfin à remercier notre entourage pour leur encouragement, à toute personne qui a participé de près ou de loin pour l'accomplissement de ce modeste travail.*

*Merci à tous et à toutes.*

*Marwa et Nesrine*

# Identification de traits morpho-physiologique et biochimique d'adaptation de quelque population d'*Aegilops* sous stress hydrique

## *Résumé*

Les plantes étudiés ont été repartis en deux traitement le premier traitement représente les plante irrigués à (ETM) avec un maximum d'eau (reçoivent l'équivalent de l'ETM deux fois par semaine). Le deuxième traitement les plantes soumises au stress hydrique Le stress hydrique a été appliqué au stade quatrième feuille (pendant 15 jours)

Divers paramètre morphologiques, physiologiques et biochimiques liés à l'adaptation au déficit hydrique (teneur relative en eau, teneur en sucre soluble, proline et développement racinaire) ont été étudiés chez huit populations d'*Aegilops* : G1 ; G2 ; G2 ; G3 ; G4 ; G5 ; G6 ; G7 ; G8 avec le témoin Blé (G9).

Les résultats obtenus montrent que L'effet du stress hydrique est très significatif sur la quasi-totalité des traits morpho physiologiques et biochimiques analysées.

Le stress hydrique à entrainer une réduction de la surface foliaire, une diminution de la teneur relative en eau et du taux de la chlorophylle totale. Cependant une augmentation du taux de la déperdition d'eau, une augmentation du poids spécifique foliaire et une accumulation de proline et des sucres solubles ont été enregistrées.

L'étude à montrer que le stress hydrique implique les mêmes mécanismes de la réponse chez les nef génotypes mais à des degrés différents.

**Mots clés** : *Aegilops*, adaptation, biochimique, génotype, morphologique, physiologique, stress hydrique.

## **Identification of morpho-physiological and biochemical adaptation traits of some *Aegilops* population under stress**

### ***Abstract***

The plants studied were divided into two treatment, the first treatment represents plants irrigated to (ETM) with a maximum of water (reciev the equilent of the ETM twice at week).The second treatment for plants under water stress .The water stress was applied to the fourth leaf stage (for 15).

Various morphological,and biochemical parametres related to adaptation to water deficit (relative water content ,soluble sugar content , proline and root development ) were studied on aeight population of *Aegilops* :G1 ; G2 ;G3 ; G4 ; G5 ; G6 ; G7 ;G8 end witness. This test conducted under water treatment at fourth leaf level.

The effect of water stress is very significant on all most all morpho-physiological and biochemical traits analyzed .

The result obtained show that water stress to enter a reduction of the foliar srface , a decrease in the water content , rate of water loss and the rate of total chlorophyll .Similarly an increase in foliar specific weight and an accumulation of proline and soluble sugars are recorded.

The study showed that water stress cause the same mechanixms of reponse in nane genotypes but to different degrees .

***Key words:*** Adaptation, biochemical parameters, common bean, genotypes, morphological, physiological, water stress

## تحديد سمات التكيف المورفو-فيزيولوجية و البيو كيميائية لبعض اصناف *Aegilops* تحت ضغط الاجهاد المائي.

### الملخص:

يعتبر الجفاف عاملا محمدا لتغيرات المردود في المناطق التي تعاني من النقص المائي, عدة عوامل مرفولوجية , فيزيولوجية و بيوكيميائية مرتبطة بالتأقلم مع الجفاف تم دراستها عند تسعة اصناف من *Aegilops*

G1; G2; G3; G4; G5; G6; G7; G8 و G9 أنجز هذا العمل تحت ظرف الإجهاد المائي على مستوى الورقة الرابعة من النبتة.

تأثير الإجهاد المائي كان جد معنوي على غالبية المعايير المرفوفيزيولوجية و البيوكيميائية المدروسة.

تبين النتائج المتحصل عليها أن الإجهاد المائي تسبب في تقلص المساحة الورقية , انخفاض محتوى الماء النسبي للأوراق , نقص كل من معدل فقدان الماء و محتوى الكلوروفيل الكلي . كما سجلت بالمثل ارتفاع في المقاومة الثغرية للأوراق مع تراكم كل من البرولين و السكريات الذائبة.

ختاما , أظهرت الدراسة انه بوجود الإجهاد المائي تستجيب الأصناف التسعة بنفس الآليات لكن بدرجات مختلفة.

**الكلمات المفتاحية:** الإجهاد المائي , المقاومة , المورثات , بيوكيميائي فيزيولوجيا , مرفولوجيا .

# Liste d'abréviation

Ae : *Aegilops*.

Do : Densité optique.

ETM : évapotranspiration maximale.

G1: Médéa.

G2 : Tizi Rached.

G3: Sétif

G4: Messaad

G5 : Tikhijda 2

G6 : Mila.

G7 : Masacara.

G8 : AnÇor

G9 : Blé(Simeto)

H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> : acide ortho phosphorique

ICARDA : International Center for Agricultural Research in the Dry Areas.

INRAA : Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie.

mg.cm<sup>2</sup>.min : Milligramme par centimètre carré par minute.

mg-1.MF : Milligramme par gramme de matière fraîche.

BMA : Biomasse aérienne.

BMR : Biomasse racinaire.

Nm : Nanomètre.

Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> : sulfate de sodium oxydé

Pf : poids frais.

Pi : poids initial.

PSF : poids spécifique foliaire.

PT : poids de pleine turgescence.

Ps : poids sec.

RWC : Relative water content.

SF : surface foliaire.

s.cm : seconde par centimètre.

S : situation hydrique.

TDE : Taux de déperdition.

TCT : Taux de chlorophylle totale.

ETM : Evapotranspiration maximal .

# Liste des figures

|  |    |
|--|----|
| <b>Figure 01</b> : Répartition des trois espèces d' <i>Aegilops</i> tétraploïdes en Algérie .....  | 12 |
| <b>Figure 02</b> : Filiation génétique du blé .....  | 13 |
| <b>Figure 03</b> : les épis d' <i>Aegilops</i> .....   | 18 |
| <b>Figure 04</b> : Localisation des populations d' <i>Aegilops geniculata Roth</i> en Algérie.....   | 19 |
| <b>Figure 05</b> : Dispositif expérimentale de l'essai   |    |
| <b>Figure.06</b> : Les étapes de dosage de la proline  |    |
| <b>Figure.07</b> : courbe étalon de la proline   |    |
| <b>Figure.08</b> : courbe étalon de dosage des sucres<br>.....   | 27 |
| <b>Figure 09</b> : Variation de la hauteur de la plante chez les 08 génotypes d' <i>Aegilops</i> + le témoin et les deux régimes hydriques (sec et irriguée).....                            | 34 |
| <b>Figure 10</b> : Variation de la surface foliaire chez les 08 génotypes d' <i>Aegilops</i> + le témoin et les deux régimes hydriques (sec et irriguée).....                                | 36 |
| <b>Figure 11</b> : Variation de poids spécifique foliaire chez les 08 génotypes d' <i>Aegilops</i> + le témoin et les deux régimes hydriques (sec et irriguée).....                          | 38 |
| <b>Figure 12</b> : Variation de la biomasse aérienne chez les 08 génotypes d' <i>Aegilops</i> + le témoin et les deux régimes hydriques (sec et irriguée).....                               | 40 |
| <b>Figure 13</b> : Variation de la biomasse racinaire chez les 08 génotypes d' <i>Aegilops</i> + le témoin et les deux régimes hydriques (sec et irriguée).....                              | 41 |
| <b>Figure 14</b> : Variation du rapport entre biomasse racinaire/biomasse aérienne chez les 08 génotypes d' <i>Aegilops</i> + le témoin et les deux régimes hydriques (sec et irriguée)..... | 43 |
| <b>Figure 15</b> : Variation de la teneur relative en eau chez les 08 génotypes d' <i>Aegilops</i> + le témoin et les deux régimes hydriques (sec et irriguée).....                          | 45 |
| <b>Figure 16</b> : Variation de taux de déperdition en eau chez les 08 génotypes d' <i>Aegilops</i> + le témoin et les deux régimes hydriques (sec et irriguée).....                         | 46 |
| <b>Figure 17</b> : Variation de taux de chlorophylle totale chez les 08 génotypes d' <i>Aegilops</i> + le témoin et les deux régimes hydriques (sec et irriguée).....                        | 48 |
| <b>Figure 18</b> : Variation de la teneur en proline chez les 08 génotypes d' <i>Aegilops</i> + le témoin et les deux régimes hydriques (sec et irriguée).....                               | 50 |

**Figure 19 :** Variation de la teneur en sucre chez les 08 géotypes d'*Aegilops* + le témoin et les deux régimes hydriques (sec et irriguée).....52

# Liste des tableaux

|   |    |
|---|----|
| <b>Tableau. 01 :</b> Classification génomique des <i>Aegilops</i> .....   | 9  |
| <b>Tableau.02:</b> Liste des espèces <i>Aegilops</i> considérées comme source potentielle de résistance aux maladies et aux parasites.....                  | 14 |
| <b>Tableau 03 :</b> Transfert chez le blé de gènes de résistance aux maladies et aux parasites, issues de différents espèces du genre <i>Aegilops</i> ..... | 16 |
| <b>Tableau 04 :</b> Liste des espèces <i>Aegilops</i> considérées comme source potentielle de résistance aux stress abiotique .....                         | 17 |
| <b>Tableau 05 :</b> liste des génotypes utilisés et leur origine .....  | 27 |

# SOMMAIRE

| TITRE   | N° de page |
|---|------------|
| Introduction.....   | 1          |
| Chapitre I : Synthèse bibliographique   |            |
| 1 Evolution de la variabilité génétique chez le blé.....                                    | 3          |
| 1.2. Exploitation de la variabilité interspécifique.....                                    | 3          |
| 1.3. Le genre <i>Aegilops</i> .....   | 4          |
| 1.3.1. Description générale de la plante.....   | 5          |
| 1.3.2 Taxonomie de genre <i>Aegilops</i> .....  | 5          |
| 1.3.3. Classification génétique.....  | 5          |
| 1.3.4. Génétique des <i>Aegilops</i> .....  | 6          |
| 1.3.4.1. La polyploïdie.....  | 7          |
| 1.3.5. Répartition géographique de genre <i>Aegilops</i> .....                              | 8          |
| 1.3.4.1. Répartition géographique d' <i>Aegilops</i> en Algérie.....                        | 9          |
| 1.4. Intérêt des <i>Aegilops</i> .....  | 10         |
| 1.4.1. Contribution dans la constitution des génomes du blé.....                            | 10         |
| 1.4.2. Intérêt des <i>Aegilops</i> dans l'amélioration des génomes des blés cultivés.....   | 11         |
| 1.4.3. Amélioration de résistance et / ou la tolérance au stress biotique ou abiotique...12 |            |
| 1.4.3.1. Résistance et / ou la tolérance au stress biotique.....                            | 12         |
| 1.4.3.2. Résistance et / ou la tolérance au stress abiotique.....                           | 14         |
| 1.4.4. Amélioration de la qualité technologique.....  | 15         |
| II. Présentation de l'espèce <i>Aegilops geniculata</i> .....                               | 16         |
| 2.1. Description botanique.....   | 16         |
| 2.2. Répartition d' <i>Aegilops geniculata</i> Roth. ....                                   | 17         |
| III. Notion de stress.....  | 18         |
| 3.1. Stress hydrique. ....  | 18         |
| 3.1.1. L'eau dans la plante.....  | 18         |

|   |    |
|---|----|
| 3.1.1.1. Rigidité des tissus.....                               | 18 |
| 3.1.1.2. Croissance.....  | 19 |
| 3.1.1.3. Rôle physiologique.....                                | 19 |
| 3.1.2. L'effet de stress hydrique sur la plante.....            | 19 |
| 4. Stratégies de la réponse des plantes au stress hydrique..... | 20 |
| 4.1 L'esquive.....  | 20 |
| 4.2. L'évitement. ....  | 20 |
| 4.2.1. Capacité d'extraction l'eau par système racinaire.....   | 21 |
| 4.2.2. Régulation stomatique. ....                              | 21 |
| 4.2.3. Réduction de la surface transpirante.....                | 21 |
| 4.3. Tolérance à la déshydratation.....                         | 21 |
| 4.3.1. Accumulation de proline.....                             | 22 |
| 4.3.2 Rôle des sucres solubles.....                             | 23 |

## Chapitre II : Matériel et Méthodes.

|  |    |
|--|----|
| 1. Matériel végétal.....                       | 24 |
| 2. Le protocole expérimental adopté .....      | 24 |
| 2.1. Localisation de l'essai.....              | 24 |
| 2.2. Conduite de l'essai .....                 | 25 |
| 3. Méthodes et mesures effectuées.....         | 25 |
| 3.1 Paramètres morphologiques.....             | 25 |
| 3.1.1. La hauteur de la plante .....           | 25 |
| 3.1.2 Surface foliaire .....                   | 26 |
| 3.1.3. Poids spécifique foliaire.....          | 26 |
| 3.1.4. La biomasse de la partie aérienne.....  | 26 |
| 3.1.5. La biomasse de la partie racinaire..... | 26 |
| 3.2. Paramètres physiologiques.....            | 26 |
| 3.2.1. La teneur relative en eau (RWC).....    | 27 |
| 3.2.2. Taux de déperdition d'eau (RWL).....    | 28 |

|  |    |
|--|----|
| 3.2.3. Taux de la chlorophylle totale.....     | 28 |
| 3.3. Paramètres biochimiques.....              | 28 |
| 3.3.1. Dosage de proline.....                  | 28 |
| 3.3.2. Dosage des sucres solubles.....         | 30 |
| 4. Analyse statistique.....                    | 31 |
| Chapitre III : Résultats et Discussion         |    |
| PAREMETRES MORPHOLOGIQUES                      |    |
| 1. La hauteur de la plante.....                | 32 |
| 2. La surface foliaire.....                    | 33 |
| 3. Poids spécifique foliaire.....              | 36 |
| 4. biomasse aérienne.....                      | 37 |
| 5. biomasse racinaire.....                     | 39 |
| 6. Le rapport B.M.Racinaire/B.M.Aériene.....   | 41 |
| PARAMETRES PHYSIOLOGIQUES                      |    |
| 1. La teneur relative en eau.....              | 42 |
| 2. La perte en eau par la feuille excisée..... | 44 |
| 3. Le taux de la chlorophylle totale.....      | 45 |
| PARAMETRES BIOCHIMIQUES                        |    |
| 1. La proline.....                             | 47 |
| 2. Les sucres solubles.....                    | 49 |
| CONCLUSION GENERAL.....                        | 52 |
| REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE                     |    |

# *Introduction*









## ***Introduction***

L'érosion génétique, notamment des blés, causée par l'utilisation des mêmes génotypes parentaux et l'introduction des techniques modernes devient de plus en plus inquiétante. Cette érosion a rendu les cultures de blé de plus en plus vulnérables à de nouveaux stress biotiques et abiotiques. L'insuffisance de la variabilité des blés cultivés peut être résolue par l'exploitation des formes sauvages apparentées qui constituent des ressources importantes de gènes utiles pour l'amélioration de la qualité des produits finis et l'adaptation des plantes cultivées aux contraintes environnementales.

Cependant, cette variabilité peut être recherchée chez les espèces sauvages apparentées aux blés cultivés tel que les *Aegilops*. De ce fait, la recherche de variabilité génétique pour l'adaptation aux contraintes environnementales (résistances aux maladies, la tolérance au froid, à la salinité, à la sécheresse et la qualité des protéines de réserve) a conduit de nombreux travaux à s'intéresser à l'utilisation des espèces sauvages qui possèdent des traits de résistances très intéressants et constituent un réservoir de gène important. (Wang, 1989 ; Chen et al., 1992 ; Doussinault et al., 2001 ; Ekmekci & Terzioglu 2005 ; Yunchao et al., 2006 ; Farooq et Azam, 2006)

En effet, l'*Aegilops* constitue une source de la variabilité génétique importante utilisable dans l'amélioration du blé résistant aux stress abiotique et biotique. Les recherches sur *Aegilops* ont généré des nouvelles populations dérivées d'hybridation interspécifique et de l'incorporation des traits souhaitables des génomes étrangers comme l'*Aegilops geniculata* pour l'amélioration génétique de la tolérance au stress hydrique des blés cultivés en Algérie.

L'espèce allo tétraploïde *Aegilops geniculata* Roth est l'une des espèces les plus répandues du genre (Van Slageren 1994), montrant ainsi une vaste capacité d'adaptation aux contraintes de l'environnement. En outre, cette espèce a montré son pouvoir de résistance aux maladies et aux insectes (Gill et al., 1985 ; Dimov et al., 1993) et à la salinité (Farooq et al., 1996), ce qui fait d'elle une source potentielle de gènes de résistance à ces stress. En Algérie, *Aegilops geniculata* se trouve dans des groupes morphologiques suivant une large gamme de conditions climatiques et géographiques, allant des plaines côtières au nord jusqu'aux hauts plateaux steppiques au sud, incluant les montagnes de l'Atlas Tellien.

Pour lutter contre le manque d'eau, les plantes développent plusieurs stratégies adaptatives qui varient en fonction de l'espèce et des conditions du milieu, à partir de ces mécanismes,

plusieurs améliorateurs, généticiens, biotechnologues ont sélectionné les génotypes les plus tolérant et les plus productifs dans tels conditions.

La sélection des plantes dans des régions à forte contrainte hydrique implique une identification des mécanismes de résistance à la sécheresse et une analyse de leur interaction. Selon le degré de stress dans le milieu, les plantes sont exposées à des modifications de leur comportement morpho physiologiques (Benmaceur ; 2001) et biochimiques (Grennan, 2006) dans le but de distinguer les variétés sensibles des variétés résistances au stress hydrique.

Ce travail s'inscrit dans ce contexte, il a pour objectif la valorisation de cette ressource phytogénétique apparentée au blé et l'appréciation de sa diversité génétique. L'étude est réalisée sur huit génotypes de l'espèce *Ae. geniculata* collectés dans plusieurs régions écogéographiques à travers le nord Algérien.

Pour cela, nous avons procédé à l'étude du comportement de génotypes d'*Ae. geniculata* soumis à un stress hydrique par l'analyse de quelques paramètres morpho-physiologiques et biochimiques, pour mieux comprendre les mécanismes d'adaptation à la sécheresse

La progression de cette étude comporte trois étapes successives dont le premier chapitre consiste à une synthèse bibliographique concernant les connaissances acquises dans ce domaine pour définir les stratégies de tolérance ou de résistance.

Le deuxième chapitre concerne la description du matériel végétal, des conditions de culture et les méthodes d'analyse utilisées dans ce travail.

Le dernier chapitre fait l'objet de la présentation des résultats obtenus dans ce travail et leur discussion.

# Synthèse bibliographique



### **I.1. Evolution de la variabilité interspécifique chez le blé**

Les blés hexaploïdes avec les génomes A, B et D ( $2n = 42$  chromosomes) et tout particulièrement le blé tendre, *Triticum aestivum* ssp. *aestivum*, résultent de l'hybridation entre des blés tétraploïdes cultivés, en particulier *T. turgidum* (L.) Thell. ssp. *dicoccum* (Shrank) Thell et la graminée sauvage *Aegilops squarrosa* (syn. *T. tauschii*) ( $2n = 14$ , DD). La grande variabilité de *T. aestivum* laisse à penser qu'un nombre indéfini de croisements indépendants entre divers génotypes de blés tétraploïdes et plusieurs formes d'*A. squarrosa*. *T. aestivum* seraient apparus entre 7 000 et 8 000 avant JC dans les zones de culture des blés tétraploïdes communes avec l'aire de distribution d'*A. squarrosa* qui comprendrait le Croissant fertile de la Turquie, à l'ouest, jusqu'aux confins de la Chine, à l'est (Bonjean, 2001).

À partir de ce centre d'origine, la culture du blé s'est diffusée vers le Nord-Ouest par les plaines côtières du bassin méditerranéen et au travers des Balkans puis en suivant la vallée du Danube pour arriver à la vallée du Rhin entre 5 000 et 6 000 avant JC. Les restes archéologiques montrent que le blé atteint l'Ouest de l'Europe environ 5 000 ans avant JC. Dans le même temps, il diffuse vers l'Asie et l'Afrique. Son introduction en Amérique, et plus encore en Australie, n'est que très récente.

L'évolution du blé s'est donc produite dans de nombreux écosystèmes, de manière relativement indépendante jusqu'au XIXe siècle. À ce moment, l'amélioration génétique du blé par choix dans les populations cultivées et par hybridation s'est développée, aboutissant à un brassage important des différentes origines du blé.

### **1.2. Exploitation de la variabilité interspécifique**

L'existence, chez les espèces sauvages apparentées au blé, d'un important réservoir de gènes utiles est évidente si l'on prend en compte l'adaptation de ces diverses espèces à des environnements très différents.

On les trouve dans une large gamme de régions climatiques allant des montagnes plutôt froides et humides aux vallées chaudes et sèches, de régions où les précipitations sont

supérieures à 1 m par contre à des régions arides où elles ne sont que de 10 cm. Les espèces sauvages peuvent aussi croître sur différents types de sol et même sur des sols salins.

Les Triticées sauvages constituent donc des ressources importantes de variabilité génétique. Elles sont porteuses de nombreux gènes à fort potentiel économique qui interviennent dans des caractères tels que la résistance aux maladies, la tolérance au froid, la tolérance à la salinité, la résistance à la sécheresse et la qualité des protéines de réserve.

Pour améliorer les blés cultivés à l'aide de ces ressources génétiques sauvages, il faut développer des méthodes permettant de passer au crible et d'examiner ce matériel, d'hybrider et de faciliter le transfert sélectif d'éléments chromosomiques des géniteurs choisis vers le blé.

Tous les croisements interspécifiques possibles à l'intérieur du genre *Triticum* ont été réalisés. Par contre, toutes les combinaisons hybrides entre les espèces du genre *Triticum* et celles des 18 autres genres de la tribu n'ont pas été obtenues : soit qu'elles n'aient pas été tentées, soit que les hybridations aient échoué. À ce jour, au moins 100 hybrides inter-génériques concernant 10 genres voisins ont été décrits.

Les croisements réalisés ont d'abord servi à étudier les relations phylogénétiques entre les genres et à évaluer les possibilités d'exploitation des espèces croisées dans l'amélioration du blé tendre. Les premiers croisements ont surtout concerné les *Aegilops*, car ils sont impliqués dans l'évolution des blés polyploïdes. Leurs génomes présentent une grande affinité avec ceux des blés et donc peuvent être efficacement exploités dans des opérations de transfert de gènes.

Depuis une vingtaine d'années, les hybridations ont concerné davantage les espèces pérennes, en particulier celles des genres *Agropyron*, *Leymus*, *Elymus*, qui en raison de leur diversité, représentent un potentiel pour l'amélioration du blé tendre supérieur à celui des espèces annuelles dont les *Aegilops*.

### **I.3. Le genre *Aegilops***

*Aegilops* veut dire en grec Aegos=chèvre, ôps=œil, car elles ont été utilisées par les agricultures de la Grèce antique pour leur propriété curative. Selon Dodoëus 1644 cité in Van Slageren 1994, ils permettent de guérir une maladie oculaire des chèvres. Le genre *Aegilops*, appartient à la tribu des *Triticeae*. *L'Aegilops* est réparti en Asie de l'Ouest et dans le bassin

méditerranéen, et comporte 22 espèces diploïdes, tétraploïdes et hexaploïdes (Van Slagreen 1994).

### **1.3. 1. Description générale de la plante**

Quezel et Santa (1962) décrivent le genre comme suit « Epis simple, articulés avec la tige et tombant à maturité d'une seule pièce. Epillets indépendants, sessiles et alternes, placés par une de leur faces dans des excavations du rachis et appliqués contre lui, à deux fleurs fertiles accompagnées de rudiments ou multiflore, l'épillet terminal fait exception et s'applique sur le rachis par le côté, glumes très difficile à détacher du rachis par le côté. Concaves, souvent plus au moins renflées par le milieu, non carénées, a sommet tronqué et portant 1 à 5 arêtes ou dents, toute fois mutiques, non carénées.

### **1.3.2. Taxonomie de genre *Aegilops***

Les *Aegilops* sont classés selon l'APG III (2009) comme suit :

Règne : Plantae  
Embranchement : Spermaphytes  
S / Embreuchement : Angiospermes  
Classe : Monocotylédones  
Ordre : Poales  
Famille : Poaceae  
Sous-Famille : Pooideae  
Tribu : Triticeae  
S / Tribut : Triticinae  
Genre : *Aegilops*

### **1.3.3. Classification génétique**

Linné fut le premier à avoir décrit le genre *Aegilops* en 1737 (Rqskina et al., 2004). Dans son ouvrage *Species Plantarum* 1753, il a décrit ce genre en proposant une classification en cinq espèces : *Ae. Ovata* L., *Ae. caudata* L., *Ae. Triuncialis* L., *Ae squarrosa* L., et une cinquième espèce *Ae. Incurve* L. considérée depuis comme espèce appartenant au genre *Parapholis*.

Deux monographies ont été réalisées presque simultanément sur le genre *Aegilops*. Zhukovsky., (1928) divise le genre en neuf sections avec onze diploïdes et neuf polyploïdes. Eig., (1929) classe le genre en deux sous-genres avec six sections, onze diploïdes et onze polyploïdes. Dans la flore d'Afrique du Nord, Maire., (1955) classe les *Aegilops* dans quatre sections. Il décrit un grand nombre de variétés et de formes.

