



# *Remerciement:*

*Ce mémoire n'aurait jamais pu voir le jour sans le soutien que j'ai reçu de la part de nombreuses personnes. C'est avec un grand plaisir que je tiens donc à remercier*

*:*

*Tout d'abord, comment exprimer ma profonde gratitude envers notre enseignante Maafi Oula qui n'a pas cessé de nous faire bénéficier de ses nombreux conseils, de ses critiques, de ses compétences et son soutien. Qu'il soit assuré de notre plus profonde reconnaissance.*

*Ma reconnaissance s'adresse à Mm Belkasmí F. de qui à accepter de présider ce travail et pour ses conseils précieux.*

*A tous les profs des 5 promotions*

*Nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.*

## **DEDICACES**

*Je dédie ce travail à mes parents que dieu les protège, qu'ils trouvent ici ma plus profonde gratitude et tout mon amour pour leur soutien tout au long de mes études.*

*À mes sœurs et mes frères, et à toute ma famille.*

*À tous mes amis et mes collègues.*

*À tous ceux que j'aime.*

***Soumia et Chahira***

## La liste des abréviations

**%** : Pour cent

**C°** : Degré Celsius

**Cm** : Centimètre

**g**: Gramme

**h** : Heure

**ha** : Hectare

**L** : Longueur

**M** : Mètre

**Mm** : Millimètre

**mn** : Minute

**P** : Poids

**PF** : Poids frais

**PS** : Poids sec

**SH**: Stress hydrique.

**PEG**: Poly Ethylen Glycol.

**Kg** : Kilogramme.

**Ph** : Potentiel hydrogène

**XET** :(xyloglucane endo-trans-glucanase).

## Liste des tableaux

N°	Titre	Page
1	Importance de la production de maïs dans le monde.	04
2	Importance du maïs en Algérie	04
3	Classification du maïs	05
4	Poids frais par unité	20
5	Poids sec par unité	21
6	Rapport poids frais sur poids sec	21
7	Le poids frais par unité	22
8	Poids sec par unité	23
9	Coléoptile poids frais sur poids sec	23
10	Taux de germination	24
11	Poids frais des coléoptiles et racines	24
12	Poids sec des racines et coléoptiles	24
13	Poids frais de coléoptile	25
14	Poids sec de coléoptile	25
15	Moyen de longueur des racines	25
16	Poids frais par unité	26
17	Poids sec par unité	26
18	Rapport poids frais sur poids sec	26
19	Moyenne de la longueur de la coléoptile	27
20	Poids frais par unité	27
21	Poids sec par unité	27
22	Rapport poids frais sur poids sec des coléoptiles	28

## Liste des figures

N°	Titre	Page
1	Diffusion du maïs dans le monde et son transfert	03
2	Schéma représentatif de mode d'obtention des différents génotypes	11
3	Les semences des quatre génotypes	13
4	Le dosage d'eau	14
5	La mise des échantillons dans l'incubateur	14
6	Stade de germination des grains poids frais	14
7	Mesure du poids frais	14
8	Mesure de la longueur des racines et coléoptiles principale	15
9	La mise en sachets des coléoptiles et racines	15
10	La mise des sachets dans l'incubateur	15
11	Racine et coléoptile séchées	16
12	Mesure du poids sec des racines	16
13	Histogramme représente le taux de germination	17
14	Histogramme représente le poids frais	17
15	Histogramme représente le poids sec	18
16	Histogramme représente la moyenne coléoptile frais	19
17	Histogramme représente la moyenne coléoptile poids sec	19
18	Histogramme représente la moyenne de la longueur des racines	20
19	Histogramme représente la moyenne de la longueur de la coléoptile	22

## Liste des annexes

N	Titre	Page
01	Matériel utilisé au laboratoire	31
02	Les étapes de l'expérimentation	31
03	ANOVA : Effet des génotypes	32
04	ANOVA : Effet des traitements	34

## Sommaire

Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des annexes	
Introduction	1
<i>Chapitre I : Revue bibliographique</i>	
I. Généralité sur Le maïs	3
I.1.Origine du maïs	3
I.2. Situation du maïs	3
I.2.1. Situation du maïs dans le monde	3
I.2.2. En Algérie	4
I.3. Classification Botanique	5
I.4. Généralité sur les stress	5
I.4.1. Le stress hydrique	5
I.5.Effet de stress hydrique	5
I.5.1. Effet du stress hydrique sur la germination	6
I.6.Paramètres affectés par le stress hydrique	6
I.6.1. La photosynthèse	6
I.6.2. L'alimentation minérale	7
I.6.3. La croissance végétative	7
I.6.4. La croissance des organes reproducteurs	7
I.6.5. Le rendement et la composition du grain	7
I.7. Mécanismes d'adaptation des plantes au stress hydrique	8
I.7.1.Adaptation phénologique	8
I.7.2.Adaptation morphologique	9

<b>I.7.3. Adaptation physiologique</b>	<b>9</b>
--	----------

## *Chapitre II : Matériel et méthodes*

<b>II.1. Objectif de l'essai</b>	<b>10</b>
<b>II.2. Le matériel végétal</b>	<b>10</b>
<b>II.3. Matériel de laboratoire</b>	<b>11</b>
<b>II.4. Conduite des essais</b>	<b>11</b>
<b>II.5. Les paramètres étudiés</b>	<b>12</b>
<b>II.5.1. Paramètres physiologiques</b>	<b>12</b>
<b>II.5.2. Paramètres morphologiques</b>	<b>12</b>
<b>II.6. Condition de germination</b>	<b>13</b>
<b>II.1.4 Traitements statistiques des données statistiques</b>	<b>16</b>

## *Chapitre III : Résultats et discussion*

<b>III.1. Résultat</b>	
<b>L'effet des génotypes sur les paramètres étudié</b>	
<b>III.1.1 Taux de germination</b>	<b>17</b>
<b>III.1.2. Poids frais</b>	<b>17</b>
<b>III.1.3. Poids sec</b>	<b>18</b>
<b>III.1.4. Moyenne de poids frais de coléoptile</b>	<b>19</b>
<b>III.1.5. Moyenne de poids sec de Coléoptile</b>	<b>19</b>
<b>III.1.6. Moyenne de la longueur des racines</b>	<b>20</b>
<b>III.1.7. Poids frais par unité</b>	<b>20</b>
<b>III.1.8. Poids sec par unité pour la longueur des racines</b>	<b>21</b>
<b>III.1.9. Rapport du PF/PS pour les racines</b>	<b>21</b>
<b>III.1.10. Moyenne de la longueur de coléoptile</b>	<b>22</b>
<b>III.1.11. Poids frais par unité pour le coléoptile</b>	<b>22</b>
<b>III.1.12. Poids sec par unité pour le coléoptile</b>	<b>23</b>



<b>III.1.13. Rapport PF/PS pour le Coléoptile</b>	<b>23</b>
<b>L'effet des traitements sur les paramètres étudiés</b>	
<b>III.2.1. Total germination</b>	<b>24</b>
<b>III.2.2.Poids frais</b>	<b>24</b>
<b>III.2.3.Poids sec</b>	<b>24</b>
<b>III.2.4.Poids frais de coléoptile</b>	<b>25</b>
<b>III.2.5.Poids sec d ecoléoptile</b>	<b>25</b>
<b>III.2.6.Moyen de la longueur des racines</b>	<b>25</b>
<b>III.2.7.Poids frais par unité</b>	<b>26</b>
<b>III.2.8.Poids sec par unité</b>	<b>26</b>
<b>III.2.9.Moyenne de la longueur de coléoptile</b>	<b>27</b>
<b>III.2.10.Poids frais par unité</b>	<b>27</b>
<b>III.2.11.Poids sec par unité</b>	<b>27</b>
<b>III.2.12.Coléoptile PF/PS</b>	<b>28</b>
<b>III.3. Discussion</b>	<b>28</b>
<b>Conclusion</b>	<b>30</b>
<b>Références bibliographiques</b>	
<b>Annexes</b>	

# Introduction

## Introduction générale

---

Le maïs est la première céréale produite au monde. La production mondiale de maïs a augmenté. Les rendements élevés et l'importante production en Amérique du Nord et en Amérique centrale sont principalement dus aux Etats-Unis, qui produisent davantage que des pays comme le Mexique où le maïs est la principale céréale de base (**Lobell et al, 2011**).

Le maïs est l'une des cultures importantes, qui sert de nourriture et d'huile de maïs à la consommation humaine (**Hu et al, 2005**).

L'expansion des populations avec plus de nourriture et les besoins énergétiques augmentent la demande d'une plus grande production mondiale de maïs. Malheureusement, les limitations d'environnement telles que la température et la sécheresse continuent de freiner les niveaux de production de maïs comme ils l'ont fait plus tôt des décennies et dans de nombreux domaines, qui devrait empirer avec l'évolution des climats (**Battisti et al, 2009**).

L'Europe, avec 5 % seulement de la production mondiale, Mais, la France en particulier, Avec une production moyenne annuelle d'environ 817 millions de tonnes en 2009, le maïs est la céréale la plus cultivée avant le blé (681 millions de tonnes) et le riz (678 millions).

En Algérie la céréaliculture demeure le pivot de l'agriculture, c'est une filière stratégique et représente un poids considérable dans l'économie agricole (**Mishra et al, 2010**).

Le maïs était connu des indigènes avant 1830, il ne semble pas cependant que sa culture ait été très développée en Algérie avant l'implantation de la colonisation. (**Rozet H, 1833**).

Les plantes répondent aux contraintes de l'environnement par de nombreux Changements, révèlent le caractère multifactoriel des mécanismes de tolérance et d'adaptation Aux stress abiotiques (**Bataillon T et al, 2006**).

Le stress hydrique implique soit un déficit en eau pour les plantes durant la saison de croissance, soit un excès d'eau dans les sols. Un excès d'eau, tout comme Un déficit en eau, affecte les rendements des cultures. Les excès d'eau peuvent engendrer une Détérioration des propriétés physiques du sol et les rendent plus vulnérables à la dégradation (**Bois et al, 2010**).

En Algérie, le déficit hydrique constitue un important facteur limitant pour la production des cultures céréalières, puisque 60% de la superficie réservé aux céréales se situe dans les zones arides et semi-aride qui se caractérisent par une forte irrégularité des précipitations et de fortes températures sur une grande partie de l'année (**Bataillon et al, 2006**).

En fonction de ces considérations, la recherche d'une résistance vis-à-vis de la sécheresse peut se concevoir en essayant d'assembler des mécanismes de résistance dans un même génotype, présentant par ailleurs des caractéristiques agronomiques intéressantes.

