

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITÉ DJILLALI LIABES DE SIDI BEL ABBES



FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE  
DÉPARTEMENT DES SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT

# Mémoire

*De fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master*

**Domaine** : Sciences de la nature et de la vie (S.N.V.)

**Filière** : Sciences Biologiques

**Spécialité** : Biologie de la conservation

Intitulé du thème :

*Effet du stress hydrique induit par le polyéthylène glycol sur la germination in vitro du Maïs  
(Zea mays L.)*

Présenté par : **Melle : Bensalah Asmaa**

**Melle : Deragha Cheimaa**

Mémoire soutenu devant l'honorable jury composé de :

Président de jury	: <b>Mr Z. Hazem</b>	(MCB UDL de Sidi Bel Abbés)
Examineur	: <b>Mr R. Djellouli</b>	(MAA UDL de Sidi Bel Abbés)
Promoteur	: <b>Mme F.Z Bessam</b>	(MCA UDL de Sidi Bel Abbés)

**Année universitaire 2020 - 2021**

**Session : « ..... »**



## *Dédicace*

*À cœur vaillant rien d'impossible, a conscience tranquille tout est Accessible.*

*Je dédie ce travail à ceux que j'ai tant aimés avec beaucoup d'affection: mes parents, tous les mots du monde ne peuvent pas exprimer l'amour et le respect que je porte à ma mère **Rokia** et mon père **Slimane** pour leurs soutiens et leurs sacrifices énormes.*

*À mon frère **Larbi Walid** pour son encouragement.*

*À ma sœur **Rimas** qui m'apporte de la bonne humeur dans mon quotidien.*

*Sans oublié ma grande famille qui est le symbole de la fierté, Surtout ma grand-mère, qui ne lésine pas sur sa prières, mes oncles et tantes surtout **Mohamad Belabbes** et **Housine**.*

*À mes amis chacun par son nom.*

*À tous ceux que j'aime et que je respecte et tous qui me connaissent de près ou de loin. Et à toute la promo de biologie de la conservation de SBA 2020-2021.*

*Enfin, je dédie ce mémoire à tous les instituteurs, les professeurs et enseignants qui ont contribué à la réussite de ce travail.*

**BENSALAH ASMAA**



## *Dédicace*

*Avant toute personne, je remercie ALLAH le tout puissant.*

*Je dédie ce modeste travail avec plein d'amour et de respect:*

*À celle m'est la plus chère au monde, qui n'a pas cessé de m'encourager,  
de prier pour moi, et qui a su m'entourer de toute son affection et  
son amour. Que Dieu la protège, Ma chère mère .*

*À ce qui fait l'impossible pour me donner le bonheur,*

*Mon cher père: **Ahmed**, qui peut être fier et trouver ici le résultat de  
Longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie.*

*À mes chers frères : **Arbi , khaled.***

*À ma chère sœur : **Wafaa.***

*À mon binôme : **Bensaleh Asmaa.***

*À mes chers amis : **Khadidja ; Salifa ; Fatima ; Manal ; Asmaa ; Wahiba ; Wafaa ; Zahra ;  
Romaissa.***

*À tous mes chers de la promo de biologie de la conservation de SBA 2020\_2021*

**DERAGHA CHEIMAA**

## *Remerciements*

*Au terme de cette étude, nous remercions avant, Dieu tout puissant de nous avoir guidé de suivre le chemin de la science et nous avoir permis la réalisation de ce présent travail.*

*Tout d'abord, qui nous a inspiré les bons pas et les justes réflexes. Nous tenons vivement à exprimer notre profonde reconnaissance à notre encadreur **Mm F Z Bessam**, Docteur à l'université de **DJILLALI LIABES** de Sidi Bel Abbès, qui a bien voulu, diriger ce travail et fait preuve d'une grande patience.*

*Nos remerciements vont aussi à **Mr Z. HAZEM** de l'université de **DJILLALI LIABES** de Sidi Bel Abbès, qui nous a fait l'honneur en acceptant de présider le jury. Nos remerciements les plus sincères à **Mr R. DJELLOULI**. De l'université de **SIDI BEL ABBES** pour l'honneur qu'il nous est fait d'accepter de juger ce travail.*

*Tous nos remerciements au professeur **Mr MOHAMED BELABBES**, pour son aide et ses conseils.*

*Nous tenons à remercier spécialement **Mr Z HAZEM**; pour son aide et sa disponibilité.*

*Nos remerciements les plus chaleureux à **Mr MEHDADI** pour son aide précieuse.*

*Enfin, ce travail n'aurait pas été mené à terme sans les concessions et les encouragements de nos parents et tous ceux qui nous ont aidé de près ou de loin à réaliser ce travail, auxquels nous disons tout simplement merci.*

**BENSALAH ASMAA & DERAGHA CHEIMAA**

## Liste des figures

<b>N° des figures</b>	<b>Les titres</b>	<b>pages</b>
<b>1</b>	Anatomie du maïs	<b>03</b>
<b>2</b>	Structure d'un pied de maïs	<b>05</b>
<b>3</b>	Partie d'un grain de maïs	<b>05</b>
<b>4</b>	Développement du maïs	<b>06</b>
<b>5</b>	Quatre stades de la germination du grain de maïs	<b>07</b>
<b>6</b>	Semences du maïs	<b>10</b>
<b>7</b>	L'irrigation du champ du maïs	<b>12</b>
<b>8</b>	Les traitements en champ du maïs	<b>13</b>
<b>9</b>	Récolte du maïs	<b>16</b>
<b>10</b>	Remplissage des grains sur épi en fonction du niveau de stress	<b>19</b>
<b>11</b>	Conséquence du déficit hydrique au moment de floraison: avortement des ovules	<b>20</b>
<b>12</b>	Dispositif expérimental	<b>25</b>
<b>13</b>	Variation de la capacité de germination des grains de maïs en fonction du PEG	<b>27</b>
<b>14</b>	Variation de la vitesse de germination des grains de maïs en fonction du PEG	<b>28</b>
<b>15</b>	Variation du temps moyen de germination des grains de maïs en fonction du PEG	<b>28</b>
<b>16</b>	Variation de la longueur des racines des grains de maïs en fonction du PEG	<b>29</b>
<b>17</b>	Évolution du taux de germination des grains de maïs en fonction du temps	<b>29</b>

## Liste des tableaux

<b>N° des tableaux</b>	<b>Les titres</b>	<b>pages</b>
<b>1</b>	Classification du maïs	<b>03</b>
<b>2</b>	Les besoins en minéraux du maïs	<b>09</b>
<b>3</b>	Absorption des éléments nutritifs majeurs au cours d'une saison	<b>09</b>
<b>4</b>	Exemples des insectes nuisibles	<b>14</b>
<b>5</b>	Exemples des maladies dominantes	<b>15</b>
<b>6</b>	Importance de la production de maïs dans le monde	<b>17</b>
<b>7</b>	Importance du maïs en Algérie	<b>18</b>
<b>8</b>	Les mécanismes d'adaptation aux stress	<b>22</b>

# SOMMAIRE

Liste des figures

Liste des tableaux

## Introduction

Introduction .....01

## Chapitre I

### Étude bibliographique

I. LE MAÏS .....03

I.1. DESCRIPTION BOTANIQUE .....03

I.1.1. Anatomie du maïs .....03

 Tige .....04

 Feuille .....04


 Racine .....04


 Fleur .....04

 Grain .....05

I.2. PHYSIOLOGIE ET DÉVELOPPEMENT .....06

 La phase végétative .....06

 La phase de reproduction .....07

 La phase de développement du grain .....08

I.3. CULTURE ET FERTILISATION .....08

I.4. PRÉPARATION DU SOL ET CHOIX VARIÉTAL .....09

I.4.1. Semis du maïs .....10

I.5. SUIVI DE LA CULTURE DU MAÏS .....11

I.5.1. L'irrigation .....11

I.5.2. Les traitements .....12

I.6. LUTTE CONTRE LES ENNEMIS DU MAÏS .....	13
I.6.1. Insectes nuisibles .....	13
I.6.2. Maladies dominantes .....	14
I.7. RÉCOLTE DU MAÏS .....	15
I.8. SÉCHAGE ET CONSERVATION DU MAÏS .....	16
I.9. PRODUCTION DU MAÏS .....	16
I.9.1. Production du maïs en Algérie .....	17
II. STRESS HYDRIQUE .....	19
II.1. SYMPTÔMES DE STRESS HYDRIQUE SUR LE MAÏS .....	19
II.2. LES PHASES DU STRESS HYDRIQUE .....	20
II.3. MÉCANISMES D'ADAPTATION DES PLANTES AUX STRESS HYDRIQUE.....	21
II.4. PHYSIOLOGIE DE LA TOLÉANCE DES PLANTES AU STRESS HYDRIQUE.....	23
II.5. EFFET DU STRESS HYDRIQUE SUR LA CROISSANCE .....	23

## **Chapitre II**

### **Matériel et méthodes**

I. MATÉRIEL BIOLOGIQUE.....	24
II. MÉTHODES D'ÉTUDE .....	24
II.1. Déroulement des essais de germination .....	24
III. MODE D'EXPRESSION DES RÉSULTATS .....	25
III.1. Capacité de germination (CG) .....	25
III.2. Vitesse de germination .....	25
III.3. Temps moyen de germination (TM) .....	25
III.4. Cinétique de germination .....	26
III.5. Paramètre morphologique des racines .....	26

## **Chapitre III**

### **Résultats et discussion**

I. RÉSULTATS .....	27
I-1- Germination des grains de maïs .....	27
I-2- Vitesse de germination des grains de maïs .....	27
I-3- Temps moyen des grains de maïs .....	28
I-4- Longueur des racines des grains de maïs .....	29
I-5- Résultats de la représentation graphique de la cinétique de la germination des grains de maïs .....	29
III.2. DISCUSSION .....	31

### **Conclusion générale**

CONCLUSION GÉNÉRALE .....	33
---------------------------	----

### **Références bibliographiques**

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	34
-----------------------------------	----

## RÉSUMÉ

Le sujet concerne une contribution à la connaissance de l'effet du stress hydrique, *in vitro*, sur le premier stade de développement d'une espèce, le maïs (*Zea mays* L.).

L'objectif est de connaître la réponse et le niveau de tolérance au déficit hydrique des grains de maïs durant la germination.

Dans ce travail, six concentrations croissantes de PEG 6000 ont été utilisées. Ces concentrations varient de 0,2 g / 25 ml à 1,2 g / 25 ml avec une progression de 2,0 g / l. Cinq paramètres de germination ont été utilisés pour évaluer ce phénomène sur une période de 29 jours. Il s'agit de la capacité de germination, la vitesse de germination, le temps moyen de germination et la cinétique de la germination.

Les résultats ont montré que la germination est complètement inhibée à la concentration de 1 et 1.2 g / 25ml de PEG indiqués par la capacité finale de germination qui est nulle; alors que celle du témoin était maximale avec 100 %.

Ce paramètre a significativement chuté au fur et à mesure de l'augmentation des concentrations de PEG et surtout à partir de la concentration de 0,8 g / 25 ml.

Les résultats obtenus indiquent l'effet significatif du stress hydrique sur la germination des grains en retardant son déclenchement et sa vitesse moyenne.