La classification la plus récente est celle de Van Slageren., (1994) établie à partir de la collection de l'ICARDA et l'examen de 20.000 échantillons d'herbier. Cette classification rejoint celle de Mackey., (1966) et regroupe deux genres, le genre *Aegilops* divisé en cinq sections (*Aegilops*, *Comopyrum*, *Cylindricum*, *Sitopsis* et *Vertebrata*), représenté par 22 espèces et 5 variétés, et le genre *Amblyopirum* comprend une seule espèce (Au total 23 espèces). (Tableau.01)

Les 23 espèces *Aegilops* peuvent être divisées en trois groupes sur la base de leur ploïdie : 11 espèces diploïdes, 10 espèces tétraploïdes et 2 espèces hexaploïdes. Les diploïdes d'*Aegilops* sont divisés selon le type du génome en 7 groupes : C (*Ae. markgrafii*), M (*Ae. comosa*), N (*Ae. uniaristata*), D (*Ae. tauschii* = *Ae. squarrosa*), U (*Ae. umbellulata*), T (*Ae. mutica*) et S (section *sitopsis*) (Van Slageren ., 1994).

**Tableau. I:** Classification génomique des *Aegilops* selon Van Slageren (1994)

| Génome     | Ploidie  | Espèce   |
|------------|----------|--|
| <b>UM</b>  | 4x       | <b>Section Aegilops</b><br>Aegilops biuncialis (Vis).  |
| <b>UM</b>  | -        | Aegilops geniculata (Roth)   |
| <b>UM</b>  | 4x et 6x | Aegilops neglecta (Req ex Bertol).   |
| <b>US</b>  | 4x       | Aegilops peregrina (Hack. In J.Fraser Marie et Weiller<br>Var. peregrina<br>Var. brachyathera (Boiss.)(Marie et weiller)             |
| <b>U</b>   | 2x       | Aegilops umbellulata (Zhuk).   |
| <b>UM</b>  | 4x       | Aegilops columnaris (Zhuk).  |
| <b>UC</b>  | -        | Aegilops triuncillis L.<br>Var. triuncialis<br>Var. persica (Boiss.) (Eig)   |
| <b>US</b>  | -        | Aegilops kotschy Boiss.  |
| <b>M</b>   | 2x       | <b>Section Comopyrum (Jaub. et Spach) Zhuk.</b><br>Aegilops comosa (Sm. In Sibth. Et Sm).<br>Var. comosa<br>Var. subventricosa       |
| <b>N</b>   | -        | Aegilops uniaristata (Vis).  |
| <b>C</b>   | -        | <b>Section cylindropyrum (Jaub.et Spach) Zhuk.</b><br>Aegilops caudata L.  |
| <b>DC</b>  | 4x       | Aegilops cylindrica (Host)   |
| <b>S</b>   | 2x       | <b>Section Sitopsis (Jaub et Spach) Zhuk.</b><br>Aegilops bicornis (Forssk.)(Jaub. et Spach)<br>Var. bicornis<br>Var. anathera (Eig) |
| <b>S</b>   | -        | Aegilops longissima (Schweinf. Et Muschl).   |
| <b>S</b>   | -        | Aegilops searsii (Feldmen et Kislev ex Hammer)   |
| <b>S</b>   | -        | Aegilops sharonensis (Eig)   |
| <b>S</b>   | -        | Aegilops speltoides (Tausch)<br>Var. speltoides<br>Var. ligustica (Savign.)(Fiori)   |
| <b>D</b>   | 2x       | <b>Section Vertebrata Zhuk.emend. Kihara</b><br><b>Ae.juvenalis(Thell ).Eig</b><br>Aegilops tauschii (Coss).                         |
| <b>DMS</b> | 6x       | Aegilops vavilovii (Zhuk.)(Chennav)  |
| <b>DDM</b> | 4x et 6x | Aegilops crassa (Boiss).   |
| <b>DN</b>  | 4x       | Aegilops ventricosa (Tausch)   |
| <b>T</b>   | 2x       | <b>Amylopyrum (Jaub. et Spach) Eig</b><br>Amylopyrum muticum (Boiss.)(Eig)<br>Var. muticum<br>Var.loliaceum (Jaub. Et Spach )(Eig)   |

### 1.3.4. Génétique des *Aegilops*

#### 1.3.4.1. La polypléidie

La polyplœdie, ou l'assortiment de plusieurs jeux complets de chromosomes dans un noyau, est un facteur important dans l'évolution des génomes des eucaryotes (polyplœdisation), et constitue un mécanisme de diversification et de création de variabilité génétique. Le terme de polyplœdie désigne les individus présentant plus de deux jeux haploïdes ( $2n$ ) de chromosomes (tétraploïde :  $2n=4x$ , hexaploïde :  $2n=6x$  etc.). Elle est fréquente chez les plantes, particulièrement les angiospermes. La polyplœdie peut avoir deux formes :

**Une autopolyploïdie :** résultant de l'addition d'un ou de plusieurs jeux de chromosomes identiques au jeu haploïde de l'espèce, autrement dit ; les gamètes viennent de la même espèce voire du même individu (autofécondation).

**Une allopolyploïdie :** plus fréquente, générée par la combinaison de deux jeux de chromosomes d'espèces différentes suite à un croisement interspécifique c'est-à-dire les gamètes viennent d'individus d'espèces différentes mais suffisamment proches pour s'hybrider. Quand les deux espèces originales sont connues, le terme amphiploïdie est préféré (Klug et *al.*, 2006).

Dans le cas de l'allopolyploïdie, l'individu hybride ayant une copie (un lot) de chromosomes de chaque espèce est en général stérile, puisque les chromosomes ne s'apparient pas correctement au cours de la méiose. Cependant de tels individus peuvent devenir fertiles à la suite d'un doublement du stock chromosomique suite à une anomalie (méiose anormale). Par conséquent, l'individu aura deux copies de chaque assortiment chromosomique, l'appariement au cours de la méiose serait possible et la reproduction sexuée redevient possible (gamètes haploïdes viables). L'hybride résultant des gamètes de ce type serait directement tétraploïde et fertile (Raven et *al.*, 2011)

### 1.3.5. Répartition géographique de genre *Aegilops*

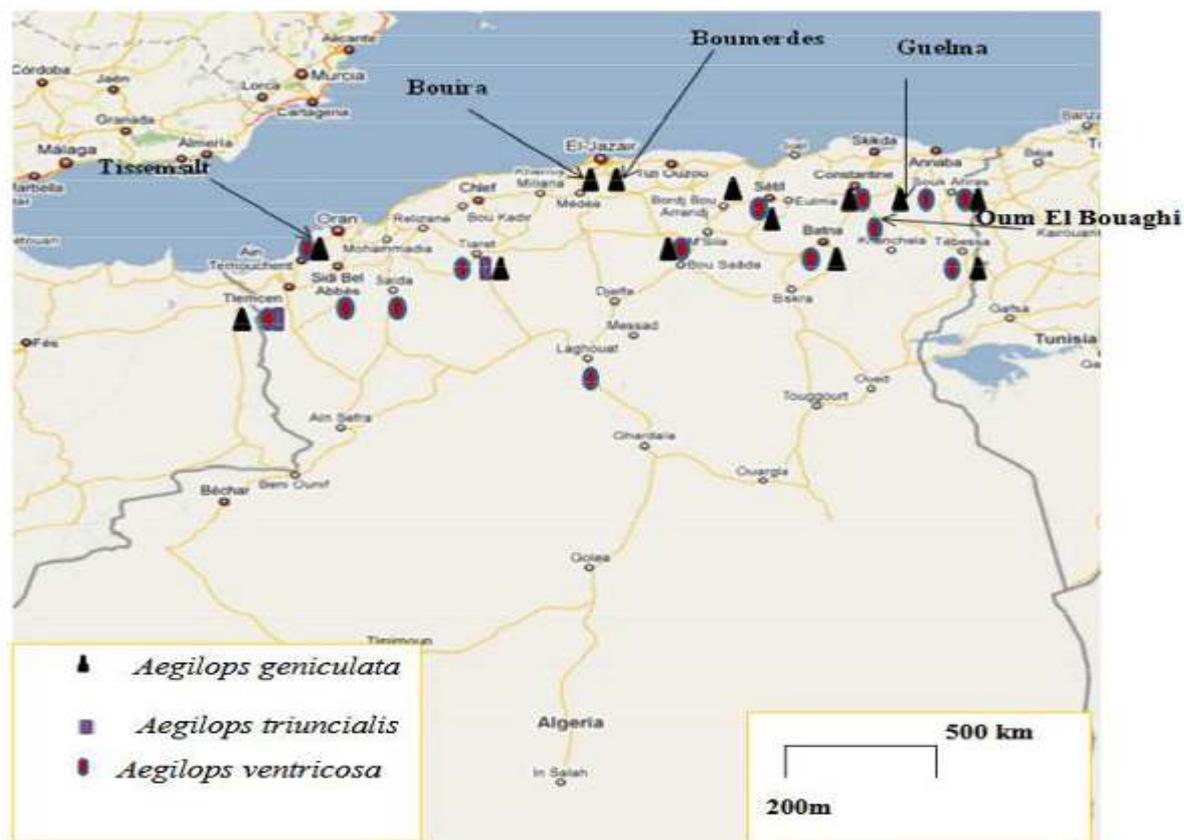
La zone d'extension naturelle du genre *Aegilops* est localisée entre  $10^\circ$  à l'Ouest et  $82^\circ$  à l'Est, et entre  $24^\circ$  et  $47^\circ$  au nord (Kilian et *al.*, 2011). Selon Hammer., (1980), le genre *Aegilops* est originaire de la Transcaucasie et l'espèce la plus primitive *Ae. speltoides* a été identifiée au centre de la région. Kimber et Feldmen., (1987) rapportent que tous les diploïdes (à l'exception d'*Ae. tauschii*) ont une aire de distribution limitée alors que les tétra- et

hexaploïdies ont un potentiel d'adaptation plus grand et par conséquent ont une large distribution. Kimber et Feldmen., (1987) mentionnent que les *Aegilops* se développent en association avec d'autres graminées dans des environnements dégradés (pâturages, bords des routes et des champs cultivés, sur les formations d'arbrisseaux et les formations herbacées, etc.). D'après van Slageren., (1994), les 22 espèces d'*Aegilops* sont distribuées principalement dans le bassin méditerranéen et au centre et au sud-ouest de l'Asie. La distribution altitudinale du genre est comprise entre 400 et 2700 m mais elle varie énormément entre les espèces (Hodgkin et al., 1992 ; van Slageren., 1994). Les espèces se répartissent également dans les régions centrales de l'Europe et au nord du Sahara en Afrique. Kimber et Feldmen., (1987) rapportent que la région du croissant fertile est considérée comme le centre primitif de la variabilité des espèces du genre *Aegilops* et *Triticum*, allant de la Palestine, le Liban, la Syrie, le sud-est de la Turquie et le nord de l'Irak vers le nord-ouest de l'Iran. La région du Nord-Ouest de la Jordanie, la Palestine, le Liban, l'ouest de la Syrie, l'Irak et la Turquie renferme plus de neuf espèces d'*Aegilops*. Deux zones ont été trouvées à avoir 12 à 14 espèces d'*Aegilops* : (1) l'ouest de la Syrie et le nord du Liban et (2) le nord de l'Irak (van Slageren 1994 ; Maxted et al., 2008). Jusqu'à maintenant, ce centre préserve son potentiel de spéciation (Zhuovsky., 1928 dans Raskina et al., 2004). Ces mêmes auteurs mentionnent que les zones de répartition des espèces *Ae. longissima*, *Ae. searsii* et *Ae. sharonensis* chevauchent la partie Sud-Ouest de la zone de répartition d'*Ae. speltoides*. Il semblerait que ces espèces substituent *Ae. speltoides* dans le sud où l'environnement climatique et édaphique est particulier. Ces mêmes auteurs proposent *Ae. speltoides* comme espèce ancestrale de la section Sitopsis. Le diploïde *Ae. longissima* est considéré comme une espèce endémique à la Palestine et le sud du Liban.

#### **1.3.4.1. Répartition géographique d'*Aegilops* en Algérie**

Les espèces d'*Aegilops* appartenant au groupe de la méditerranée sont principalement localisées dans les pays caractérisés par des hivers pluvieux et des étés chauds (Zahareiva et Monnevveux ., 2006), ainsi que le monde de désarticulation de l'épi et leur monde de développement annuel.

En Algérie, la prospection réalisée par l'ICARDA en 1989 -1990, a permis d'identifier 71 accessions d'*Aegilops*, qui sont maintenues dans sa banque de gène, dont 70 ont été complètement caractérisées par l'unité des ressources génétiques d'ICARDA. Ces 71 accessions représentent 3 espèces : *Aegilops geniculata*, *Aegilops triunialis*, *Aegilops ventricosa* .



**Figure. 01** : Répartition des trois espèces d'*Aegilops* tétraploïdes en Algérie selon la prospection de l'ICARDA (1989-1990).

## 1.4. Intérêt des *Aegilops*

### 1.4.1. Contribution dans la constitution des génomes du blé

La relation entre les deux genres (*Aegilops* et *Triticum*) a été établie depuis longtemps puis a confirmé que les *Aegilops* sont les ancêtres du blé. Les espèces du genre *Triticum* comme celles d'*Aegilops* existent comme des blés diploïdes, tétraploïdes ou hexaploïdes avec un nombre chromosomique de base  $n=7$ . Ensemble, le genre *Triticum* et *Aegilops* regroupent 13 espèces diploïdes et 18 espèces polyplôïdes. Les espèces diploïdes contiennent huit génomes distincts : le génome A ( $A^u$ ) et  $\bar{A}/A$  pour le genre *Triticum* et sept génomes D, S ( $S$ ,  $S^s$ ,  $S_b$ ,  $S^l$ ,  $S^s$ , h), M, C, U, N et T pour le genre *Aegilops*. Les deux génomes B et G trouvés dans les espèces polyplôïdes du blé sont nommés ainsi (différemment des génomes de base) parce que leurs donneurs diploïdes ne sont pas encore bien élucidés (Golovkina et al., 2007).

- **Aperçu sur les espèces sauvages et cultivées du blé**

Les espèces diploïdes du blé sont : l'engrain sauvage *T. urartu* ( $AA$  ou  $A^u A^u$ ) et *T. monococcum* avec ses deux formes ; sauvage (ssp. *Aegilopoides*, syn. *T. boeoticum*, génome  $A^{\bar{A}}$ ) et domestiquée (*T. monococcum* ssp. *monococcum*, génome  $A^m A^m$ ). Les espèces polyplôïdes du blé résultent des événements d'hybridation interspécifiques suivis par le

doublément chromosomique spontané. Il existe deux espèces tétraploïdes du blé : l'amidonnier *T. turgidum* (AABB) et *T. timopheevii* (AAGG) avec leurs sous espèces sauvages et cultivées. Les espèces hexaploïdes du blé sont *T. aestivum* (AABBDD) et *T. zhukovskyi* (A<sup>m</sup>A<sup>m</sup>AAGG) qui sont toutes les deux des espèces domestiquées. Les études génétiques ont révélé qu'il existe deux lignées évolutives polyploïdes du blé : la première étant composée de *T. turgidum* et *T. aestivum* et la deuxième renferme *T. timopheevii* et *T.*

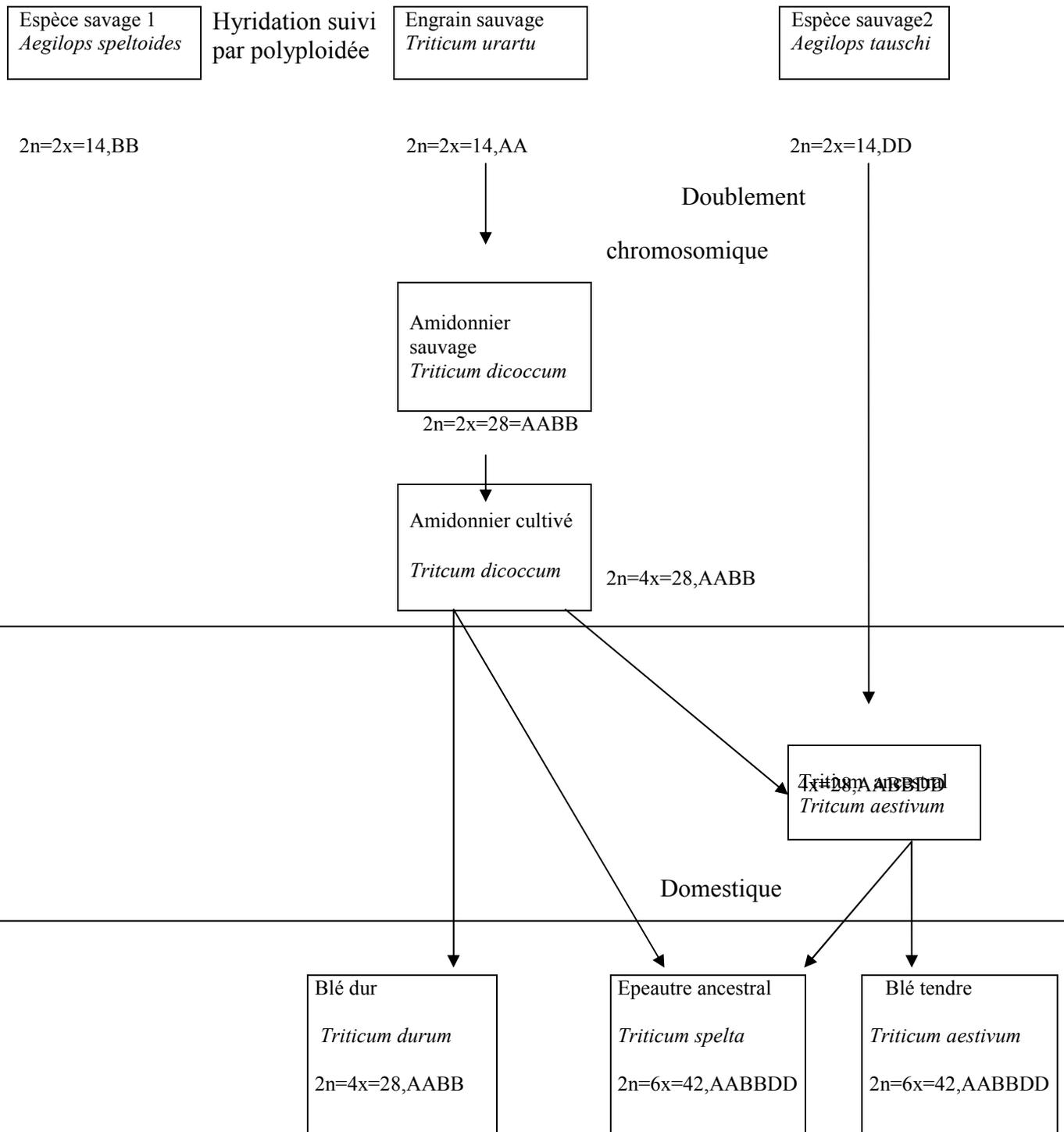


Figure.02 : Filiation génétique du blé (World Wheat Book, vol.3., 2016 )

### 1.4.2. Intérêt des *Aegilops* dans l'amélioration des génomes des blés cultivés

Les espèces du genre *Aegilops* constituent une bonne partie du génome du blé. En effet, les blés cultivés sont issus d'hybridation interspécifique entre ses espèces apparentées. De ce fait, une partie de la variabilité présente chez les *Aegilops* ne se trouve pas chez les blés cultivés. On conclut donc que les *Aegilops* sont une ressource génétique importante et des géniteurs éventuels pour l'amélioration des blés cultivés, elles portent des gènes à haut potentiel économique tel que : la tolérance au stress abiotique, résistance aux maladies, la qualité technologique (Monneveux et al., 2000 ; Haider et Nabulsi., 2008 ; Zhang et al., 2001).

### 1.4.3. Amélioration de résistance et / ou la tolérance au stress biotique ou abiotique

#### 1.4.3.1. Résistance et / ou la tolérance au stress biotique

Les recherches ont permis d'identifier plusieurs espèces *Aegilops* porteuses de nombreux gènes de résistance aux agents phytopathogènes et aux bio-agresseurs les plus nuisibles tout en respectant la santé et l'environnement. Il s'agit principalement des rouilles, de l'oïdium, du piétin verse, des fusarioses, des pucerons et des virus qu'ils transmettent et des nématodes. (Tableau.2)

En effet, Les *Aegilops* sont fréquemment utilisées dans les programmes d'amélioration de la résistance des blés cultivés et beaucoup de gènes d'intérêt sont transférés (Tableau.03).

**Tableau.II** : Liste des espèces *Aegilops* considérées comme source potentielle de résistance aux maladies et aux parasites (Van Slageren ., 1994).

| Maladie et parasites                               | Espèces               | Génomes | Références   |
|--|-----------------------|---------|--|
| <b>Rouille brune (<i>Puccinia recondidata</i>)</b> | <i>Ae.speltoides</i>  | SS      | Pasquini, 1980; Hammer, 1985; Gill et al., 1985; Valkoun et al., 1985; Dhaliwal et al., 1986, 1993; Holubec et al., 1992, 1993 . |
|  | <i>Ae.caudata</i>     | CC      |  |
|  | <i>Ae.tauschii</i>    | DD      |  |
|  | <i>Ae.comosa</i>      | MM      |  |
|  | <i>Ae.umbellulata</i> | UU      |  |
|  | <i>Ae.geniculata</i>  | MMUU    |  |
|  | <i>Ae.neglecta</i>    | UUMM    |  |
|  | <i>Ae.biuncialis</i>  | UUMM    |  |
|  | <i>Ae.triuncialis</i> | UUCC    |  |
|  | <i>Ae.peregrina</i>   | SSUU    |  |
| <b>Rouille noire (<i>Puccinia graminis</i>)</b>    | <i>Ae.speltoides</i>  | SS      | Pasquini, 1980 ; Hammer,1985 ; holubec et al.,1992, 1993.  |
|  | <i>Ae.caudata</i>     | CC      |  |

|  |                        |      |  |
|--|------------------------|------|--|
|  | <i>Ae. tauschii</i>    | DD   |  |
|  | <i>Ae. geniculata</i>  | MMUU |  |
|  | <i>Ae. neglecta</i>    | UUMM |  |
| <b>Rouille jaune (Puccinia striiformis)</b>      | <i>Ae. caudata</i>     | CC   | Valkoun et al., 1985 ; Dhaliwal et al., 1986; Mihova, 1988; Damania et Pectti, 1990; Holubec et al., 1992, 1993 ; Mamluk et Van Slageren, 1994 |
|  | <i>Ae. comosa</i>      | MM   |  |
|  | <i>Ae. umbellulata</i> | UU   |  |
|  | <i>Ae. geniculata</i>  | MMUU |  |
|  | <i>Ae. neglecta</i>    | UUMM |  |
|  | <i>Ae. biuncialis</i>  | UUMM |  |
|  | <i>Ae. triuncialis</i> | UUCC |  |
| <b>Oïdium (Erisiphegraminis )</b>                | <i>Ae. speltoides</i>  | SS   | Bochev et Kounovsky,1978 ;   |
|  | <i>Ae. tauschii</i>    | DD   | Pasquini, 1980 ; Bennet, 1984 ;  |
|  | <i>Ae. comosa</i>      | MM   | Hammer,1985 ; Valkoun et   |
|  | <i>Ae. umbellulata</i> | UU   | al.,1985; Dhaliwal et al., 1986,   |
|  | <i>Ae. geniculata</i>  | MMUU | 1993; Singh et al., 1988; Holubec et   |
|  | <i>Ae. neglecta</i>    | UUMM | al., 1992, 1993  |
|  | <i>Ae. biuncialis</i>  | UUCC |  |
|  | <i>Ae. triuncialis</i> | SSUU |  |
|  | <i>Ae. peregrina</i>   | SSUU |  |
| <b>Piétin verse (Cercoporellaherpotricoides)</b> | <i>Ae. ventricosa</i>  | DDNN | Scott et al.,1976 ; Dosba et al., 1986   |
|  | <i>Ae. tauschii</i>    | DD   |  |
| <b>Carrie (Tilletia indica )</b>                 | <i>Ae. tauschii</i>    | DD   | Dhaliwal et al., 1986, 1993; Waham et al., 1986; Pannu et al.,1994   |
|  | <i>Ae. caudata</i>     | CC   |  |
|  | <i>Ae. speltoides</i>  | SS   |  |
| <b>Fusariose ( fusarium culmorum)</b>            | <i>Ae. tauschii</i>    | DD   | Saur, 1991   |
|  | <i>Ae. cylindrica</i>  | CCDD |  |
| <b>Septoriose ( Septori nodorum )</b>            | <i>Ae. tauschii</i>    | DD   | Jahier et Trottet, 1980; Hammer,   |
|  | <i>Ae. speltoides</i>  | SS   | 1985, Mamluk et Van Slageren,  |
|  | <i>Ae. cylindrica</i>  | CCDD | 1994   |
| <b>Nématodes à kystes (Heterodora avenae )</b>   | <i>Ae. comosa</i>      | MM   | Rivoal, 1982; Dosba et al.,1986 ;  |
|  | <i>Ae. umbellulata</i> | UU   | Dosba et al., 1992   |
|  | <i>Ae. unaristata</i>  | NN   |  |
|  | <i>Ae. ventricosa</i>  | DDNN |  |
|  | <i>Ae. peregrina</i>   | SSUU | Dhaliwal et al., 1993  |
|  | <i>Ae. caudata</i>     | CC   |  |
|  | <i>Ae. cylindrica</i>  | CCDD |  |
|  | <i>Ae. triuncialis</i> | UUCC |  |
|  | <i>Ae. geniculata</i>  | MMUU |  |
| <b>Nématodes à galles(Meloidogyne naasi)</b>     | <i>Ae. umbellulata</i> | UU   | Dosba et al., 1982 ;Person Dedyver et Jahier, 1985   |
|  | <i>Ae. peregrina</i>   | SSUU |  |
|  | <i>Ae. tauschii</i>    | DD   | Hatchett et Gill,1981 ; Gill et al.,   |
|  | <i>Ae. cylindrica</i>  | CCDD | 1985 ; Raupp et al., 1988  |
|  | <i>Ae. ventricosa</i>  | DDNN |  |
|  | <i>Ae. geniculata</i>  | MMUU |  |
| <b>Punaise du blé (Schizaohis graminium)</b>     | <i>Ae. tauschii</i>    | DD   | Dhaliwal et al., 1993  |

**Tableau.III** : Transfert chez le blé de gènes de résistance aux maladies et aux parasites, issues de différents espèces du genre *Aegilops* ( Zaharieva., 1996).

| Maladies et parasites                               | Espèces               | Génomes                           | Références  |
|---|-----------------------|-----------------------------------|---|
| <b>Rouille brune (Puccinia recondita)</b>           | <i>Ae.umbellulata</i> | Lr 9                              | Sears (1956 ) Dvorak, (1977); McIntoch et al., (1988).  |
|   | <i>Ae.speltoides</i>  | Lr 28, Lr 35, Lr 36               |   |
|   | <i>Ae.tauschi</i>     | Lr 21, Lr 22, Lr 32, Lr 39, Lr 41 | Kerber et Dyck, (1969); Kerber, (1970) ;Cox et Gill, (1992)   |
| <b>Rouille noire (Puccinia graminis )</b>           | <i>Ae.speltoides</i>  | Sr 32                             | McIntoch, (1988); McIntoch et al.,(1982)  |
|   | <i>Ae.comosa</i>      | Sr 34                             |   |
| <b>Rouille jaune (Puccinia striiformis)</b>         | <i>Ae.comosa</i>      | Yr8                               | Riley et al.,(1968)   |
| <b>Oïdium (Erysiphe graminis )</b>                  | <i>Ae.speltoides</i>  | Pm12                              | Miler et al., (1988)<br>Ceoloni et al., (1988)  |
|   | <i>Ae.longissima</i>  | Pm13                              |   |
| <b>Pietin verse (Cercoporella herphotrichoides)</b> | <i>Ae.ventricosa</i>  | Ph1                               | Maia (1967) ; Dosba et Doussinault (1973,1977).<br>Jahier et al.,(1978)<br>;Doussinault et al.,(1983)               |
| <b>Nématodes à kystes ( Heterodera avenae )</b>     | <i>Ae.ventricosa</i>  | Mn1                               | Dosba et Rivoal (1981) ;<br>Rivoal et al., (1986)<br>Yu et al., (1990) Htchett et al.,(1981) ; Raupp et al., (1993) |
|   | <i>Ae.pègrina</i>     | H13, H22, H23, H24                |   |
| <b>Nématode à galle (Meloidoginenaasi)</b>          | <i>Ae.tauschii</i>    |                                   |   |
| <b>Punaise du blé (Schizaphis graminim)</b>         | <i>Ae.speltoides</i>  | Gb5                               | Tyler et al., (1987)  |

#### 1.4.3.2. Résistance et / ou la tolérance au stress abiotique

Selon (Monneveux., 2000) plusieurs accessions *Aegilops* ont été sélectionnées et utilisées pour introduite des caractères de résistance, de tolérance aux maladies, aux insectes nuisibles et au stress abiotique tels que : le froid, la chaleur, la sécheresse, la salinité ....etc. (Tableau. 04).