## Introduction générale

---

Actuellement, les programmes d'amélioration du maïs s'intéressent de plus à l'amélioration génétique de la tolérance au stress hydrique. Cette amélioration exige d'étudier, d'identifier et de vérifier les caractères phénologiques, morpho physiologiques et biochimiques liés au rendement en condition de stress hydrique (**Pfeiffer et al, 2000**).

Nous rappelons que l'eau, principal facteur limitant de la production agricole, devient rare et chère. Il faudra penser à réserver en priorité son utilisation aux cultures qui la valorisent le mieux. Devant la limitation des ressources hydriques, le conduit rationnel de l'irrigation et la sélection de variétés résistantes à la sécheresse s'imposent à tout projet d'intensification de l'agriculture. Notre travail s'inscrit dans cette perspective. Dont l'objectif était de fournir des informations sur les mécanismes d'adaptation ou de tolérance au stress hydrique chez le maïs. Pour ce faire, on a opté pour quatre génotypes (EPS13, EPS14, EPS13×EPS14, H2066), nous avons étudié leurs comportements durant la phase de germination.

Alors comment le stress hydrique influe sur la culture du maïs ?

Pour répondre à cette préoccupation, ce travail a pour l'objectif de connaître l'effet de stress hydrique sur la germination du maïs et son effet sur les différentes composantes de la poussée racinaire et aérienne son effet sur quelques paramètres physiologiques et morphologiques.

Notre étude est basée sur trois chapitres principaux :

-le premier chapitre, est une synthèse bibliographique présente en général description de maïs, quelques notions de stress hydrique et les mécanismes morpho physiologique, biochimiques de la tolérance des plantes au stress hydrique.

-dans le 2 ème chapitre, nous verrons successivement la description du matériel végétal, des conditions de culture et les méthodes d'analyse utilisées dans ce travail nous avons mis au point l'expression de 4 populations de maïs (zéa Mays) sous différents régimes hydriques.

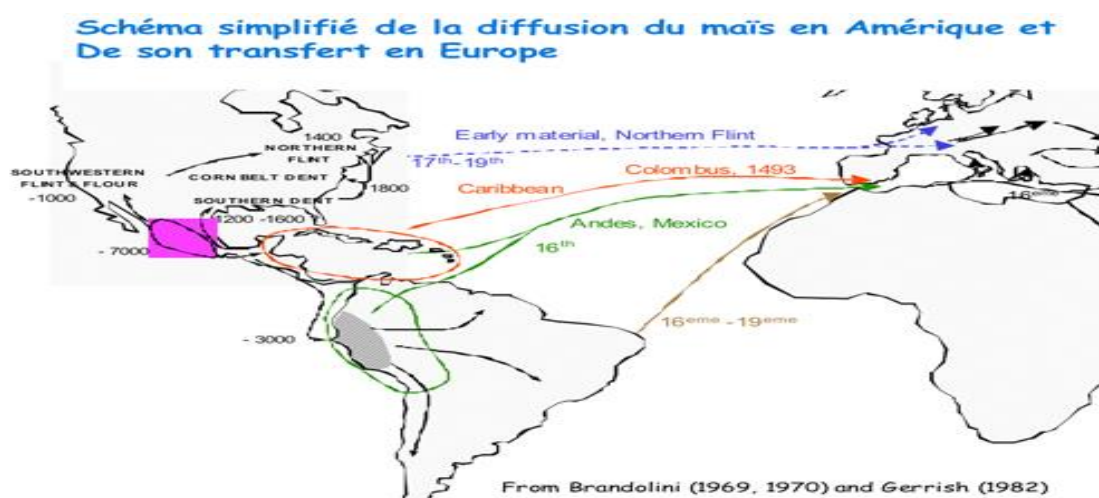
-le troisième (3) chapitre fait l'objet de la présentation des résultats obtenus dans ce travail et leur discussion. Le mémoire est achevé, par une conclusion suivies de la liste de Références bibliographiques et des annexes.

# **Revue bibliographique**

## I .généralité sur Le maïs

### I.1.Origine du maïs

La culture du maïs a probablement commencé en Amérique centrale ( figure 1), notamment au Mexique (**Hubert, 1978**). Le maïs a été introduit en Europe après la découverte de l'Amérique durant le XVI<sup>e</sup> siècle et de là en Afrique et en Asie, à partir de l'Espagne il s'est répandu dans l'Europe du sud, le Proche-Orient et l'Afrique du nord pour coloniser, au XVII<sup>e</sup> siècle, toutes les zones de cultures traditionnelles (**Iram et Meriem, 2013**).



**Figure N°1** : Diffusion du maïs dans le monde et son transfert

Il est originaire de régions clairement reconnues et séparées par l'équateur ( **Carraretto M ,2005**) :

- au nord : Mexique, Amérique centrale, Venezuela, Colombie ;
- au sud : Pérou, Équateur, Bolivie, Chili, Brésil.

### I.2. Situation du maïs

#### I. 2.1. Situation du maïs dans le monde

Le maïs est la céréale la plus cultivée au monde, d'importantes surfaces sont aussi consacrées à la production de maïs fourrage pour l'alimentation du bétail soit en vert, soit sous forme d'ensilage occupant une superficie totale d'environ 140 millions d'hectares (Tableau 01). La production n'a cessé de croître de 325 millions de tonnes dans les années 1980 à 650 millions de tonnes dans la décennie actuelle, ce qui correspond à 4,2 tonnes par hectare (**Iram et Meriem, 2013**).

**Tableau 1:** Importance de la production de maïs dans le monde. Données issues du site Internet de la FAO

	Production millions de tonnes	Rang du maïs dans la production nationale	Exportation millions de tonnes
États unis	280	1	48
Chine	131	4	23
Brazil	35	6	5
Mexique	21	4	-----
Argentine	20	4	10
Inde	15	3	1
France	13	6	6
Indonésie	12	5	-----
Afrique du sud	12	1	0,4
Italie	11	7	-----

(FAO ; 2006)

### I.2.2. En Algérie

La période coloniale allant de 1854 à 1878 était marquée, par l'introduction de variétés de maïs françaises et espagnoles et par un élargissement considérable et rapide des plantations de maïs partant de 5076 ha à 33075 ha respectivement Par la suite, une nette régression était enregistrée et la culture fut progressivement abandonnée (**Iram et Meriem, 2013**).

Après l'indépendance, de 1961 à 1989, la surface occupée par la culture du maïs à diminuée de 6000 ha à 1000 ha et à partir des années 90, cette culture a fait l'objet d'un désintéressement total et les surfaces emblavées en maïs alors chuté à 450 ha (tableau 02). En 2009, une surface de 168 ha lui fut consacrée pour un rendement total de 34,226 q/ha (**FAO STAT, 2011**).

**Tableau2 :** importance du maïs en Algérie

Années	Superficies (ha)	Rendement (q /ha)	Production (tonnes)
1991	260	19,230	500
1994	410	45,12	185
1997	120	21,416	257
2000	430	36,186	1556
2003	340	28,852	981
2009	168	34,226	575
2010	139	25,827	359
2011	246	23,374	575
2012	686	25,583	1755

Source :(FAO, 2012)

### I.3. Classification Botanique

Tableau3 : classification du maïs.

<b>Règne</b>	<b>Planta</b>
<b>Division</b>	<i>Magnoliophyta</i>
<b>Classe</b>	<b>Liliopsida</b>
<b>Ordre</b>	<b>Cyperales</b>
<b>Famille</b>	<b>Poaceae</b>
<b>Genre</b>	<b>Zea</b>
<b>Espèce</b>	<b>Zea Mays</b>

Source:<https://www.wikipedia.com>

### I.4. Généralité sur le stress

#### I.4.2. Le stress hydrique

Le stress hydrique est l'un des stress environnementaux les plus importants, affectant la productivité agricole autour du monde (**Boyer, 1982**).

Il occupe et continuera d'occuper une très grande place dans les chroniques agroéconomiques. C'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**).

Il existe de nombreuses définitions du stress hydrique. En agriculture, il est défini comme un déficit marqué 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 en limite l'usage (**Madhava Rao et al, 2006**).

#### I.5.Effet de stress hydrique

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



Le déficit hydrique constitue un important facteur limitant pour la production des cultures céréalière dans les zones arides et semi-arides (**El mourid et al, 1996**) qui se caractérisent par une forte irrégularité des précipitations (**Boutifirass et al, 1994**).

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**).

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

### **I.5.1. Effet du stress hydrique sur la germination**

En absence d'humidité suffisante, la graine même si elle est correctement placée dans le sol, elle n'évolue pas, retardant ainsi, la levée de la culture, et en cas de persistance de sécheresse, la situation peut se traduire par une absence de levée (**Fellachi et al, 2001**).

La sécheresse est l'un de principaux facteurs environnementaux qui affecte grandement la germination des espèces cultivées et réduit leur survie au cours des stades précoces de développement. Au cours de cette phase, c'est le métabolisme des carbohydrates qui se trouve fortement affecté (**Ingram et al, 1996**), à travers la perturbation du fonctionnement enzymatique impliqué dans ce processus. Il a été démontré que le glyceraldéhyde-3-déshydrogénase cytosolique est fortement induite par le déficit hydrique ce qui est l'origine d'un changement de l'acuité de la glycolyse (**Velasco et al, 1994**).

### **I.6. Paramètres affectés par le stress hydrique**

Les végétaux sont caractérisés par une grande capacité à résister aux variations importantes de la teneur en eau de leurs tissus.

Les paramètres affectés par le stress hydrique au niveau de la plante sont : la photosynthèse, l'alimentation minérale, la croissance végétative, etc

#### **I.6.1. La photosynthèse**

Parmi les modifications physiologiques liées au stress hydrique, la régulation stomatique qui influe sur la photosynthèse et la respiration, est la plus importante.

La baisse du potentiel hydrique de la plante se traduit principalement par une diminution de la pression de turgescence puis une régulation stomatique. Donc un stress hydrique, en provoquant la

fenêtre des stomates se traduit par un ralentissement de la photosynthèse en même temps que la transpiration (Teulat et al, 1997).

### I.6.2. L'alimentation minérale

Le déficit hydrique induit un déficit de nutrition azotée qui provient principalement des réductions de flux d'azote au niveau des racines et de la réduction des échanges entre les parties aériennes et racinaires du fait de la chute de la transpiration (Dugo, 2002 ; INRA, 2006).