**Les mots clés:** Germination, stress hydrique, PEG 6000, Maïs (*Zea mays* L.)

## نبذة مختصرة

يتعلق الموضوع بالمساهمة في معرفة تأثير الإجهاد المائي، في المختبر، على المرحلة الأولى من تطور أحد الأنواع، الذرة (Zea mays L.).

الهدف هو معرفة الاستجابة ومستوى تحمل النقص المائي لحبوب الذرة أثناء الإنبات.

في هذا العمل ، تم استخدام ستة تراكيز متزايدة من PEG 6000 تختلف هذه التركيزات من 0.2 جم / 25 مل إلى 1.2 جم / 25 مل مع تقدم 2.0 جم / لتر. تم استخدام خمس معلمات إنبات لتقييم هذه الظاهرة على مدار 29 يومًا. هذه هي القدرة على الإنبات، معدل الإنبات، متوسط وقت الإنبات وحركية الإنبات.

أظهرت النتائج أن الإنبات يتم تثبيطه تمامًا عند تركيز 1 و 1.2 جم / 25 مل من PEG المشار إليه بواسطة قدرة الإنبات النهائية وهي صفر ؛ بينما كان الحد الأقصى للشاهد 100٪.

انخفضت هذه المعلمة بشكل كبير مع زيادة تركيزات PEG وخاصة من تركيز 0.8 جم / 25 مل.

تشير النتائج التي تم الحصول عليها إلى التأثير المعنوي للضغط المائي على إنبات الحبوب من خلال تأخير بدايتها ومتوسط سرعتها.

**الكلمات المفتاحية:** الذرة ، الإنبات ، الإجهاد المائي ، PEG 6000.

## **ABSTRACT**

The subject concerns a contribution to the knowledge of the effect of water stress, in vitro, on the first stage of development of a species, maize (*Zea mays* L.).

The objective is to know the response and the level of tolerance to the water deficit of corn kernels during germination.

In this work, six increasing concentrations of PEG 6000 were used. These concentrations vary from 0.2 g / 25 ml to 1.2 g / 25 ml with a progression of 2.0 g / l. Five germination parameters were used to assess this phenomenon over a period of 29 days. These are the germination capacity, germination rate, mean germination time and germination kinetics.

The results showed that germination is completely inhibited at the concentration of 1 and 1.2 g / 25ml of PEG indicated by the final germination capacity which is zero; while that of the witness was maximum with 100%.

This parameter dropped significantly as the concentrations of PEG increased and especially from the concentration of 0.8 g / 25 ml.

The results obtained indicate the significant effect of water stress on grain germination by delaying its onset and its average speed.

**Keywords:** Germination, water stress, PEG 6000, Maize( *Zea mays* L )

***CHAPITRE I***  
***ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE***

## INTRODUCTION

Les céréales occupent, à l'échelle mondiale, une place primordiale dans les programmes de recherche agricole. La culture des céréales est une spéculation prédominante de l'agriculture algérienne. Elle occupe près de trois millions d'hectares dans un système biennal dominant jachère-céréale (Adjabi, 2011).

Les céréales et particulièrement le maïs (*Zea mays* L.) est une plante qui appartient à la famille des graminées qui constituait l'alimentation de base des anciennes civilisations d'Amérique centrale d'où la plante est originaire.

Aujourd'hui, le maïs est devenu la première céréale cultivée dans le monde, devant le riz et le blé. Récolté en grain ou avec toute la plante, le maïs est largement utilisé dans l'alimentation animale et humaine, et pour des usages industriels.

Le changement climatique global, dont les prévisions estiment l'augmentation des températures moyennes entre 2 et 4°C d'ici la fin du siècle, aura un impact sur l'agriculture dont la performance est directement liée à l'évolution du climat. Le maïs étant une culture d'été, une baisse des disponibilités hydriques aura une incidence sur le déroulement de son cycle végétal et sur la croissance de la plante.

Pour que le maïs s'adapte au changement climatique, les chercheurs travaillent sur plusieurs pistes dont la première consiste à analyser la situation dans les pays plus arides avec moins de précipitations : Europe de l'Est, Espagne, Grèce...

En étudiant les variétés cultivées et les itinéraires techniques des cultures, les chercheurs espèrent transférer ces méthodes agronomiques sous nos latitudes : adapter les dates de semis, les densités de culture, les méthodes d'irrigation.

Les variétés de maïs doivent être capables de supporter les températures élevées pendant l'été, mais aussi les températures les plus basses ; en effet, la stratégie dite d' « évitement » consiste à semer le maïs plus tôt pour décaler sa croissance et la reproduction du maïs en dehors des périodes les plus chaudes.

En parallèle de l'augmentation de la population mondiale et de la demande alimentaire, les surfaces agricoles cultivables sont en régression pour des raisons diverses : urbanisation sur les terres agricoles, désertification, érosion et perte de fertilité des sols. Les agriculteurs se trouvent donc confrontés à la nécessité de produire autant, voire davantage, avec moins de surfaces exploitables.

Face à ce contexte mondial, le maïs répond en partie à ce défi. En effet, les progrès génétiques réalisés par les sélectionneurs sur les variétés de maïs ont permis d'augmenter les rendements des cultures, et donc la production alimentaire pour une même surface.

L'amélioration des résistances aux maladies, aux ravageurs et aux autres parasites du maïs diminue les pertes dans les cultures. Le contrôle de la qualité des semences tout au long de la production garantit l'état sanitaire et la germination des semences (Gniss pédagogie, 2020).

Nous nous sommes intéressés dans ce présent travail à l'espèce du maïs, plante annuelle appartenant à la famille des poacées.

Notre travail est subdivisé en deux parties :

- 🍌 La première partie est une revue bibliographique, dans laquelle sont développés deux chapitres se rapportant à la monographie de l'espèce étudiée, le stress hydrique et les mécanismes morpho-physiologiques de la tolérance de cette plante au stress hydrique;
- 🍌 La deuxième partie correspond à l'étude expérimentale, dans laquelle sont présentés le matériel végétal étudié, la technique d'analyse adoptée ainsi que les résultats et discussion.

***PARTIE I***  
***DONNÉES GÉNÉRALES***  
***LE MAÏS***

## I. LE MAÏS

### I.1. DESCRIPTION BOTANIQUE

Le maïs (*Zea mays* L.) est une céréale herbacée annuelle, du genre *Zea*, appartenant à la famille des Poacées (Graminées) tribu des Maydes. C'est la seule espèce cultivée de ce genre et la seule de grande importance économique de la tribu (Reeves et Mangelsdorf, 1942). De taille variable (de 40 cm jusqu'à 5 m, généralement entre un et trois mètres pour les variétés couramment cultivées) (Tableau 1).

<b>Règne</b>	<i>Plantae</i>
<b>Division</b>	<i>Magnoliophyta</i>
<b>Classe</b>	<i>Liliopsida</i>
<b>Ordre</b>	<i>Cyperales</i>
<b>Famille</b>	<i>Poaceae</i>
<b>Genre</b>	<i>Zea</i>
<b>Espèce</b>	<i>Zea mays</i> L

Tableau 1: Classification du maïs (Techno-Science.net).

#### I.1.1. Anatomie du maïs

Le maïs est composée de plusieurs composants : (Figure 1)

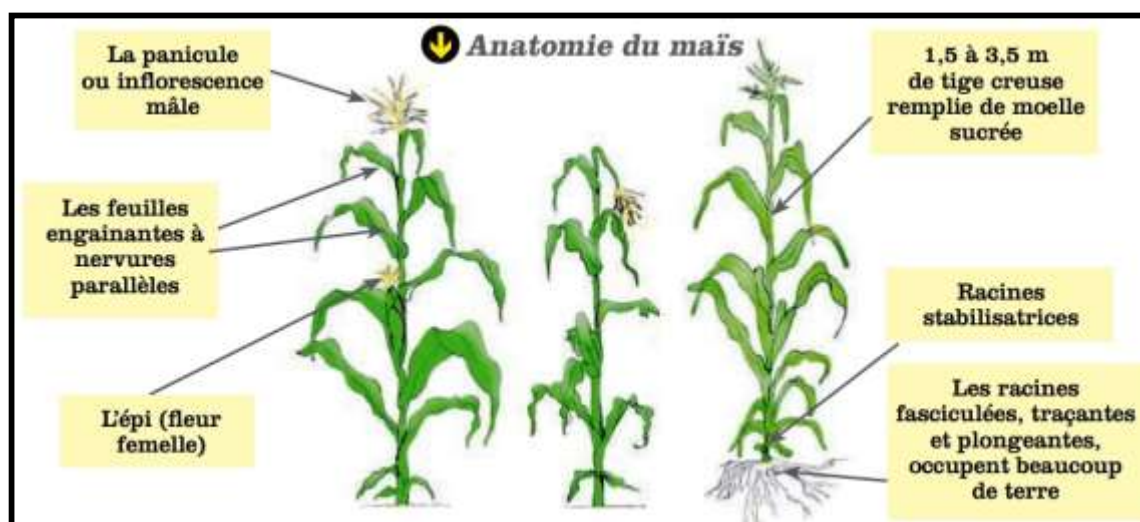


Figure 1: Anatomie du maïs (Gnis, 2019)

## **Tige**

La tige unique est de gros diamètre pleine, lignifiée et formée de plusieurs entrenœuds d'une vingtaine de centimètres séparés par autant de nœuds. Au niveau de chaque nœud est insérée une feuille alternativement d'un côté et de l'autre de la tige.

## **Feuille**

Les feuilles (Boyer, 1970 ; Acevedo *et al.*, 1979), typiques des graminées, mais de grande taille (jusqu'à 10 cm de large et un mètre de long), ont une gaine enserrant la tige et un limbe allongé en forme de ruban à nervures parallèles. À la base du limbe se trouve la ligule qui a quelques millimètres de haut.

Contrairement aux autres graminées, le pied de maïs ne talle pas, toutefois on voit parfois des tiges secondaires, de taille limitée, à la base de la tige principale.

## **Racine**

Le système racinaire comprend un très grand nombre de racines adventives qui naissent sur les nœuds situés à la base de la tige, formant des couronnes successives, tant sur les nœuds enterrés que sur les premiers nœuds aériens dans une zone où les entrenœuds sont très courts. Ces racines forment un système fasciculé qui peut atteindre une profondeur supérieure à un mètre.

## **Fleur**

Les fleurs, autre caractéristique qui distingue le maïs des autres graminées, sont unisexuées et regroupées en inflorescences mâles et femelles composées d'épillets de deux fleurs. (Hallauer et Miranda, 1981).

Les fleurs femelles sont groupées en épis insérés à l'aisselle des feuilles médianes (les plus grandes). L'axe de l'épi, appelé rafle, porte 10 à 20 rangées de fleurs femelles. Une seule fleur par épillet est fertile. Il est entouré de feuilles modifiées, les spathes, desséchées à maturité. À l'extrémité supérieure, les spathes laissent dépasser les stigmates filiformes ou soies. Un épi peut contenir environ 500 grains à maturité, parfois mille. Un pied donne naissance à trois ou quatre épis, mais un seul atteint généralement un développement complet (Hallauer et Miranda, 1981) (Figure 2).