**Tableau.VI:** Liste des espèces *Aegilops* considérées comme source potentielle de résistance aux stress abiotique (Monneveux et al., 2000).

| Stress abiotique        | Espèces                | Génomes        | Références  |
|-------------------------|------------------------|----------------|---|
| <b>Stress salin</b>     | <i>Ae. tauschii</i>    | DD             | Farook et al., 1989 ; Gorham, 1990 ; Xu et al., 1993; Farook, 1994  |
|                         | <i>Ae. comosa</i>      | MM             |   |
|                         | <i>Ae. umbellulata</i> | UU             |   |
|                         | <i>Ae. cylindrica</i>  | CCDD           |   |
|                         | <i>Ae. neglecta</i>    | UUMM ou UUMMNN |   |
|                         | <i>Ae. triuncialis</i> | UUCC           |   |
|                         | <i>Ae. kotschyi</i>    | SSUU           |   |
|                         | <i>Ae. crassa</i>      | DDDDMM         |   |
|                         | <i>Ae. juvenalis</i>   | DDMMUU         |   |
| <i>Ae. vavilovii</i>    | DDMMSS                 |                |   |
| <b>Froid</b>            | <i>Ae. tauschii</i>    | DD             | Barashkova, 1981; Liminet Fowler, 1981; Barashkova et Vavilov, 1991 |
|                         | <i>Ae. umbellulata</i> | UU             |   |
|                         | <i>Ae. cylindrica</i>  | CCDD           |   |
|                         | <i>Ae. neglecta</i>    | UUMM ou UUMMNN |   |
|                         | <i>Ae. triuncialis</i> | UUCC           |   |
| <b>Déficit hydrique</b> | <i>Ae. tauschii</i>    | DD             | Mayoral et al., 1981 ; Shimshi et al., 1993 ; Rekika et al., 1995   |
|                         | <i>Ae. sharonensis</i> | S'S'           |   |
|                         | <i>Ae. longissima</i>  | S'S'           |   |
|                         | <i>Ae. kotschyi</i>    | SSUU           |   |
|                         | <i>Ae. geniculata</i>  | MMUU           |   |
|                         | <i>Ae. triuncialis</i> | UUCC           |   |

#### 1.4.4. Amélioration de la qualité technologique

Branlard et Autran., (1987) définissent la notion de qualité comme étant un caractère polygénique qui est à la fois dépendant des variétés, des conditions de culture et de l'interaction génotype × milieu.

Il est connu depuis longtemps que la qualité technologique de la farine du blé est influencée par les protéines du gluten qui se différencient d'une façon quantitative et qualitative d'un individu à un autre.

Les espèces sauvages apparentées aux blés sont des géniteurs potentiels dans l'amélioration de la qualité de ce dernier. En effet, les récentes recherches sur différentes et plusieurs accessions de blé hybride montrent un déficit considérable concernant la variabilité génétique des protéines du gluten par rapport à leur géniteurs ce qui a influencé négativement la qualité des produits finis (Shewry et al., 1994).

Dousinanlt et *al.*, (2002) rapportent que ce déficit de variabilité est du principalement aux programmes d'amélioration de la productivité et de la résistance portés par les variétés anciennes au détriment de la qualité.

## II. Présentation de l'espèce *Aegilops geniculata* Roth

### 2.1. Description botanique

*Aegilops geniculata* Roth est une espèce annuelle, autogame (Hammer., 1990), allo tétraploïde ( $2n=2x=28$ ), issu du croisement naturel entre deux espèces diploïdes *Ae.umbellulata zhuk* ( $2n=2x=14=UU$ ) et *Aegilops cosma* ( $2n=2x=14=, MM$ ) ce qui donne la formule génomique UUMM. Elle pousse dans la région méditerranéenne, le moyen orient et les parties sud de la Russie et de l'Ukraine (Zadri., 2009).



- a -

Liliane Roubaudi ., (1994)



- b -

Flore de L'Abbé Coste par le réseau

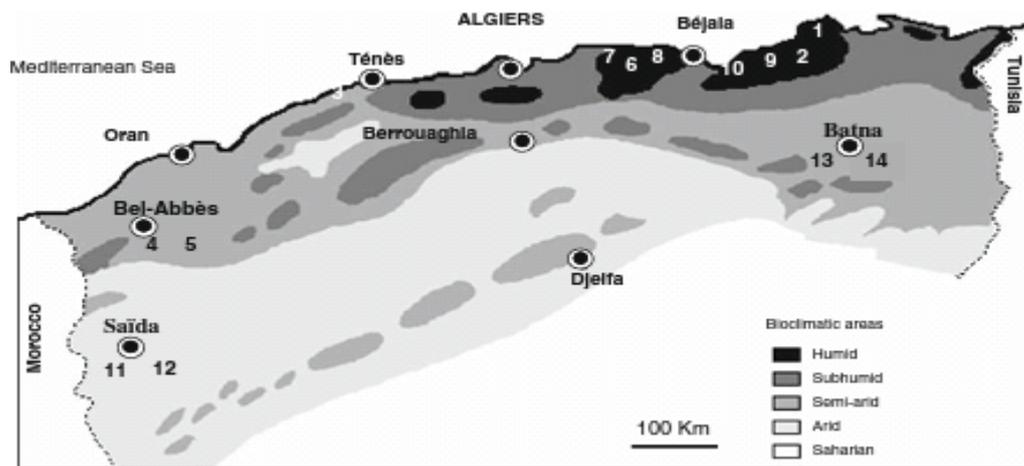
*Tela Botanica.*, (2011)

**Figure. 03** : les épis d'*Aegilops*

*Aegilops geniculata* Roth est une plante annuelle de 10-40 cm, vulue à racine fibreuse ,tige en touffe, genouillées ascendantes et feuille planes, rudes avec épi court (1-2cm) ovale, non fragile, d'un vert pale ou glauque et épillets (2-4) , dont 1ou 2 supérieurs petites stériles et 2 inférieurs gros, fertiles, imbriqués, ovoïdes, brusquement renflés-vertus au milieu munis chacun d'environ 12 arrêts étalées , longue de 2-3 cm, sabres des a la base avec glumes ventruées , à 4 arrêts presque égale et glumelle inférieures a 2 arrêts longues avec 1ou 2 épillets rudimentaires à la base de l'épi.

## 2.2. Répartition géographique

En Algérie, *Aegilops geniculata* Roth se trouve dans une large gamme de conditions climatiques (Bandou ; M. Rodriguez-Quijano ; J. M. Carrillo ; G. Branlard ; M. Zaharieva ; P. Monneveux ., 2009) sont collectées des populations de cette espèce sous des bioclimatiques différents , allant des plaines côtières au Nord jusqu'à hauts plateaux steppiques au Sud , incluant les montagnes de l'Atlas Tellien. Bandou non publié in ( Bandou et *al.*, 2009) déclare qu'en Algérie ,l'espèce *Aegilops geniculata* forme des population mixtes avec *Aegilops neglecta* .Ainsi des types intermédiaires, issus d'hybridation peuvent être observés.



**Figure. 04 :** Localisation des populations d'*Aegilops geniculata* Roth en Algérie (Limites Bioclimatiques Selon Stewart., 1974).

## III. Notion du stress

Selon les définitions, le stress chez les plantes apparait avec des significations différentes en biologie, Levitt (1980) attribue le stress à n'importe quel facteur environnemental défavorable pour une plante. Selon Jones *et al.*, (1989) un stress désigne à la fois l'action d'un agent agresseur et les réactions qu'il entraîne dans l'organisme agressé, une force qui tend à inhiber les systèmes normaux. Tsimilli-Michael *et al.*,(1998) considèrent que le stress a une signification relative, avec un contrôle comme état de référence, ils considèrent le stress comme une déviation du contrôle à une contrainte.

### 3.1. Stress hydrique

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 et Milroy., 1996 ; Aslam et *al.*, 2006). Il existe plusieurs définitions du stress hydrique.

Le déficit hydrique est un problème sérieux dans beaucoup d'environnements arides et semi-arides, où les précipitations changent d'année en année et où les plantes sont soumises à des périodes plus ou moins longues de déficit hydrique (Boyer., 1982).

En agriculture, il définit comme un déficit et ce compte tenu des précipitations qui réduisent significativement les productions agricoles par rapport à la normale pour une région de grande étendue (Mckay., 1985 in Bootsma et *al.*, 1996). En effet, on assiste à un stress hydrique lorsque la demande en eau dépasse la quantité disponible pendant une certaine période ou lorsque sa mauvaise qualité limite l'usage (Madhava Rao et *al.*, 2006).

#### 3.3.1. L'eau dans la plante

L'eau est le principal constituant des organismes vivants, chez les plantes le contenu en eau représente en moyenne de son poids varie entre 80 et 95 % (Armand D., 2006).

Les rôles multiples assurés par l'eau au sein des plantes en font le premier facteur limitant leur fonctionnement. Parmi ces rôles nous pouvons citer :

##### 3.3.1.1. Rigidité des tissus

L'eau joue un rôle mécanique important. En effet, les cellules convenablement hydratées sont turgescentes, le contenu cellulaire fait alors pression sur la paroi pectocellulosique qui se distend et présente une certaine rigidité.

La turgescence explique donc le port dressé des plantes dépourvues de tissus de soutien (xylème, sclérenchyme). Chez les plantes ligneuses, elle permet le maintien des feuilles et des jeunes rameaux non lignifiés.

Lorsque les cellules se déshydratent trop, elles se rétractent et sont alors plasmolysées ; la paroi pectocellulosique n'est plus rigide, les feuilles et les tiges herbacées s'affaissent : c'est la fanaison. Si la déshydratation n'est pas trop importante, la fanaison est réversible. Si la fanaison se prolonge, des lésions irréversibles se produisent, entraînant la mort.

Certain végétaux ont une résistance au manque d'eau très poussée (lichens, mousses).

### 3.3.1.2. Croissance

L'élongation de la cellule est due à une entrée d'eau dans le système vacuolaire. L'eau provoque une déformation plastique de la paroi (Jean-Patrick et *al.*, 2003).

### 3.3.1.3. Rôles physiologiques

L'eau joue des rôles très importants dans le métabolisme cellulaire :

-grâce à son grand pouvoir dissolvant, de nombreuses substances sont dissoutes dans l'eau.

Exemple : ions minéraux, Acides aminés, Acides organiques et Gaz (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>)

Cette eau libre peut donc servir de véhicule à ces substances.

Les molécules d'eau ayant des pôles positifs peuvent se lier à de grosses molécules portant des charges négatives (force d'imbibition) : l'eau peut imbiber par exemple la cellulose, les protéines, les mucilages (plantes grasses).

L'eau est indispensable à de nombreuses réactions du métabolisme cellulaire.

Ex : réaction d'hydrolyse, participation à la photosynthèse (Jean-Patrick et *al.*, 2003).

## 3.3.2. L'effet de stress hydrique sur la plante

Les stress abiotiques, notamment le stress hydrique, limitent sérieusement la croissance des plantes ainsi que la productivité végétale (Wang et *al.*, 2003).

Le climat méditerranéen est caractérisé par des périodes de sécheresse erratiques imprévisibles, ce qui limite considérablement les productions végétales et celle des céréales en particulier (Adda et *al.*, 2005).

L'effet du stress dépend de son degré, sa durée, le stade de développement de la plante, le génotype et son interaction avec l'environnement (Yokota et *al.*, 2006).

L'organe qui subit un déficit hydrique en premier est le limbe (chez le blé). Il cesse sa croissance, s'enroule et après l'anthèse, accélère sa sénescence si le stress dure.

Il réduit la taille des feuilles, leur surface verte, la durée du cycle et par conséquent la capacité photosynthétique se déprime (Turner et *al.*, 1986).

La diminution de la photosynthèse due au stress hydrique est attribuée à la fermeture des stomates.

Le déficit hydrique peut également diminuer la pression de la turgescence de la plante et par conséquent provoquer une perte d'eau du contenu cellulaire.

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

En réponse d'un déficit hydrique, les végétaux développent plusieurs stratégies qui varient en fonction de l'espèce et des conditions de milieu.

L'adaptation se traduit, en réponse de la contrainte, par une succession de modifications au niveau cellulaire, subcellulaire et moléculaire qui dépend des potentialités génétiques de l'espèce

La réorientation métabolique induites aboutissent à des transformations morphologiques et morphologiques déterminant une résistance plus ou moins achevée et efficace de l'individu à la contrainte (Demarly., 1984).

##### **4.1. L'esquive**

L'esquive correspond à la capacité de la plante d'achever son cycle de croissance lors des périodes favorables, évitant ainsi les périodes de contrainte hydrique (cas des plantes en milieux désertiques).

##### **4.2. L'évitement**

L'évitement correspond à la capacité de la plante à éviter les phénomènes de déshydratation des tissus, à la fois en maintenant le prélèvement d'eau du milieu et en diminuant les déperditions du composé absorbé. L'un des mécanismes fondamentaux de ce mécanisme est l'ajustement osmotique. Ce processus permet notamment le maintien de la turgescence des apex et des feuilles en croissance, qui, associé à l'extensibilité des parois, permet le maintien de la croissance cellulaire malgré la déficience en eau (Lamaze et *al.*, 1995).

#### **4.2. 1.Capacité d'extraction d'eau par le système racinaire**

Un système racinaire capable d'extraire l'eau du sol est un facteur essentiel de résistance à la sécheresse. Cette caractéristique revêt une importance particulière sur les cultures qui subissent régulièrement des déficits hydriques de fin de cycle. (Khalifaoui .,1985)

Un bon développement de l'axe principale racinaire permet au blé d'exploiter l'eau des dans horizon profonds du sol (Hurd., 1974 ; Monneveux., 1991). Les mêmes résultats sont observés dans les travaux de Tazi et al. 2003 chez les plantes d'organier. Selon (Tahri et Shad., 1983) Le poids des grains et le rendement chez les blés durs en zones semi aride sont conditionnées par le développement du système racinaire.

#### **4.2.2. Régulation stomatique**

Lorsque un déficit hydrique survient, La réduction de l'ouverture de stomate permet de préserver rapidement l'état hydrique de la plante .Une faible conductance stomatique est généralement proposée comme un trait favorable à l'adaptation à la sécheresse (Jones., 1979, 1980, 1987 ; Turner., 1979, 1982, 1986 cité dans Ludlow., (1990).

Néanmoins, la fermeture stomatique réduit l'assimilation du CO<sub>2</sub> et conduit à une réduction de l'activité photosynthétique.

#### **4.2.3. Réduction de la surface transpirante**

Le ralentissement de la croissance tissulaire, la sénescence et la chute des feuilles âgées sont souvent observés chez les espèces soumises à la sécheresse. dans le sens ou il réduisent la surface transpirante, ces phénomènes sont des mécanismes d'évitement (Kramer ,1983). Ils ont été observés chez le maïs, le sorgho, l'olivier et chez plusieurs d'autre espèce des régions arides.

#### **4.3. La tolérance à la déshydratation**

La tolérance à la sécheresse correspond à la capacité des plantes à supporter des niveaux de déficit hydrique élevés. Ce mécanisme est rendu possible par l'élévation de la viscosité du cytoplasme des cellules, par la protection des enzymes et des membranes par certains osmo-protecteurs et antioxydants, et par la modification de la composition phospholipidiques des membranes cellulaires. (Niu et *al.*, 1997 ; Bohnert et Shen., 1999 ;Tester et Bacic., 2005).

L'ajustement osmotique est un exemple d'une telle adaptation, c'est un mécanisme qui aide à l'acclimatation de la plante aux conditions de sécheresse, de salinité ou de tout autre stress. En effet, plusieurs plantes tolérantes peuvent supporter des périodes de transition ou d'extension du déficit hydrique par recours à l'ajustement osmotique. Il en résulte une augmentation nette de solutés dans les cellules de la plante stressée. (Niu *et al.*, 1997 ; Bohnert et Shen., 1999 ; Tester et Bacic., 2005).

On parle d'ajustement osmotique quand les concentrations des solutés à l'intérieur de la cellule augmentent pour maintenir une pression osmotique cellulaire élevée. La cellule accumule alors activement les solutés dont les osmolytes comme réponse à la chute du potentiel osmotique permettant de préserver le flux d'eau à l'intérieur de la cellule (Niu *et al.*, 1997 ; Bohnert et Shen., 1999 ; Tester et Bacic., 2005).

#### **4.3.1. Accumulation de proline**

L'accumulation de la proline chez les plantes constitue un véritable mécanisme de tolérance aux contraintes hydriques, (Moulineau., 1993 ; Ibriz *et al.*, 1993 ; Slama *et al.*, 2004).

Jones *et al.*, (1980) rapportent leur augmentation de façon très significatif chez le sorgho et le tournesol en cas de stress hydrique. Parmi les acides aminés pouvant être accumulés, La proline représente l'une des manifestations les plus remarquables des stress hydrique et osmotique. Son rôle d'osmoticum a été rapporté par des nombreux auteurs (Stewart et Lee., 1974). Dès 1973, Singh *et al* proposent d'utilisé la proline comme critère de tolérance de l'orge à la sécheresse. Plusieurs sélectionneurs et physiologistes ont utilisé la capacité de son accumulation dans le criblage de génotypes résistants au déficit hydrique (Benlarbi et Monnevaux ., 1988) sur le blé dur, Bellinger *et al.*, 1989 sur le maïs , au froid (Dorfling et Askman.,1989 ) sur le blé tendre et à la salinité (Hubac et Vieira Da Silva., 1980) chez *Artemisia herba alba* .

L'accumulation de la proline, induite par les stress, peut être le résultat de trois processus complémentaire : stimulation de sa synthèse (Morris *et al.*,1969 ; Bogges *et al.*, 1976). inhibition de son oxydation (Stewart *et al.*,1977 ; Rayapati et Stewart ., 1991) et /ou altération de la biosynthèse des protéines (Stewart *et al.*,1977).

### 4.3.2. Rôle des sucres solubles

Le potentiel osmotique peut être maintenu pour un stress hydrique de faible ou moyenne intensité, par ajustement osmotique. Les sucres peuvent servir de composés solubles compatibles pour cet ajustement osmotique, comme de nombreuses autres molécules (proline, glycine-bétaïne ou pinitol). D'après Bensari et *al.*, (1990) lorsque la contrainte hydrique cesse, la feuille reconstitue les réserves d'amidon et si une nouvelle contrainte hydrique intervient, le temps d'adaptation est plus court. En effet, Hare et Cress., (1997) remarquent que les sucres glucose, fructose et le saccharose représentent des osmotocums beaucoup moins puissants que la proline, ils participent eux aussi au maintien de la balance de la force osmotique. Par ailleurs, il a été observé que sous stress hydrique, les réserves amyliacées sont progressivement utilisées suite à leur conversion rapide en saccharose qui pourra être associé à une inhibition de la synthèse de l'amidon (Bammoune., 1997).

L'implication des sucres dans la tolérance au stress hydrique a été mise en évidence par les corrélations observées entre le contenu en certains sucres et l'acquisition de la tolérance (Déjardin et *al.*, 1999). De nombreuses études ont mis en évidence l'accumulation de sucres solubles lors de la dessiccation. Une idée principale en ressort différents sucres solubles peuvent être présents dans des tissus bien hydratés, mais le saccharose est préférentiellement accumulé dans les tissus en déshydratation (Déjardin et *al.*, 1999).



# MATERIAL ET METHODES

## 1 .Le matériel végétal

Le matériel végétal utilisé est constitué d'une collection qui comporte huit (08) génotypes du genre *Aegilops* (*Aegilops geniculata* Roth) avec un témoin Blé (G9).

Les génotypes utilisés sont collectés sous différentes étages bioclimatiques (humide, subhumide, aride, subaride et saharien) selon le tableau suivant

**Tableau 05** : liste des génotypes utilisés et leur origine

| region      | génotypes |
|-------------|-----------|
| Médéa       | G1        |
| Tizi Rached | G2        |
| Setif       | G3        |
| Messaad     | G4        |
| Tikijda 2   | G5        |
| Mila        | G6        |
| Masacara    | G7        |
| Ançor       | G8        |
| Blé         | G9        |

## 2. Protocole expérimentale

### 2.1.Localisation de l'essai

L'essai a été réalisé dans une serre semi-automatique au niveau de l'Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie (INRAA) de Braki. Les 08 génotypes avec le témoin ont été semés sous serre dans un environnement contrôlé. Le déroulement de l'essai est conditionné par des températures diurnes de 27°C et nocturnes de 12° C, ces températures sont maintenues par une climatisation artificielle.

### 2.2. Conduite de l'essai

Le semis a été effectué dans des pots en plastique de 7 kilogramme, contenant un mélange équivalent de sol, de sable et de tourbe aux proportions respectives de 1/3, 1/3 et 1/3, en deux traitements séparés (avec et sans déficit hydrique). Chaque lot comporte quatre répétitions par génotype avec 8 grains par lot. Les pots sont maintenus à hydratation maximum jusqu'au stade quatre feuilles bien développées. A partir de ce stade, les régimes d'irrigation sont ensuite modifiés : dans le cas du traitement témoin, le sol est maintenu constamment humide, alors que dans le cas des plantes soumises au déficit hydrique, l'arrosage est interrompu pendant environ 15 jours.



**Figure 05:** Dispositif expérimental de l'essai

### **3. Mesures effectuées**

Les mesures des paramètres morphologiques, physiologiques et biochimiques de la partie aérienne et souterraine ont été réalisées au stade de quatrième feuille.

#### **3.1. Les paramètres morphologiques**

##### **3.1.1. La hauteur du plante (cm)**

La hauteur de la plante exprimée en centimètre, (la hauteur est comprise entre le collet et le point d'insertion du rachis sur la tige).

### 3.1.2. La surface foliaire (SF« cm<sup>2</sup>»)

La surface foliaire estimée en cm<sup>2</sup> est définie comme le produit de la longueur totale (L) par la largeur moyenne (l) de la feuille étendard par 0.607 (coefficient de régression de la surface, d'après Spagnoletti-Zeuli et Qualset., (1990).

$$SF (cm^2) = (L \times l) \cdot 0.607$$

### 3.1.3. Le poids spécifique foliaire (PSF«mg/cm<sup>2</sup>»)

Les feuilles sont pesées immédiatement pour obtenir le poids frais (PF) puis avec les mêmes feuilles on détermine la surface foliaire (SF) selon la méthode de (Paul et al., 1979). Le poids spécifique foliaire (PSF) est déterminé par la formule suivante (Araus et al., 1998 in Zeghida et al., 2004) :

$$PSF (mg /cm^2) = PF/SF$$

### 3.1.4. La biomasse de la partie aérienne (BMS «g»)

La biomasse de la partie aérienne a été estimée par la quantité de la matière sèche déterminée par passage à l'étuve des MF PA à 80 °C pendant 48 heures.

### 3.1.5. La Biomasse souterraine (BMR)

La biomasse de la partie souterraine est obtenue par étuvage des racines à une température de 80°C pendant 48 heures.