Le facteur d'aridité peut affecter la nutrition phosphatée dans les zones semi-arides en réduisant de manière drastique les possibilités de désorption des ions phosphate depuis la phase solide du sol et de leur transfert vers la racine (Fardeau et Frossard, 1991). En effet 95% du phosphore prélevé doit être désorbé avant d'être transféré vers la plante.

### I.6.3. La croissance végétative

Le développement végétatif d'une plante cultivée sous conditions hydriques limitantes est fortement perturbé (Chaves et al, 2002 ; Lebon et al, 2006). On note principalement une diminution importante de la taille, de la longueur des entre nœuds, du nombre de feuilles voire de la surface foliaire (INRA, 2006 ; Lebon et al, 2006 ; Attia, 2007).

Les plantes soumises à un déficit hydrique voient généralement leur sénescence foliaire s'accélérer ; et une perte trop importante d'eau peut conduire à la mort des cellules, (Kramer et Boyer, 1995 ; Bouchabke et al, 2006 ; INRA, 2006).

### I.6.4. La croissance des organes reproducteurs

De la même manière que pour les organes végétatifs, la croissance des jeunes organes reproducteurs (ovules, fleurs puis graines) ainsi que leur nombre (défini par des processus de ramification) sont limités en cas de déficit hydrique. Il en résulte une réduction du nombre de grains, qui aura un effet sur le rendement même si les conditions hydriques redeviennent favorables (INRA, 2006).

### I.6.5. Le rendement et la composition du grain

Selon le positionnement dans le cycle de développement et l'intensité de la contrainte hydrique, les stress hydriques influencent les rendements ainsi que la composition biochimique des graines.

Les différents métabolismes étant inégalement affectés par le déficit hydrique (le métabolisme carboné l'est davantage que le métabolisme azoté), les concentrations relatives des différents composés sont modifiées : un manque d'eau induit généralement une baisse des teneurs en amidon et en huile des graines, et une augmentation des teneurs en protéines (Hireche, 2006 ; INRA, 2006).

## I.7. Mécanismes d'adaptation des plantes au stress hydrique

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 (esquive, évitement et tolérance) (**Turner, 1986 a**).

La résistance d'une plante à une contrainte hydrique peut être définie, du point de vue physiologique, par sa capacité à survivre et à s'accroître et du point de vue agronomique, par l'obtention d'un rendement plus élevé que celui des plantes sensibles (**Madhava Rao et al, 2006**).

La résistance globale d'une plante au stress hydrique apparaît comme le résultat de nombreuses modifications phénologiques, anatomiques, morphologiques, physiologiques, biochimiques et moléculaires qui interagissent pour permettre le maintien de la croissance, du développement et de production (**Hsissou, 1994**).

### I.7.1. Adaptation phénologique

Pour éviter les périodes difficiles pour la croissance et le développement, certaines variétés accomplissent leur cycle de développement avant l'installation de stress hydrique. La précocité constitue donc un important mécanisme d'évitement au stress hydrique de fin de cycle (**Ben Naceur et al, 1999**).

Dans ces conditions, les paramètres phénologiques d'adaptation ou paramètres de précocité définissent le calage du cycle vis-à-vis des contraintes environnementales (**Ben Naceur et al, 1999**).

La précocité assure une meilleure efficacité de l'utilisation de l'eau. En effet, en produisant la biomasse la plus élevée, les génotypes à croissance rapide et à maturité précoce utilisent mieux l'eau disponible et ils sont moins exposés aux stress environnementaux que les génotypes tardifs (**Bajji, 1999**).

Le rendement en grains est positivement corrélé à la précocité d'épiaison (**Gonzalez et al, 1999**).

En effet, les variétés qui ont une vitesse de croissance élevée ont la capacité de mieux utiliser les sources nutritives à la fin du cycle de développement lorsque celles-ci deviennent limitantes (**Poorter, 1989**).

La précocité à l'épiaison peut donc être utilisée comme critère de sélection pour améliorer la production dans les zones sèches. C'est l'un des traits les plus importants dans l'adaptation des plantes au stress hydrique (**Ben Salem et al, 1997**).

### **I.7.2. Adaptation morphologique**

L'effet du stress hydrique peut se traduire, selon la stratégie adaptative de chaque espèce ou génotype, par des modifications morphologiques pour augmenter l'absorption d'eau et pour diminuer la transpiration et la compétition entre les organes pour les assimilés. Ces modifications affectent la partie aérienne ou souterraine (**Bajji, 1999**).

### **I.7.3. Adaptation physiologique**

La stratégie de la tolérance est mise en œuvre par les plantes grâce à l'abaissement du potentiel hydrique qui maintient la turgescence (**Sorrells *et al*, 2000**).

Les mécanismes intervenant dans la tolérance assurent l'hydratation cellulaire et diminuent la perte en eau en maintenant un statut hydrique favorable au développement foliaire.

La réduction des pertes en eau par la fermeture stomatique est un moyen d'adaptation des plantes au stress. Cette diminution de la transpiration engendre une réduction de la photosynthèse. Les génotypes qui ont la capacité photosynthétique intrinsèque la moins affectée par le stress présentent une efficacité de l'utilisation de l'eau élevée et une plus grande capacité de survie (**Araus *et al*, 2002**). L'adaptation à des milieux aux régimes hydriques variables est en partie associée à l'ajustement osmotique (**Richards *et al*, 1997**).

L'ajustement osmotique constitue le processus majeur permettant à la cellule de maintenir sa turgescence sous contrainte hydrique (**Zhang *et al*, 1999**).

# **Matériel et méthodes**

### II.1. Objectif de l'essai

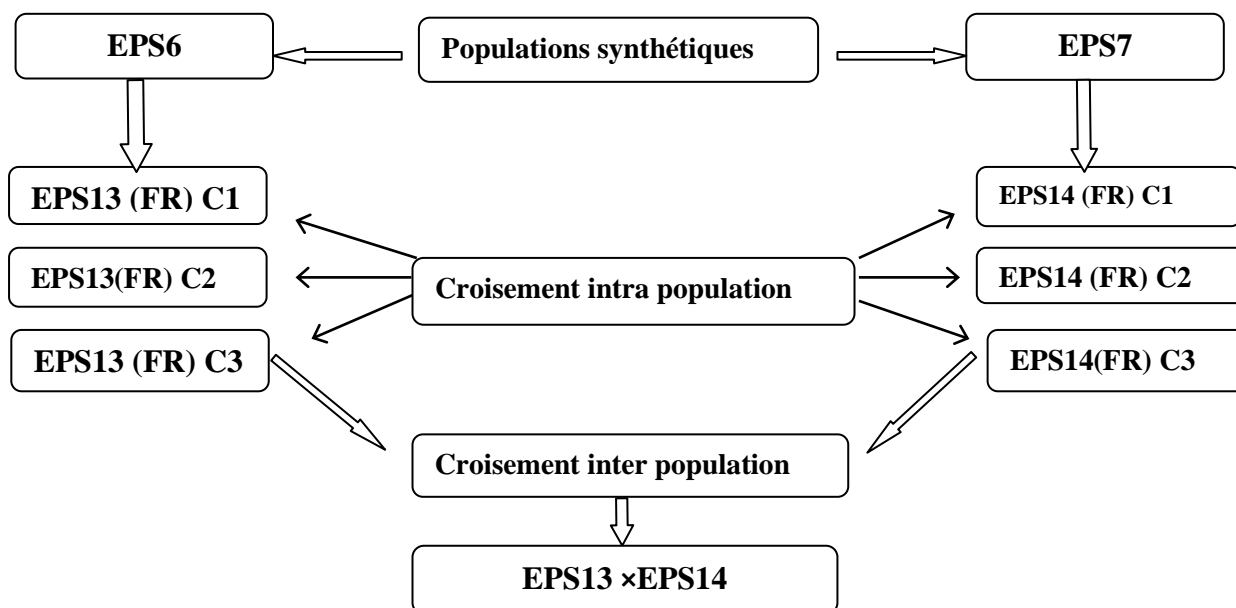
La présente étude a pour but l'étude des mécanismes de tolérance de quatre populations de maïs (*Zeamays L.*) sous stress hydrique. Durant notre expérimentation, nous nous sommes intéressés à plusieurs paramètres physiologiques liés à la croissance et au développement des graines de maïs sous différentes doses d'eau

### II.2. Le matériel végétal

L'étude a porté sur quatre populations de maïs (*Zeamays L.*) : trois populations d'origine Espagnol (EPS13, EPS14 et l'hybride EPS13×EPS14) et, un hybride commercial : le H2066 d'origine Égyptien.

#### Description des populations

- ❖ **EPS 13** : c'est une population synthétique du nord de l'Espagne (climat humide) obtenu à partir de trois cycles de sélection intrapopulation de l'EPS6. L'EPS6 est issue d'un croisement de quatre populations de la même zone, elle est caractérisée par une floraison précoce et des grains cornés jaunes.
- ❖ **EPS 14** : c'est une population synthétique du sud de l'Espagne (climat sec) issue de trois cycles de sélection intrapopulation de l'EPS7. L'EPS7 est le résultat de croisement de quatre populations de la même région. Elle possède des grains jaunes semis cornés. Ces deux génotypes ont été soumis à trois cycles de sélection réciproque des frères complets (full-sib reciprocal recurrent selection) pour le rendement en grain.
- ❖ **EPS13×EPS14** : c'est le groupe hétérotique le plus performant et le plus utilisé en Espagne (**Figure 5**).



**Figure 2 :** Schéma représentatif du mode d'obtention des différents génotypes

L'emploi de variétés adaptées, suite à leur cycle de développement plus court, esquivant les contraintes climatiques de fin de cycle, ou bien possédant une résistance intrinsèque, permet aussi de donner une certaine régularité à la production

### II. 3. Matériel de laboratoire

- Papier buvard ;
- Micropipette du 05 ml ; 10 et 20 ml ;
- Les boîtes pétris ;
- L'eau distillée
- Incubateur
- Balance de précision

### II.4. Conduite des essais

Les essais sont menés au niveau du laboratoire de la phytopathologie de l'université de Mohamed El Bachir El Ibrahim BBA.

## II.5. Les paramètres étudiés :

Le suivi du comportement des quatre génotypes dumais vis-à-vis du stress hydrique a été basé sur plusieurs paramètres physiologiques et morphologiques.

### II.5.1. Paramètres physiologiques :

#### ➤ Taux de germination (G%) :

Ce paramètre constitue le meilleur moyen d'identification de la concentration des PEG qui présente la limite physiologique de germination des graines de maïs. Il est exprimé par le rapport nombre de graines germées sur nombre total de graines.