Les fleurs mâles sont groupées dans une panicule terminale qui apparaît après la dernière feuille. Cette panicule est constituée d'épillets regroupant chacun deux fleurs à trois étamines. (Hallauer et Miranda, 1981) (Figure 2).

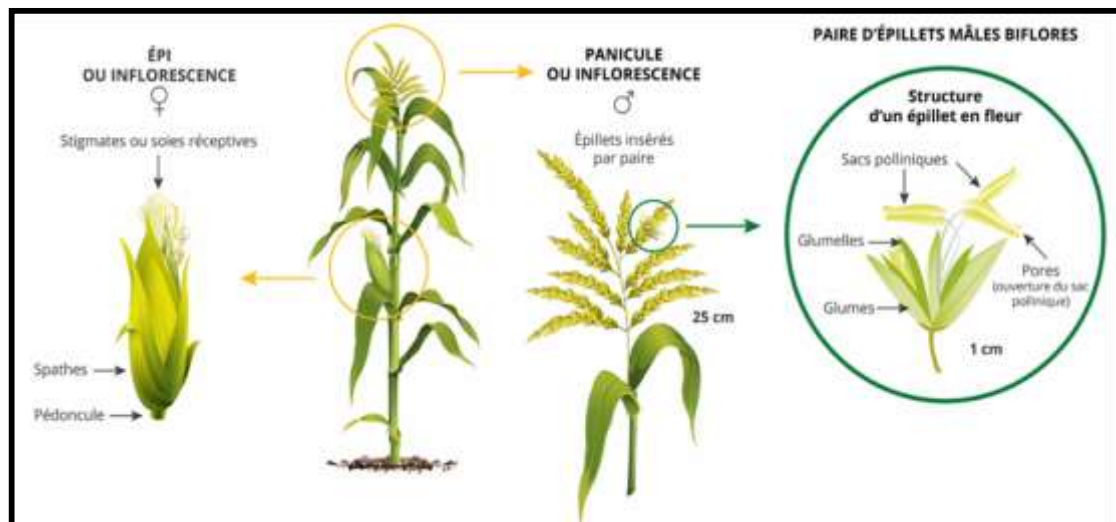


Figure 2 : Structure d'un pied de maïs (Gnis, 2019)

## 🍌 Grain

Le grain de maïs est en fait un caryopse, formé de trois parties d'origines différentes:

L'embryon, « germe », situé à la base du grain qui comprend l'embryon proprement dit le cotylédon, organe de réserve dans lequel la plantule puise son énergie initiale, l'embryon est issu de l'œuf formé à la suite de la fusion du noyau d'un spermatozoïde et de l'oosphère.

L'albumen, tissu de réserve essentiellement composé de grains d'amidon, sauf la couche périphérique située sous le péricarpe qui contient des grains d'aleurone riches en protéines. Ce tissu est issu de la fusion du noyau d'un spermatozoïde et des deux noyaux de la cellule centrale (c'est donc un tissu à  $3n$  chromosomes).

L'enveloppe extérieure (péricarpe), fine membrane translucide et fibreuse, issue du péricarpe de l'ovaire (donc en réalité une partie du fruit et non pas de la graine).

L'amidon de l'albumen se présente sous deux formes : l'amylose, polymère linéaire du glucose, et l'amylopectine, polymère formant une molécule ramifiée. (Bernard *et al.*, 2004) (Figure 3).

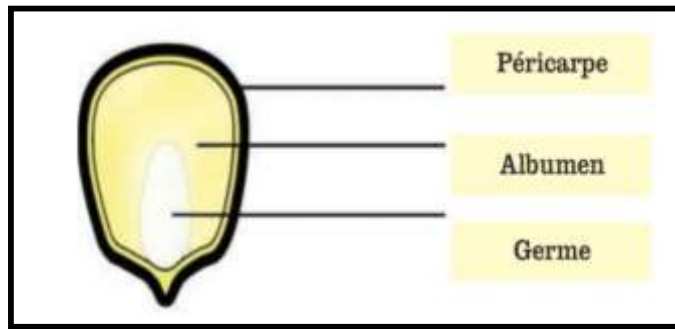


Figure 3 : Partie d'une graine de maïs (Maybellin & Abdou, 2012)

## I.2. PHYSIOLOGIE ET DÉVELOPPEMENT

La physiologie du maïs a été décrite dans de nombreuses études détaillées (Fischer et *al.*, 1987; Pearson et Hall, 1984; Hay et Walker, 1989; Squire, 1990; Evans, 1993). Les aspects de la physiologie du maïs qui peuvent être manipulés pour l'amélioration de sa production et pour la sélection des variétés comprennent les points suivants. (Figure 4).

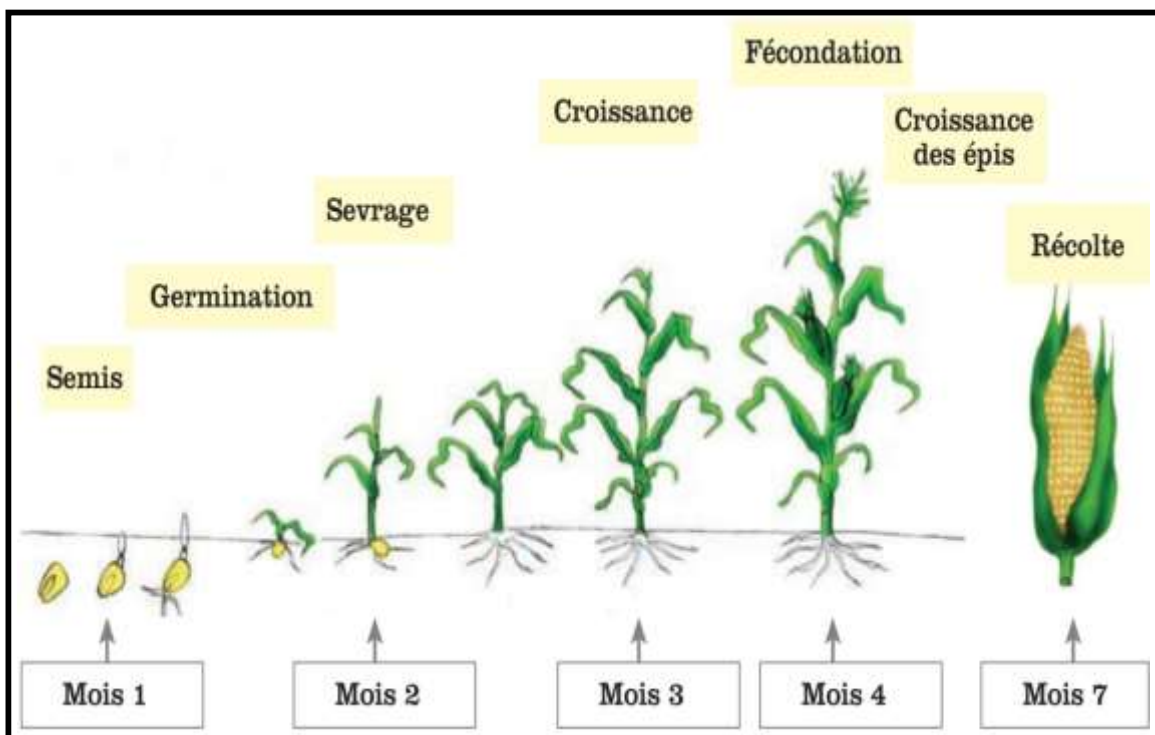


Figure 4 : Développement du maïs (Maybellin & Abdou, 2012)

## La phase végétative

La germination de la graine mobilise les réserves contenues dans l'albumen : le coléoptile perce le sol et libère les premières feuilles. Lors de cette phase, la tige et les feuilles se développent pour que le jeune plant de maïs devienne progressivement autotrophe.

Dans le même temps, les racines traçantes du maïs se développent dans les couches superficielles du sol pour prélever l'eau et les nutriments nécessaires pour la croissance de la plante. La durée de la phase végétative dépend évidemment de la précocité de la variété et des conditions climatiques. (La France Agricole, 2020). (Figure 5).

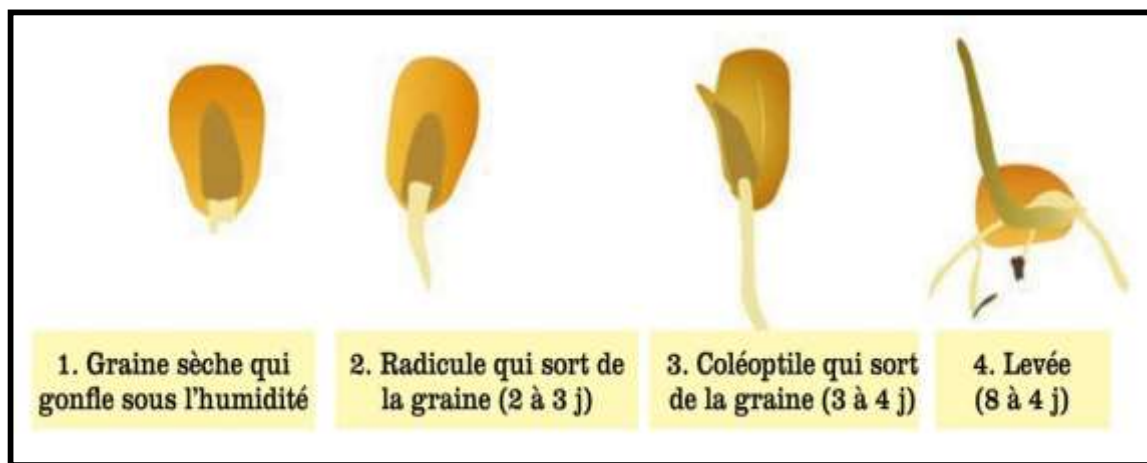


Figure 5 : Quatre stades de la germination du grain de maïs (Maybellin & Abdou, 2012)

## La phase de reproduction

La phase de reproduction correspond à la formation et au développement des organes reproducteurs. L'épi commence à se développer un mois avant la floraison. Le nombre de rangs de grains portés par l'épi est déjà déterminé à cette date.

Dès la fin de la phase végétative, la panicule commence à se développer, tandis que la formation du pollen débute 2 à 3 semaines avant la floraison. Le maïs valorise très bien l'irrigation, en particulier pendant la formation des organes reproducteurs et au moment de la floraison ainsi que lors du développement du grain. Une irrigation bien menée améliore la quantité des grains et leur remplissage.

Pour que la fécondation croisée soit favorisée entre deux plantes différentes, les organes reproducteurs mâles et femelles ne sont pas matures en même temps. Généralement, les anthères du maïs, organes masculins, sont mûres 2 à 4 jours avant que les styles (soies) ne deviennent réceptifs au pollen : le maïs est dit protandre.

La soie a pour rôle de capter le grain de pollen émis par les panicules pour que celui-ci puisse, grâce au tube pollinique, aller féconder l'ovule. Les premières soies sorties correspondent aux grains de la base de l'épi. La progression de sortie des soies se fait ensuite de bas en haut jusqu'à l'extrémité de l'épi. La sortie complète a lieu en 4 à 6 jours. Dès ce moment-là, et dans de bonnes conditions, la fécondation complète de l'épi est possible.