## 3.2 .Les paramètres physiologiques :

### 3.2.1 . La teneur relative en eau (TRE «%»)

La teneur relative en eau de la feuille a été déterminée par la méthode décrite par Barrs , (1968 ) . Selon cette méthode, les feuilles sont coupées à la base du limbe, elles sont pesées immédiatement pour obtenir le poids frais (PF ) . Ces feuilles sont mises par la suite dans des tubes à essai remplis d'eau distillée et placés à l'obscurité dans un endroit frais , après 24 h les feuilles sont retirées , passées dans un papier buvard pour absorber l'eau de la surface , pesées de nouveau pour obtenir le poids de pleine turgescence ( PT ) .

Les échantillons sont enfin mis à l'étuve régler à 80 °C pendant 48 h et pesés pour avoir leur poids sec (PS) . La teneur relative en eau est calculée par la formule suivante (la formule de Clark et Mac-Caig , 1982 ) :

$$\text{TRE(\%)} = \frac{(\text{PF} - \text{PS})}{(\text{PT} - \text{PS})} \cdot 100$$

### 3.2.2. Taux de déperdition d'eau (TDE «g.10<sup>3</sup>- /cm<sup>2</sup>/mn» )

C'est une méthode qui permet l'identification des génotypes d'*Aegilops* adaptés à des conditions défavorables. Elle permet d'évaluer le taux de déperdition d'eau des feuilles excisées selon la formule suivante (Monneveux , 1991 ) :

$$\text{TDE (g.10}^{-3}\text{/cm}^2\text{/mn)} = \frac{(\text{pi} - \text{p2 h})}{\text{ps}} \cdot (1 / \text{SF} \cdot 120 \text{ mn})$$

Avec :

- pi**: Poids initial de la feuille ;
- P2h** : poids de la feuille (trempée dans l'eau distillée 2 h) ;
- PS** : poids sec de la feuille (48 heure à 80°C) ;
- SF** : la surface foliaire de la feuille ;

### 2.2.3 Le taux de chlorophylle totale (TCT « unité de SPAD»)

Le taux de chlorophylle au niveau des feuilles a été mesuré à l'aide d'une chlorophylle mètre SPAD 502. L'appareil a la forme d'une pince que l'on tient dans la main ; il est compact et léger et entre dans n'importe quelle poche. il mémorise jusqu'à 30 mesures, qui peuvent être affichées une à une. Les valeurs classiquement retrouvées se situent entre 0 et 50 (unités SPAD) .Le chlorophylle mètre est utilisé pour évaluer la teneur en azote des feuilles puisque la majeure partie de l'azote est contenue dans la chlorophylle. il suffit de fermer la pince vide sur elle-même pour étalonner l'instrument. par la suite, trois prise de mesures sont effectuées au niveau de la feuille sur trois endroits différents (sommet, milieu, et base ).

La moyenne des trois valeurs s'affiche sur l'écran à la fin (unité SPAD), sachant que le temps de chaque mesure est de l'ordre de deux secondes.

### 3-3 Paramètres biochimiques

#### 3.3.1. Dosage de la proline (« µg /100 mg MF »)

La proline est dosée selon la technique utilisée par Troll et Lindesly(1955) simplifiée et mise au point par Dreieret Gorins (1974) et modifiée par Monneveux et Nemmar (1986). Le principe est la quantification de la réaction proline-ninhydrine par mesure spectrophotométrique. L'intensité de la coloration est proportionnelle à la quantité de proline dans l'échantillon.

100 mg de matière fraîche de feuilles sont prélevées de chaque répétition et mis dans des tubes à essais couverts auxquels on ajoute 2 ml de Méthanol à 40%. Les tubes sont portés à l'ébullition au bain-marie à 85 °C pendant 60 min. Après refroidissement, 1ml de l'extrait a été prélevé de chaque tube et mis dans de nouveaux tubes auxquels, nous avons ajouté 1ml d'acide acétique. Ensuite, nous avons ajouté, dans chaque tube ,1ml de mélange contenant 120 ml d'eau distillée, 300 ml d'acide acétique.80 ml d'acide ortho phosphorique (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, densité1,7) et 25 mg de ninhydrine. Le mélange est porté à l'ébullition durant 30 min. La solution vire vers le rouge. Après refroidissement des solutions. La proline est extrait avec 5ml de toluène. Deux phases se séparent après agitation au vortex. On prélevé la phase supérieure contenant la proline à la qu'elle on ajoute 5 mg du sulfate de sodium oxydé Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> à l'aide d'une spatule pour éliminer l'eau qu'elle contient (**Figure.06** ).

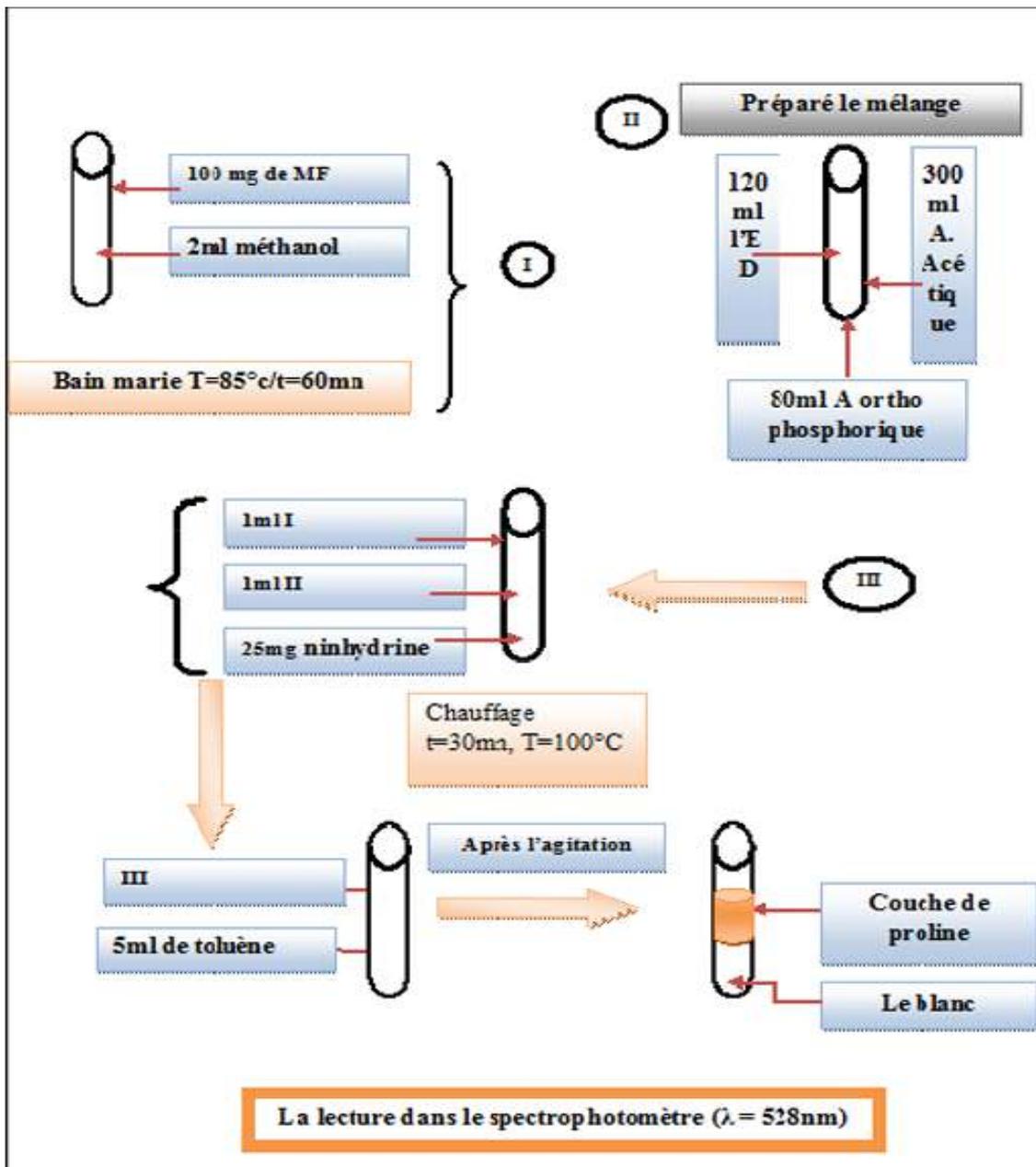
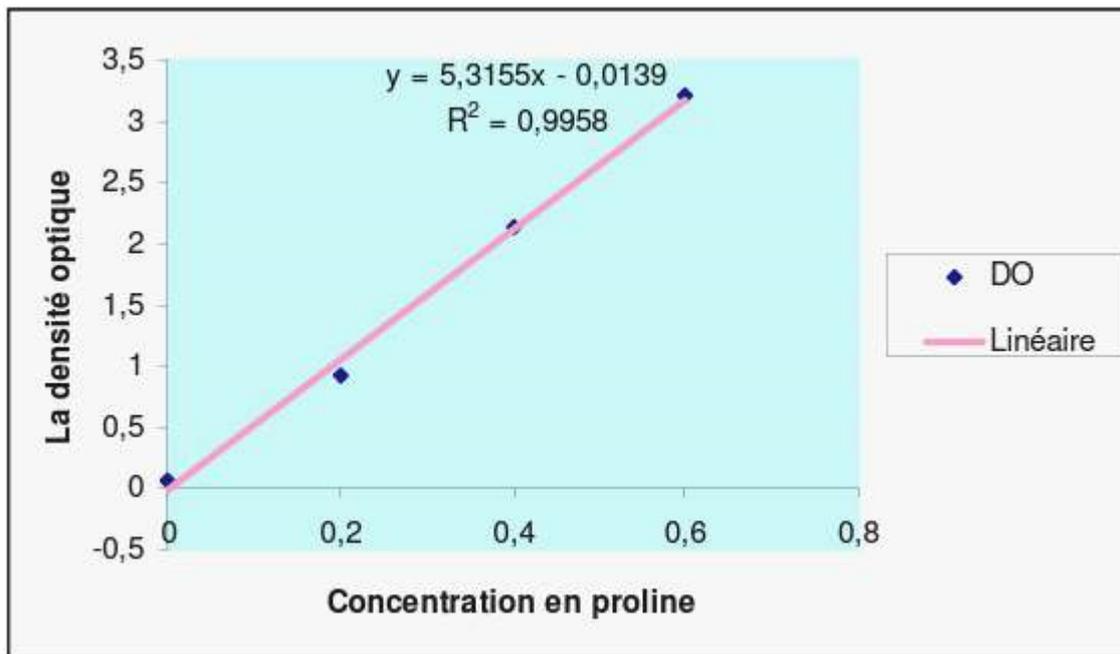


Figure.06 : Les étapes de dosage de la proline

La lecture de la densité optique des échantillons est faite à l'aide d'un spectrophotomètre à la longueur d'onde de 528 nm, correspondant à son maximum d'absorption (Figure.07).



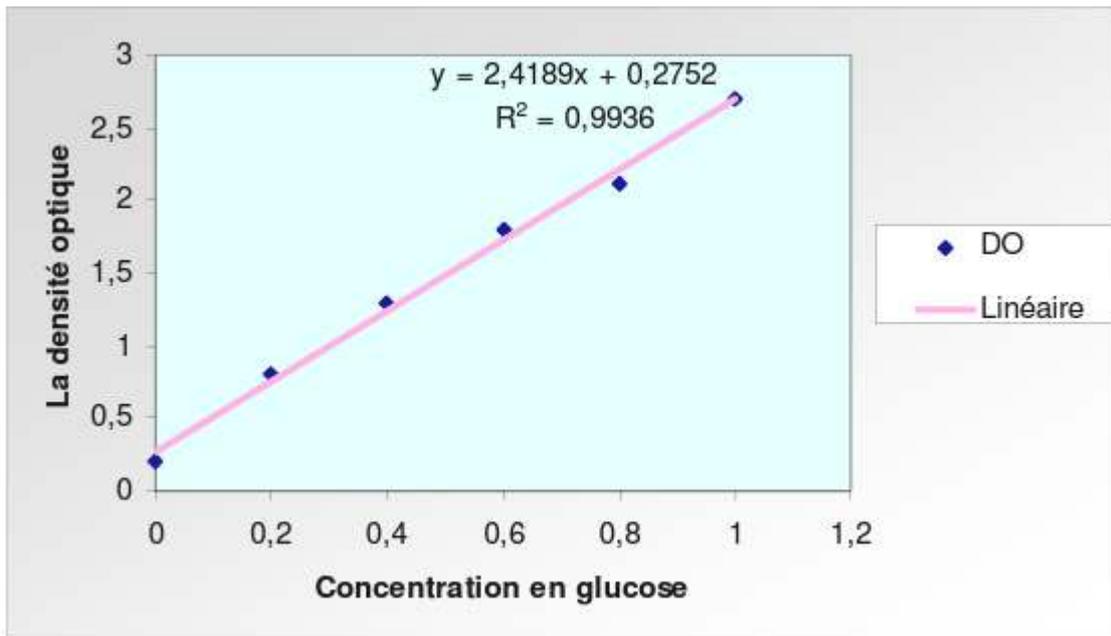
**Figure.07:** Courbe étalon du dosage de la proline.

### 3.3.2 Dosage des sucres solubles (« $\mu\text{g}/100\text{mg MF}$ »)

L'extraction des sucres solubles est réalisée avec une masse de 100 mg de matière fraîche découpée en morceaux et mise à macérer pendant 48 heures dans des tubes à essai rempli au 2/3 avec l'éthanol à 80°C puis fermé hermétiquement (Dubois et *al.*, 1956).

L'extrait obtenu après évaporation de l'éthanol est dilué avec 20 ml d'eau distillée à partir duquel 2 ml sont prélevée et mis dans un tube à essai. La réaction étant exothermique, ce dernier est placé dans bac à glace. Un volume de 4 ml de réactif d'anthrone y est alors ajouté. Après agitation, le tube est mis au bain Marie à 90°C pendant 8 minutes. Au bout de ce temps, les tubes sont mis à l'obscurité pour éviter l'oxydation des sucres puis refroidis dans la glace pendant 30 min. La densité optique du tube est lue à l'aide d'un spectrophotomètre à la

longueur d'onde de 585 nm. La concentration est déterminée à partir d'un courbe étalon



**Figure.08:** Courbe étalon du dosage des sucres solubles.

#### 4. Traitement et analyse statistique :

L'analyse de la variance à deux facteurs (facteur variété, facteur traitement et leur interaction) a été réalisée avec l'utilisation du logiciel spécifique STATISTICA version 7.

Les groupes homogènes a été réalisés par logiciel STATISTICA version 7. La méthode utilisée est ANOVA factoriel.

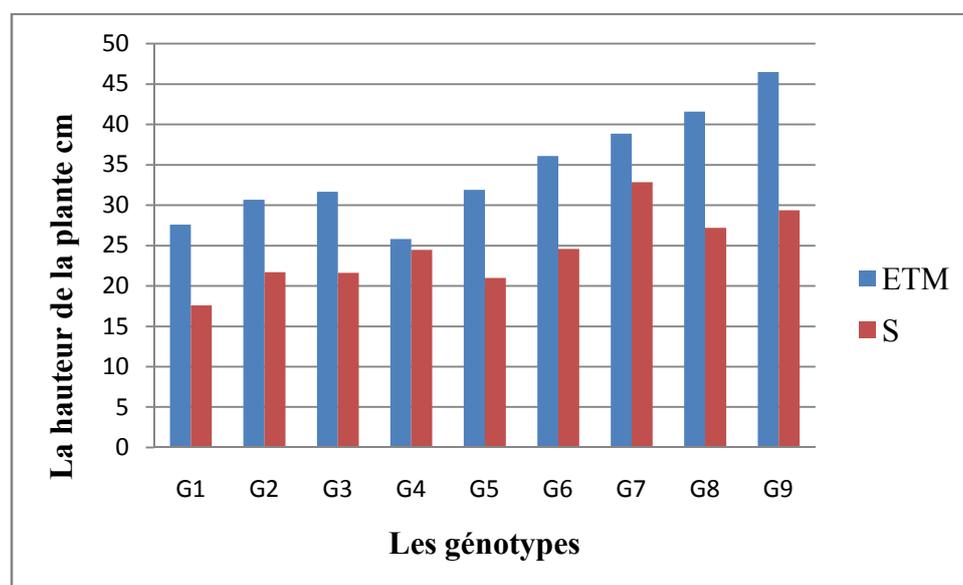
# RESULTATS ET DISCUSSION

Au niveau de cette expérience, nous avons étudié le comportement des huit géotypes d'*Aegilops* comparés avec un témoin blé dur afin d'évaluer leurs adaptations à la contrainte hydrique, en se basant sur des paramètres morphologiques racinaires et foliaires, physiologique et biochimique pour mieux comprendre leurs mécanismes d'adaptation à la sécheresse. On rappelle que tous ces paramètres ont été mesurés sur la quatrième feuille bien développée. Après traitements statistiques, les résultats de tous les paramètres sont présentés dans l'ordre suivant :

## 1. Paramètres morphologiques

### 1.1. La hauteur de la plante

D'après les résultats obtenus (Tableau.01.Annexe03), Les valeurs moyennes de la hauteur des plantes les plus élevées ont été soulignées chez les géotypes G8 et G9 avec des mêmes valeurs de l'ordre 41.60 cm (essais irrigué) et 27.20 cm (essais sec). Les valeurs les plus faibles ont été remarquées chez les géotypes G4 et G5 qui sont de l'ordre de 25.82 cm et 24.45 respectivement pour les essais irrigué et sec.



**Figure. 09** : Variation de la hauteur de la plante chez les 08 géotypes d'*Aegilops* + le témoin et les deux régimes hydriques (sec et irriguée).

Sous conditions non irriguées, nous avons observé une diminution de la hauteur de la plante chez les différents géotypes étudiée et le témoin. La hauteur de la plante la plus réduite a été

remarque chez le génotype G1 avec une valeur (17.60 cm<sup>2</sup>), par contre le génotype G7 affiche une réduction la plus faible de la surface foliaire (24.60cm<sup>2</sup>). (Figure09).

Selon le test NEWMAN-KEULS au seuil 5% ont peut distinguer trois groupes homogènes chez les neuf génotypes testées :

Dans un premier groupe **A** contient le génotype G1 qui présente la valeur de la hauteur des plantes la plus faible à 22.58cm.

Les deux groupes intermédiaires **AB** correspondent aux valeurs faibles de la hauteur de la plante qui regroupe les génotypes G4, G2, G5 et G3 avec des valeurs de l'ordre de 25.13, 26.18, 26.45 et 26.65 cm.

Le second groupe **B** présenté par un seul génotype G6 à 30.35 cm.

Le dernier groupe **C** correspondent aux valeurs la plus élevée de la hauteur de la plante il regroupe les génotypes G8, G7 et G9 avec des valeurs de la hauteur de la plante de 34.40, 36.36 et 37.91 cm.

L'analyse de la variance montre des différences très hautement significatives entre les génotypes et les deux régimes de stress appliquée ainsi que l'interaction entre génotypes et le traitement est significatif ( $p < 5\%$ )

Selon Meziani et *al.*, 1992. La hauteur de la plante apparait comme un critère de sélection important particulièrement pour les zones arides. Ces auteurs considèrent que la recherche de la tolérance à la sécheresse chez le blé passe par l'augmentation de la hauteur de la paille.

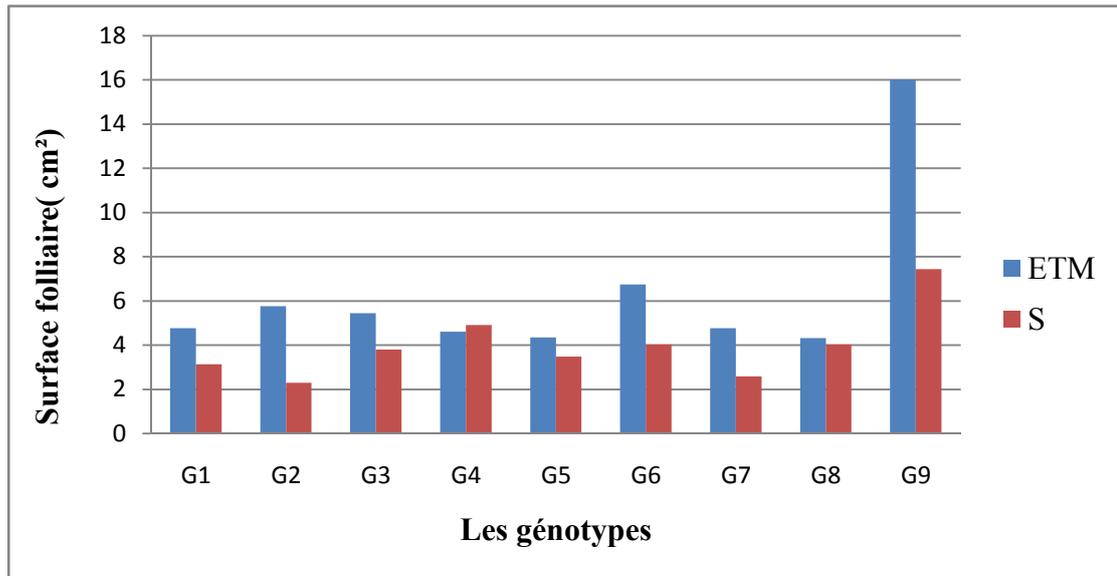
Siddique et *al.*, 1989 soulignent des corrélations négatives entre l'efficacité d'utilisation de l'eau et la hauteur de la plante, selon ces derniers, les variétés naines valorisent mieux l'humidité du sol. En plus la hauteur de la chaume est associés a un système racinaire capable d'aller en profondeur, suggérant l'adaptation des variétés hautes dans des sols ou il y'a une humidité résiduelle exploitable en profondeur.

## 1.2. Surface foliaire

Selon les résultats de la surface foliaire moyenne (Tableau.02.Annexe03) le témoin blé (G9) présente la surface la plus grande avec des valeurs de l'ordre de 16.01 cm<sup>2</sup> et 7.440 cm<sup>2</sup>

pour les traitements irrigué et stressé respectivement. Cependant, les génotypes d'*Aegilops*, le G6 présente la surface la plus grande comparativement aux autres génotypes étudiés (G1 ,G4 , G5 ,G7 ,G8 ) ; (G2 ,G3 ) qui ont un surface foliaire très proches entre elles..

Les valeurs les plus faibles sont enregistrées chez le génotype G8 qui présente les surfaces les plus petites 4.320 cm<sup>2</sup> et 4.015 cm<sup>2</sup> respectivement pour les essais irrigué et stressé.



**Figure. 10** : Variation de la surface foliaire chez les 08 génotypes d'*Aegilops* + le témoin et les deux régimes hydriques (sec et irriguée).

Le déficit hydrique à un effet négatif sur la réduction de la surface foliaire de la plante

Sous conditions non irriguées, nous avons observé une diminution de la surface foliaire chez les différents génotypes utilisés et le témoin. La surface foliaire la plus réduite a été remarquée chez le génotype G2 avec des valeurs (2.297 cm<sup>2</sup>), par contre le génotype G8 affiche une réduction la plus faible de la surface foliaire (4.015 cm<sup>2</sup>). (Figure.10).

Selon le test **NEWMAN-KEULS** au seuil 5% on peut distinguer trois groupes homogènes chez les neuf génotypes testées :

Le groupe A (la surface foliaire la plus faible) inclut le génotype G7 avec une moyenne de 3.87 cm<sup>2</sup> et le groupe intermédiaire AB (la surface foliaire faible), inclut les génotypes G5 ; G1 ; G2 ; G8 ; G3 et G4 avec des valeurs respectives de 3.92 ; 3.95 ; 4.02 ; 4.16 ; 4.62 et 4.76 cm<sup>2</sup> respectivement.

Le groupe B correspond au génotype G4 avec une SF de 5.52 cm<sup>2</sup>.

Le groupe C rassemble le génotype qui présente les valeurs les plus élevées de SF 11.72 cm<sup>2</sup> pour le génotype G9.

Les résultats de l'analyse de la variance (Tableau02-Annexe.03), révèlent des différences très hautement significatives pour les 09 génotypes étudiés ( $P= 0.0000$ ), ainsi que des différences très hautement significatives entre génotypes et traitement ( $p \leq 0,001$ ).

La réduction de la surface foliaire des feuilles induite par le stress hydrique peut être due à une baisse de l'activité mitotique des cellules épidermiques qui aboutit à une réduction du nombre total des cellules de la feuille (Matthews., 1986).

Elle peut être également due à une réduction de la taille de la cellule due à des changements anatomiques (Chartzoulakisa et al., 2002)

Lebon 2006 a montré que la diminution de la surface foliaire sous le régime hydrique limitant est un mécanisme adaptatif des plantes visant à limiter leur transpiration foliaire lorsque les conditions hydriques deviennent défavorables.

Chez le blé dur, le déficit en eau affecte son développement et ralentit son taux de croissance, ceci engendre un faible tallage, une réduction de la surface foliaire (Legg et al., 1979), ce qui se traduit par une réduction de biomasse (Villegas et al., 2001).

Johanson et al., 1983 suggèrent que les plantes à surface foliaire plus grande peuvent tolérer la déshydratation en maintenant un potentiel hydrique élevé.