Sur l'essai de germination ont été déterminé le pourcentage définitif de germination (G%) selon la formule suivante (**Doran et Gunn, 1986**) :

$$G(\%) = 100 (XT/N)$$

Où :

**XT** : le nombre total de graines germées ;

**N** : le nombre total des graines mises à germer.

### II.5.2. Paramètres morphologiques

#### ➤ Longueur de racine (cm)

La longueur maximale des racines est la longueur de la racine la plus longue, la mesure de la longueur de racine a été réalisée avec un papier millimètre.

#### ➤ Longueur de coléoptile (cm)

La longueur maximale des coléoptiles est la longueur de la coléoptile la plus longue, la mesure de la longueur de coléoptile a été réalisée avec un papier millimètre.

#### ➤ Poids frais racine et coléoptile

Après la germination pendant cinq jours, les semis ont augmenté constamment ont été choisis pour couper la racine et coléoptile avec un ciseau et peser respectivement. (Juste après la prélèvement).



➤ **Poids sec racine et coléoptile**

Après le passage à l'étuve à 80°C pendant 48 heures. Les semis sont devenus sec, on les pèse respectivement.

➤ **Rapport poids frais /Poids frais (PF/PS).**

Le rapport est déterminé par la formule suivante :

$$R (PF/PS) = PF/PS$$

PF : Poids frais (g), juste après le prélèvement.

PS : Poids sec (g), après le passage à l'étuve à 80°C pendant 48 heures (Guiga, 2006).

## II.6. Condition de germination

Les graines sont méticuleusement choisies avant leur utilisation (pas de cassures ni signes apparents de maladies). Avant de mettre les grains dans les boîtes de pétrie pour germer.

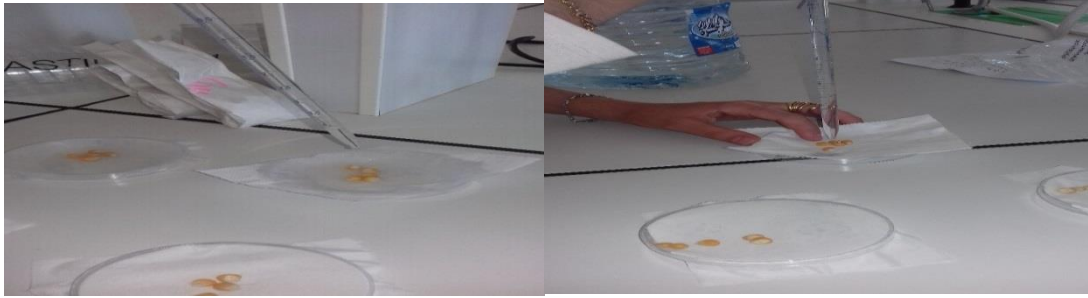
Les Mesure des doses optimales pour le maïs au stade de la germination est réalisé selon la méthode suivante :

- nous prélevons des semences des quatre géotypes (G1, G2, G3, G4) du maïs (*Zéa maïs*).
- Nous mettons dans des boîtes pétri le papier buvard, autant que chaque boîte contient cinq graines.



**Figure 3 :** Les semences des quatre géotypes

- On prélève l'eau distillé avec des micropipettes de 5 ml, 10 ml et l'autre du 20 ml pour irriguer les géotypes avec 3 répétitions pour chaque dose.



**Figure 4** : Le dosage d'eau

- Ensuite nous les plaçons à l'étuve pendant 5 jours avec température de 22° C.



**Figure 5** : La mise des échantillons dans l'incubateur

-Noter les graines qui ont germé puis nous les pesons à l'aide d'une balance de précision pour obtenir le poids frais (PF) des coléoptiles et les racines principales du chaque graine.

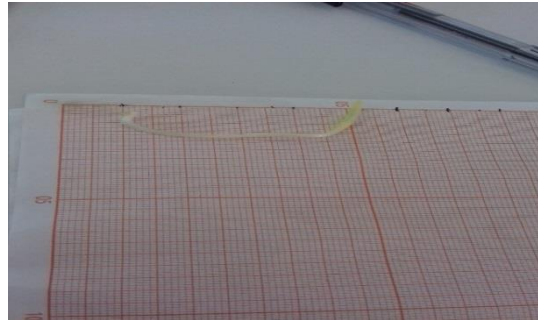


**Figure 6:** Stade de germination des grains



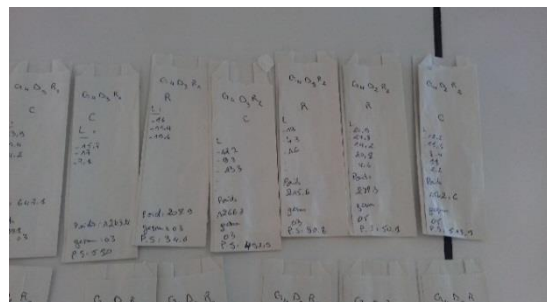
**Figure 7** : Mesure du poids frais

-Mesure de la hauteur des coléoptiles et des racines principales à l'aide d'un papier millimètre.



**Figure 8 :** Mesure de la longueur des racines et coléoptiles principale

-On sépare les racines et les coléoptiles de chaque boîte pétri dans des sachets en papier pour les placer dans l'étuve à température de 80° C pendant 48 h.



**Figure 9:** La mise en sachets des coléoptiles et racines



**Figure 10 :** La mise des sachets dans l'incubateur

- Puis nous les pesons à l'aide d'une balance de précision pour obtenir le poids sec (PS).



**Figure 11** : racines et coléoptile séchées



**Figure 12** : mesure du poids sec des racines et coléoptiles

## **II.7. Traitements statistiques des données statistiques :**

L'ensemble des données ont été saisies dans des tableaux Excel, qui ont servi à effectuer des statistiques descriptives en utilisant le logiciel SPSS.23 (Statistical package for social science) pour calculer la moyenne, analyser la variance et réaliser des traitements graphiques.

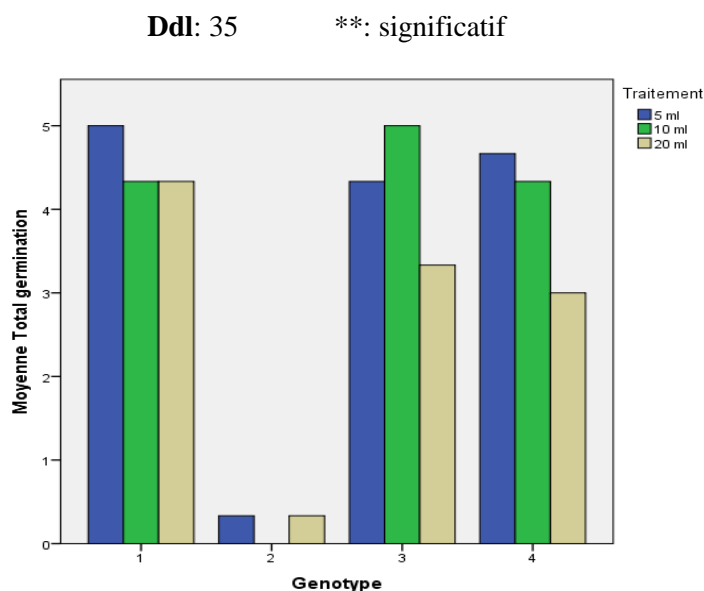
Le seuil de signification retenu est à 0.05.

# **Résultat et discussion**

### III.1.Résultat

#### L'effet des génotypes sur les paramètres étudiés

##### III.1.1 : Taux de germination



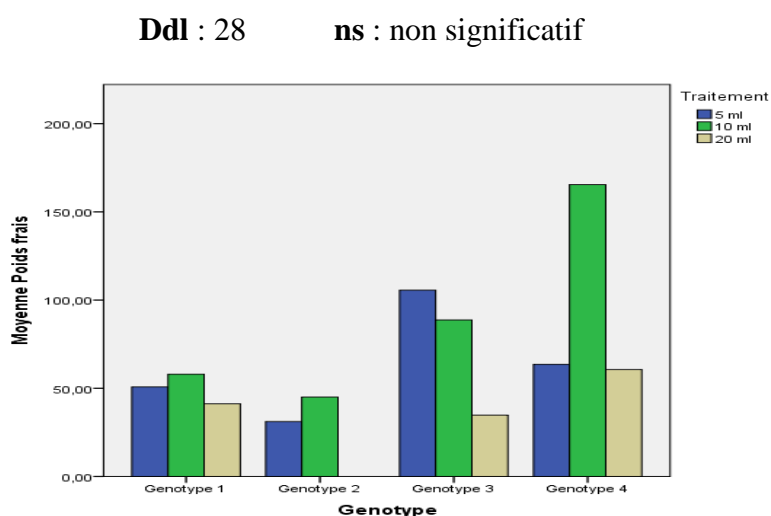
**Figure13** : Histogramme représente le taux de germination

Pour le caractère de la germination, l'analyse statistiquement n'a montré une très hautement signification concernant les génotypes. (Voir fig 16).

La moyenne la plus élevée été enregistrée chez le génotype 1 avec une valeur de 4,56.

Tant dis que la valeur la plus faible a été enregistrée chez le génotype 2 avec une valeur de 0,22.

##### III.1.2 : Poids frais



**Figure14** : histogramme représente le poids frais

Pour le caractère du poids frais, l'analyse statistique n'a montré statistiquement aucune signification concernant les génotypes. (Voir fig 17)

La moyenne la plus élevée été enregistrée chez le génotype 3 avec une valeur de 363,9778.

Tant dis que la valeur la plus faible a été enregistrée chez le génotype 2 avec une valeur de 7,1000.

### III.1.3 : Poids sec

Ddl : 28      ns : non significatif

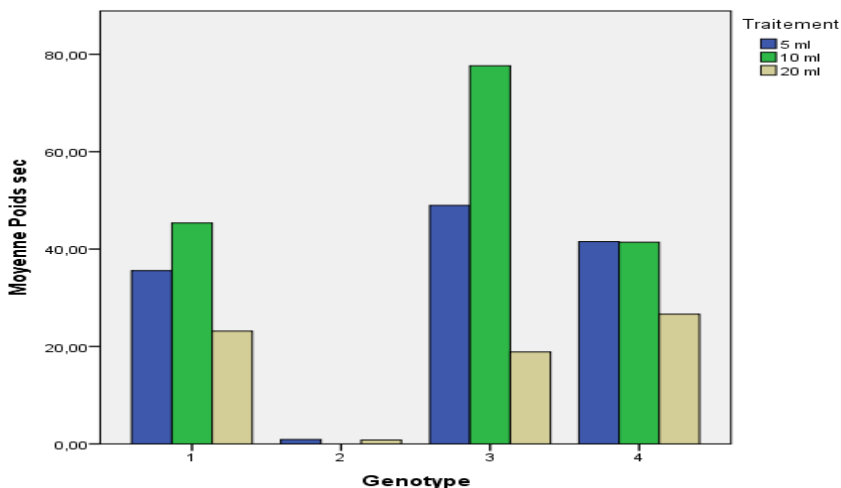


Figure15 : histogramme représente le poids sec

Pour le caractère du poids sec, l'analyse statistique n'a montré statistiquement aucune signification concernant les génotypes. (Voir fig 18)

La moyenne la plus élevée été enregistrée chez le génotype 3 avec une valeur de 48,4889.