Chaque épillet de la panicule est composé de deux fleurs, chaque fleur possédant trois étamines. Les deux fleurs d'un même épillet ne libèrent pas le pollen en même temps : une des deux fleurs a une avance de 3 à 4 jours sur l'autre.

La floraison des épillets se fait dans un ordre bien précis et commence sur le brin maître de la panicule. Pour une seule panicule, la libération totale du pollen dure 8 à 10 jours. L'émission du pollen se fait surtout le jour, elle débute très peu de temps après le lever du soleil et est maximale au milieu de la matinée.

En cas de pluie ou d'irrigation, la déhiscence des anthères est limitée et le pollen reste enfermé dans les loges des étamines. La durée de vie du pollen est généralement de quelques heures seulement. Le pollen libéré tombe de la panicule par simple gravité et est transporté par le vent jusqu'aux soies, permettant la fécondation.

Dans les minutes qui suivent son arrivée sur la soie, le grain de pollen émet un tube pollinique. Celui-ci progresse rapidement dans la soie et arrive en moins de 24 heures jusqu'à l'ovule. Plusieurs dizaines de grains de pollen peuvent « germer » dans une même soie, mais un seul parviendra à l'ovule et assurera la fécondation. (Paysans et Société d'octobre 2020).

### **La phase de développement du grain**

Une fois que la fécondation a eu lieu, le nombre définitif de grains sur la plante est déterminé. Dans les semaines qui suivent, les grains se développent et accumulent des réserves d'amidon. A partir de la fin du mois d'août, la texture de l'amidon évolue, tout d'abord laiteux, il devient ensuite pâteux, puis vitreux.

La répartition de ces trois formes d'amidon dans le grain renseigne sur le pourcentage d'humidité dans le grain et l'état de maturité des plantes. L'observation du contenu des grains de maïs permet à l'agriculteur de connaître la date optimale de récolte du maïs.

### I.3. CULTURE ET FERTILISATION

Pour que les cultures poussent, elles ont besoin d'un approvisionnement suffisant en nutriments, ainsi que de lumière, d'eau et de chaleur. Avec une fertilisation correspondante de la culture et du site, vous pouvez garantir cet apport en nutriments et jeter les bases d'une plantation de maïs réussie. (Paliwal, 2002).

Une culture de maïs qui produit quatre tonnes de grains nécessite environ 100 kg d'azote (N), 18 kg de phosphore (P) et 68 kg de potasse (K) (Sanchez, 1976). Les besoins du maïs pour boucler son cycle sont approximatifs aux valeurs présentées dans le tableau 2. Chacun de ces éléments a son rôle pour la culture.

Eléments Majeurs (kg/ha)		Eléments traces (g/ha)	
N	240	B	75
P2O5	90	Cu	90
K2O	270	Zn	600
CaO	60	Mn	1800
MgO	40		
SO2	65		

**Tableau 2 : Les besoins en minéraux du maïs (Oost, 2005)**

L'apport de l'azote influence la croissance juvénile du maïs et sa teneur en azote brute digestible en fin de saison.

Le phosphore intervient dans le mécanisme de la maturation et influencera donc directement la teneur en matière sèche.

La potasse, elle conduit à la formation de l'épi et des grains.

Le maïs a un développement très rapide, l'élément fertilisant doit donc être disponible au moment où la plante en a besoin. La majeure partie des éléments nutritifs est prélevée durant la période relativement courte qui couvre la formation de l'épi et plus précisément 10 jours avant l'apparition des fleurs jusqu'à 25 à 30 jours après (Tableau 3).

Eléments nutritifs	1er mois	2ème mois	3ème mois	4ème mois
<b>N</b>	faibles	40%	50%	10%
<b>P</b>	faibles	25%	50%	25%
<b>K</b>	faibles	70%	30%	

**Tableau 3 : Absorption des éléments nutritifs majeurs au cours d'une saison (Oost, 2005)**

#### **I.4. PRÉPARATION DU SOL ET CHOIX VARIÉTAL**

Avant le semis, la préparation du sol est une étape essentielle pour favoriser l'émergence et le développement de la plante.

Pour obtenir de meilleurs rendements, abattre le sous-bois (arbres, branches), car lorsqu'il y a suffisamment de lumière, le rendement est élevé ; et même pour permettre un meilleur labour et des travaux d'entretien faciles, défricher (herbes) et nettoyer la parcelle. Et pour éloigner les rongeurs (hérissons, souris), nettoyer et dégager les alentours du champ, et bien sur pour une germination facile des graines, la terre labourée (profondeur 15 à 30 cm) doit être bien ameublie en billons ou à plat, parce que le maïs a un système racinaire superficiel, donc la préparation du sol doit permettre à la plante de bien prendre racine.

La structure homogène, sans obstructions ni zones creuses, favorisera le réchauffement du sol, assurera une émergence rapide et harmonisée, et permettra un enracinement plus profond de la plante capable d'extraire les éléments nécessaires à son développement (Maybelline et Abdou, 2012).

### **I.4.1. Semis du maïs**

Le maïs est une culture d'été qui peut être cultivée de la mi-mars à la fin mai dans l'hémisphère nord, selon le type de variété précoce. Les semis doivent être effectués dès que la température du sol dépasse 10°C pour permettre une bonne germination des graines (Figure 6).



**Figure 6 : Semences du maïs**

L'agriculteur choisit une variété de maïs adaptée aux conditions pédoclimatiques de ses parcelles, en fonction de plusieurs critères : le rendement, la précocité, la résistance à la verse des tiges, la résistance aux maladies, la vigueur au départ ou encore la valeur alimentaire de la variété.

Le maïs se plante en rangées espacées d'environ 75 cm pour obtenir un bon ensoleillement pour la plante, avec une graine tous les 13 cm d'affilée pour le développement des racines. La profondeur optimale de semis est de 4 à 5 cm. Près de la surface, la graine sera plus vulnérable aux attaques d'oiseaux et peut ne pas germer par temps sec dans les jours suivant le semis. Au contraire, si la graine est plantée trop profondément, la levée sera plus lente et moins régulière.

Le semis est une étape très importante car la culture doit être rapide et homogène afin d'assurer un bon démarrage de la culture. La vigueur de la plante à la levée réduit l'attaque des ravageurs et permet au maïs de surmonter la croissance des mauvaises herbes (Paliwal, 2002).

## **I.5. SUIVI DE LA CULTURE DU MAÏS**

### **I.5.1. L'irrigation**

Le maïs est une plante d'été qui pousse pendant les périodes les plus chaudes de l'année. L'évaporation par transpiration atteint son apogée en été. Donc il demande beaucoup d'eau, en raison de la grande quantité de matière organique produite lors de la croissance. Le besoin en eau de maïs cultivé dans les plaines est d'au moins 500 mm de précipitations bien réparties tout au long de la saison (Norman *et al.*, 1995).

Le stress hydrique doit être évité pendant les stades de floraison et de développement des fleurs fertilisées. Il exige un maximum d'humidité durant la période de la formation de l'aigrette et des soies. Ce qui signifie que pour la synthèse d'un gramme de matière sèche, le maïs transpire 280 à 350 grammes d'eau.

Pendant la période de croissance intensive, comme les deux semaines qui se situent avant l'apparition de l'aigrette, une seule plante de maïs transpire 2 à 4 litres d'eau en 24 heures. Il s'ensuit qu'un champ d'un hectare comptant 50.000 plantes produit 100 à 200 tonnes d'eau par jour.

Concernant les conditions climatiques et les méthodes de culture, le maïs consomme 60 à 90 tonnes d'eau pour produire 100 kg de grains. Les conditions d'humidité favorables au maïs sont réunies, lorsque l'humidité du sol est en surplus au niveau des racines et si le total des précipitations devant atteindre 400 mm au moins, est favorablement distribué durant la période de croissance (Figure 7).

La teneur en humidité du sol pour la croissance et le développement favorable à un rendement élevé doit atteindre 60 à 70% de la capacité au champ.

Dans des conditions de sécheresse, le taux de croissance est diminué, la période de fécondation est retardée, et la formation ainsi que le remplissage des grains sont considérablement réduits, entraînant par là une diminution de rendement (Ristanovic, 2001).

La profondeur de semis est de 5 à 8 cm si l'humidité est adéquate à cette profondeur. La levée rapide et régulière des plantules se fait alors en quatre ou cinq jours. Cette durée augmente lors du semis plus profonds.

Dans certains environnements, par exemple dans les hautes terres du Mexique, la semence est normalement mise à des profondeurs de 12 à 15 cm dans le but d'atteindre une humidité suffisante pour assurer une bonne germination (Paliwal, 2002).



**Figure 7 : L'irrigation du champ du maïs  
(Gnis, 2019)**

### **I.5.2. Les traitements**

Le maïs est une culture qui nécessite peu de traitement, que ce soit pour contrôler la croissance des mauvaises herbes, les dommages causés par les ravageurs ou la fertilisation du sol.

La plupart des traitements effectués sont l'élimination des mauvaises herbes, qui conditionne le succès de la culture. Pour ne pas étouffer les mauvaises herbes ou retarder la croissance du maïs, l'agriculteur dispose de stratégies préventives pour réduire le risque de désherbage: diversification des rotations culturales pour éviter de semer une culture de printemps avant le maïs, et semis en faveur d'un démarrage rapide de la compétition des adventices (Figure 8).

La lutte contre les mauvaises herbes du maïs peut être mécanique, chimique ou une combinaison des deux méthodes. Pour obtenir une bonne efficacité, la lutte chimique contre les mauvaises herbes doit être effectuée lorsque les mauvaises herbes sont au début du développement, en tenant compte du stade maïs pour éviter tout problème phytotoxique.

Les conditions climatiques sont importantes pour une suppression efficace des mauvaises herbes, en particulier le vent et l'humidité.

De nombreux ravageurs du maïs peuvent affecter une plante au cours de son cycle de développement. Une attention particulière est portée à ces ravageurs pour limiter les dégâts susceptibles de dégrader les rendements et la qualité des cultures (Ristanovic, 2001).






**Figure 8 : Les traitements en champ du maïs  
(Gnis 2019)**

## **I.6. LUTTE CONTRE LES ENNEMIS DU MAÏS**

Les ravageurs, les insectes ou les maladies du maïs peuvent affecter la croissance des plantes du semis à la récolte. Les principaux ravageurs et les maladies du maïs sont présentés ci-dessous, dans une liste non exhaustive.

### **I.6.1. Insectes nuisibles**



Plusieurs insectes ont une incidence sur les rendements du maïs. Le tableau ci-dessous présente ces insectes, leurs symptômes et les méthodes de lutte.(Tableau 4).