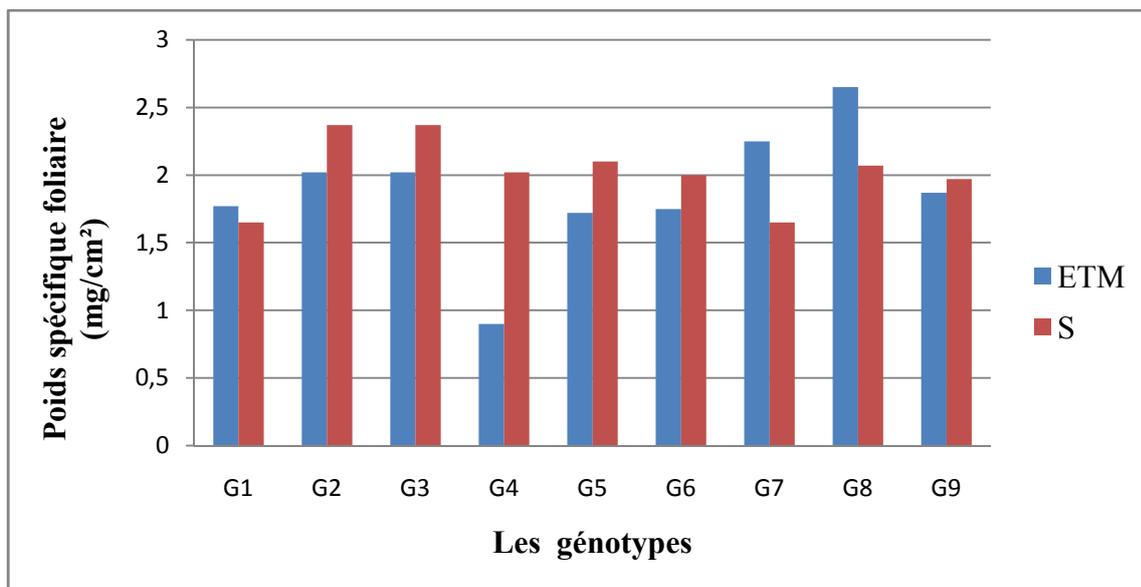
Mekliche et al., (2003) rapportent que la réduction de la surface foliaire tend à minimiser les pertes en eau en réduisant la transpiration mais peut aussi diminuer le rendement à cause de la réduction de la capacité photosynthétique. Plusieurs caractéristiques morphologiques de la plante sont affectées par la contrainte hydrique au niveau foliaire, le stress hydrique provoque la réduction de la surface transpirante due à une réduction de la division et de l'expansion cellulaire (Zgallai et al., 2007).

### 1.3. Poids spécifique foliaire

Selon les résultats du (Tableau.03.Annexe03), une augmentation importante du poids spécifique foliaire des feuilles des différents génotypes étudiés en fonction du stress hydrique a été enregistrée.

Au niveau de l'essai conduit à l'ETM, le témoin blé présente le plus grand poids spécifique foliaire (2.8750 mg/cm), en revanche le génotype G2 (1.7750 mg/cm<sup>2</sup>) présente le plus petit poids spécifique foliaire par rapport aux autres génotypes testés (G6 ; G7 et G8 ) qui présente un poids spécifique foliaire très proches entre eux qui donnent les valeurs 2.25mg/cm<sup>2</sup> ; 2.1mg/cm<sup>2</sup> ; 2.65mg/cm<sup>2</sup> respectivement.

Les mêmes résultats montrent que les génotypes G1 et G7 présentent une diminution de poids spécifique foliaire de 4.76 à 3.14 mg/cm<sup>2</sup> et 4.76 à 2.59 respectivement.



**Figure. 11 :** Variation de poids spécifique foliaire chez les 08 génotypes d'*Aegilops* + le témoin et les deux régimes hydriques (sec et irriguée).

Sous conditions non irriguée ; nous avons remarqué une augmentation du poids spécifique foliaire chez les différents génotypes d'*Aegilops* testées ; les valeurs dégagées variaient entre 165 mg/cm<sup>2</sup> et 237 mg/cm<sup>2</sup> respectivement pour le génotype G2 et G3.

Le témoin (blé). G9 est moins affecté à cette contrainte et présente une faible augmentation de PSF (187 mg/cm<sup>2</sup> à 197mg/cm<sup>2</sup> respectivement pour l'essai irrigué et sec) (Figure 11).

Selon le test **NEWMAN-KEULS** au seuil 5% on peut distinguer deux groupes homogènes chez les neuf génotypes testés :

Le groupe **A** représenté par le génotype G2 avec PSF de l'ordre de 0.017 mg/cm<sup>2</sup>

Le groupe **B** représenté par le génotype G8 avec PSF moyen de 0.023 mg/cm<sup>2</sup>.

Les autres génotypes (G5, G9, G7, G4, G6, G3 et G1) sont intermédiaires entre le groupe **A** et **B**.

D'après les résultats obtenus, l'analyse de la variance montre qu'il existe une différence significative ( $p < 5\%$ ) entre les génotypes étudiés et aucune différence significative entre les traitements et l'interaction génotype\*traitement n'a été constaté (Tableau 03-Annexe05).

Un poids spécifique foliaire élevé est un indicateur d'une meilleure capacité photosynthétique (Araus *et al.*, 1998). Le poids spécifique foliaire est un des marqueurs importants dans la réponse des plantes à la contrainte hydrique et peut être considéré comme un critère simple de sélection de génotypes présentant une efficacité élevée de l'utilisation de l'eau en conditions de déficit hydrique (Ykhlef., 2001).

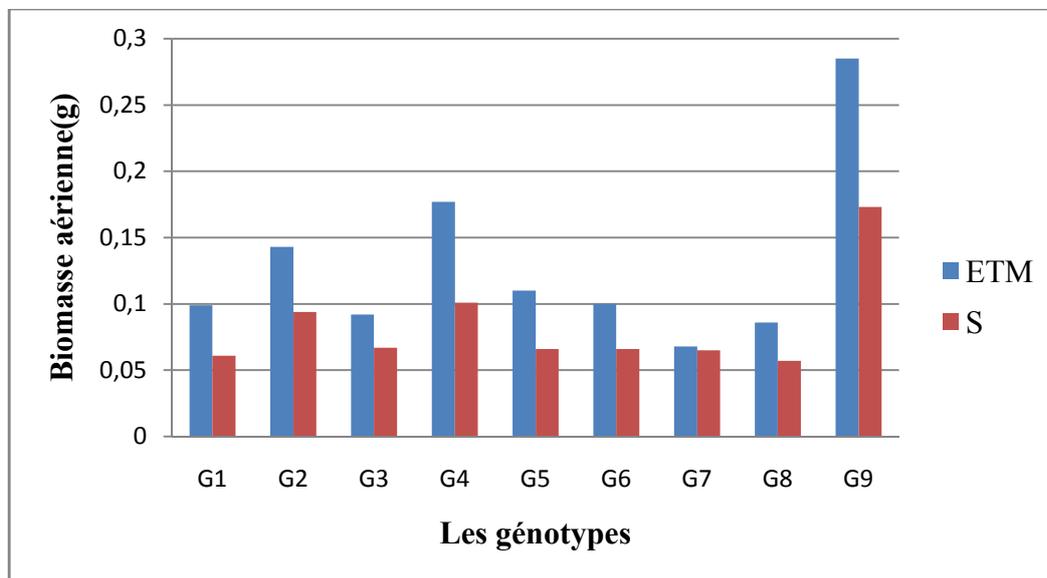
Le processus de réduction de la surface foliaire et l'augmentation du poids spécifique foliaire qui permet aux plantes de se « confronter » au manque d'eau par la réduction de la transpiration (Blanchet *et al.*, 1990 in Ykhlef., 2001).

#### **1.4. Biomasse aérienne**

La biomasse aérienne montre une diminution importante chez les différents génotypes étudiés en fonction du stress hydrique appliqué.

Dans l'essai conduit à l'ETM (Tableau.04.Annexe03), et selon les résultats, le témoin (G9) présente la biomasse plus grande avec des valeurs de l'ordre 0,285 g et 0,173 g. Ainsi pour les 08 génotypes d'*Aegilops*, le génotype G4 présente la biomasse la plus grande par rapport aux autres génotypes étudiés (G1 ,G3 , G5 ,G6 ,G8) qui présentent des biomasses très proches entre elles.

Les valeurs les plus faibles sont enregistrées chez le génotype G7 qui présente la biomasse aérienne la plus petite 0,068g et 0,065g respectivement pour les essais irrigués et secs.



**Figure. 12** : Variation de la biomasse aérienne chez les 08 génotypes d'*Aegilops* + le témoin et les deux régimes hydriques (sec et irrigués).

Sous conditions non irriguées, nous avons observé une diminution de la biomasse aérienne chez le témoin et les différents génotypes testés. Le témoin G9 affiche la biomasse aérienne la plus faible, 0,173 g. Les génotypes d'*Aegilops*, G7 affiche la biomasse aérienne la plus faible (0,065g) (Figure.12).

Selon le test **NEWMAN-KEULS** au seuil 5% on peut distinguer trois groupes homogènes chez les neuf génotypes testés :

Le groupe **A** regroupe les génotypes (G7, G8, G3, G1, G6 et G5) qui présentent les faibles valeurs de la biomasse aérienne 0.066, 0.071, 0.079, 0.080, 0.086 et 0.088g respectivement.

Le groupe **B** présente les valeurs moyennes de la biomasse aérienne correspondant au génotype G2 (0.11 g).

Le groupe intermédiaire **AB** inclut le génotype G4 (0.13 g).

Le groupe **C** inclut le témoin (G9) qui présente la valeur la plus élevée de la biomasse aérienne de 0.22 g.

D'après les résultats obtenus, l'analyse de la variance montre qu'il existe une différence très hautement significative ( $p < 0.001\%$ ) entre les génotypes étudiés plus le traitement et aucune différence significative de l'interaction génotype\*traitement n'a été constatée (Tableau 04-Annexe 05).

La biomasse aérienne accumulée est la résultante de la contribution de plusieurs caractères tels que la hauteur du chaume, la durée de la phase végétative, la vitesse de croissance et le nombre de grains produits par unité de surface. La surface de la feuille étandard et le poids spécifique foliaire sont des indicateurs de la capacité photosynthétique au cours de la phase de remplissage du grains (Abbassenne et *al.*, 1998 ; Asseng et *al.*, 2003). Identifier les génotypes qui accumulent tous ces caractères sous contraintes est intéressant vu qu'ils sont plus aptes à valoriser le milieu et à tolérer les contraintes climatiques.

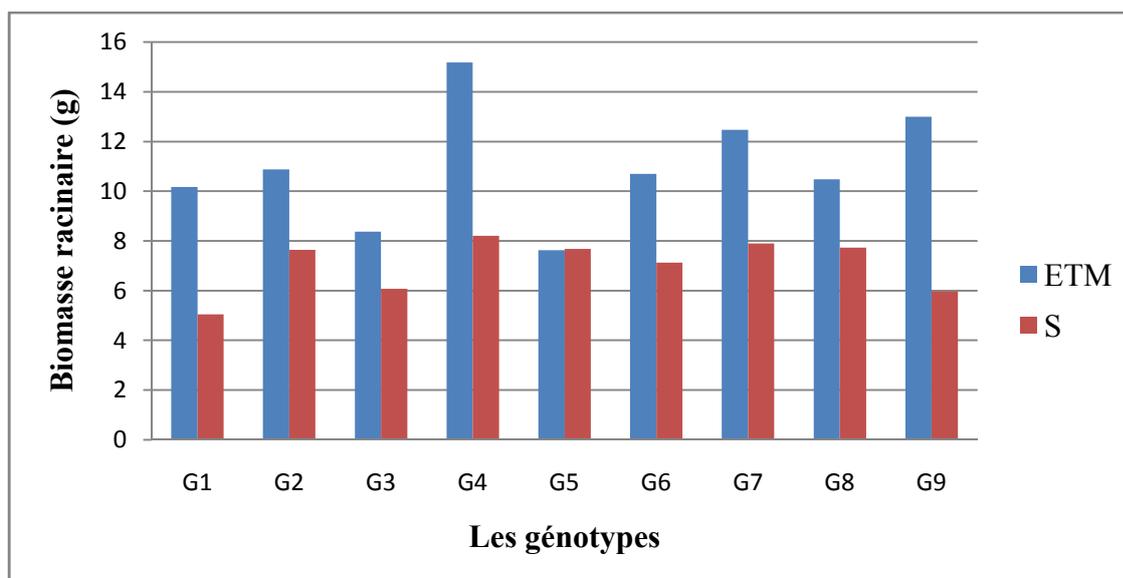
La répercussion du déficit hydrique se traduit par la diminution de la matière sèche durant la période végétative et reproductrice et par conséquent une diminution des rendements (Tanner et Sinclair ., 1983) .

Morizet et *al.*, (1984) ont montré que les plantes résistantes à la sécheresse sont capables de produire une quantité de matière sèche après réhydratation, comparées aux plantes témoins.

### **1.5. Biomasse racinaire**

D'après les résultats de l'essai conduit à l'ETM( Tableau.05.Annexe03) , le génotype (G4) présente la biomasse racinaire la plus grande par contre le génotype ( G8) qui présente la biomasse la plus petite. Les autres génotypes étudiés (G2, G3, G5 et G6) et (G1 et G7) présentent une biomasse racinaire très proches entre elles.

Les valeurs enregistrées de la biomasse racinaire chez le témoin blé (G9) varient entre 0,032 g et 0.022 g.



**Figure. 13** : Variation de la biomasse racinaire chez les 08 génotypes d'*Aegilops* + le témoin et les deux régimes hydriques (sec et irriguée).

Sous conditions de stress, nous avons observé une diminution de la biomasse racinaire chez les différents génotypes testés. La biomasse racinaire la plus faible a été constatée chez le génotype G4. (0,0257g, par contre le génotype G7 affiche la biomasse racinaire la plus élevée (0,006 g) (Figure. 13).

Selon le test **NEWMAN-KEULS** au seuil 5% ont peut distinguer trois groupes homogènes chez les neuf génotypes testées :

Le groupe **A** regroupe les génotypes (G8, G1, G3, G5, G7, G3, G2 et G6) qui présentent les faibles valeurs de la biomasse racinaire de l'ordre de 0.066, 0.007, 0.0080, 0.008, 0.009, 0.010 et 0.0141 g respectivement

Le groupe **B** présente les valeurs moyennes de la biomasse racinaire correspondent au génotype G9 avec 0.0272g.

Le groupe **C** incluse le génotype (G4) qui présente la valeur la BMR la plus élevée (0.0370 g).

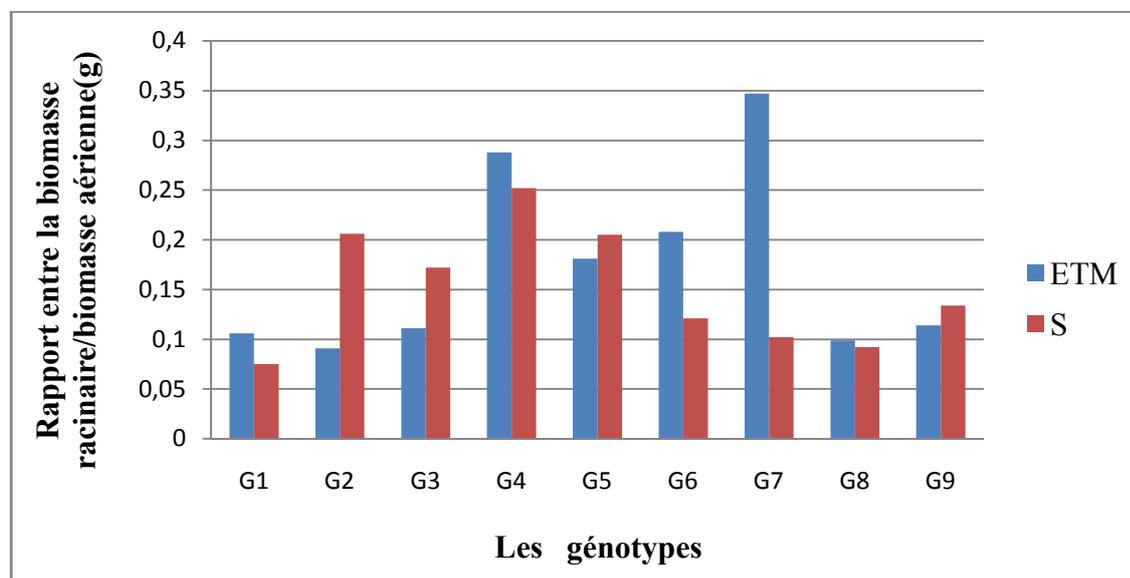
D'après les résultats (tableau.05-Annexe.05), L'analyse de la variance faisant référence à la biomasse racinaire, révèle des différences très hautement significatives ( $p \leq 0,001$ ) pour les 09 génotypes et l'interaction (Génotype\*Trait) ne présentent aucune signification.

La croissance racinaire est réduite lors d'une contrainte hydrique, mais de façon moins marquée que celle des parties aériennes. L'optimisation de l'absorption d'eau est liée à un ensemble complexe de caractères morphologiques des racines (Ramanjulu et *al.*, 2002)

La croissance racinaire en conditions sèches peut être maintenue par l'ajustement osmotique qui limite la baisse du potentiel de turgescence (Turner., 1986).

### 1.6. Le rapport entre la Biomasse racinaire et la biomasse aérienne (BSR /BSA)

D'après les résultats obtenus (Tableau.06 - Annexe 03) ; Les valeurs moyennes du rapport de la biomasse racinaire/ biomasse aérienne, le génotype G7 présente une valeur maximale de 0,347 g et une valeur minimale a été observé chez le génotype G2 de 0,091 g.



**Figure. 14 :** Variation du rapport entre biomasse racinaire/biomasse aérienne chez les 08 génotypes d'*Aegilops* + le témoin et les deux régimes hydriques (sec et irriguée).

Sous condition de stress hydrique, nous avons observées une diminution de rapport entre la biomasse racinaire et aérienne chez la plus part des génotypes étudiées et augmentation de cet

rapport chez les géotypes G2, G3 et G5 avec des valeurs moyennes respectivement 0,206 g, 0,172g et 0,205 g (Figure. 14).

Le témoin G9 présente aussi une augmentation du rapport de biomasse racinaire et aérienne 0,1348 g.

Les résultats moyens du rapport de biomasse racinaire/ biomasse aérienne relèvent la présence d'un seul groupe homogène qui regroupe tous les géotypes étudiés.

Selon les résultats (Tableau.06.Annexe03), de l'analyse de la variance, aucune différence non significative pour les 09 géotypes n'a été constatée ainsi que pour l'interaction géotype\*traitement).

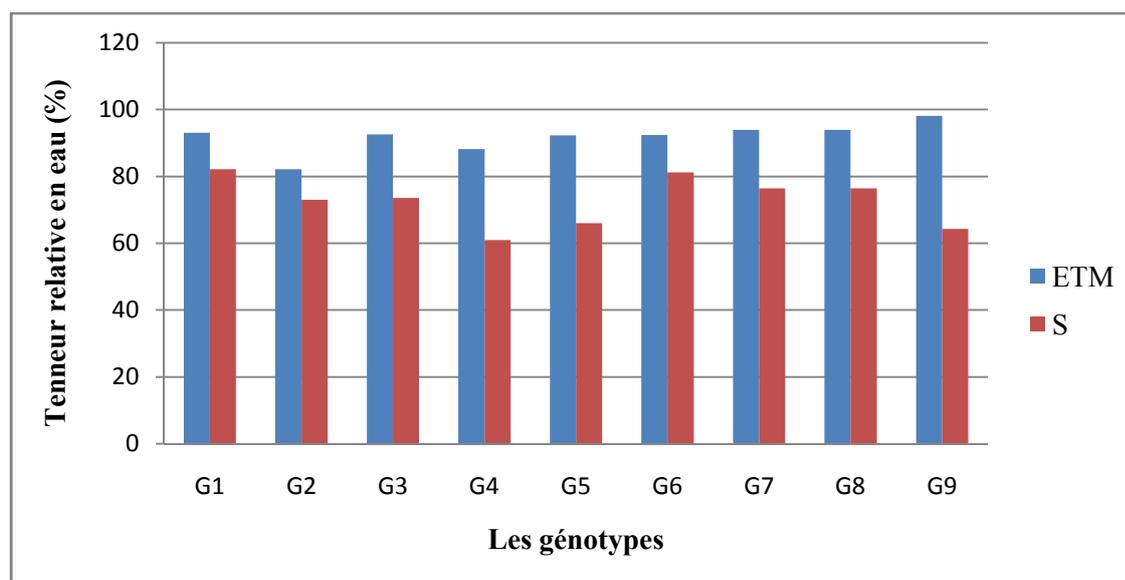
Les résultats de cette étude confirment ceux obtenus par certains auteurs (Ali dib et *al.*, 1999 ; Benlaribi M et *al.*, 1999 ; Jones M et *al.*, 1981; Kamer P.J et *al.*, 1983 ; Khaldoun .A et *al.*, 1990 ; Al hakimi et Menneveux ., 1993 ; Daaloul et *al.*, 1992 )selon ces résultats, le déficit hydrique inhibe plus la croissance du système racinaire que celle des organes aériens. En effet, pour ces auteurs, le déficit hydrique chez le blé dur réduit la profondeur maximale des racines, le volume total racinaire, le nombre total des racines et la matière sèche racinaire. Ainsi, sous conditions favorables d'alimentation en eau, il peut exister un équilibre entre les différents paramètres racinaires avec une tendance à l'allongement. Lorsque l'alimentation hydrique est limitant, l'accroissement en longueur des racines rompt cet équilibre, mais cette réponse au stress hydrique dépend du géotype.

## **2. Paramètres physiologiques**

### **2.1. La teneur relative en eau**

La teneur relative en eau est considérée comme un excellent indicateur de l'état hydrique de la plante. Elle consiste un paramètre influençable pour toutes variations de potentialité absorbante des plantes.

Les teneurs en eau les plus élevées ont été enregistrées chez les géotypes irrigués (Tableau.10-Annexe.03), avec une valeur maximale de 98.10% enregistrée chez le témoin blé G9 et une valeur minimale de 82.10% enregistrée chez le géotype G2 .



**Figure.15:** Variation de la teneur relative en eau chez les 08 génotypes d'*Aegilops* + le témoin et les deux régimes hydriques (sec et irriguée).

En revanche, on note une diminution de la teneur relative en eau chez l'ensemble des génotypes étudiés sous condition de stress. La valeur minimale de la teneur relative en eau a été notée chez le génotype G4 avec 66,99% et une valeur de teneur relative en eau maximale (82.17%) enregistrée chez le génotype G1. La réduction de la teneur en eau la plus importante a été notée chez le témoin blé G9.

Selon le test NEWMAN-KEULS au seuil 5%, Les génotypes étudiés se distinguent en un seul groupe homogène.

L'analyse de la variance de la teneur relative en eau (Tableau07-Annexe.05) montre une différence très hautement significative entre les deux traitements appliqués et aucune signification entre interaction (génotype\*traitement) n'a été observée.

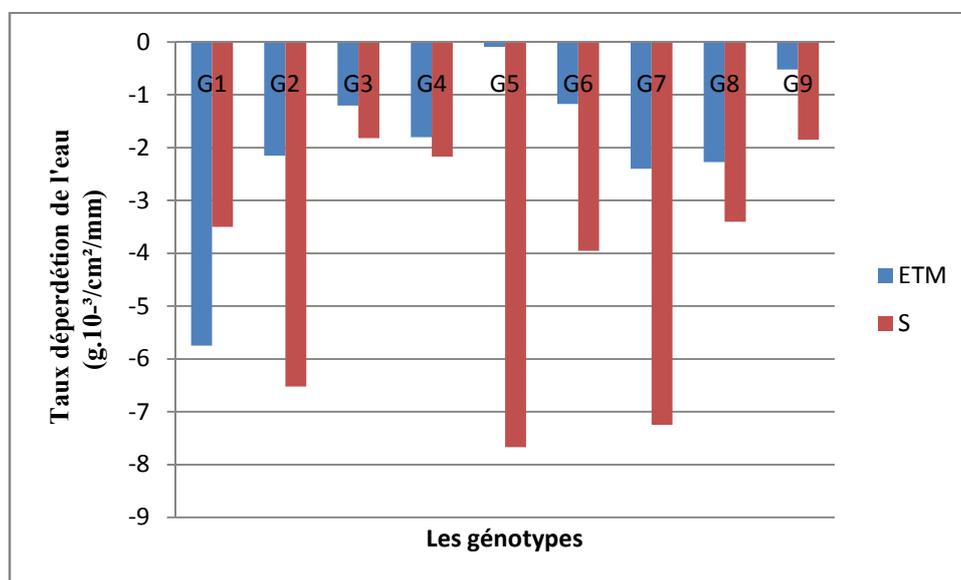
La diminution de la teneur relative en eau indique la gravité de la déshydratation. Un stress hydrique intense induit une baisse de la teneur relative en eau (Scofield *et al.*, 1988 ; Muller et whitsitt, 1996), et une réduction des potentiels hydriques et osmotiques de la feuille (Hafez khan *et al.*, 1993). Scofield *et al.*, (1988) notent que la teneur relative en eau diminue lorsque le stress augmente, mais elle diminue plus vite chez les variétés sensibles que chez les variétés résistantes.

Clark et Ciag (1982) considèrent que la teneur relative en eau comme indicateur de l'état hydrique de la plante sous stress. Selon Abouchi *et al.*, Baji *et al.*, 2001 la teneur relative en eau est d'un intérêt majeur dans les travaux de la sélection, car il serait selon Araus *et al.*, (1991) ; El hakimi *et al.*, (1995) d'une forte héritabilité. Ainsi Masler *et al.*, (1980) in Nouri., (2002) montrent que les génotypes qui maintiennent une teneur relative en eau élevée en présence de stress hydrique sont des génotypes tolérants.

## 2.2. Le taux de déperdition de l'eau (RWL)

L'évaluation de la perte de l'eau par la feuille excisée constitue l'une des principales stratégies d'économie en eau en situation de déficit hydrique.

Sous condition de bonne alimentation hydrique (Tableau.08.Annexe03), les valeurs du taux de déperdition en eau changent entre une valeur maximale de  $-0.5 \text{ g} \cdot 10^{-3} / \text{cm}^2 / \text{mn}$  chez le génotype G1 à de valeur minimale  $-2.4 \text{ g} \cdot 10^{-3} / \text{cm}^2 / \text{mn}$  chez le génotype G7. Le témoin G9 présente une même valeur que le génotype G1. Suite à ces valeurs, on peut donc observer que le taux de déperdition présente une variabilité phénotypique entre les populations.