Tant dis que la valeur la plus faible a été enregistrée chez le génotype 2 avec une valeur de 0,8500.

### III.1.4 : Moyenne de poids frais de coléoptile

Ddl : 28 \*\*: significatif

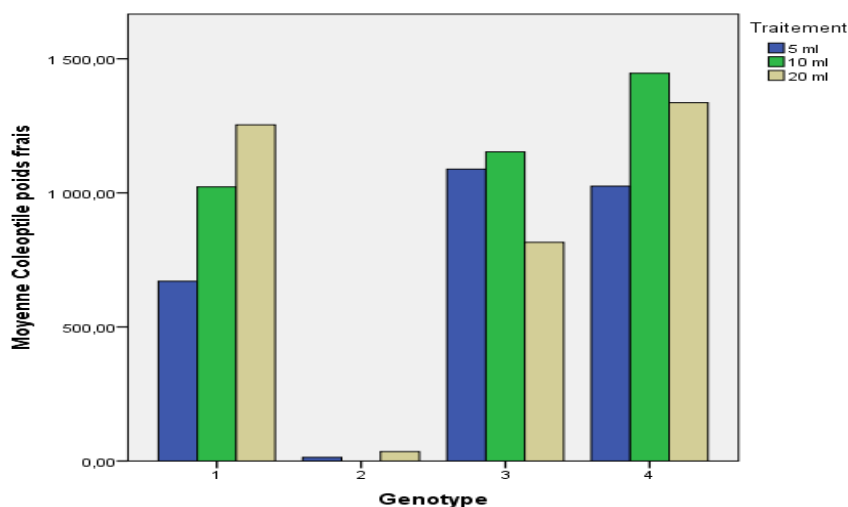


Figure16 : histogramme représente la moyenne de poids frais de coléoptile

Pour le caractère du poids frais des coléoptiles, l'analyse statistique n'a montré statistiquement très signification concernant les génotypes. (Voir fig 19)

La moyenne la plus élevée été enregistrée chez le génotype 4 avec une valeur de 1269,1667.

Tant dis que la valeur la plus faible a été enregistrée chez le génotype 2 avec une valeur de 24, 2500.

### III.1.5 : Moyenne de poids sec de Coléoptile

Ddl : 28 \*\*: significatif

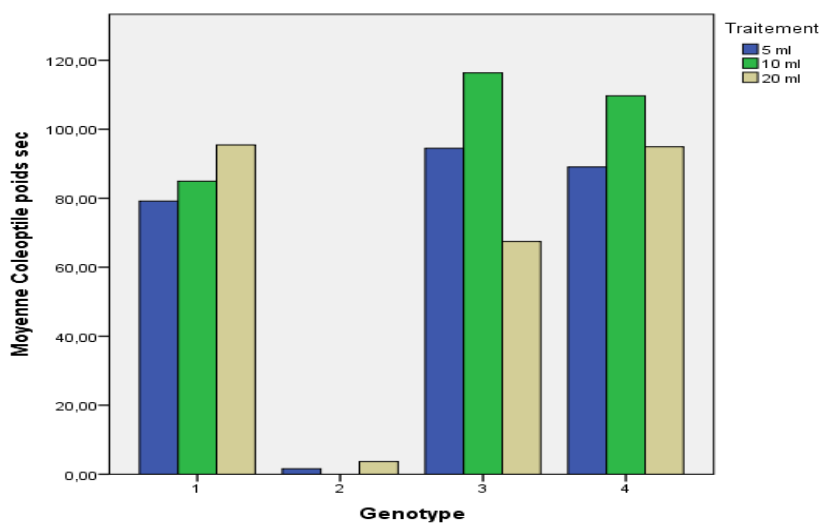


Figure17 : histogramme représente la moyenne coléoptile poids sec.



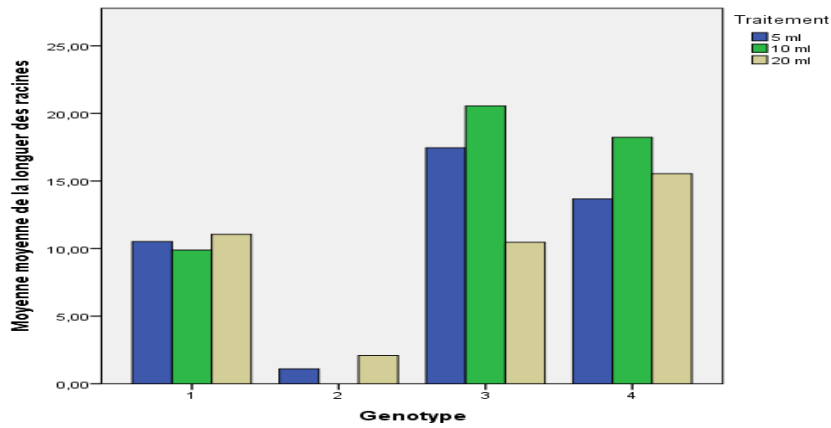
Pour le caractère du poids sec des coléoptiles, l'analyse statistique n'a montré statistiquement très signification concernant les génotypes. (Voir fig 20)

La moyenne la plus élevée été enregistrée chez le génotype 4 avec une valeur de 97,8889.

Tant dis que la valeur la plus faible a été enregistrée chez le génotype 2 avec une valeur de 2,6500.

**III.1.6 : moyenne de la longueur des racines**

Ddl : 28    \*\*: significatif



**Figure18** : histogramme représente la moyenne de la longueur des racines

Pour le caractère de la longueur des racines, l'analyse statistique n'a montré statistiquement très hautement signification concernant les génotypes. (Voir fig 21)

La moyenne la plus élevée été enregistrée chez le génotype 3 avec une valeur de 16,1607.

Tant dis que la valeur la plus faible a été enregistrée chez le génotype 2 avec une valeur de 1,6000.

**III.1.7 : poids frais par unité**

**Tableau4** : le poids frais par unité

	Moyenne	Ecart type	Erreur standard
Génotype 1	17,5044	6,54060	2,18020
Génotype 2	1,4200	0,33941	0,24000
Génotype 3	72,7956	103,69353	34,56451
Génotype 4	54,1800	16,39690	5,46563
Totale	44,9366	61,76746	11,46993

Ddl : 28    ns : non significatif

Pour le caractère du poids frais par unité, l'analyse statistique n'a montré statistiquement aucune signification concernant les génotypes. (Voir tableau 4)

La moyenne la plus élevée été enregistrée chez le génotype 3 avec une valeur de 72,7956.

Tant dis que la valeur la plus faible a été enregistrée chez le génotype 2 avec une valeur de 1,4200.

### III.1.8 : poids sec par unité

**Tableau5** : poids sec par unité

	Moyenne	Ecart type	Erreur standard
Génotype 1	6,9400	3,42228	1,14076
Génotype 2	0,1700	0,01414	0,01000
Génotype 3	9,6978	7,44183	2,48061
Génotype 4	7,3044	2,03958	0,67986
Totale	7,4421	5,08507	0,94427

**Ddl** : 28 **ns** : non significatif

Pour le caractère du poids sec par unité, l'analyse statistique n'a montré statistiquement aucune signification concernant les génotypes. (Voir tableau 5)

La moyenne la plus élevée été enregistrée chez le génotype 3 avec une valeur de 9,6978.

Tant dis que la valeur la plus faible a été enregistrée chez le génotype 2 avec une valeur de 0,1700.

### III.1.9 : PF/PS \*\*

**Tableau 6** : rapport poids frais sur poids sec

	Moyenne	Ecart type	Erreur standard
Génotype 1	3,6001	3,20088	1,06696
Génotype 2	8,4653	2,70076	1,06696
Génotype 3	6,7189	3,44259	1,06696
Génotype 4	7,6239	1,97918	,65973
Totale	6,1523	3,31184	,61499

**Ddl** : 28 **\*\***: significatif

Pour le caractère du poids frais sur le poids sec, l'analyse statistique n'a montré statistiquement une signification concernant les génotypes. (Voir tableau 6).

La moyenne la plus élevée été enregistrée chez le génotype 4 avec une valeur de 7,6239.

Tant dis que la valeur la plus faible a été enregistrée chez le génotype 1 avec une valeur de 3,6001.

### III.1.10 : moyenne de la longueur de la coléoptile

Ddl : 28 \*\*: significatif

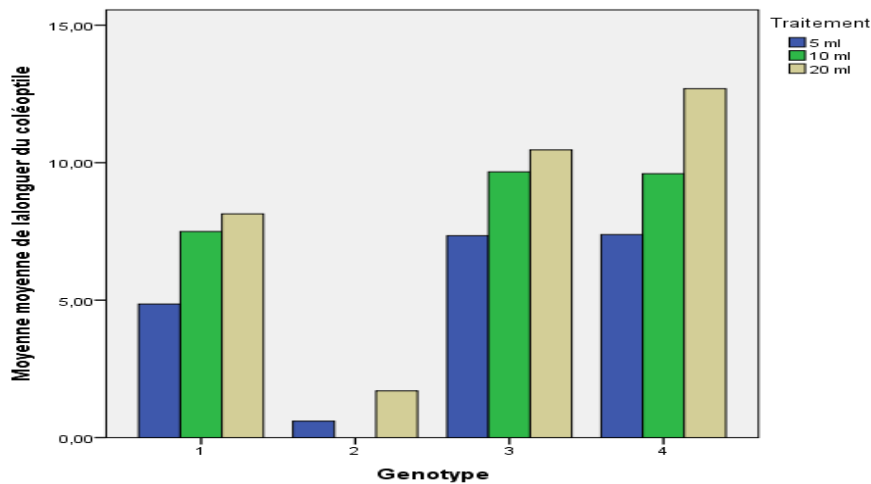


Figure19 : diagramme représente la moyenne de la longueur de la coléoptile

Pour le caractère de la longueur de la coléoptile, l’analyse statistique n’a montré statistiquement très hautement signification concernant les génotypes (Voir fig 22).