Insectes ravageurs	Symptômes	Méthodes de lutte
	<p>La larve de la pyrale du maïs (<i>Ostrinia nubilalis</i>) est la cause de diverses pourritures de la tige</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lutte biologique par la femelle de trichogramme.</li> <li>• Variétés résistantes.</li> </ul>
	<p>Le ver gris noir (<i>Agrotis ipsilon</i>) coupe les plants de maïs au ras du sol.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lutte chimique par Décis (15 g/l de deltaméthrine) qui s'utilise à la dose de 0,50 l/ha.</li> </ul>
	<p>Le chrysomèle des racines (<i>Diabrotica virgifera</i>), dont la larve sectionne les racines, incurve les tiges en col-de-cygne et renverse des plants depuis leur base.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rotation des cultures, maïs/soja.</li> <li>• Contre les larves, utiliser des insecticides de synthèse (téflutrine), au moment des semis.</li> <li>• Épandage du Décis (15 g/l de deltaméthrine).</li> </ul>

**Tableau 4 : Exemples des insectes nuisibles (Maybelline et Abdou, 2012)**

### I.6.2. Maladies dominantes

Plusieurs maladies ont une incidence sur les rendements du maïs. Le tableau ci-dessous présente les symptômes et les méthodes de lutte (Tableau 5).

Maladies	Symptômes	Méthodes de lutte
	L'Anthracnose du maïs ( <i>Colletotrichum graminicola</i> ) provoquée par un champignon, brûle les feuilles et pourrit la tige.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utiliser des variétés résistantes comme meilleurs moyens de lutte contre la forme foliaire de l'anthracnose.</li> <li>• Pratiquer la rotation des cultures.</li> </ul>
	Pourriture de la tige causée par des champignons avec des dommages allant jusqu'à nuire au remplissage du grain et à l'intégrité des tiges, et d'accélérer la sénescence et la circulation des éléments nutritifs.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utiliser des variétés résistantes comme meilleurs moyens de lutte contre la forme foliaire de l'anthracnose.</li> <li>• Pratiquer la rotation des cultures.</li> </ul>

**Tableau 5: Exemples des maladies dominantes (Maybelline et Abdou, 2012)**

## I.7. RÉCOLTE DU MAÏS

Les méthodes de récolte varient selon la destination du maïs préparé pour la consommation humaine, animale ou industrielle.

Si les grains de maïs sont utilisés pour nourrir les animaux (comme la volaille), seuls les épis sont récoltés. En revanche, si le maïs est utilisé comme fourrage, la plante entière est récoltée, broyée puis stockée comme fourrage.

Le moment de la récolte dépend grandement des conditions climatiques, de la lumière du soleil, de la variété, de la situation géographique et de la disponibilité de l'équipement (séchoir, récolte du fourrage, etc.).

La phase de récolte commence généralement début octobre et se termine fin novembre. Le maïs peut être récolté à des moments différents, selon l'objectif de l'agriculteur (Porter *et al.*, 1987) (Figure 9).



**Figure 9 : Récolte du maïs (Gnis, 2019)**

## **I.8. SÉCHAGE ET CONSERVATION DU MAÏS**

La méthode de conservation dépend de l'utilisation du maïs, et donc de la partie de la plante à récolter et à évaluer.

Pour les grains de maïs, les épis peuvent être séchés naturellement dans silo-cage (cribs) ou avec des séchoirs industriels. Le séchage des grains à l'air chaud augmente leur durée de conservation. Les grains de maïs peuvent également être stockés sous forme humide avant d'être nourris aux animaux.

Deux méthodes de conservation du maïs humide coexistent, le maïs moulu conservé sous forme de fourrage et le maïs entier et inerte. L'inertage est un processus de conservation naturel en l'absence d'oxygène et sans activités enzymatiques.

Le maïs fourrager coupé est stocké pendant la récolte et conditionné dans des silos, avant d'être recouvert d'une bâche imperméable qui lui permet de fermenter dans des conditions anaérobies pour la conservation. Le manque d'oxygène dans le silo est essentiel pour une bonne fermentation. L'ensilage est un matériau stable mais cassant. (Paliwal, 2002).

## **I.9. PRODUCTION DU MAÏS**

Le maïs est produit principalement pour l'alimentation humaine, soit frais ou produit transformé. En outre, le maïs est produit pour l'alimentation animale et les utilisations industrielles telles que l'amidon, la farine. Selon le Faostat (2013) un total de 885,3 millions de tonnes métriques de maïs a été réalisé à travers le monde.

Occupant une superficie totale d'environ 140 millions d'hectares (Tableau 6). 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).

Sur ce total, l'Afrique a contribué à 65,7 millions de tonnes soit 7.2%; La faible contribution de l'Afrique à la production de maïs est principalement due au faible rendement moyen par unité de surface, au manque de connaissances scientifiques et pratiques adéquates (Law-Ogbomo et Remison, 2008) et à la faible utilisation de fertilisants (Fakorede et al., 2001).

<b>Pays</b>	<b>Production millions de tonnes</b>	<b>Rang du maïs dans la production nationale</b>	<b>Exportation millions de tonnes</b>
Etats unis	280	1	48
Chine	131	4	23
Brésil	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	-----

**Tableau 6: Importance de la production de maïs dans le monde (FAO, 2006)**

### **I.9.1. Production du maïs en Algérie**

La période coloniale allant de 1854 à 1878 fut 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 7). En 2009, une surface de 168 ha lui fut consacrée pour un rendement total de 34,226 q/ha (FAO Stat, 2011).

L'idée de produire du maïs localement pose plusieurs problèmes :

- 🌽 Le maïs nécessite un arrosage vigoureux.
- 🌽 Sa culture et sa récolte nécessitent un équipement quelque peu différent de celui du blé et, par conséquent, ils ne sont pas facilement disponibles dans les fermes.

Il existe peu de références techniques sur cette culture (Belaid, 2016).

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	250583	1755

**Tableau 7: Importance du maïs en Algérie (FAO, 2012)**

***PARTIE II***  
***STRESS HYDRIQUE SUR***  
***LE MAÏS***

## II. STRESS HYDRIQUE

Le stress hydrique ou bien le déficit hydrique est une contrainte permanente de la production agricole. C'est la cause des pertes de production agricole dans de nombreuses régions. Les risques du manque d'eau deviendront de plus en plus fréquents et persistants à l'avenir, par suite des changements climatiques causés par l'effet de serre (Witcombe *et al.*, 2009).

Passioura (2004) définit le déficit hydrique comme étant les circonstances dans lesquelles les plantes accusent une réduction de croissance et de production suite à une alimentation hydrique insuffisante dite stress hydrique.

### II.1. SYMPTÔMES DE STRESS HYDRIQUE SUR LE MAÏS

#### 🌽 Avant floraison

Enroulement des feuilles du cornet. La plante se protège en fermant ses stomates pour limiter l'évapotranspiration. Coloration « bleu » des feuilles du cornet.

#### 🌽 A la floraison

Retard de la floraison femelle. Problème de fécondation, le délai entre l'émission du grain de pollen et l'émergence des soies (Intervalle de floraison) augmente et en conséquence, une faible quantité de grain de pollen viable au moment où les soies sont réceptives et donc une fécondation réduite. Selon la période de stress, l'épi peut présenter une bonne fécondation à la base et faible au sommet, ou une répartition dispersée des grains, (Figure 10).



**Figure 10: Remplissage des grains sur épi en fonction du niveau de stress (Kabongo *et al.*, 2016)**

### 🌽 Après floraison

Avortement des grains. Echaudage des grains du haut de l'épi ou quelques fois sur ou plusieurs rangs (épi en banane). Perte de PMG (le Poids de Mille Grains) (Figure 11).



**Figure 11: Conséquence du déficit hydrique au moment de floraison: avortement des ovules. (Kabongo *et al.*, 2016)**

## II.2. LES PHASES DU STRESS HYDRIQUE

Tardieu (2005) mentionne que le statut hydrique de la plante passe progressivement par trois principales phases:

### 🌽 La phase initiale

La transpiration et l'assimilation se déroulent comme si la plante disposait de l'eau à volonté. Cette phase se poursuit jusqu'au moment où le niveau d'absorption racinaire ne peut plus satisfaire la demande climatique que subit le feuillage. La réserve utile du sol est alors épuisée à 50%.

### 🌽 La seconde phase

La transpiration et l'assimilation sont réduites relativement au potentiel hydrique. La plante réagit de façon dynamique au cours de cette phase, pour rétablir l'équilibre entre la demande climatique et l'offre du sol, faisant intervenir des mécanismes qui lui sont propres dont le développement du système racinaire, la régulation stomatique et/ou l'ajustement osmotique.

### **La troisième phase**

Quand le déficit hydrique devient plus intense, au cours de laquelle les stomates se ferment complètement, annulant toutes activités photosynthétiques. Toutes les pertes hydriques de la plante se font alors à travers les voies non stomatiques (cuticule). Il n'y a plus de gain de matière sèche, la respiration consomme les hydrates de carbone stockés et la plante passe au stade de survie. La période de survie, dépend du rythme de la transpiration résiduelle et de la tolérance à la dessiccation des tissus vivant restants.

## **II.3. MÉCANISMES D'ADAPTATION DES PLANTES AUX STRESS HYDRIQUE**

L'adaptation est la capacité d'une plante à croître et à donner un bon rendement dans des zones sujettes à des stress. La notion d'adaptation est liée à la résistance et de tolérance aux stress. Pour Levitt (1980), l'adaptation prend trois formes distinctes, à savoir :

### **L'esquive**


La plante réussit à s'harmoniser à l'environnement de production, en échappant partiellement ou complètement au stress grâce à un rythme de développement spécifique.

### **L'évitement**

La plante continuer ses activités métaboliques sans être fortement perturbée par le milieu extérieur qui peut être très stressant par divers mécanismes.

### **La tolérance du stress**

Est la capacité de maintenir une activité métabolique. Cette activité assure l'intégrité fonctionnelle aux structures cellulaires et autorise la reprise des activités de la plante dès que les conditions de croissance redeviennent plus normales (Tableau 8).

Mécanismes	Paramètres
Esquive du stress hydrique	 Précocité
Evitement du stress hydrique	 Longueurs et densité des racines.
Amélioration de l'absorption d'eau	 Profondeur de l'enracinement.
Réduction des pertes d'eau	 Ratio matière sèche racine/matière sèche bio aérienne.
Maintien de la turgescence	<ul style="list-style-type: none"> <li> Enroulement foliaire.</li> <li> Port et orientation des feuilles.</li> <li> Couleur du feuillage.</li> <li> Glaucescence.</li> <li> Pilosité des feuilles.</li> <li> Feuilles cireuses.</li> <li> Potentiel hydrique foliaire stable.</li> <li> Contrôle stomatique des pertes d'eau.</li> </ul>
La tolérance du stress hydrique	
Remobilisation des assimilés	<ul style="list-style-type: none"> <li> Hauteur de chaume.</li> <li> Longueur du pédoncule de l'épi.</li> <li> Longueur des barbes.</li> </ul>
Ajustement osmotique	<ul style="list-style-type: none"> <li> Indice de récolte élevé.</li> <li> Stabilité membranaire.</li> <li> Accumulation des solutés compatibles.</li> </ul>
Maintien de la photosynthèse	<ul style="list-style-type: none"> <li> Maintien de la turgescence élevée.</li> <li> Potentiel hydrique faible.</li> </ul>
Efficacité d'utilisation de l'eau	<ul style="list-style-type: none"> <li> Teneur en chlorophylle <math>\alpha</math> et <math>\beta</math>.</li> <li> Résistance des photosystèmes.</li> <li> Fluorescence chlorophyllienne.</li> <li> Nombre de grains par unité de surface.</li> <li> Discrimination isotopique du carbone.</li> </ul>

**Tableau 8 : Les mécanismes d'adaptation aux stress (Neffar, 2013)**

## **II.4. PHYSIOLOGIE DE LA TOLÉRENCE DES PLANTES AU STRESS HYDRIQUE**

Sous stress hydrique, la matière sèche augmente progressivement, mais elle reste sous le seuil de 50% comparativement à l'évolution de la matière sèche du témoin non stressé. Cette réduction est assez conséquente pour affecter significativement le rendement (Kadi, 2012).