**Figure.16 :** Variation du taux déperdition en eau chez les 08 génotypes d'*Aegilops* + le témoin et les deux régimes hydriques (sec et irriguée).

Sous les conditions de stress hydrique, nous avons observé une augmentation du taux de déperdition de l'eau au fur et à mesure que le stress hydrique s'accroît. Les valeurs obtenues

se situent entre  $-0,0018 \text{ g} \cdot 10^{-3} / \text{cm}^2 / \text{mn}$  et  $-0,0059 \text{ g} \cdot 10^{-3} / \text{cm}^2 / \text{mn}$  respectivement pour les génotypes G3 et G5.

Le témoin G9 présente taux déperdition faible en eau allant de  $-0,0018 \text{ g} \cdot 10^{-3} / \text{cm}^2 / \text{mn}$  par rapport aux autres génotypes d'*Aegilops* testés.

Le classement des moyennes par le test NEWMAN-KEULS a fait ressortir un seul groupe A regroupant tous les génotypes d'*Aegilops* testés et le témoin G9 pour les deux traitements (irriguée et stressé).

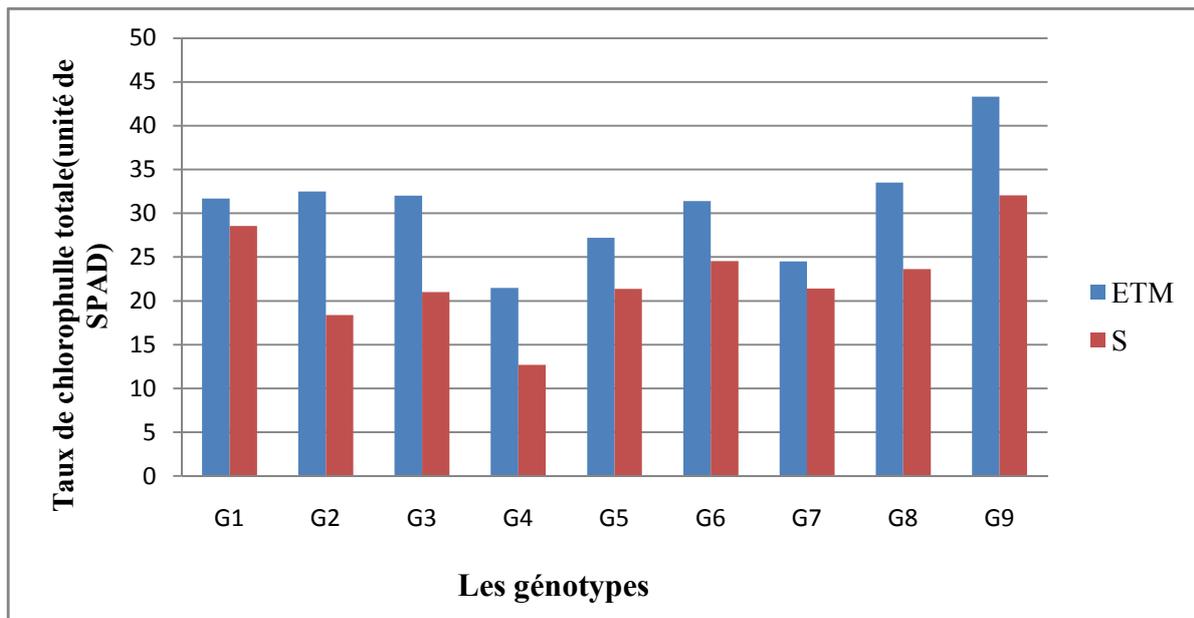
L'analyse des résultats montre une différence très hautement significative entre les génotypes et aucune différence significative entre les traitements et l'interaction génotypes\* traitement n'a été observée.

Nos résultats concordent avec ceux obtenus par (Clark et Mac-Caig., 1982) ; (Kirkham *et al.*, 1980) qui ont montré que les feuilles des plantes stressées relient directement la perte d'eau à la surface foliaire, plus la surface est large plus le taux déperdition augmente.

Certaines variétés ont la particularité de l'enroulement des feuilles lors d'un déficit hydrique. Cet enroulement leur permet la diminution des pertes d'eau par la transpiration circulaire (El Jaafari., 1955 in Zeghid *et al.*, 2004).

### **2.3. Taux de la chlorophylle totale (unité du SPAD)**

Sous les conditions de l'ETM, le témoin G9 présente le plus haut taux de la chlorophylle (43.352 unité de SPAD) par contre le génotype G4 présente le plus petit taux de la chlorophylle (21.475 unité de SPAD). Suite à ces valeurs, on peut donc observer que le taux de la chlorophylle totale présente une variabilité phénotypique entre les populations.



**Figure.17** : Variation de Taux de chlorophylle totale chez les 08 génotypes d'*Aegilops* + le témoin et les deux régimes hydriques (sec et irriguée).

Le taux de la chlorophylle totale diminue en présence du stress hydrique chez tous les génotypes étudiés. Le génotype G1 enregistre un taux maximal avec une valeur de 28.55 unité de SPAD ; cette diminution devient très importante chez le génotype G4 qui marque une teneur minimale de 21 unité de SPAD (figure. 17).

Selon le test **NEWMAN-KEULS** au seuil 5% on peut distinguer trois groupes homogènes chez les neuf génotypes testées :

Le **A** groupe regroupe les génotypes à faible taux de chlorophylle totale et sont représentés par G7 et G5 qui ont inscrits des valeurs respectives de 22.96 et 24.28 unité de SPAD.

Le groupe **B** regroupe les génotypes dits à moyens taux de chlorophylle totale (les génotypes G2, G3, G6, G8 et G1) avec des valeurs de 25.43 ; 26.51, 27.97, 28.57 et 30.11 unité de SPAD respectives.

Le groupe intermédiaire **AB** qui regroupe les deux génotypes G7 et G5 de l'ordre de 22.96 et 24.28 unité de SPAD.

Le groupe C rassemblent les génotypes dits à grand taux de chlorophylle totale.(le témoin (G9) qui est inscrit une valeur de 37.7 unité de SPAD).

L'analyse de variance(Tableau.09-Annexe.05) du taux de la chlorophylle totale fait ressortir des différences très hautement significatives entre génotypes et régimes hydriques ( $p < 0.01\%$ ). L'interaction des deux facteurs (génotypes\* traitement) n'est pas significative.

Atti *et al.*, (2004) ont souligné une diminution du contenu foliaire en chlorophylle chez le soja lorsque les plants subissent un stress hydrique sévère. L'augmentation des teneurs en chlorophylle totale est la conséquence de la réduction de la taille des cellules foliaires sous l'effet d'un stress hydrique (Siakhène., 1984). Par contre, la chute des teneurs en chlorophylle est la conséquence de la réduction de l'ouverture des stomates visant à limiter les pertes en eau par évapotranspiration et par augmentation de la résistance à l'entrée du CO<sub>2</sub> atmosphérique nécessaire à la photosynthèse (Bousba *et al.*, 2009).

La quantité de la chlorophylle des feuilles peut être influencée par beaucoup de facteurs tels que l'âge des feuilles, la position des feuilles, et les facteurs environnementaux tels que la lumière, la température et la disponibilité en eau (Hikosaka *et al.*, 2006).

Thameur *et al.*,2012 notent que cette diminution de taux de chlorophylle totale est plus rapide chez les variétés sensible que chez les variétés résistant.

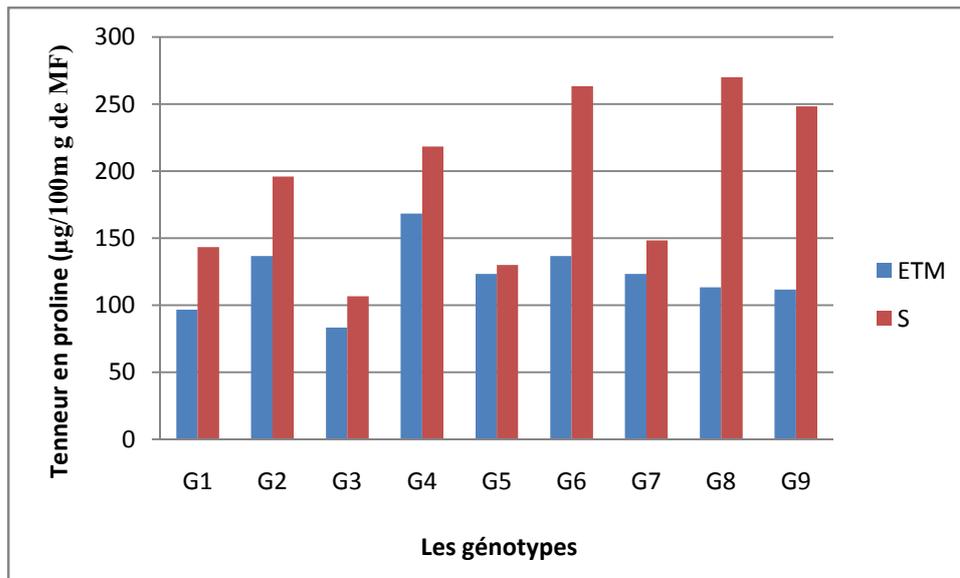
D'autre part, Matin *et al.*, 1989 les génotypes qui maintiennent une taux de chlorophylle élevée en présence de stress hydrique sont des génotypes tolérants

### **3. Paramètre biochimique**

#### **3.2. Teneur en proline**

Sous l'essai conduit à l'ETM, et d'après les résultats (Tableau.10-Aneexe.03 ), le génotype (G6) présente une grande accumulation de proline , par contre le génotype (G3) présente une faible accumulation de proline par rapport aux autres génotypes étudiées (G4, G5, et G9 ) et ( G1, G2 , G7 et G8) qui sont très proches entre eux.

Le témoin blé (G9) présent une accumulation faible en proline (111,67 µg/100mg MF et 248,33µg/100mg MF) par rapport aux génotypes étudiée.



**Figure.18 :** Variation de la teneur en proline chez les 08 génotypes d'*Aegilops* + le témoin et les deux régimes hydriques (sec et irriguée).

Sous conditions non irriguées (sous stress), nous avons observé une grande accumulation de proline chez les différents génotypes testés et le témoin. Le génotype G4 affiche une grande accumulation de la proline, les valeurs varient entre (270 µg/100mg MF). Parmi les 08 génotypes d'*Aegilops*, G1 présente une faible accumulation de proline (96.67 µg/100mg MF). (Figure.18)

Selon le test **NEWMAN-KEULS** au seuil 5% on peut distinguer un seul groupe homogène **A** qui regroupe tous les génotypes étudiés pour les deux traitements (irriguées et sec)

L'analyse de la variance (Tableau.10-Annexe.05) montre que la teneur en proline n'est pas significative pour tous les 08 génotypes et le témoin.

L'accumulation de proline a déjà été étudiée par plusieurs chercheurs et sur plusieurs espèces : Bajji., (1999) et Zerrad., (2006) chez le blé dur, Leport., (1991) et Bensaoud., (1992) chez le colza et El Bouhmadi., (1994) chez la féverole.

Cechin et *al.*, (2006) montrent que l'augmentation de la teneur en proline serait liée directement à l'application du stress hydrique. Plus le niveau de stress appliqué augmente plus les teneurs en proline deviennent marquées (Savouré et *al.*, 1995).

Les quantités accumulées pourraient être liées au niveau de tolérance aux stress (Singh et *al.*, 1973). La proline accumulée pourrait jouer un rôle d'osmoticum (Stewart et Lee., 1974). En

plus de son rôle d'osmoprotecteur, la proline a un rôle dans le renforcement du système antioxydant et de lutte contre les dommages du stress (Khedr *et al.*, 2003 ; Demiral et Turkan., 2004 ; Ma *et al.*, 2006 ; Molinari *et al.*, 2007). Elle pourrait également intervenir dans la régulation du pH cytoplasmique (Pesci et Beffagna., 1984) ou constituer une réserve d'azote utilisée par la plante après la période du stress (Tal et Rosenthal., 1979).

Bezzalla., (2005) rapporte que l'accumulation de la proline résulte de la perturbation du métabolisme des protéines causée par une protéolyse membranaire. Le processus d'accumulation de la proline dans les tissus foliaires est considéré comme un critère d'adaptation aux stress par plusieurs auteurs (N'da., 1984 ; Monneveux et Nemmar., 1986; Moulineau., 1993; Tahri *et al.*, 1998 ; Mekliche *et al.*, 2003; Bezzala., 2005; Hamidou., 2006 ; Hireche., 2006).

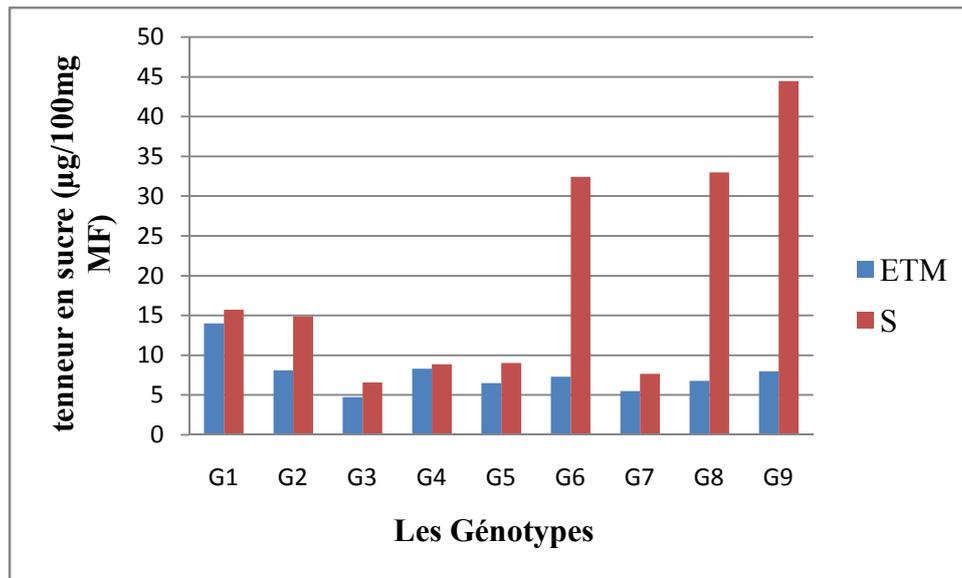
Certains auteurs (Singh *et al.*, 1973) pensent que les quantités accumulées pourraient être liées au niveau de tolérance aux stress.

L'accumulation de la proline a été démontrée chez de nombreuses espèces et dans différentes situations de stress (osmotiques, hydriques, thermiques) (Blum., 1996). Plus le niveau de stress appliqué augmente plus les teneurs en proline deviennent plus marquées (Savouré *et al.*, 1995).

### **3.1. Teneur en sucre**

Sous les conditions de l'essai conduit à l'ETM, et d'après les résultats (Tableau.11- Annexe 03 ), le génotype (G8) présente une grande accumulation de sucre , par contre le génotype (G3 et G7) présente une faible accumulation de sucre par rapport aux autres génotypes étudiées (G2, G3, G4 , G5, G6 et G9 ) qui sont très proches entre eux.

Par ailleurs, on enregistre une accumulation moyenne de sucre chez le génotype G1 avec des valeurs (15.57 $\mu$ g/100mg MF et 8.12 $\mu$ g/100mg MF) par rapport aux génotypes étudiée.



**Figure.19** : Variation de la teneur en sucre chez les 08 génotypes d'*Aegilops* + le témoin et les deux régimes hydriques (sec et irriguée).

Sous conditions non irriguées (sous stress), nous avons noté une accumulation remarquable du sucre chez les différents génotypes testés et le témoin. Le témoin blé (G9) présente accumulation importante des sucres, avec une valeur de (44.7µg/100mg MF). Parmi les 08 génotypes d'*Aegilops*, G3 présente une faible accumulation de sucre (6.57µg/100mg MF), Par contre G6 et G8 présentent une augmentation importante avec des valeurs 32.43µg/100mg MF et 33.0 µg/100mg MF.(Figure.19)

Selon le test **NEWMAN-KEULS** au seuil 5% on peut distinguer deux groupes homogènes :

Le groupe **A** regroupe les génotypes (G3, G4, G5 et G7) de traitement sec et irrigué qui présentent les faibles valeurs 5,650 à 8,575.

Le groupe intermédiaire **AB** présente les valeurs moyennes de la teneur en sucre correspond au génotype (G1, G2, G6 et G8) de traitement sec et irrigué.

Le groupe **B** présente le témoin Blé (G9) qui présente la valeur la plus élevée 26,216 respectivement pour l'essai sec et irrigué.

Les résultats de l'analyse de la variance (Tableau.11-Annexe.05) révèlent des différences hautement significatives pour les 08 génotypes d'*Aegilops* + le témoin étudiée (P= 0.006). En effet, l'interaction (génotypes\* régimes hydrique) sont très hautement significatives ( $p \leq 0,001$ ), et aucune signification pour le traitement.

L'accumulation des sucres solubles est un moyen adopté par les plantes en cas de stress, afin de résister aux contraintes du milieu (Loretti *et al.*, 2001). Les sucres solubles sont des indicateurs des degrés de stress, Les sucres simples (glucose, galactose, saccharose, et fructose) améliorent la résistance aux différents stress (Zerrad *et al.*, 2006).

Les sucres solubles protègent les membranes contre la déshydratation, en condition de déficit hydrique, ils participent en grande partie à l'abaissement du potentiel osmotique chez le blé. Les plantes stressées ont réagi par l'augmentation des quantités de sucres solubles au niveau de leurs cellules (Hireche., 2006).

Cette augmentation est en réalité une confirmation des résultats des chercheurs qui ont affirmé que le déficit hydrique a causé une accumulation importante des sucres solubles au niveau des feuilles (Zerrad *et al.*, 2006).

D'après Bensari *et al.*, (1990) lorsque la contrainte hydrique cesse, la feuille reconstitue les réserves d'amidon et si une nouvelle contrainte hydrique intervient, le temps d'adaptation est plus court.

En effet, Hare et Cress.,(1997) notent que les sucres glucose, fructose et le saccharose représentent des osmoticums beaucoup moins puissants que la proline, ils participent aussi au maintien de la balance de la force osmotique. Par ailleurs, il a été observé que sous stress hydrique, les réserves amylacées sont progressivement utilisées suite à leur conversion rapide en saccharose qui pourra être associé à une inhibition de la synthèse de l'amidon (Geigenberger *et al.*, 1997).

# CONCLUSION

---

## Conclusion

Les aires céréalières en Algérie se situent en majeure partie dans les zones où les variations de nutrition hydriques constituent un facteur limitant à toute tentative d'amélioration de la productivité du blé.

L'étude de la réponse au stress hydrique chez les huit géotypes d'*Aegilops* et le témoin révèle l'existence d'une grande variabilité pour la plupart des paramètres mesurés (morphologiques, physiologiques et biochimiques). L'effet du stress hydrique est bien marqué entre le géotype témoin et les géotypes stressés.

Selon les résultats des paramètres morphologiques, on note une diminution marquée de la hauteur de la plante et de la surface foliaire chez la plupart des géotypes. Cependant une augmentation du poids spécifique foliaire des parties aériennes et racinaires a été constatée.

Les résultats des paramètres physiologiques soulignent des variabilités concernant les paramètres physiologiques entre géotypes et la situation hydrique. Chez la plupart des géotypes une diminution du taux de la chlorophylle totale et de la teneur relative et une augmentation du taux de déperdition en eau ont été soulignées.

L'accumulation des osmotocums lors d'une déclaration d'un déficit hydrique reste un paramètre de résistance à la sécheresse. Les résultats de notre expérimentation montrent que le déficit hydrique s'accompagne d'une nette accumulation des sucres solubles chez tous les géotypes surtout G8 et le témoin G9 (Blé). Cependant une accumulation importante de proline a été constatée chez le G8.

En guise de cette contribution nous pouvons conclure que les huit géotypes d'*Aegilops* étudiés ont montré les mêmes mécanismes et suivies les mêmes stratégies en réponse au stress hydrique mais avec des degrés différents. Le géotype G8 montre une bonne résistance au stress hydrique par rapport aux autres géotypes étudiés.

Les résultats de notre étude contribuent à enrichir les travaux visant à créer des géotypes résistants au stress hydrique et peuvent être ouvrir beaucoup de perspectives pour les sélectionneurs impliqués dans des études qui visent l'amélioration de la performance génétiques du blé contre les contraintes environnementales.

# REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

A -

- Abbassenne F ; Bouzerzour H ; Hachemi L., (1998). Phénologie et production du blé dur (*Triticum durum* Desf) en zone semi-aride. Ann. Agron. INA, 18: 24-36. Mémoire de Magistère. Université de FERHAT ABBAS-SETIF.
  
- Adda A., (2006). Etude des mécanismes d'adaptation à la sécheresse chez le blé dur (*Triticum durum* Desf). Thèse de doctorat, p-179.
  
- Albouchi A ; Bejawi Z ; Hedi el aouni .M ., (2003). Influence d'un stress hydrique modéré ou sévère sur la croissance de jeunes plants de casuarina glauca sieb. Edit .Science et changement planétaire , secheresse .Vol.14,(3),pp 137-142 .
  
- Al hakimi ; Monneveux P ., (1993) in : Genetic Resources Section Meeting of Eucarpia.
  
- Ali Dib T ; Monneveux P ; Araus J., (1992). Agronomie 12 (1992) 381393.
  
- Arus J.L ; Febreroa ; Vendrellp ., (1991). Epidermal conductance in different parts of durum wheat grown under mediterranean condition .The role of epicuticular waxes and stomata plant cell environ .14 :545-558.
  
- Armand D., (2000). L'eau douce, une ressource précieuse, Dossier scientifique, CNRS <http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/doseau/accueil.html>.
  
- Aslam M ; Khan I.A ; Saleem M et Ali Z., (2006). Assessment of water stress tolerance in different maize accessions at germination and early growth stage. Pak. J. Bot., 38(5) : 1571- 1579 p.
  
- Asseng S ; Turner N.C ; Botwright T ; Condon A.G ., (2003). Evaluating the impact of a trait for increased specific leaf area on wheat yields using a crop simulation model. Agron .j. p 95.10-19. Mémoire de Magistère. Université de FERHAT ABBAS-SETIF.
  
- Atti S ; Bonnell R ; Smith D ; Prasher S. ; (2004). Response of an indeterminate soybean (*Glycine max* (L.) Merr) to chronic water deficit development during under reproductive green house conditions. Can. Wat. Res. J., 29(4): 209-222.

- Auss H.; (1977). Biochemistry of regulation. In NORTHCOPE (Ed): International Review of Biochemistry, II, pp. 119-139.

B -

- Bajji M ; Lutts S et Kinet J.M., (1999). Physiological changes after exposure to and recovery from polyethylene glycol-induced water deficit in callus cultures issued from durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars differing in drought resistance. *J. Plant Physiol.* (sous presse).

- Bammoune A., (1997). Contribution à l'étude de quelques caractères morpho-physiologiques, biochimiques et moléculaires chez des variétés de blé dur (*Triticum turgidum* ssp durum) pour l'étude de la tolérance à la sécheresse dans la région des hauts plateaux de l'Ouest Algérien. Thèse de Magister, pp 1-33.

- Bandou H ; Rodríguez-Quijano M ; Carrillo J.M ; Branlard G ; Zaharieva M ; Monneveux P. ; (2009). Morphological and genetic variation in *Aegilops geniculata* from Algeria. *Plant Systematic and Evolution*, 277: p 85-97.

- Barrs H., (1968). Determination of water deficit in plant tissues. In: *Water Deficit and Plant Growth*. Koslowski T. Academy Press. New York. 235-368 p.

- Benlarabi M et Monneveux Ph. ; (1988). Etude comparée du comportement en situation de déficit hydrique de deux variétés algériennes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) adaptées à la sécheresse. *C.R Acad. Agric. France.*, 74 (5), pp. 73-83.

- Benlaribi M ; Monneveux P et Grignac J., (1990). Etude des caractères d'enracinement et de leur rôle dans l'adaptation au déficit hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf). *Agronomie*, 10: 305-322.

- Bensaoud A., (1990). Réponses physiologiques et agronomiques du colza (*Brassica Napus* L) au déficit hydrique : Screening de variétés résistantes à la sécheresse.

- Bensari M ; Calme S.J. et Viala G., (1990). Répartition du carbone fixé par photosynthèse entre l'amidon et le saccharose dans la feuille de soja : influence d'un déficit hydrique : *Plant phisiol. Biochimie.* 28 : 113-124 p.

- Bezzalla A., (2005). Essai d'introduction de l'arganier (*argania spinosa* (L.) Skeels) dans la zone M'doukel et évaluation de quelques paramètres de résistance à la sécheresse. Mémoire de Magistère en Sciences agronomique, Université Al Hadj Lakhadar- Batna, p.143.
- Blum A et Ebercon A., (1976). Genotypic responses in sorghum to drought stress. III. Free proline accumulation and drought resistance. *Crop Science*, 16, pp. 428-431.
- Boggess S.F ; ASPINALL D ; et PALEG L.G., (1976). Stress metabolism. IX. The significance of endproduct inhibition of proline synthesis and of compartmentation in relation to stress-induced proline accumulation. *Aust. J. Plant Physiol.*, 3, pp. 513-525.
- Bonjean A., (2001). Histoire de la culture des céréales et en particulier de celle du blé tendre (*Triticum aestivum* L). In S. Le Perchec P. Guy A. Fraval : Agriculture et biodiversité des plantes. Dossier de l'environnement de l'INRA, n°21, p 29-37.
- Boyer J.S. (1982). Plant productivity and environment. *Sci, New series*. 218: 443 - 448 p.
- Branlard G et Autran J., (1987). L'amélioration génétique de la qualité technologique. *Culture Technique.*, 15 :132-144. Mémoire de magistère. Université Mentouri Constantine.