La moyenne la plus élevée été enregistrée chez le génotype 4 avec une valeur de 9,8900.

Tant dis que la valeur la plus faible a été enregistrée chez le génotype 2 avec une valeur de 1,1500.

### III.1.11 : poids frais par unité

Tableau7 : le poids frais par unité

	Moyenne	Ecart type	Erreur standard
Génotype 1	196,4022	81,5674	27,18913
Génotype 2	4,8500	3,04056	2,15000
Génotype 3	203,8044	119,09131	39,69710
Génotype 4	253,8333	42,58020	14,19340
Totale	203,3124	100,60168	18,68126

Ddl : 28 \*\*: significatif

Pour le caractère du poids frais par unité, l'analyse statistique n'a montré statistiquement une très signification concernant les génotypes. (Voir tableau 7)

La moyenne la plus élevée été enregistrée chez le génotype 4 avec une valeur de 253,8333.

Tant dis que la valeur la plus faible a été enregistrée chez le génotype 2 avec une valeur de 4,8500.

### III.1.12 : poids sec par unité

Tableau 8 : poids sec par unité

	Moyenne	Ecart type	Erreur standard
Génotype 1	17,3044	7,45607	2,48536
Génotype 2	0,5300	7,45607	0,21000
Génotype 3	18,5533	7,81607	2,60536
Génotype 4	19,5778	2,62337	,87446
Totale	17,2407	7,58714	1,40890

Ddl : 28 \*\*: significatif

Pour le caractère de la longueur de la coléoptile, l'analyse statistique n'a montré statistiquement une très signification concernant les génotypes. (Voir tableau 8)

La moyenne la plus élevée été enregistrée chez le génotype 4 avec une valeur de 19,5778.

Tant dis que la valeur la plus faible a été enregistrée chez le génotype 2 avec une valeur de 0,5300.

### III.1.13.Coléoptile PF/PS

Tableau 9 : coléoptile poids frais sur poids sec

	Moyenne	Ecart type	Erreur standard
Génotype 1	12,4956	5,49133	1,83044
Génotype 2	8,9485	0,72263	0,51098
Génotype 3	10,0183	4,69406	1,56469
Génotype 4	12,9848	1,55159	0,51720
Totale	11,6340	4,21864	0,78338

Ddl : 28 ns : non significatif

Pour le caractère de la coléoptile poids frais sur poids sec, l'analyse statistique n'a montré statistiquement aucune signification concernant les génotypes. (Voir tableau 9)

La moyenne la plus élevée été enregistrée chez le génotype 4 avec une valeur de 12,9848.

Tant dis que la valeur la plus faible a été enregistrée chez le génotype 2 avec une valeur de 8,9485.

### L'effet des traitements sur les paramètres étudiés

#### III.2.1 Total germination

Tableau 10 : Taux de germination

	carré moyenne	ddl	Sig.
intergroupe	2,333	2	0,564 ns
intragroupe	4,003	33	

Ddl : 35 ns : non significatif

#### III.2.2.Poids frais

Tableau 11 : Poids frais des coléoptiles et racines

	carré moyenne	ddl	Sig.
intergroupe	159641,374	2	0,191 ns
intragroupe	90437	26	

Ddl : 28 ns : non significatif

#### III.2.3.Poids sec

Tableau 12 : Poids sec des racines et coléoptiles

	carré moyenne	ddl	Sig.
intergroupe	2760.991	2	0,009 **
intragroupe	483.790	26	

Ddl : 28 \*\* : significatif

### III.2.4.Poids frais de la coléoptile

**Tableau 13 : Poids frais de la coléoptile**

	Moyenne	ddl	Sig.
intergroupe	325627.825	2	0,285 ns
intragroupe	247432.021	26	

Ddl : 28 ns : non significatif

### III.2.5.Poids sec de la coléoptile

**Tableau 14 : Poids sec de la coléoptile**

	Carré moyenne	ddl	Sig.
intergroupe	1993.922	2	0,258 ns
intragroupe	1396.441	26	

Ddl : 28 ns : non significatif

### III.2.6.Moyen de la longueur des racines

**Tableau 15 : Moyen de la longueur des racines**

	Carré moyenne	ddl	Sig.
intergroupe	60.375	2	0,134 ns
intragroupe	27.740	26	

Ddl : 28 ns : non significatif

### III.2.7.Poids frais par unité

**Tableau 16 : Poids frais par unité**

	carré Moyenne	ddl	Sig.
intergroupe	6385.655	2	0,191 ns
intragroupe	3617.494	26	

Ddl : 28 ns : non significatif

### III.2.8.Poids sec par unité

**Tableau 17 : Poids sec par unité**

	carré Moyenne	ddl	Sig.
intergroupe	110.440	2	0,009 **
intragroupe	19.352	26	

Ddl : 28 \*\* : significatif

### III.2.9.PF/PS

**Tableaux 18 : rapport poids frais sur poids sec**

	Carré Moyenne	ddl	sig
intergroupe	52.479	2	0.004**
intragroupe	7.775	26	

Ddl : 28 \*\* : significatif

III.2.9.Moyenne de la longueur de la coléoptile

**Tableau 19** : Moyenne de la longueur de la coléoptile

	Carré Moyenne	ddl	Sig.
intergroupe	37.024	2	0,014 **
intragroupe	7.285	26	

Ddl : 28    \*\* : significatif

III.2.10.Poids frais par unité

**Tableau 20** : Poids frais par unité

	carré Moyenne	ddl	Sig.
intergroupe	13025.113	2	0,285 ns
intragroupe	9897.281	26	

Ddl : 28    ns : non significatif

III.2.11.Poids sec par unité

**Tableau 21** : Poids sec par unité

	Moyenne	ddl	Sig.
intergroupe	79.757	2	0,258 ns
intragroupe	55.858	26	

Ddl : 28    ns : non significatif



## III.2.12.Coléoptile PF/PS

Tableau 22 : Rapport pois frais sur poids sec des coléoptiles

	Moyenne	ddl	Sig.
intergroupe	13.680	2	0,480 ns
intragroupe	18.114	26	

Ddl : 28 ns : non significatif

## III.2.Discussion

La sécheresse des sols est l'un des facteurs environnementaux les plus importants responsables de la limite de la productivité du maïs de nombreuses régions du monde.

Le maïs semble très sensible au stress hydrique lors de l'émergence des semis. Certaines recherches (Grzesiak, 1990 ; Lorens et al. 1987a, 1987b ; Martiniello et Lorenzoni, 1985 ; Ristic & Cass, 1991) a confirmé l'existence dans le maïs d'une large gamme de variabilité génotypique de la réponse au stress hydrique.

Les plantes se développent différents mécanismes morphologiques, physiologiques et biochimiques qui inhibent ou éliminent les effets nocifs des stress liés à la sécheresse (Boyer, 1982 ; Larsson & Go'rny, 1988 ; Chaves et al. 2002 ; Reynolds et al. 1998 ; Asharaf, 2010). Des recherches relativement peu réalisées ont été effectuées sur la réponse au stress hydrique de certaines espèces végétales.

La variabilité intra-génotypique a été étudiée dans le maïs (Martiniello et Lorenzoni, 1985 ; Lorens et al. 1987a, 1987b ; Evans et al. 1990 ; Grzesiak, 1990 ; Ristic et Cass, 1991), Développer des cultivars de maïs qui peuvent bien performer sous le feu et le stress hydrique est un objectif important à travers le monde.

Cependant, des progrès dans l'élevage de les génotypes de maïs résistants au stress hydrique nécessitent une étude future sur les mécanismes physiologiques sous-jacents aux réponses du maïs au stress hydrique (Larsson Go'rny, 1988 ; Richards, 1991).

Dans le maïs, de même que d'autres espèces, génotypiques les différences en réponse au déficit hydrique du sol ont été identifiées en fonction des caractéristiques physiologiques des plantes. Dans la présente étude, nous avons étudié les effets du stress hydrique sur la germination des graines et la croissance des semis de quatre variétés de maïs.

Le taux de germination sous le stress hydrique peut montrer la capacité de germination de la résistance au stress de diverses variétés.

Dans cette expérience, nous avons jugé préalablement la résistance à la sécheresse selon le taux de germination de quatre variétés de maïs sous le stress hydrique.

Le taux de germination de quatre variétés de maïs a diminué évidemment sous le stress hydrique, et il y avait de différence significative entre les quatre variétés. Sous le stress de 5, 10 et 20 ml d'eau.

Le pourcentage de germination de G4, G3, G1 était encore plus élevé que celui de G2, suggérant que G4 avait une résistance à la sécheresse plus forte.

Le taux de germination du G1 avec une moyenne de 4,56 alors que le G2 G3 G4 de régimes d'eau avec moyenne de 0,22 4.22 4.00 respectivement. Il y a eu réduction en% de germination avec l'augmentation de la concentration d'eau.

La longueur et le poids des racines et coléoptiles sont des indices pour évaluer le taux de germination des graines et l'uniformité de germination. Ça a été a montré que le potentiel de germination de quatre variétés de maïs a diminué sous le stress hydrique, mais G2 a diminué davantage que celui de G1 G3 G4.

Cela a suggéré que G4 a germé plus rapidement que les autres, montrant une résistance au stress plus forte de G4. En outre, l'effet de stress sur le potentiel de germination était supérieur au taux de germination, expliquant la plus grande influence de stress sur la germination prématurée des graines. Cela peut être dû à la plus grande influence de l'aspiration des graines de G4 sous le stress hydrique au stade précoce de la germination.

L'indice de germination et de vigueur de la résistance au stress de quatre variétés de maïs a diminué avec l'augmentation du concentration d'eau, mais G4 G3 G1 a diminué moins que celui de G2 sous le stress de 5, 10 et 20 ml d'eau. Les semis des G1 G3 G4 ont augmenté mieux sous le stress hydrique , ce qui pourrait également reflété par le poids frais du semis et la longueur . L'ajustement osmotique est l'une des principales stratégies par lesquelles les plantes ont assuré l'absorption de l'eau pendant le stress hydrique.

Le coefficient de résistance à la sécheresse reflète le degré sensible de plantes face au stress hydrique.