Le déficit hydrique affecte significativement les composants du rendement. L'ensemble des stressés qu'ils soient de nature thermique, hydrique, ou saline provoquent des modifications de l'état physique des membranes cellulaires, l'intégrité des canaux membranaires est rompue ce qui entraîne la fuite de solutés, l'assemblage des protéines des systèmes respiratoires des photosystèmes (Cattivelli *et al.*, 2008).

Sous l'effet de ce stress, la perte d'eau entraîne une augmentation de la concentration en soluté du cytoplasme (Burk *et al.*, 1976). La synthèse de nouvelles protéines constitue une réponse connue à ces stress. En effet l'induction de nouvelles protéines n'est pas limitée au choc thermique. D'autres stress y compris ceux provoqués par des températures basses, le déficit hydrique, la salinité et l'anoxie induit artificiellement par PEG provoquent aussi la synthèse de nouvelle famille de protéines (Cattivelli *et al.*, 2008).

L'ajout du polyéthylène glycol (PEG) dans le milieu de culture, qui réduit le potentiel d'augmentation de la pression osmotique du milieu, ce qui empêche l'absorption de l'eau par le système hydrique extrême au milieu, et permet d'évaluer la tolérance à la sécheresse. Ce dernier agit par le système racinaire et par conséquent entraîne une réduction au niveau de la croissance de l'appareil végétatif (Tazi *et al.*, 2003).

## **II.5. EFFET DU STRESS HYDRIQUE SUR LA CROISSANCE**

La première manifestation du déficit hydrique est la réduction de croissance, il se traduit par une modification importante de l'architecture de la plante chez beaucoup d'espèces. Sous stress hydrique, la vitesse de division cellulaire décroît, les parois cellulaires deviennent plus rigides, qui doivent normalement être souples, déformables pour faciliter la croissance et l'élongation (Tradieu, 2004).

***CHAPITRE II***  
***MATÉRIELS ET MÉTHODES***

## **I. MATÉRIELS BIOLOGIQUE**

Notre étude porte sur des grains de maïs (*Zea mays* L.) commercial de génotype importé d'Espagne. Les grains utilisés sont conservés à l'abri de l'humidité, et à l'obscurité.

## **II. MÉTHODES D'ÉTUDE**

### **II.1. Déroulement des essais de germination**

Les essais ont été réalisés au laboratoire de l'Institut Technique de Grande Culture (ITGC) de Sidi Bel Abbès.

Les grains choisis doivent être sains. Ils ont été sélectionnés selon leur taille et leur forme puis lavés à l'eau courante, désinfectés à l'eau javel diluée à 5% puis rincés abondamment à l'eau distillée.

Ces grains sont placés dans des boîtes de pétri tapissées de deux couches de papier filtre et sont par la suite arrosés par des solutions de polyéthylène glycol (PEG 6000) dissoutes dans de l'eau distillée à différentes concentrations: 0.20; 0.40; 0.60; 0.80; 1.00 et 1.20 g / 25 ml

Le PEG est un polymère non ionique hydrosoluble non perméable pour les cellules. Il est utilisé pour induire un déficit hydrique car il réduit la disponibilité en eau sans causer de dommage physique aux plantes (Romo *et al.*, 2001).

Chaque essai a porté sur 10 grains avec trois répétitions. En parallèle, la germination d'un lot de grains témoin (non prétraité) a été également suivie avec le même nombre de grains et de répétitions à une température ambiante de 25°C.

Le critère de germination retenu est la fente du caryopse et l'apparition de la pointe de la radicule. La périodicité des observations des semences est quotidienne sur une durée minimale de 15 jours, pour déterminer la capacité ainsi que la vitesse, le temps moyen de germination et le temps de latence. L'essai prend fin lorsqu'après deux comptages successifs aucune germination supplémentaire n'est enregistrée (Figure 12).



**Figure 12:** Dispositif expérimental (Bensalah, 2021)

### III. MODE D'EXPRESSION DES RÉSULTATS

Les résultats des essais de germination ont été exprimés par :

#### III.1. Capacité de germination (CG)

Capacité de germination est exprimée par le rapport du nombre de grains de maïs germés sur le nombre total de grains de maïs (Mazliak, 1982).

#### III.2. Vitesse de germination

La vitesse de germination a été exprimée par la vitesse de germination (VG) proposée par Kotowski (1962) et qui s'exprime de la façon suivante:

$$VG = \frac{N1}{N1T1} + \frac{N2}{N2T2} + \dots + \frac{Nn}{Nn} \times 100$$

Où :

$N_1$  : le nombre de grains germés au temps  $T_1$

$N_2$  : le nombre de grains germés entre les temps  $T_1$  et  $T_2$

#### III.3. Temps moyen de germination (TM)

**TM** : est le temps moyen de germination qui est l'inverse du coefficient de vélocité.

$$TM = \frac{N1T1}{N1} + \frac{N2T2}{N2} + \dots + \frac{NnTn}{Nn}$$

### **III.4. Cinétique de germination**

La cinétique de germination est une courbe de germination qui décrit le déroulement de la germination du lot de semences considéré placé dans des conditions bien précises. Elle représente le plus souvent l'évolution des pourcentages de germination cumulés en fonction du temps.

Cette cinétique est établie à partir des taux cumulés de graines germées c'est-à-dire la variation des taux de germination en fonction du temps exprimé en jour sous toutes les conditions de traitement testé.

### **III.5. Paramètre morphologique des racines**

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.

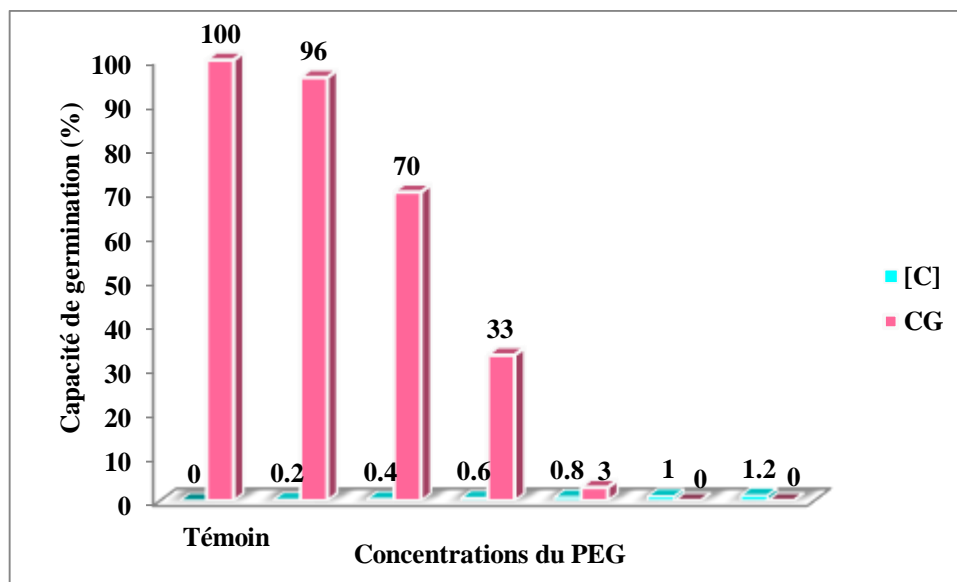
***CHAPITRE III***  
***RÉSULTATS ET DISCUSSION***

## I-RÉSULTATS

### I-1- Germination des grains de maïs

Conformément aux résultats représentés sur la figure 13, il ressort que les grains de maïs traités à l'eau distillée germent jusqu'à un taux de 100%. Cependant, les concentrations variant de 0.20 à 0.60 g / 25 ml provoquent une diminution progressive avec des valeurs de 96 ; 70 et 33%. Le constat s'inverse au-delà de la concentration de 0.6 g / 25 ml de PEG, ou le taux chute significativement de 3% en présence de 0.80 g de PEG.

Au fur et à mesure que les concentrations du PEG augmentent de l'ordre de 1.00 et 1.20 g / 25 ml, les grains sont affectés et la germination est inhibée.



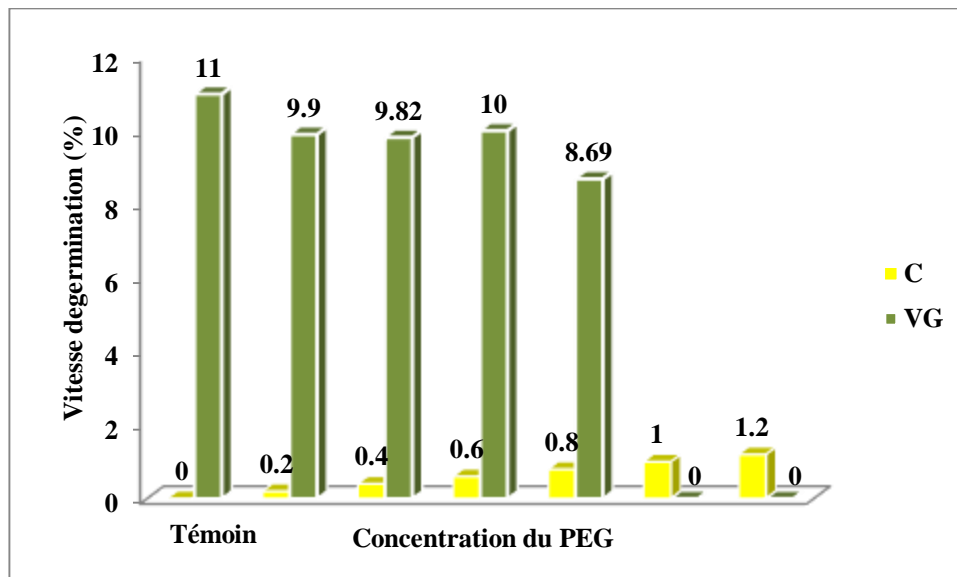
**Figure 13: Variation de la capacité de germination des grains de maïs en fonction du PEG**

CG: Vitesse de germination; [C]: Concentration

### I-2- Vitesse de germination des grains de maïs

Les résultats relatifs à la vitesse de germination de grains de maïs à la température ambiante de 25°C, démontrent que les grains de maïs poursuivent leur germination avec une vitesse de plus en plus faible lorsque les concentrations du PEG augmentent. Néanmoins les caryopses témoin germent avec une vitesse de 11%.

Nous remarquons que le traitement à 0.20 g / 25 ml de PEG présente une vitesse de germination de l'ordre de 9.90 %. Parallèlement, les grains en présence des concentrations de PEG comprises entre 0,40 et 0.80 g / 25 ml germent à des vitesses dont les valeurs varient entre 9.82 et 8.69%. Au-delà de 0.80 g / 25 ml, elle s'annule aux concentrations de 1.00 et 1.20 de PEG (Figure 14).