C -

- Cechin I ; Rossi S.C ; Oliveira V.C et al., (2006). Photosynthetic responses and proline content of mature and young leaves of sunflower plants under water deficit. *Photosynthetica* 44, 1, 143-146.
- Chartzoulakisa K ; Patakasb A ; Kofidisc G ; Bosabalidisc A ; Nastoub A., (2002). Water stress affects leaf anatomy, gas exchange, water relations and growth of two avocado cultivars. *Scientia Horticulturae* 95 : 39–50 p.
- Chen E ; Howley P.M ; Levinson A.D et Seeburg P.H., (1982). The primary structure and genetic organization of the bovine papillomavirus type 1 genome. *Nature* 299: 529-534 p.

- Chen Q ; Jahier J et Cauderon Y., (1992). Production and cytogenetic analysis of BC1, BC2 and BC3 progenies of an intergeneric hybrid between *Triticum aestivum* (L.) Thell. and tetraploid *Agropyron cristatum* (L.) Gaerth. *Theor Appl Genet* 84:p 689-703.
- Clarck et Mac-Caig., (1982). Excised leaf water relation capability as an indicator of drought resistance of *Triticum* genotypes. *Can J. Plant Sci.* 62: 571-576 p.

D -

- Daaloul A ; Bchini H ; Sayar H.,(1992). *J. PGGGR Newsletter*, 129, 25-31p.
- Demiral T et Türkan İ., ( 2004). Comparative lipid peroxidation, antioxidant defense systems and proline content in roots of two rice cultivars differing in salt tolerance. *Environmental and Experimental Botany.* 53 : 247-257.
- Déjardin A ; Sokolov L.N. et Kleczkowski L.A., (1999). Sugar/osmoticum levels modulate differential abscisic acid-independent expression of two stress-responsive sucrose synthesis genes in *Arabidopsis*. *Biochem J.* 344: 503 -509 p.
- Dimov A ; Zaharieva M ; Mihova S., (1993). Rust and powdery mildew resistance in *Aegilops* accessions from Bulgaria. In: Damania AB (Ed) *Biodiversity and Wheat Improvement*, John Wiley and Sons, Chichester, pp 165-169.
- Dörfling K et Askman A., (1989). Relationship between frost tolerance and formation of proline, abscisic acid and specific proteins in cold hardned winter wheat (*Triticum aestivum*) varieties. XII Eucarpia Congress.
- Doussinault G ; Jaudeau B ; Jahier J., (2001). Évolution de la variabilité génétique chez le blé. In: Le Perchec S., Guy P., Fraval A., (ed.) *Agriculture et biodiversité des plantes. Dossiers de l'environnement de l'INRA*, 21 : 91-104 .
- Doussinault G ; Pavoine M.T ; Jaudeau B ; Jahaier J., (2002). Evolution de la variabilité génétique chez le blé. *Dossier de l'environnement de l'INRA*, 21:91-103. Mémoire de magistère. Université Mentouri Constantine.

- Dubois M ; Gilles K.A ; Hamilton P.A ; Ruberg A et Smith F., (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*.28.3:350-356p.

E –

- Eig A., (1929). Monographisch-kritische Übersicht der Gattung Aegilops. *Feddes Repertorium Specierum novarum regni vegetabilis Beih*, 55:1-228 p.

- Ekmekci Y et Terzioglu S., (2005). Effects of oxydative stress induced by paraquat on wild and cultivated wheats. *Pestic. Biochem. Physiol.* 83(2-3):69-81.

- Emberger L et Chadeaud., (1960). *Traité de botanique systématique. Tome 2 fascicules 1 : les végétaux vasculaires.* Ed : Masson Cie..pp: 17,

- EL Bouhmadi K., (1994). Plasticité métabolique et physiologique chez la Féverole (*Vicia febo* L.), implication dans la tolérance aux contraintes hydriques. Thèse de doctorat d'université.

- El Hakimi A ; Monneveux P ; Galibag., (1995).Soluble sugar, prolineand relative water content astraits for improving drought tolerance in *Triticum durum* .*J.Gen .Breed.*, 49 : p 234-244.

F –

-Farooq S et Azam F., (2006). Cell membrane stability technique for screening wheat for salt tolerance. *J. Plant Physiol.*, 163:629-637.

-Farooq S ; Shah T.M ; Asghar M., (1996). Intergeneric hybridization for wheat improvement: V. Production of and metaphase 1 chromosome analysis in F1 hybrids of wheat (*Triticum aestivum*) with *Aegilops ovata* L. *Cereal Research Communications*, 24: 155-161.

G -

Golovnina K ; Glushkov S ; Blinov A ; Mayorov V ; Adkison L ; Goncharov N., (2007). Molecular phylogeny of the genus *Triticum* L. *Plant Systematics and Evolution*, 264: 195-216.

H -

- Hafeez Khan A ; Ashraf M.Y ; Azmi A.R.,( 1993).Osmotic adjustment in wheat .A reponse to water stress .Pak .J. SCI. Ind. Res .36 :151-155.

- Haider N et Nabulsi I., (2008). Identification of *Aegilops* L. species and *Triticum aestivum* L. based on chloroplaste DNA. *Gent Resour Crop Evolu.*, 55: 537-549.

- Hammer K., (1980). Zur Taxonomie und Nomenklatur der Gattung *Aegilops* L. *Feddes Repertorium*, 91: 225-258.

- Hamidou F., (2006). Paramètres physiologiques, biochimiques et pertinents pour agronomiques les programmes d'amélioration de l'adaptation du niébé (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) au déficit hydrique. Thèse, Université de Ouagadougou, Ouagadougou, p.137.

- Hanson A.D ; Nelsen C.E et Everson E.H., (1977). Evaluation of free proline accumulation as an index of drought resistance using two barley cultivars. *Crop Sci* ; 17 : 720-6.

- Hare P.D et Cress W.A., (1997). Dissecting the roles of osmolyte accumulation during stress. *Plant cell and environment*. 21: 535 - 553 p.

- Hervé le stum ., (2017).Le blé. Vol 03 .France agricol. P 38-40.

- Hireche YA., (2006). Réponse de la luzerne (*Medicago sativa* L.) au stress hydrique et à la profondeur de semis. Mémoire de Magister, Université Al Hady Lakhdar-Batna (Algérie), 83 p.

- Hodgkin T ; Adham Y.J ; Powel K.S., (1992). A preliminary survey of wild *Triticum* and *Aegilops* species in the world's genebanks. *Hereditas*, 116: p 155-162.

- Hubac C et Vieira Dasilva J., (1980). Indicateurs métaboliques de contraintes mésologiques. *Physiol. Vég.* , 18, pp. 45-53.

- Hurd E.A., (1974).phenotype and drought tolérance in wheat .Agriculture Meteor.17 : p 59-84.

I -

Ibriz M ; Monneveux P ; Chery J ; Comeau A., (1993). Étude Des Interactions Entre le Déficit Hydrique et la Jaunisse Nanisante chez l'Orge. Ed. AAUPELFUREF. John Libbey Eurotext : Paris ; 185-206.

ICARDA, International Center for Agricultural Research in the Dry Areas., (1989-1990). Collaboration : Institut techniques des grandes cultures(ITGC ), Algeria and ICARDA.  
<http://apps.icarda.org>

J –

-Johanson D.A ; Richards R.A et Turner N.C., (1993). Yield water gas exchange and surface reflectance on near-isogenic wheat lines differing in glucosinase crops, 23 :318-325.

- Jones H.G ; Flowers T.J. et Jones M.B., (1989). Plants Under Stress. Univ. Cambridge.

- Jones M.M ; Osmond H ; Turner N.C., (1980). Accumulation of solutes in leaves of sorghum and sunflower in response to water deficits. Edit.Australian Journal of Plant Physiology.Vol.7,p 193-205.

- Jones Patrick et al ., (2003).Biologie des plantes cultivées : physiologie du développement génétique et amélioration. noireau (France).63 :143-145 p.

K -

- Kan Y ; Wan Y ; Beaudoin F ;Leader D.J ; Ewerts K ; Poole R ; Wang D ; Mitchell R.A.C ; Shewry P.R., (2006). Transcriptome analysis reveals differentially expressed storage protein transcript in seeds of Aegilops and wheat. Journal of Cereal.

- Khaldoun A ; Chery J ; Monneveux P., (1990). Agronomie 10 : p 36-93-79.

Science., 44: 75-85 p.

-Khalifaoui J.L.B., (1985). Conduite de l'amélioration génétique de l'adaptation à la sécheresse en fonction de mécanismes physiologiques oléagineux, vol.40, p 329-334.

- Khedr A.H.A ; Abbas M.A ; Wahid A. et al., ( 2003). Proline induces the expression of salt-stress responsive proteins and may improve the adaptation of *Panocratium maritimum* L. to salt-stress. *Journal of Experimental Botany*, 54, 55-62 p.
- Kiani P., (2007). Analyse génétique des réponses physiologiques du tournesol (*Helianthus annuus* L.) soumis à la sécheresse. Thèse Doctorat de l'Institut National Polytechnique de Toulouse.
- Kilian B ;Mammen K ; Millet E ; Sharma R ;Graner A ; Salamini F ; Hammer K ; Özkan H., (2011). *Aegilops*. In: Kole C. (ed.) *Wild Crop Relatives: Genomic and Breeding Resources, Cereals*, Springer, New York, pp. 1-76.
- Kimber G et Feldmen., (1987). Wild wheat, an introduction. (Special Report of the College of Agriculture, University of Missouri, Columbia 353,. pp:1-142.
- Kimber G ; Sears E.R., (1987). Evolution in the genus *Triticum* and the origin of cultivated wheat. In: Heyne E.G. (ed.) *Wheat and wheat improvement*, 2nd ed. American Society of Agronomy, Madison, WI, USA, pp. 154-164 P.J.
- Klug W ; Cummings M ; Spencer C., (2006). Génétique. 8 édition. Pearson Education, Inc./Prentice Hall. Paris, pp. 704. , Université des Frères MENTOURI Constantine.
- Kramer J., (1983). Academic Press, New York, USA : 120-186 p.
- Kramer J., (1983). Drought stress and origin of adaptations. In *adaptation of post plants to water* (Turner N.C.and Kramer P.J.J willey, New york : 7-29 p.
- L -
- Lamaze T ;Tousch D ; Sarda X ; Grignon C ; Depigny-This D ; Monneveux P et Belhassen E., ( 1994). Résistance de plantes a la sécheresse: mécanismes physiologiques. *Le sélectionneur Français*, 45: 75-85.
- Larcher W., (1995). Plant under stress. In, *Physiological Plant Ecology*. 3 éme ed. Springer: 321- 448

- Lebon e., (2006). Effet du déficit hydrique de la vigne sur le fonctionnement du couvert, l'élaboration du rendement et la qualité. INRA sup agro, umr, laboratoire d'écophysiologie des plantes sous stress environnementaux, 4 p.
- Leport L., (1992). Accumulation de proline associées aux contraintes environnementales et à la floraison chez le colza (*Brassica Napus* L). Thèse de doctorat.
- Levigneron A ; Lopez F ; Vansuyt G ; Berthomieu P ; Casse Delbart F., (2005). Les plantes face au stress salin .Cah. Agr., 4 : 263-73.
- Levitt J., (1980). Responses of plants to environmental stresses. Academic Presse, New York.
- Lorette E ; De Bellis L ; Alpi A et Perata P., (2001). Why and how do plant cells sense sugars? Ann Bot 88 : 803 - 812 p.
  
- M -
- Madhava Rao K.V ; Raghavendra A.S et Janardhan Reddy K., (2006). Printed in the Netherlands. Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants. Springer: 1-14 p.
- Ma QQ ; Wang W ; Li Y.H. et al., ( 2006). Alleviation of photoinhibition in drought-stressed wheat (*Triticum aestivum*) by foliar-applied glycinebetaine. Journal Plant Physiology, 163, 165-75.
  
- Masle J., (1980).L'élaboration du nombre d'épis chez le blé d'hiver. Influence des différentes caractéristiques de la structure du peuplement sur l'utilisation de l'azote et la lumière. Thèse Docteur Ingénieur.INA.PG(France) 201 P.
- Martin M.A ; Brown J.H and Ferguson H., (1989). Leaf water potential, relative watercontent, and diffusive resistance as screening techniques for drought resistance in barley.Agron. J. 81: 100-105.

- Matthews LR., (1986). The effect of water stress on the leaf area of cucumis melo. A thesis Submitted to the Graduate Faculty of Texas Tech University in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science, 70 p.
- Maxted N ; White K ; Konopka J ; Hargreaves S., (2008). Towards a conservation strategy for *Aegilops* species. Plant Genetic Resources, 6: 126-141. Valkoun J,
- Mekliche A ; Boukecha D ; Hanifi-Mekliche L., (2003). Etude de la tolérance à la sécheresse de quelques variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf) : Effet de l'irrigation
- Mezianil ; Bammouna ; Aamou M et Brinis L., (1992). Essai de définition des caractères d'adaptation du blé dur dans différents zones agronomique de l'Algérie .In tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranées .Diversité génétique et amélioration variétale .Montpellier (France) INRA (les colloque N°64) ,191-203.
- Monneveux P., (1991). Quelles stratégies pour l'amélioration génétique de la tolérance au déficit hydrique des céréales d'hiver. In : l'amélioration des plantes pour l'adaptation au milieu arides. (Éd). Aupelf-Uref. J. Eurotxt.L. Paris: 165 -186 p.
- Monneveux P et Nemmar M., (1986). Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L) et chez le blé dur (*Triticum durum* Deff): Etude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de développement. Agronomie, 6 (6), pp 583-590.
- Monneveux P ; Zaharieva M et Rekika D., (2000). The utilisation of *Triticum* and *Aegilops* species fort the improvement of durum wheat. CIHEAM-options mediterraneennes, pp 72-81.
- Morizet J ; Robelin M ; Baucher G., (1984). Résultats de 18 années d'observations lysimétriques sous climat limagnais. II. Étude des relations entre l'eau et la production végétale. Agronomie, 4: 407-416.
- Morris L.C ; Thompson J.F et Johnson C.M., (1969). Metabolism of glutamic and N-acetyl glutamic acid in leaf discs and cell-free extracts of higher plants. Plant Physiol., 44, pp. 1023-1026.
- Moulineau C., (1993). Variations sous contrainte hydrique de la teneur en acides aminés libres foliaires du mil. 233-44.

- Muller J.E ; Whitsiti M.S ., (1996). Plant cellular responses to water deficit. Plant growth regulation 20 :124-129.

N –

- N'da Kar., (1984). Réponse physiologique du riz (*Oryza sativa* L.) au déficit hydrique : étude comparée de deux types culturaux (variété pluviale, variété aquatique) au déficit hydrique. Thèse de doctorat d'ingénieur, Sci. agron., Université de Montpellier, p.148.

- Nouri L., (2002). Ajustement osmotique et maintien de l'activité photosynthétique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf ) en condition de déficit hydrique. Thèse de Magistère en Biologie végétale Univ Mentouri. Constantine. 77 p.

- Nouri L ; Ykhlef N et Djekoun A., (2002). Ajustement osmotique et comportement hydrique chez certaines variétés de blé dur : relation avec la tolérance à la sécheresse. Actes de séminaire IIIème journées Scientifiques sur le blé'.(éd). Univ. Mentouri. Constantine.

P -

-Pesci P et Beffagna N., (1984). Inhibiting effect of fusicoccin on abscisic acid-induced proline accumulation in barley leaf segments. Plant Science Letters, 36, 7-12.

- Pesci P et Beffagna A., (1984). Inhibiting effect of fusicoccin on abscisic acid induced proline accumulation in barley leaves. Plant Sci. Letters, 37, pp. 7-12.

Q –

-Quezel P et Santa S., (1962). Nouvelle Flore de l'Algérie des régions désertiques méridionales. CNRS. Tome II. Pp: 1027-1028.

R –

-Ramanjulu S., Bartels D., (2002). Drought and dessication-induced modulation of gene expression in plants. Plant Cell and Environment 25, 141-151.

-Raskina O ;Belyayev A et Nevo E., (2004). Quantum speciation in *Aegilops*: molecular cytogenetic evidence from DNA cluster variability in natural populations. PNAS.,101: 14818-14823.thèse de doctorat, Université des Frères MENTOURI Constantine.

- Raven P ; Johnson G.B ; Mason K ; Losos J ; Singer S.R., (2011). Biologie. 2e édition. De Boeck, Paris, pp. 1277. Thèse de doctorat, Université des Frères MENTOURI Constantine.

- Rayapati, P.J et Stewart C.R., (1991). Solubilization of proline dehydrogenase from maize (*Zea mays* L.) mitochondria. Plant Physiol., 95, pp. 787-791.

S –

-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 p.

- Scofield T ; Evans J ; Cook M.G et Wardlow I.F., (1988). Factors influencing the rate and duration of grain filling in wheat .Aust J. Plant pysiol.4 :785-797 p.

- Shewry P.R M ; J.Miles et A.S Thatam., (1994). The prolamin storage proteins of wheat and related cereals. Prog. Biophys.Mol.Biol., 61: p 37-59. Mémoire de magistère. Université Mentouri Constantine.

- Siddique K. H. M ; Kirby E. J. M et Perry M. W., (1989). Ear stem ratio in old and modern wheat varieties: Relationship with improvement in number of grains per ear and yield. Field Crops Research. 21: 59-78.

- Singh N et K.W.Shepherd., (1988). Linkage mapping of genes controlling endosperm storage protein in wheat. 1. Genes on the short arms of group 1 chromosomes. Theor. Appl. Genet., 75 (4): 628-641.

- Singh T.N ; Paleg L.G et Aspinall D., (1973). Nitrogen metabolism and growth in barley plant during water stress. Australian Journal of Biological Sciences, 26, 45-56.

- Slama A ; Salem M ; Ben Naceur M ; Zid E., (2005). Les céréales en Tunisie: production, effet de la sécheresse et mécanisme de résistance. Edit. Sécheresse, Vol. 16, pp 225-229.

- Spagnoletti-Zeuli P.L et Qualset C.O., (1990). Flag leaf variation and the analysis of diversity in durum wheat. *Plant Breed*, 105 :189-202
- Stewart C.R et Lee J.A., (1974). The role of proline accumulation in halophytes. *Planta*, 120, 273-289.
- Stewart C.R ; Boggess F ; Aspinall D et Paleg I.G (1977). Inhibition of proline oxidation by water stress. *Plant Physiol.*, 59, pp. 930-932.
- T-
- Tahri EH ; Belabed A ; Sadki K., (1998). Effet d'un stress osmotique sur l'accumulation de proline, de chlorophylle et des ARNm codant pour la glutamine synthétase chez trois variétés de blé dur (*Triticum durum*). *Bull. Inst. Sci.* 21: 81-87.
- Tal M et Rosenthal I., (1979). Salt tolerance in *Simmondsia chenensis* water balance and accumulation of chloride sodium and proline under low and high salinity. *Annals of Botany*, 34, 701-708.
- Tanner C.B et Sinclair T.R., (1983). Efficient water use in crop production: In Taylor, H.M, Jordan, W.R, Sinclair, T.R. (Eds). *Limitations to efficient water Use in Crop Production*. American Society of Agronomy Madison WI. : 29-43.
- Tazi., (2003). Effet du polyéthylène glycol sur la germination de la croissance in vitro de l'arganier. *Séchresse*. Vol.14. p 23-7.
- Tester M et Bacic A., (2005). Abiotic stress tolerance in grasses. From model plants to crop plants. *Plant Physiol.*, 137: 791-793 p.
- ThameurA ; Lachiheb B ; Ferchichi A., ( 2012). Drought effect on growth, gas exchange and yield, in two strains of local barley Ardhaoui, under water deficit conditions in southern Tunisia. *Science direct. Journal of Environmental Management* 113. 495 -500.
- Tsimilli-Michael M.M ; Pêcheux R.J ; Strasser., (1998). Vitality and stress adaptation of the symbionts of coral reef and temperate foraminifers probed in hospite by the fluorescence kinetics O-J-I-P. *Archs. Sci. Genève*.51: p 205 – 240.
- Turner N., (1986). Adaptation to water deficit: a changing perspective. *Aust J Plant Physiol.*, 13: 175-190.

- Turner NC., (1979). Drought resistance and adaptation to water déficits in crop plants. In stress physiology in corp plants. (MUSSEL H. STAPLES R.C. eds.) New York Wiley pp.343-372.

V-

-Van Slageren MW., (1994). Wild wheat: A monograph of *Aegilops* L. And *Amblyopurum* (Jaub et Spach) Eig.(poaceae). Wageningen Agricultural University, International Center for Agricultural Research in the Dry Areas: Veenman Drukkers, Wageningen, 512pp.

- Veselovsky H., (1985). Sunflower growing. J. Selyskoe Hozayaystvo I les ovodstvo. T.O. XLVIII (In Russian).

- Villegas D ; Aparicio N ; Blanco R et Royo C., (2001). Biomass accumulation and Main Stem Elongation of Durum Wheat Grown under Mediterranean Conditions. *Annals of Botany*.

W –

-Wang K ; Gao L ; Wang S ; Zhang Y ; Li X ; Zhang M ; Xie Z ; Yan Y ; Belgard M et Ma W., (2011). Phylogenetic relationship of a new class of LMW-GS genes in the M genome of *Aegilops comosa*. *Theoretical and Applied Genetics*. 122: 1411-1425.

Y-

- Ykhlef N et Djekoun A., (2000). Adaptation photosynthétique et résistance à la sécheresse chez le blé dur (*Triticum turgidum* L. var. durum) : Analyse de la variabilité génotypique. *Option Méditerranéennes. Série A*. 40 : 327 -330 p.

-Yokota A ; Takahara K et Akashi K., (2006). *Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants*. Springer: 15-39.

Z -

- Zadri F., (2009) : Obtention d'hybrides F1 issus du croisement *Aegilops* X Blé dur (*Triticum durum* Desf) Amélioration à la tolérance à la sécheresse. Thèse de magistère. Université Constantine. p 23-24.
- Zerrad W ; Hillali S ; Mataoui B ; El Antri S et Hmyene A. ( 2006). Etude comparative des mécanismes biochimiques et moléculaires de résistance au stress hydrique de deux variétés de blé dur. Biochimie, Substances naturelles et environnement. Congrès international de biochimie. Agadir.
- Zerrad W ; Maataoui B ; Hilali S ; El Antri S et Hmyene A., (2008). Etude comparative des mécanismes biochimiques de résistance au stress hydrique de deux variétés de blé dur. Lebanese Science Journal, Vol.9 (2): 27-3.

# ANNEXE

*Annexe.01*

Liste des matériels utilisés :



Balance



Agitateur



Vortex



Bain Marie



Spectrophotomètre



Chlorophylle mètre SPAD 502

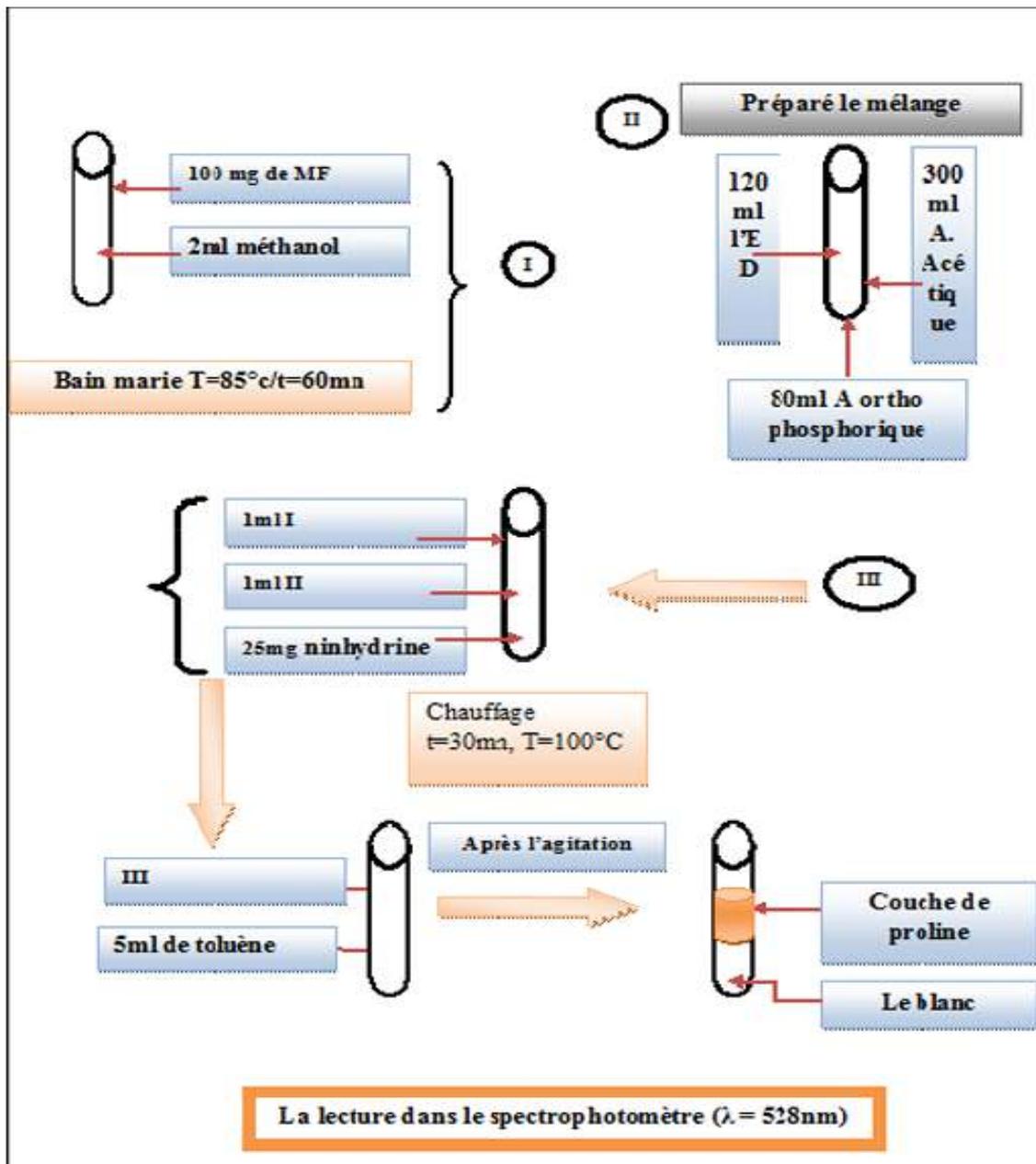


Figure 01 : les étapes de dosage de la proline.