De nos résultats, les coefficients de résistance à la sécheresse de G4 G3 G1 étaient tous plus élevés que ceux de G2. (Roots est un organe d'absorption important des plantes), la longueur des racines développé est l'un des principaux indices de résistance à la sécheresse. Du point de vue physiologique, un excellent taux de racine-poussée est bénéfique pour soulager le stress hydrique. Du résultats expérimentaux, G3 avait un moyenne de longueur de racine plus élevé sous le stress hydrique ce qui suggère que G1 G2 G4 a mis au point un puissant système racinaire pour l'utilisation complète de l'eau dans des sols profonds dans des conditions de sécheresse et montrant une résistance à la sécheresse plus forte.

# Conclusion

## Conclusion

---

La production de maïs, faible et instable, peut généralement être réduite de 20% à 30%.

Au cours des dernières années, de nombreux chercheurs ont étudié le mécanisme de sécheresse du maïs, les méthodes d'identification et indicateurs de la résistance à la sécheresse.

A la fin de notre étude, on conclut que, sous le même stress hydrique, les variétés les plus élevées de résistance à la sécheresse sont G4 et G3.

L'indice de germination et de vigueur de la résistance à la sécheresse peut encore maintenir un potentiel de germination plus élevé et un taux de germination conséquent.

Dans cette expérience, G4 et G3 ont germé en plus grand nombre et plus rapidement que G1 G2 ; et ont également eu un système racinaire plus puissant et une capacité plus forte d'ajustement osmotique pour assurer le semis dans leur milieu de sécheresse, ce qui pourrait constituer la principale raison d'une résistance accrue au stress hydrique.

Les résultats obtenus montrent que les faibles potentiels hydrique imposés réduisent grandement la longueur du coleoptile et des racines.

Actuellement , les programmes d'amélioration du maïs s'intéressent de plus à l'amélioration génétique de la tolérance au stress hydrique. Cette amélioration exige d'étudier, d'identifier et de vérifier les caractères phénologiques, morpho physiologiques et biochimiques liés au rendement en condition de stress hydrique.

Les recherches futures devraient être dirigées pour élucider les études physiologiques et biochimiques pendant le stress hydrique.

# **Références bibliographiques**

- **Adda A., Sahnoune M., Kaid-Harch M. et Merah O, 2005:** Impact of water deficit intensity on durum wheat seminal roots. *C. R. Biologies*, 328: 918-927.
- **Araus J. L., Slafer G.A., Reynolds M. P. et Royo, C, 2002.** Plant breeding and water relations in C3 cereals. What should we breed for? *Annals of Botany*. 89: 925-940.
- **Attia F., 2007.** Effet du stress hydrique sur le comportement écophysiological et la maturité phénologique de la vigne (*Vitis vinifera* L.) : Etude de cinq cépages autochtones de Midi-Pyrénées. Thèse INP, Toulouse (France), 194p.
- **-Bahlouli F., Bouzerzour H., Benmahammed A. et Hassous K. L, 2005.** Selection of high yielding and risk efficient durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars under semi arid conditions. *Agronomy Journal*. 4: 360- 365.
- **Bajji M, 1999.** Étude des mécanismes de résistance au stress hydrique chez le blé dur : caractérisation de cultivars différant par leurs niveaux de résistance à la sécheresse et de variants somaclonaux sélectionnés In vitro. Thèse de doctorat. Univ. Louvain.
- **Bataillon T., Chantret N., Cenci A., Gautier MF., Joudrier Ph., Haudry A., Muller M.H., Poncet C. , Prospero J.M., Ronfort J., Roumet P., Santoni S., Thuillet A.C., David J, 2006 :** impact d'évènements démographique et sélectifs sur la diversité des plantes cultivées : apport de l'analyse du polymorphisme alléla la théorie de la coalescence. *Les Actes du BRG*, 6 : en 243-257. In Mouellef Adra, 2010.
- **Battisti, D. S., & Naylor, R. L, 2009.** Historical warnings of future food insecurity with unprecedented seasonal
- **Ben Naceur M., Gharbi M. S. et Paul R, 1999.** L'amélioration variétale et les autres actions contribuant à la sécurité alimentaire en Tunisie en matière de céréales. *Sécheresse*.10:27- 33 p.
- **Ben Salem M., Boussen H. et Slama A, 1997.** Évaluation de la résistance à la contrainte hydrique et calorique d'une collection de blé dur : recherche de paramètres précoces de sélection. Sixièmes Journées scientifiques du réseau Biotech.-Génie Génétique des plantes, Agence francophone pour l'enseignement supérieur et la recherche (AUPELF / U R E F). Orsay. *Sécheresse*. 2 : 75- 83 p.
- **Bois, J.F., Ph., Couchat et G.Lasceve, 1985:** *Acta Horticulture*.171, P 297-304. In Amrai et al. 2010.
- **Bouchabke O., Tardieu F. & Simonneau T, 2006.** Leaf growth and turgor in growing cells of maize (*Zea mays* L.) respond to evaporative demand under moderate irrigation but not in water-saturated soil. *Plant Cell and Environment*, 29 (6): 1138-1148.
- **Boutfirass M., Karrou M. et EL mourid M, 1994.** Irrigation supplémentaire et variétés de blé dans les zones semi-arides du Maroc. In : El Gharous M., Karrou M. et El Mourid M. (Eds) ; *Aquis et perspectives de la recherche agronomique dans les zones arides et semi-arides du Maroc*. INRA-MIAC Eds. Actes de conférence, Rabat 24-27 Mai 1994, Maroc : 176-179.

- **Boyer J. S. 1982.** *Plant productivity and environment. Sci*, New series. 218: 443 - 448 p.
- **Braam J., Sistrunk M., Polisensky D. H., Xu W., Purugganan M. M., Antosiewicz D. M., Campbell P. et Johnson K. A ,1997.** Plant responses to environmental stress: regulation and functions of the Arabidopsis TCH genes. *Planta*. 203 : 35 - 41p.
- **Chaves, M. M., Pereira, J. S., Maroco, J., Rodrigues, M. L., Ricardo, C. P. P., Osorio, L. M., Pinheiro, C, 2002.** How plants cope with water stress in the field? Photosynthesis and growth. *Ann Bot*, 89, 907-916.
- **Doebley F., Major M. Goodman., Charles Stuber, 2012** « Exceptional Genetic Divergence of Northern Flint Corn », *American Journal Botany*, vol. 73, n° 1, janvier 1986, p. 64-69 section PRO-AGRO, ISF-Cameroun et CTA, Wageningen, Pays-Bas , 32 p.
- **Dugo M.V.G, 2002.** Effet du déficit hydrique sur l'état de nutrition azotée chez les graminées fourragères. Thèse *Université de Poitiers (France)*, 189p.
- **El mourid M., Karrou M., EL Gharous M, 1996.** La recherche en aridoculture respectueuse de l'environnement. *Al Awamia*, 92: 69-81.
- **Fardeau J.C. & Frossard E, 1991.** Processus de transformation du phosphore dans les sols de l'Afrique de l'Ouest semi-arides: Application au phosphore assimilable. *In* Tiessen
- **Feliachik., Amroune R., Khaldoune, 2001.** Impact de la sécheresse sur la production des cereals cultivées dans le nord de l'Algérie: céréaliculture N0 35.ED. ITGC. Algérie.
- **Gezesiak, S. 1990.** Reaction to drought of inbreds and hybrids of maize (*Zea mays* L.) as evaluated in field and greenhouse experiments. *Maydica*, 35, 303-311.
- **Gonzalez A., Martin I. et Ayerbe L, 1999.** Barley yield in water stress conditions. The influence of precocity, osmotic adjustment and stomatal conductance. *Field Crop Research*.62: 23 -34 p.
- **Guiga W, 2006.** Identification des inhibiteurs de la germination de l'orge et mise au point d'un procédé de traitement des eaux de trempes en malterie en vue de leur recyclage. Mémoire de doctorant. Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires.
- **Haudricourt A.G. Hédin L, 1988 (préface de Michel Chauvet) :** *L'homme et les plantes cultivées*, éd. A.M. Métailié.  
heat. *Science*, 323, 240-244. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1164363>
- **Hireche Y.A, 2006.** Reponse de la luzerne (*Medicago sativa* L) au stress hydrique et à la profondeur de semis. Mémoire de Magister, *Université Al Hady Lakhdar-Batna (Algérie)*, 83p.
- **Hsissou D, 1994.** Sélection In vitro et caractérisation de mutants de blé dur tolérants à la sécheresse. Thèse de doctorat. Univ. Catholique de Louvain  
<http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=IT876013788>  
<http://dx.doi.org/10.1093/aob/mcf105>  
<http://dx.doi.org/10.1126/science.218.4571.443>.

- **Hu, Y., & Schmidhalter, U, (2005).** Drought and salinity: A comparison of their effects on mineral nutrition of plants. *J Plant Nutr Soil Sci*, 168, 541-549.  
<http://dx.doi.org/10.1002/jpln.200420516>
- **Hubert P. 1978 .**Recueil de fiche technique d'Agriculture spéciale à l'usage des lycées agricole à Madagascar - BDPA.
- **Ingram J., Bartizq D, 1996.** The molecular basis of dehydration tolerance in plants. *Annuaire Review of Plant Physiolo. And plant mol. Biolo.*, 47 :377-403.
- **INRA, 2006.** Sécheresse et agriculture: réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau. *Synthèse du rapport d'expertise scientifique collective*, 76p.
- **Iram et Merieme, 2013.** Essai de l'association légumineuse céréales (maïs) sur la disponibilité du phosphore dans la rhizosphère. Thèse ingénieur. ENSA. EL HARRACH. Alger, 5-18p.
- **Kramer J.P. & Boyer J.S, 1995.** *Water Relations of Plants and Soils* *Academie Press, Inc. A Division of Harcourt Brace & Company 525 B Street, Suite 1900, San Diego, California 92101-4495: 482p.*
- **Larsson, S., & Go'rny, A. G, 1988.** *Grain yield and drought resistance indices of oat cultivars in field rain shelter and laboratory experiments. J Agron Crop Sci*, 161, 277-286. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1439-037X.1988.tb00668.x>
- **Lebon E, 2006.** Effet du déficit hydrique de la vigne sur le fonctionnement du couvert.
- **Lobell, D. B., Schlenker, W., & Costa-Roberts, J, 2011.** Climate trends and global crop production since 1980.
- **Martiniello, P., & Lorenzoni, C, 1985.** Response of maize genotypes to drought tolerance tests. *Maydica*, 30,361-370. Retrieved from
- **Maryse Carraretto, 2005 :***Histoires de maïs, d'une divinité amérindienne à ses avatars transgéniques*, CTHS, (ISBN 2-7355-0577-4).
- **Matthieu Bonafous,1836 :** *Histoire naturelle, agricole et économique du maïs*, Paris.
- **Maybelline Escalante-Ten Hoopen et Abdou Maïga, Production et transformation du maïs** [archive]collJohn
- **Ministère de l'agriculture et de l'élevage, 1990.** Journées de programmation de la campagne agricole 1990-1991. Dédargou, Burkina Faso, 144 p.
- **Philippe Girardin, 1999:** *Écophysiologie du maïs*, éd. AGPM, Montardon, (ISBN 2-900 189-41-1). *Le maïs et ses industries*, éd. Association générale des producteurs de maïs, Montardon, 1994.
- **Poorter H, 1989.** Interspecific variation in relative growth rate: on ecological consequences. In: Causes and consequences of variation in growth rate and productivity of higher plants
- **Richards R. A., Rebtzke G. J., Van Herwaardlen A. F., Dugganb B. L., Condon A, 1997.** Improving yield in rainfed environments through physiological plant breeding. *Dryland Agriculture*, 36: 254-66