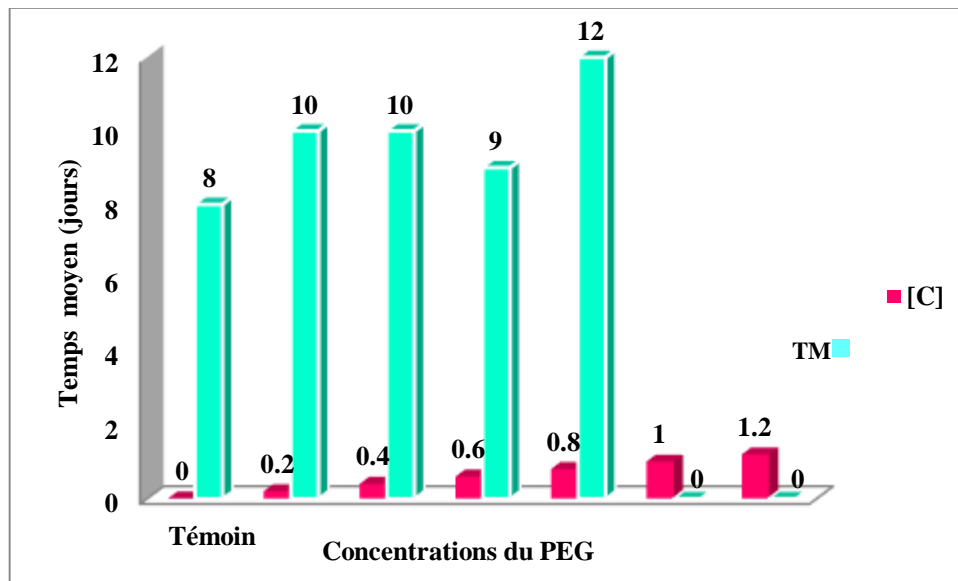


**Figure 14 : Variation de la vitesse de germination des grains de maïs en fonction du PEG**

**VG:** Vitesse de germination; **C:** Concentration

### **I-3- Temps moyen des grains de maïs**

Le temps de latence des grains de maïs témoin ne dure que 8 jours, alors que ceux correspondants aux concentrations variant entre 0,20 et 0.60 g / 25 ml s'étalent entre 10 et 9 jours. En effet l'augmentation de la concentration de 0.80 g / 25 ml retarde encore la germination et le temps de latence prend la valeur de 8 jours. Cette germination est inhibée en présence des plus hautes concentrations de PEG (1.00 et 1.20 g / 25 ml) (Figure 15).



**Figure 15: Variation du temps moyen de germination des grains de maïs en fonction du PEG**

[C]: Concentration; TM: Temps moyen

#### **I-4- Longueur des racines des grains de maïs**

Les résultats obtenus font ressortir sur la figure 16, une diminution progressive de la longueur des racines de maïs vis-à-vis du stress hydrique appliqué par le PEG qui varie de 7.70 à 0.20 cm aux concentrations de 0.2 à 0.8 g / 25 ml par rapport au témoin qui présente une longueur de 9.90 cm jusqu'au 15<sup>ème</sup> jour. En effet l'augmentation des concentrations de 1.00 et 1.20 g / 25 ml affecte la longueur des racines.

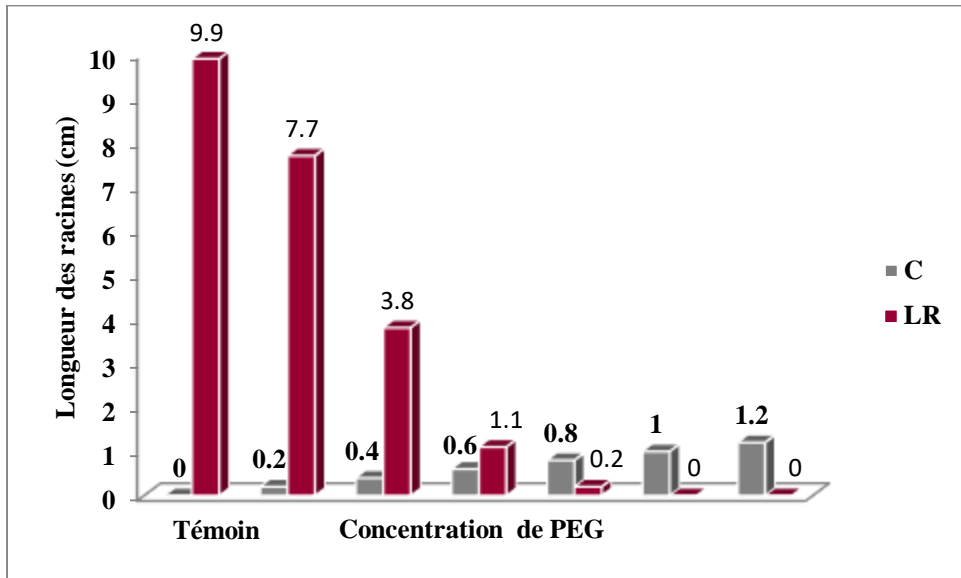


Figure 16: Variation de la longueur des racines des grains de maïs en fonction du PEG

C: Concentration ; LR : Longueur des raciness

I-5- Résultats de la représentation graphique de la cinétique de la germination des grains de maïs

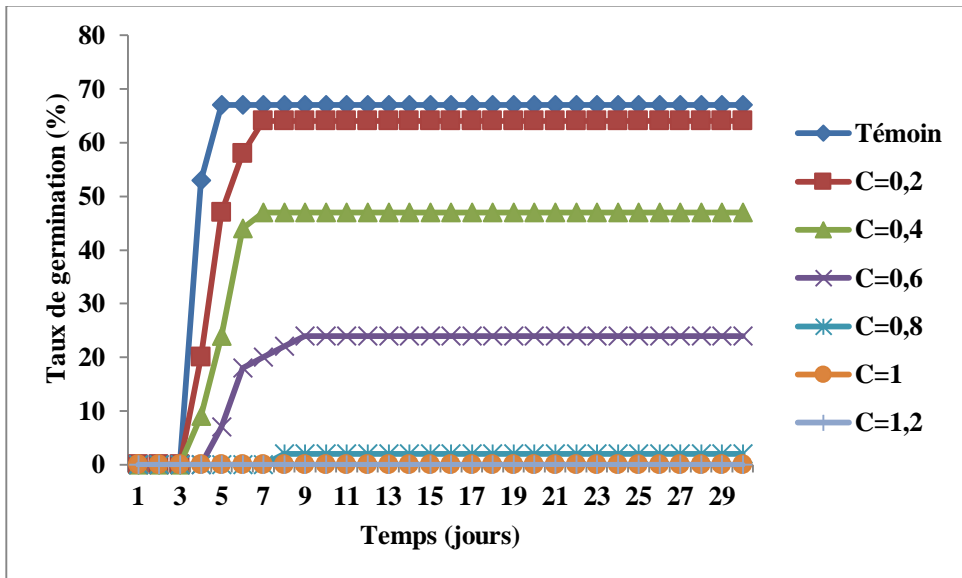


Figure 17: Évolution du taux de germination des grains de maïs en fonction du temps

C : concentration

La figure 17 présente l'évolution de la germination des grains de maïs témoins et traités aux concentrations en solution de PEG.

La cinétique de la germination des grains témoins se déroule en deux phases : une phase exponentielle qui s'étale jusqu'au 4<sup>ème</sup> jour avec un taux cumulé atteignant 54%, suivis de 68% au 5<sup>ème</sup> jour pour se stabiliser jusqu'à la fin de l'essai.

Cependant, le traitement à 0,20 g / 25 ml de PEG provoque un ralentissement de la germination qui se manifeste avec des taux qui varient entre 20 % ; 48 % ; 58 et 65 % et signalés au 4<sup>ème</sup> jour, 5<sup>ème</sup> jour, 6<sup>ème</sup> jour et 7<sup>ème</sup> jour, pour se maintenir jusqu'à la fin de l'expérience.

Sous le traitement à 0.40 g / 25 ml de PEG, la germination suit une progression lente qui à partir du 3<sup>ème</sup> jour, s'exprime avec un taux de 8 %, suivi de 24 % au 5<sup>ème</sup> jour, puis à des taux très proches de 45 et 48 % au 6<sup>ème</sup> et 7<sup>ème</sup> jour, alors qu'aucun grain ne réagit jusqu'à la fin de l'essai.

Dans le lot de grains recevant la solution PEG à 0.60 g / 25 ml, les grains germent très lentement à partir du 4<sup>ème</sup> jour pour atteindre un taux de 18 %, suivi d'une progression de 23 % au 9<sup>ème</sup>, pour se stabiliser jusqu'à la fin des observations.

Dans le milieu de 0.80 g / 25 ml, seulement 3 % des grains germent au 8<sup>ème</sup> jour, qui se maintiennent jusqu'à la fin de l'essai.

Il convient d'indiquer que sous le traitement de 1.00 et 1.20 g / ml, la germination est nulle.

## II- DISCUSSION

Les essais de germination réalisés au laboratoire, montrent que les grains de maïs résistent à une concentration faible de PEG de 0.20 g / 25 ml. Cela s'explique que la tolérance à la sécheresse pendant la phase de germination constitue un critère important, pour l'évaluation de l'aptitude des variétés de maïs à tolérer un déficit hydrique, durant leur première phase de développement.

Le procédé de germination consiste en une prise d'eau par le grain (imbibition) puis d'une élongation de l'embryon menant au final à l'apparition des racicules (Saidi, 2018).

Au-delà de la concentration de 0.2 g / 25 ml, la germination diminue progressivement, elle est inhibée par des concentrations de PEG avoisinant les 1.00 et 1.20 g / 25 ml.

Par ailleurs, la capacité de germination des grains témoins reste relativement élevée (100%). Des résultats similaires ont été signalés par (Saidi, 2018) qui a étudié le niveau de tolérance au PEG de quelques variétés de blé dur durant la germination qui était maximale dans l'eau distillée et a diminué avec l'augmentation de la concentration du PEG du milieu.

L'analyse révèle que les régimes hydriques appliqués aux grains de maïs agissent sur la vitesse de germination qui est plus lente par rapport au traitement sans PEG (témoin). Il est à constater que l'impact de stress hydrique sur la germination se répercute également sur la vitesse de germination.

L'effet des concentrations croissantes du PEG sur le temps moyen de germination, montre que pour les grains de maïs étudiés, l'augmentation de la concentration de PEG (0.20 à 0.80 g / 25 ml) provoque une augmentation du temps moyen de germination qui s'étale entre (10 à 12 jours) accompagnée d'une diminution de la vitesse de la germination.

Par voie de comparaison, le lot témoin présente un temps moyen de (08 jours), ce qui explique que sa vitesse de germination est plus rapide et sa moyenne journalière de germination est la plus courte par rapport aux grains exposés à l'action du PEG.

Le régime hydrique appliqué, a occasionné une réduction de la croissance. Mais cette réduction a été plus importante lorsque le stress est appliqué à fortes doses.

Le stress hydrique osmotique imposé a provoqué une réduction de la longueur des racines, d'autant plus importante que le stress est sévère avec une longueur maximale de 7.7 cm et une longueur minimale de 0.2 cm.