## Annexe. 03

**Tableau 01** : Résultats Moyens de la hauteur de plante chez les 08 génotypes d'*Aegilops* +le témoin.

|    | GENOTYPE | TRAIT | MOYENNE  |
|----|----------|-------|----------|
| 1  | G1       | T     | 27,57500 |
| 2  | G1       | S     | 17,60000 |
| 3  | G2       | T     | 30,67500 |
| 4  | G2       | S     | 21,70000 |
| 5  | G3       | T     | 31,67500 |
| 6  | G3       | S     | 21,62500 |
| 7  | G4       | T     | 25,82500 |
| 8  | G4       | S     | 24,45000 |
| 9  | G5       | T     | 31,90000 |
| 10 | G5       | S     | 21,00000 |
| 11 | G6       | T     | 36,10000 |
| 12 | G6       | S     | 24,60000 |
| 13 | G7       | T     | 39,87500 |
| 14 | G7       | S     | 32,85000 |
| 15 | G8       | T     | 41,60000 |
| 16 | G8       | S     | 27,20000 |
| 17 | G9       | T     | 46,47500 |
| 18 | G9       | S     | 29,35000 |

**Tableau 02** : Résultats Moyens de la surface foliaire chez les 08 génotypes d'*Aegilops*+ le témoin.

|    | GENOTYPE | TRAIT | MOYENNE  |
|----|----------|-------|----------|
| 1  | G1       | T     | 4,76500  |
| 2  | G1       | S     | 3,14000  |
| 3  | G2       | T     | 5,75750  |
| 4  | G2       | S     | 2,29750  |
| 5  | G3       | T     | 5,45250  |
| 6  | G3       | S     | 3,80000  |
| 7  | G4       | T     | 4,61500  |
| 8  | G4       | S     | 4,91000  |
| 9  | G5       | T     | 4,35500  |
| 10 | G5       | S     | 3,48500  |
| 11 | G6       | T     | 6,74750  |
| 12 | G6       | S     | 4,31000  |
| 13 | G7       | T     | 4,76500  |
| 14 | G7       | S     | 2,59250  |
| 15 | G8       | T     | 4,32000  |
| 16 | G8       | S     | 4,01500  |
| 17 | G9       | T     | 16,01500 |
| 18 | G9       | S     | 7,44000  |

**Tableau 03** : Résultats Moyens du poids spécifique foliaire chez les 08 géotypes d'*Aegilops* +le témoin.

|    | GENOTYPE | TRAIT | MOYENNE  |
|----|----------|-------|----------|
| 1  | G1       | T     | 0,021500 |
| 2  | G1       | S     | 0,022750 |
| 3  | G2       | T     | 0,017750 |
| 4  | G2       | S     | 0,016500 |
| 5  | G3       | T     | 0,020250 |
| 6  | G3       | S     | 0,023750 |
| 7  | G4       | T     | 0,019500 |
| 8  | G4       | S     | 0,020250 |
| 9  | G5       | T     | 0,017250 |
| 10 | G5       | S     | 0,021000 |
| 11 | G6       | T     | 0,021750 |
| 12 | G6       | S     | 0,020000 |
| 13 | G7       | T     | 0,022500 |
| 14 | G7       | S     | 0,016500 |
| 15 | G8       | T     | 0,026500 |
| 16 | G8       | S     | 0,020750 |
| 17 | G9       | T     | 0,018750 |
| 18 | G9       | S     | 0,019750 |

**Tableau 04** : Résultats Moyens de biomasse aérienne des 08 géotypes d'*Aegilops* +le témoin.

|    | GENOTYPE | TRAIT | MOYENNE  |
|----|----------|-------|----------|
| 1  | G1       | T     | 0,099000 |
| 2  | G1       | S     | 0,061000 |
| 3  | G2       | T     | 0,143750 |
| 4  | G2       | S     | 0,094250 |
| 5  | G3       | T     | 0,092500 |
| 6  | G3       | S     | 0,067000 |
| 7  | G4       | T     | 0,177000 |
| 8  | G4       | S     | 0,101500 |
| 9  | G5       | T     | 0,110250 |
| 10 | G5       | S     | 0,066000 |
| 11 | G6       | T     | 0,100250 |
| 12 | G6       | S     | 0,072500 |
| 13 | G7       | T     | 0,068050 |
| 14 | G7       | S     | 0,065250 |
| 15 | G8       | T     | 0,086750 |
| 16 | G8       | S     | 0,057000 |
| 17 | G9       | T     | 0,285500 |
| 18 | G9       | S     | 0,173500 |

**Tableau 05** : Résultats Moyens de biomasse racinaire chez les 08 géotypes d'*Aegilops* +le témoin.

|    | GENOTYPE | TRAIT | MOYENNE  |
|----|----------|-------|----------|
| 1  | G1       | T     | 0,009750 |
| 2  | G1       | S     | 0,004750 |
| 3  | G2       | T     | 0,014000 |
| 4  | G2       | S     | 0,007750 |
| 5  | G3       | T     | 0,011500 |
| 6  | G3       | S     | 0,007500 |
| 7  | G4       | T     | 0,048250 |
| 8  | G4       | S     | 0,025750 |
| 9  | G5       | T     | 0,010500 |
| 10 | G5       | S     | 0,005500 |
| 11 | G6       | T     | 0,018750 |
| 12 | G6       | S     | 0,009500 |
| 13 | G7       | T     | 0,009750 |
| 14 | G7       | S     | 0,006750 |
| 15 | G8       | T     | 0,008250 |
| 16 | G8       | S     | 0,005000 |
| 17 | G9       | T     | 0,032000 |
| 18 | G9       | S     | 0,022500 |

**Tableau 06** : Résultats Moyens de BMR/BMA des 08 géotypes d'*Aegilops* +le témoin.

|    | GENOTYPE | TRAIT | MOYENNE  |
|----|----------|-------|----------|
| 1  | G1       | T     | 0,106450 |
| 2  | G1       | S     | 0,075800 |
| 3  | G2       | T     | 0,091075 |
| 4  | G2       | S     | 0,206125 |
| 5  | G3       | T     | 0,111500 |
| 6  | G3       | S     | 0,172600 |
| 7  | G4       | T     | 0,288100 |
| 8  | G4       | S     | 0,252825 |
| 9  | G5       | T     | 0,181525 |
| 10 | G5       | S     | 0,205575 |
| 11 | G6       | T     | 0,208725 |
| 12 | G6       | S     | 0,121550 |
| 13 | G7       | T     | 0,347500 |
| 14 | G7       | S     | 0,102575 |
| 15 | G8       | T     | 0,099150 |
| 16 | G8       | S     | 0,092550 |
| 17 | G9       | T     | 0,114050 |
| 18 | G9       | S     | 0,134825 |

**Tableau07** : Résultats Moyens de teneur relative en eau chez les 08 géotypes d'*Aegilops* +le témoin.

|    | GENOTYPE | TRAIT | MOYENNE  |
|----|----------|-------|----------|
| 1  | G1       | T     | 93,04425 |
| 2  | G1       | S     | 82,17767 |
| 3  | G2       | T     | 82,20900 |
| 4  | G2       | S     | 72,92278 |
| 5  | G3       | T     | 92,58767 |
| 6  | G3       | S     | 73,59148 |
| 7  | G4       | T     | 88,19650 |
| 8  | G4       | S     | 60,99025 |
| 9  | G5       | T     | 92,32670 |
| 10 | G5       | S     | 66,01718 |
| 11 | G6       | T     | 92,37387 |
| 12 | G6       | S     | 81,21793 |
| 13 | G7       | T     | 93,90223 |
| 14 | G7       | S     | 76,44183 |
| 15 | G8       | T     | 93,90223 |
| 16 | G8       | S     | 76,44177 |
| 17 | G9       | T     | 98,10460 |
| 18 | G9       | S     | 64,26615 |

**Tableau 08** : Résultats Moyens de taux déperdition en eau chez 08 géotypes d'*Aegilops*+le le témoin.

|    | GENOTYPE | TRAIT | MOYENNE |
|----|----------|-------|---------|
| 1  | G1       | T     | -0.575  |
| 2  | G1       | S     | -3,500  |
| 3  | G2       | T     | -2.15   |
| 4  | G2       | S     | -6.525  |
| 5  | G3       | T     | -1.200  |
| 6  | G3       | S     | -1.825  |
| 7  | G4       | T     | -1.800  |
| 8  | G4       | S     | -2.175  |
| 9  | G5       | T     | -0.900  |
| 10 | G5       | S     | -7.675  |
| 11 | G6       | T     | -1.175  |
| 12 | G6       | S     | -5.950  |
| 13 | G7       | T     | -2.400  |
| 14 | G7       | S     | -7.250  |
| 15 | G8       | T     | -2.275  |
| 16 | G8       | S     | -3.400  |
| 17 | G9       | T     | -0.525  |
| 18 | G9       | S     | -1.885  |

**Tableau09:** Résultats Moyens de taux de chlorophylle totale des 08 géotypes d'*Aegilops* +le témoin

|    | GENOTYPE | TRAIT | MOYENNE  |
|----|----------|-------|----------|
| 1  | G1       | T     | 31,67500 |
| 2  | G1       | S     | 28,55000 |
| 3  | G2       | T     | 32,50000 |
| 4  | G2       | S     | 18,37500 |
| 5  | G3       | T     | 32,02500 |
| 6  | G3       | S     | 21,00000 |
| 7  | G4       | T     | 21,47500 |
| 8  | G4       | S     | 12,67750 |
| 9  | G5       | T     | 27,20000 |
| 10 | G5       | S     | 21,37500 |
| 11 | G6       | T     | 31,40000 |
| 12 | G6       | S     | 24,55000 |
| 13 | G7       | T     | 24,52500 |
| 14 | G7       | S     | 21,40000 |
| 15 | G8       | T     | 33,50000 |
| 16 | G8       | S     | 23,65000 |
| 17 | G9       | T     | 43,32500 |
| 18 | G9       | S     | 32,07500 |

**Tableau10:** Résultats Moyens de la teneur du proline des 08 géotypes d'*Aegilops* +le témoin

|    | GENOTYPE | TRAIT | MOYENNE |
|----|----------|-------|---------|
| 1  | G1       | T     | 96,67   |
| 2  | G1       | S     | 143,33  |
| 3  | G2       | T     | 136,67  |
| 4  | G2       | S     | 196,67  |
| 5  | G3       | T     | 83,33   |
| 6  | G3       | S     | 106,67  |
| 7  | G4       | T     | 111,67  |
| 8  | G4       | S     | 218,33  |
| 9  | G5       | T     | 123,33  |
| 10 | G5       | S     | 130,00  |
| 11 | G6       | T     | 136,67  |
| 12 | G6       | S     | 263,33  |
| 13 | G7       | T     | 123,33  |
| 14 | G7       | S     | 163,33  |
| 15 | G8       | T     | 113,33  |
| 16 | G8       | S     | 270     |
| 17 | G9       | T     | 111,67  |
| 18 | G9       | S     | 248,33  |

**Tableau11:** Résultats Moyens des sucres solubles des 08 géotypes d'*Aegilops* +le témoin

|    | GENOTYPE | TRAIT | MOYENNE |
|----|----------|-------|---------|
| 1  | G1       | T     | 14,00   |
| 2  | G1       | S     | 15,57   |
| 3  | G2       | T     | 8,12    |
| 4  | G2       | S     | 14,87   |
| 5  | G3       | T     | 4,73    |
| 6  | G3       | S     | 6,57    |
| 7  | G4       | T     | 8,30    |
| 8  | G4       | S     | 8,85    |
| 9  | G5       | T     | 6,51    |
| 10 | G5       | S     | 9,03    |
| 11 | G6       | T     | 7,31    |
| 12 | G6       | S     | 32,43   |
| 13 | G7       | T     | 5,50    |
| 14 | G7       | S     | 7,67    |
| 15 | G8       | T     | 6,77    |
| 16 | G8       | S     | 33,0    |
| 17 | G9       | T     | 7,97    |
| 18 | G9       | S     | 44,47   |

## Annexe.04

**Tableau 01** : Les groupes homogènes de la hauteur de la plante

| Les génotypes | Moyen    | A  | B  | C |
|---------------|----------|----|----|---|
| G1            | 22,58750 | A  |    |   |
| G4            | 25,13750 | AB | AB |   |
| G2            | 26,18750 | AB | AB |   |
| G5            | 26,45000 | AB | AB |   |
| G3            | 26,65000 | AB | AB |   |
| G6            | 30,35000 |    | B  |   |
| G8            | 34,40000 |    |    | C |
| G7            | 36,36250 |    |    | C |
| G9            | 37,91250 |    |    | C |

**Tableau 02**: Les groupes homogènes de la surface foliaire chez les 08 génotypes d'*Aegilops* + le témoin

| Les génotypes | Moyen    | A  | B  | C |
|---------------|----------|----|----|---|
| G7            | 3,67875  | A  |    |   |
| G5            | 3,92000  | AB | AB |   |
| G1            | 3,95250  | AB | AB |   |
| G2            | 4,02750  | AB | AB |   |
| G8            | 4,16750  | AB | AB |   |
| G3            | 4,62625  | AB | AB |   |
| G4            | 4,76250  | AB | AB |   |
| G6            | 5,52875  |    | B  |   |
| G9            | 11,72750 |    |    | C |

**Tableau 03**: Les groupes homogènes du poids spécifique foliaire chez les 08 génotypes d'*Aegilops* + le témoin

| Les génotypes | Moyen    | A  | B  |
|---------------|----------|----|----|
| G2            | 0,017125 | A  |    |
| G5            | 0,019125 | AB | AB |
| G9            | 0,019250 | AB | AB |
| G7            | 0,019500 | AB | AB |
| G4            | 0,019875 | AB | AB |
| G6            | 0,020875 | AB | AB |
| G3            | 0,022000 | AB | AB |
| G1            | 0,022125 | AB | AB |
| G8            | 0,023625 |    | B  |

**Tableau 04:** Les groupes homogènes de biomasse aérienne chez les 08 génotypes d'*Aegilops* + le témoin

| Les génotypes | Moyen    | A  | B  | C |
|---------------|----------|----|----|---|
| G7            | 0,066650 | A  |    |   |
| G8            | 0,071875 | A  |    |   |
| G3            | 0,079750 | A  |    |   |
| G1            | 0,080000 | A  |    |   |
| G6            | 0,086375 | A  |    |   |
| G5            | 0,088125 | A  |    |   |
| G2            | 0,119000 | AB | AB |   |
| G4            | 0,139250 |    | AB |   |
| G9            | 0,229500 |    |    | C |

**Tableau 05:** Les groupes homogènes de biomasse racinaire chez les 08 génotypes d'*Aegilops* + le témoin

| Les génotypes | Moyen    | A | B | C |
|---------------|----------|---|---|---|
| G8            | 0,006625 | A |   |   |
| G1            | 0,007250 | A |   |   |
| G5            | 0,008000 | A |   |   |
| G7            | 0,008250 | A |   |   |
| G3            | 0,009500 | A |   |   |
| G2            | 0,010875 | A |   |   |
| G6            | 0,014125 | A |   |   |
| G9            | 0,027250 |   | B |   |
| G4            | 0,037000 |   |   | C |

**Tableau 06:** Les groupes homogènes de BMR/BMA chez les 08 génotypes d'*Aegilops* + le témoin

| Les génotypes | Moyen    | A |
|---------------|----------|---|
| G1            | 0,091125 | A |
| G8            | 0,095850 | A |
| G9            | 0,124438 | A |
| G3            | 0,142050 | A |
| G2            | 0,148600 | A |
| G6            | 0,165138 | A |
| G5            | 0,193550 | A |
| G7            | 0,225038 | A |
| G4            | 0,270463 | A |

**Tableau 07:** Les groupes homogènes de teneur relative en eau (TRE) chez les 08 génotypes d'*Aegilops* + le témoin

| Les génotypes | Moyen    | A |
|---------------|----------|---|
| G4            | 74,59338 | A |
| G2            | 77,56589 | A |
| G5            | 79,17194 | A |
| G9            | 81,18538 | A |
| G3            | 83,08958 | A |
| G8            | 85,17200 | A |
| G7            | 86,21985 | A |
| G6            | 86,79590 | A |
| G1            | 87,61096 | A |

**Tableau 08:** Les groupes homogènes de taux déperdition en eau(TDE) chez les 08 génotypes d'*Aegilops* + le témoin

| Les génotypes | Moyen  | A |
|---------------|--------|---|
| G7            | -4,825 | A |
| G2            | -4,338 | A |
| G5            | -4,288 | A |
| G6            | -3,563 | A |
| G8            | -2,838 | A |
| G1            | -2,038 | A |
| G4            | -1,988 | A |
| G3            | -1,513 | A |
| G9            | -1,188 | A |

**Tableau 09:** Les groupes homogènes de taux de chlorophylle totale (TCT) chez les 08 génotypes d'*Aegilops* + le témoin.

| Les génotypes | Moyen    | A  | B  | C |
|---------------|----------|----|----|---|
| G4            | 17,07625 |    | B  |   |
| G7            | 22,96250 | AB | AB |   |
| G5            | 24,28750 | AB | AB |   |
| G2            | 25,43750 | A  |    |   |
| G3            | 26,51250 | A  |    |   |
| G6            | 27,97500 | A  |    |   |
| G8            | 28,57500 | A  |    |   |
| G1            | 30,11250 | A  |    |   |
| G9            | 37,70000 |    |    | C |

**Tableau10** : Les groupes homogènes de proline chez les 08 géotypes d'*Aegilops* + le témoin.

| Les géotypes | Moyen    | A |
|--------------|----------|---|
| G3           | 95,0000  | A |
| G1           | 120,0000 | A |
| G5           | 126,6667 | A |
| G7           | 135,8333 | A |
| G2           | 166,6667 | A |
| G9           | 180,0000 | A |
| G4           | 191,6667 | A |
| G8           | 193,3333 | A |
| G6           | 200,0000 | A |

**Tableau11** : Les groupes homogènes des sucres solubles chez les 08 géotypes d'*Aegilops* + le témoin.

| Les géotypes | Moyen    | A  | B  |
|--------------|----------|----|----|
| G3           | 5,65000  | A  |    |
| G7           | 6,58500  | A  |    |
| G5           | 7,77000  | A  |    |
| G4           | 8,57500  | A  |    |
| G2           | 11,49500 | AB | AB |
| G1           | 14,78333 | AB | AB |
| G6           | 19,87000 | AB | AB |
| G8           | 19,88667 | AB | AB |
| G9           | 26,21667 |    | B  |

## Annexe.05

**Tableau 01** : Analyse de la variance de la hauteur de plante chez les 08 géotypes d'*Aegilops*+le témoin.

| Effet         | SS       | ddl | MS       | F        | P        |
|---------------|----------|-----|----------|----------|----------|
| intercept     | 0,014763 | 1   | 0,014763 | 436,8931 | 0,000000 |
| géotype       | 0,007222 | 8   | 0,000903 | 26,7134  | 0,000000 |
| tait          | 0,001020 | 1   | 0,001020 | 30,1854  | 0,000001 |
| Géotype*trait | 0,000593 | 8   | 0,000074 | 2,1949   | 0,042154 |

**Tableau 02** : Analyse de la variance de la surface foliaire chez les 08 géotypes d'*Aegilops*+le témoin.

| Effet         | SS       | ddl | MS       | F        | P        |
|---------------|----------|-----|----------|----------|----------|
| intercept     | 1913,021 | 1   | 1913,021 | 1714,857 | 0,000000 |
| géotype       | 409,344  | 8   | 51,168   | 45,868   | 0,000000 |
| tait          | 96,165   | 1   | 96,165   | 86,204   | 0,000000 |
| Géotype*trait | 108,778  | 8   | 13,597   | 12,189   | 0,000000 |

**Tableau 03** : Analyse de la variance du poids spécifique foliaire chez les 08 géotypes d'*Aegilops*+le témoin

| Effet         | SS       | ddl | MS       | F        |
|---------------|----------|-----|----------|----------|
| intercept     | 0,029931 | 1   | 0,029931 | 2094,968 |
| géotype       | 0,000247 | 8   | 0,000031 | 2,164    |
| tait          | 0,000004 | 1   | 0,000004 | 0,315    |
| Géotype*trait | 0,000202 | 8   | 0,000025 | 1,765    |

**Tableau 04** : Analyse de la variance de la biomasse aérienne chez les 08 géotypes d'*Aegilops*+le témoin

| Effet         | SS       | ddl | MS       | F        | P        |
|---------------|----------|-----|----------|----------|----------|
| intercept     | 0,820096 | 1   | 0,820096 | 652,4356 | 0,000000 |
| géotype       | 0,170438 | 8   | 0,021305 | 16,9492  | 0,000000 |
| tait          | 0,036459 | 1   | 0,036459 | 29,0053  | 0,000002 |
| Géotype*trait | 0,016361 | 8   | 0,002045 | 1,6270   | 0,138822 |

**Tableau 05:** Analyse de la variance de la biomasse racinaire chez les 08 génotypes d'*Aegilops*+le témoin.

| Effet          | SS       | ddl | MS       | F        | P        |
|----------------|----------|-----|----------|----------|----------|
| intercept      | 1913,021 | 1   | 1913,021 | 1714,857 | 0,000000 |
| génotype       | 409,344  | 8   | 51,168   | 45,868   | 0,000000 |
| tait           | 96,165   | 1   | 96,165   | 86,204   | 0,000000 |
| Génotype*trait | 108,778  | 8   | 13,597   | 12,189   | 0,000000 |

**Tableau 06:** Analyse de la variance du rapport biomasse racinaire/biomasse aérienne chez les 08 génotypes d'*Aegilops*+le témoin.

| Effet          | SS       | ddl | MS       | F        | P        |
|----------------|----------|-----|----------|----------|----------|
| intercept      | 1,885035 | 1   | 1,885035 | 84,06176 | 0,000000 |
| génotype       | 0,225043 | 8   | 0,028130 | 1,25445  | 0,286626 |
| tait           | 0,007495 | 1   | 0,007495 | 0,33423  | 0,565581 |
| Génotype*trait | 0,168095 | 8   | 0,021012 | 0,93701  | 0,494211 |

**Tableau07:** Analyse de la variance de teneur relative en eau (TRE) chez les 08 génotypes d'*Aegilops*+le témoin.

| Effet          | SS       | ddl | MS       | F        | P        |
|----------------|----------|-----|----------|----------|----------|
| intercept      | 487225,4 | 1   | 487225,4 | 4953,894 | 0,000000 |
| génotype       | 1266,9   | 8   | 158,4    | 1,610    | 0,143644 |
| tait           | 6618,6   | 1   | 6618,6   | 67,295   | 0,000000 |
| Génotype*trait | 1134,9   | 8   | 141,9    | 1,442    | 0,200510 |

**Tableau08:** Analyse de la variance de taux déperdition en eau (TDE) chez les 08 génotypes d'*Aegilops*+le témoin.

| Effet          | SS       | ddl | MS       | F        | P        |
|----------------|----------|-----|----------|----------|----------|
| intercept      | 0,000628 | 1   | 0,000628 | 71,97560 | 0,000000 |
| génotype       | 0,000116 | 8   | 0,000015 | 1,66814  | 0,127665 |
| tait           | 0,000164 | 1   | 0,000164 | 18,78099 | 0,000064 |
| Génotype*trait | 0,000083 | 8   | 0,000010 | 1,19155  | 0,321445 |

**Tableau09:** Analyse de la variance de taux de chlorophylle totale (TCT) chez les 08 génotypes d'*Aegilops*+le témoin.

| Effet          | SS       | ddl | MS       | F        | P        |
|----------------|----------|-----|----------|----------|----------|
| intercept      | 0,000628 | 1   | 0,000628 | 71,97560 | 0,000000 |
| génotype       | 0,000116 | 8   | 0,000015 | 1,66814  | 0,127665 |
| trait          | 0,000164 | 1   | 0,000164 | 18,78099 | 0,000064 |
| Génotype*trait | 0,000083 | 8   | 0,000010 | 1,19155  | 0,321445 |

**Tableau10:** Analyse de la variance de proline chez les 08 génotypes d'*Aegilops*+le témoin.

| Effet          | SS    | ddl | MS    | F      | P        |
|----------------|-------|-----|-------|--------|----------|
| Génotype       | 69437 | 8   | 8680  | 1,1195 | 0,373771 |
| Traitement     | 9204  | 1   | 9204  | 1,1871 | 0,283148 |
| Génotype*trait | 93933 | 8   | 11742 | 1,5144 | 0,186674 |

**Tableau11:** Analyse de la variance des sucres solubles chez les 08 génotypes d'*Aegilops*+le témoin.

| Effet          | SS       | ddl | MS      | F      | P        |
|----------------|----------|-----|---------|--------|----------|
| Génotype       | 2491,354 | 8   | 311,419 | 3,2978 | 0,006319 |
| Traitement     | 352,820  | 1   | 352,820 | 3,7363 | 0,061139 |
| Génotype*trait | 3718,843 | 8   | 464,855 | 4,9227 | 0,000367 |