- **Rouanet G, 1984** : le technicien d'agriculture tropicale : le maïs, 142p.
- **ROZET. H, 1833** .Voyage dans la Régence d'Alger. - Paris.  
Science, 333, 616-620. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1204531>
- **Sorrells M. E., Diab A. et Nachit M, 2000**. Comparative genetics of drought tolerance. Options méditerranéennes série A (Séminaires méditerranéens), 40: 191-201.
- **Sprague G. F, 1997**. Number 18 in the series AGRONOMY, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA, pp225-293.
- **Srivastava J.P., Porceddu E., Acevodo E., Varma S.(éd)**.John Wiley and sons.UK: 191-200 p.
- **Sylvie Brunel, 2012** : *Géographie amoureuse du maïs*, JC Lattès. 250 p.
- **Tanner C.B. et Sinclair T.R, 1983**. Efficient water use in crop production: Research or re-research? 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.
- **Teulat B.B., Monneveux P., Wery J., Borries c., Souyriss I., Charrieri A. & This D, 1997**.relationships between relative water content and growth parameters under water stress in barley: a QTL study *.new phytoll* 37: 99-107.
- **Turner N. C 1986 (a)**. Adaptation to water deficit: a changing perspective. Australian Journal of Plant Physiology .13: 175- 90 p.
- **Velasco R., Salaminif., Bartlets D, 1994**. Deshydration and ABA increase mRNA levels and enzyme activity of cytosolic GAPDH in the resurrection plant. Plant mol. Biol., 26: 541-546.
- **Wang W.X., Brak T., Vinocur B., Shoseyov O., Altman A, 2003**. Abiotic resistance and chaprones: possible physiological role of SP1, a stable and stabilising protein from Populus. In: Vasil IK (ed), Plant biotechnology 2000 and beyond. Kluwer, Dordrecht : 439-443.
- **Zhang J., Nguyen H.T. et Blum A, 1999**. Genetic analysis of osmotic adjustment in crop plants. J. Exp. Bot, 50: 291-302.

# **Annexes**

# Photothèques

## 1. Matériel utilisé au laboratoire



## 2. Les étapes de l'expérimentation





### 3. ANOVA : Effet des génotypes

		Somme des carrés	ddl	Carré moyen	F	Sig.
Total germination	Inter-groupes	111,417	3	37,139	46,912	,000
	Intragroupes	25,333	32	,792		
	Total	136,750	35			
Poids frais	Inter-groupes	457853,850	3	152617,950	1,724	,188
	Intragroupes	2212799,911	25	88511,996		
	Total	2670653,761	28			
Poids sec	Inter-groupes	3849,977	3	1283,326	2,251	,107
	Intragroupes	14250,549	25	570,022		

## Annexe

	Total	18100,527	28			
Coleoptile poids frais	Inter- groupes	2554446,619	3	851482,206	4,699	,010
	Intragroupes	4530041,569	25	181201,663		
	Total	7084488,188	28			
Coleoptile poids sec	Inter- groupes	15579,900	3	5193,300	5,253	,006
	Intragroupes	24715,409	25	988,616		
	Total	40295,310	28			
moyenne de la longueur des racines	Inter- groupes	475,569	3	158,523	10,816	,000
	Intragroupes	366,421	25	14,657		
	Total	841,990	28			
poids frais par unite	Inter- groupes	18314,154	3	6104,718	1,724	,188
	Intragroupes	88511,996	25	3540,480		
	Total	106826,150	28			
poids sec par unite	Inter- groupes	153,999	3	51,333	2,251	,107
	Intragroupes	570,022	25	22,801		
	Total	724,021	28			
PF/PS	Inter- groupes	91,705	3	30,568	3,548	,029
	Intragroupes	215,408	25	8,616		
	Total	307,112	28			
moyenne de la longueur du coléoptile	Inter- groupes	149,998	3	49,999	11,017	,000
	Intragroupes	113,456	25	4,538		
	Total	263,453	28			
poids frais par unite	Inter- groupes	102177,865	3	34059,288	4,699	,010
	Intragroupes	181201,663	25	7248,067		
	Total	283379,528	28			
poids sec par unite	Inter- groupes	623,196	3	207,732	5,253	,006
	Intragroupes	988,616	25	39,545		
	Total	1611,812	28			
Coleoptile PF/PS	Inter- groupes	61,021	3	20,340	1,163	,344
	Intragroupes	437,293	25	17,492		
	Total	498,314	28			

## 4. ANOVA: Effet du traitement

		Somme des carrés	ddl	Carré moyen	F	Sig.
Total germination	Inter-groupes	4,667	2	2,333	,583	,564
	Intragroupes	132,083	33	4,003		
	Total	136,750	35			
Poids frais	Inter-groupes	319282,748	2	159641,374	1,765	,191
	Intragroupes	2351371,013	26	90437,347		
	Total	2670653,761	28			
Poids sec	Inter-groupes	5521,982	2	2760,991	5,707	,009
	Intragroupes	12578,545	26	483,790		
	Total	18100,527	28			
Coleoptile poids frais	Inter-groupes	651255,649	2	325627,825	1,316	,285
	Intragroupes	6433232,539	26	247432,021		
	Total	7084488,188	28			
Coleoptile poids sec	Inter-groupes	3987,845	2	1993,922	1,428	,258
	Intragroupes	36307,465	26	1396,441		
	Total	40295,310	28			
moyenne de la longueur des racines	Inter-groupes	120,750	2	60,375	2,176	,134
	Intragroupes	721,240	26	27,740		
	Total	841,990	28			
poids frais par unite	Inter-groupes	12771,310	2	6385,655	1,765	,191
	Intragroupes	94054,841	26	3617,494		
	Total	106826,150	28			
poids sec par unite	Inter-groupes	220,879	2	110,440	5,707	,009
	Intragroupes	503,142	26	19,352		
	Total	724,021	28			
PF/PS	Inter-groupes	104,958	2	52,479	6,750	,004
	Intragroupes	202,154	26	7,775		
	Total	307,112	28			
moyenne de la longueur du coléoptile	Inter-groupes	74,048	2	37,024	5,082	,014
	Intragroupes	189,405	26	7,285		

## Annexe

	Total	263,453	28			
poids frias par unite	Inter- groupes	26050,226	2	13025,113	1,316	,285
	Intragroupes	257329,302	26	9897,281		
	Total	283379,528	28			
poids sec par unite	Inter- groupes	159,514	2	79,757	1,428	,258
	Intragroupes	1452,299	26	55,858		
	Total	1611,812	28			
Coleoptile PF/PS	Inter- groupes	27,360	2	13,680	,755	,480
	Intragroupes	470,954	26	18,114		
	Total	498,314	28			

## Résumé

Le maïs est susceptible de stress hydrique, en particulier lors de la germination. L'expérience de germination des graines de quatre variétés de maïs sous différentes concentrations d'eau ont été réalisées.

Les résultats indiquent que G4 et G3 ont germé plus rapidement et plus grand que G2 et G1. Le taux de germination, le potentiel de germination, le poids frais des racines et des coléoptiles, la longueur de la racine et de coléoptiles de quatre variétés de maïs ont tous diminué sous le stress hydrique, mais ils ont diminué davantage chez G2 G1 moins que dans G4 G3.

Cependant, l'indice de germination et de vigueur de G4 G3 étaient évidemment plus élevé que celui de G2 G1 sous le stress de 5, 10 et 20 ml d'eau. Ces résultats ont montré que la résistance de G4 G3 était plus élevée que celles de G2 G1 en ayant un système racinaire plus puissant et capacité d'ajustement osmotique plus élevée.

**Mots-clés:** maïs, stress hydrique, germination, résistance à la sécheresse

### المخلص:

الذرة عرضة للإجهاد المائي، و خصوصا اثناء الانبات. تم اجراء تجربة انبات البذور من اربع اصناف من الذرة تحت تركيزات مختلفة من الماء، و تشير النتائج الى ان ا الصنف 4 قد نما اسرع و اكبر من الصنف 2 و الصنف 1. انخفض معدل الانبات و امكانات الانبات و وزن الجذر الرطب و طول الجذر و السوق للأربعة اصناف للذرة انخفضوا تحت تأثير الاجهاد المائي، و لكن بنسبة اكبر عند الصنف 1 و الصنف 2 مقارنة مع الصنف 4 و الصنف 3.

و مع ذلك كان مؤشر قوة و انتشار الصنف 4 و الصنف 3 اعلى من الصنف 2 و الصنف 1 في التراكيز المستعملة 5مل، 10مل و 20 مل من الماء اظهرت هذه النتائج ان مقاومة الصنف 4 و الصنف 3 كانت اعلى منها عند الصنف 2 و الصنف 1 من خلال وجود نظام جذري قوي والقدرة على التكيف الاسموزي العالي.

**الكلمات الرئيسية:** الذرة، الاجهاد المائي، الانتاش، مقاومة الجفاف.

### Abstract

Maize is susceptible to drought stress, especially during germination. The experiment of seed germination and seedling growth of four maize varieties under different concentration of water solution was carried out. Results indicated that G4 G3 germinated in great numbers than G1 G2. The germination rate, germination potential, shoot and root fresh weight, coleoptile and root length of four maize varieties both decreased under drought stress, but they decreased more in G2 G1 than in G3 G4.

However, the germination and vigor index of G4 G3 were obviously higher than G2 G1 under the stress of 5, 10 and 20 ml of water. These results showed that the drought resistances of G4 G3 were higher than that of G2 G1 by having more powerful root system and higher osmotic adjustment ability.

**Keywords:** Maize, drought stress, germination, drought resistance.