Nous avons constaté que la longueur des racines est affecté aux concentrations les plus élevées (1.0 et 1.20 g / 25 ml). Cette réduction peut être conséquence à un arrêt de la division et de l'élongation

cellulaire au niveau des racines. Ceci entraînant une sorte de lignification du système racinaire, permettant aux plantes d'entrée dans une vie ralentie, probablement dans l'attente de conditions plus favorables (Saidi, 2018).

Selon Debaeke et *al*, (1996), le stress hydrique affecte en parallèle la croissance des racines et des parties aériennes, le développement des feuilles et des organes reproducteurs.

## CONCLUSION GÉNÉRALE

Le travail réalisé au cours de cette étude a pour objectif de suivre le comportement germinatif *in vitro* des grains de maïs aux différents niveaux du stress hydrique par l'ajout de différentes concentrations de PEG 6000.

Nos essais ont fait ressortir donc, que cette espèce résiste aux faibles concentrations de PEG de l'ordre de 0.2 g / 25 ml à 0.4 g / 25 ml. Par contre au-delà de 0.4 g / 25 ml, la capacité de germination s'affaiblit progressivement, pour s'inhiber aux concentrations plus élevées. La vitesse de germination est de plus en plus réduite, un temps moyen retardé et une longueur des racines diminuée par rapport au témoin. En présence d'un stress hydrique sévère ces grains sont affectés à forte concentration.

Un tel résultat montre que les grains de maïs sont moyennement tolérants au stress hydrique.

Ces résultats sont des marqueurs intéressants d'identifier les variétés les plus tolérantes au stress par des études approfondies. Cela permettra d'élaborer des classifications des seuils de tolérance au déficit hydrique.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

**Acevedo E., Fereres E., Hsiao T., Henderson D., 1979:** Diurnal growth trends, water potential and osmotic adjustment of maize and sorghum leaves in the field. *Plant Physiology* 64, pp. 476–480.

**Acevedo E., Hsiao T., Henderson D., 1971:** Immediate and subsequent growth responses of maize leaves to changes in water status. *Plant Physiology* 48, pp. 631– 635.

**Adjabi A., Bouzerzour H., Lelarge C., Benmahammed A., Mekhlouf A. and Hannachi A.** Relationships between grain yield performance, temporal, stability and carbon isotope discrimination in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) under Mediterranean conditions. *Journal of Agronomy*. 6 : 294 – 301. 2007

**Adjabi, A. (2011)** Etude de tolérance aux stress abiotique chez le blé dur (*Trituim durum* Desf) sous étage du semi-aride. Thèse de doctorat, Université El-harrach, Alger, 88p.

**Below F.E. 1997.** Growth and productivity of maiaeunder nitrogen tress. In G.O. Edmeades, M. Banziger HR. Micheloné CB. Pena-Valdivia, sde. *Developing Drough and Low- Nitrogen Tolerant Maize*. Proc. Symp., CIMMYT, El Batan, Maxico. 25-29 mar. 1996. Mexico. DF CIMMYT.

**Boulay J., 1993.** Culture in vitro et ses applications à la culture des plantes carnivores. *Bull. Dionée*, 28, [http://encyclo.free.fr/pages/in\\_vitro.htm/](http://encyclo.free.fr/pages/in_vitro.htm/)

**Bouchabke O., Tardieu F., Simonneau T., 2006.** -Leaf growth and turgor in growing cells of maize (*Zea mays* L.)respond to evaporative demand in well-watered but not in water saturated soil. *Plant, Cell and Environment*, 29: 1138-1148.

**Boyer S., 1970:** Leaf enlargement and metabolic rates in corn, soybean, and sunflower at various leaf water potentials. *Plant Physiology* 46, pp.233–235.

**Bray E., 1997.**-Plant responses to water deficit. *Trends in plant science*, 2(2), 48-54.

**Côme D., 1970.** Les obstacles à la germination. Paris : Masson & Cie.

**Cornic G. and Massacci, A. (1996).** Leaf Photosynthesis under Drought Stress. In: Baker, N.R., Ed., Photosynthesis and the Environment , Kluwer Academic Publishers, New York, 347-366.

**De Leonardis A M., Petrarulo M., De Vita P., Mastrangelo A M. 2010.** -Genetic and molecular aspects of plant response to drought in annual crop species.  
[www.intechopen.com/download/pdf/35823](http://www.intechopen.com/download/pdf/35823)

**Debaeke, P., Cabelguenne, M., Casals, M., Puech, J. (1996).** Élaboration du rendement du blé d'hiver en conditions de déficit hydrique. II. Mise au point et test d'un modèle de simulation de la culture de blé d'hiver en conditions d'alimentation hydrique et azotée variées : Epiéphase-Blé. *Agronomie*, 16 (1) : 25-46.

**Evans L.T. 1993.** Crop evolution, and yield Cambridge, UK , Cambridge University Press.

**Fakorede M .A. B., Fajemisin JM., Ladipo JL., Ajala SO., Kim SK., 2001.** Development and regional deployment of streak virus maize germplasm: an overview, pp. 503-516. In: Proceedings of a Conference on Plant Virology in Sub-Saharan Africa. d'A Hughes J, O Odu B eds. IITA, Ibadan.

**FAO, 2007 :** Système d'information des ressources en alimentation animale. 52 p.

**FAO.2008.** Compte rendu de fin d'année (Année internationale de la pomme de terre 2008).

**FAOSTAT. 2010.** Statistical Database of the Food and Agriculture Organization.

**FAOSTAT. 2013.** FAOSTAT database, Food and Agriculture Organization. <http://faostat.fao.org>

**FAOSTAT. 2010.** Statistical Database of the Food and Agriculture Organization.

**Farshadfar E. and Sutka J.; 2002:** Screening drought tolerance criteria in maize. *Acta Agronomica Hungarica*, 50(4): pp.411-416.

**Fischer K.S., Edmeades G.O., Johnson E.C., 1987.** Recurrent selection for reduced tassel branch number and reduced leaf area density above the ear in tropical maize populations. *Crop ci.*, 27; pp.227-243.

**Fischer R.A., Maurer R., 1978.** Australian Journal of Agricultural Research. 29 (1978) pp.897-912.

**Fisher M, (2015)** Drought tolerant maize for farmer adaptation to drought in sub-Saharan Africa: Determinants of adoption in eastern and southern Africa. Climatic Change (DOI 10.1007/s10584-015-1459-2).

**Gallais A., Bannerot H., 1992.** -Amélioration des espèces végétales cultivées; objectifs et critères de sélection. INRA, Paris, p 768.

**Granier C., Inzé D., Tardieu F. 2000.** -Spatial distribution cell division rate can be deduced from that of P34cdc2 kinase activity in maize leaves grown in contrasting conditions of temperature and water status. Plant Physiol., 124: 1393-1402.

<https://www.gnis-pedagogie.org/sujet/mais-origine-caracteristiques/>

**Hallauer AR. et Miranda J.B., 1981 .** Quantitative genetics in maize breeding. Ames, Etats-Un is, Iowa State University Press, 468 p.

**Hay R. K. M., 1995.** Harvest index: a review of its use in plant breeding and crop physiology, Ann. Appl. Biol., 126: pp197-216.

**Hay R. K. M., Walker A. J., 1989.** An introduction to the physiology crop yield. Essex. UK. Longman Scientific and Technical.

**Iram et Merieme, 2013.** Essai de l'association légumineuse céréales (maïs) sur la disponibilité du phosphore dans la rhizosphère. Thèse ingéniorat. ENSA. EL HARRACH. Alger, 5-18p.

**JFr. Oost, CIPF., 2005.** La fertilité en culture de maïs 9p. <https://docplayer.fr/23919429-La-fertilisation-en-culture-de-mais-c-i-p-f-jfr-oost.html>

**Langridge P., Paltridge N., Fincher G. 2001.** -Functional genomics of abiotic stress tolerance in cereals, genomic and proteomic journal, 4: 343 - 354.

**Law-Ogbomo K, Remison SU, 2008.** Growth and yield of white guinea yam (*Dioscorea rotundata* Poir) influenced by NPK fertilization on a forest site of Nigeria. J Trop Agric 46(1-2):pp. 9-12.

- Maybelline, E.T. H., et Abdou, M (2012).** Production et transformation du maïs, La collection Pro-Agro est une coédition d'Ingénieurs Sans Frontières, Cameroun, 29 p.
- Mazliak P., 1982.** Croissance et développement : Physiologie végétale, croissance et développement. Tome II. éd. Hermann, Paris.
- Norman M.J.T., Pearson C.J., Searle P.G.E., 1995.** The ecology of tropical food crops. New York, NY, USA, Cambridge University Press. 340 p.
- Passioura J. 2004.** Increasing crop productivity when water is scarce: from breeding to field management. In proceedings of the 4th International Crop Science Congress "New directions for a diverse planet" Brisbane, Australia. 12 p, [www.regional.org/au/au/cs](http://www.regional.org/au/au/cs)
- Paliwal R. L., 2002.** Morphologie du maïs tropical., in : « Le maïs en zones tropicales Amélioration et Production », Rome 2002, pp 13-20.
- Pearson C. J. et Hall A. J. 1984.** Maize and pearl millet. In CJ. Pearson ed. Control of productivity, pp. 141-158. New York, NY, USA, academic Press.
- Porch T.G.; 2006.** Application of stress indices for heat tolerance screening of common bean (*Phaseolus vulgaris*). J. Agron. and Crop Sci., Vol. 192 n° 5: 390-394.
- Porter G. A., Knieval DP., Hannon JC., 1987.** Assimilate unloading from maize (*Zea mays* L.) pedicel tissues. I. Evidence for regulation of unloading by cell turgor. Plant Physiol. 83: 131-136.
- Ristanovic D., 2001.** Maïs (*Zea mays* L). In: Raemaekers R.H. (Eds). Crop production in tropical Africa. DGIC (Directorate General for International Cooperation), Ministry of foreign Affairs , External Trade and International Cooperation, Brussels, Belgium: pp, 23-45.
- Saidi, H. (2018).** Etude comparative pour la tolérance au stress hydrique chez quelques variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.). Mémoire. Université de Msila, 33 p.
- Sanchez P.A., Nicholaidis J.J., Couto .W., 1977.** Physical and chemical constraints to food production in the tropics. In G. Bixler & L.W. Shenilt.eds. Chemistry and

world food supplies: the new frontiers. CHEMRAWN II. pp. 89-105. Los Banos Philippine.IRRI.

**Sanchez P. A. 1976.** Properties and management of soil in tropics. New York, NY, USA, J. Wiley & Sons .618p.

**Squire G. R., 1990.** The physiology of tropical crop production. Oxon, UK, Cab International., 236p.

**Tardieu F. 2005.** Plant tolerance to water deficit: Physical limits and possibilities for progress. *Geo Sci.*, 337: pp.57 -67.

**Tardieu F. 1996.** Drought perception by plants. Do cells of droughted plants experience water stress? *Plant growth regulation*, 20: pp.93-104.

**Vartanian, N., Lemée, G. (1984).** La notion d'adaptation à la sécheresse. *Bulletin de la Société Botanique de France. Actualités Botaniques*, 131 (1) : 7-15.