

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة مولاي الطاهر، سعيدة

Université MOULAY Tahar, Saïda



كلية العلوم

Faculté des Sciences

قسم البيولوجيا

Département de Biologie

N° d'Ordre

Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master

En Sciences biologiques

Spécialité : biotechnologie végétale

Thème

Contribution à l'étude de certaines factures abiotiques sur l'aptitude de germination du piment doux *Capsicum annuum* L.

Présenté par :

- Me : SADLI fouzia Aya
- Me : BENHALIMA Ikram

Soutenu le :

Devant le jury composé de :

Président	Mr. MEBARKI Moubarek	MCB Université de Saïda Dr MOULAY Tahar
Examineur	Me. BEN ABDESLEM Yassmina	MCA Université de Saïda Dr MOULAY Tahar
Rapporteur	Mr. HENNI Mustapha	MCB Université de Saïda Dr MOULAY Tahar

Année universitaire 2025/2026

Dédicaces

A ma chère grand-mère YAHYAOUI Arbia, que dieu lui fasse miséricorde et l'accueille dans son vaste paradis.

A mon pilier dans la vie, mon père bien – aimé Driss.

A ma toute première enseignante, ma maman RABIAI Kheira.

A la personne la plus chère à mon cœur, mon frère Housseem .

A mon âme ma sœur adorée Nihed.

A mon cher Abdallah.

Et à toutes mes chères amies : Nada, Ghadir, Ilhem, fatima

Je vous dédie ce travail avec tout mon amour et ma reconnaissance.

SADLI Fouzia Aya

Du profond de mon cœur, je dédie ce travail à tous ceux qui me sont chers.

À mes chers parents, source de tendresse, de noblesse et d'affection. Puisse cette étape constituer pour vous un motif de satisfaction et de fierté.

À mon cher frère Mohammed,

Ton affection et ta solidarité m'ont donné la force d'avancer chaque jour avec courage.

À mon cher binôme, Sadli Aya,

Pour sa compréhension et sa sympathie.

À tous mes camarades de la promotion de 2^e année Master en Biotechnologie Végétale, ainsi qu'à toute personne qui occupe une place particulière dans mon cœur.

À mes chères amies :Khaoula ,Rajaa , fatima ...

Pour leur aide et leur soutien dans les moments difficiles.

ET À tous mes professeurs Que Dieu vous protège et vous accorde une vie pleine de bonheur, d'amour et de santé.

À tous les membres de ma famille,

Et à toute personne portant le nom Benhalima,

Je dédie ce travail à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à ma réussite.

BENHALIMA Ikram

Remerciements

Avant toute chose, je rends grâce à Allah pour la force et la patience qu'Il m'a accordées tout au long de ce parcours.

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à Monsieur HENNI mon encadrant, pour la qualité de son encadrement, la richesse de ses conseils et son soutien constant.

J'exprime ma profonde gratitude et ma profonde reconnaissance au président du comité, Mr.**MEBARKI Moubarak**, pour son suivi rigoureux et ses précieux conseils, qui ont grandement contribué au succès de ce projet. J'adresse également mes sincères remerciements et ma profonde gratitude à la vice-présidente, Mme BEN ABDESLEM Yasmina, pour son soutien et ses encouragements constants tout au long des différentes étapes du projet.

J'adresse également mes sincères remerciements

A Monsieur Otman, Hdjira, technicien de laboratoire, ainsi qu'à Monsieur Nasraa eddine Ben Hmida, ingénieur de laboratoire, pour leur précieuse assistance et leur disponibilité tout au long de ce travail.

Je tiens également à remercier mes amies Ghadir et Ilham pour leur aide précieuse dans la réalisation de la partie pratique de ce travail.

À toutes celles et ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à rendre ce parcours possible, je dis du fond du cœur : merci.

Liste des abréviations

(H₂SO₄): Acide sulfurique

(24O) : 24h en obscurité

(24 L) : 24h en lumière

(7L) : 7h en lumière

(1f/j) : Arrosage 1fois/jour

(2f/j): Arrosage 2 fois/jour

(f/2j): Arrosage 1 fois/2 jours

(AS) : Acide sulfurique

(T25) : Témoin

Liste des tableaux

Tableau 1: Espèces de piment cultivées dans le monde (Nondah, 2004).....	10
Tableau 2: Le cycle végétatif de la culture s'étend de 70 à 95 jours et est constitué de sept stades, selon ITCMI (2010).....	12
Tableau 3: Principaux pays producteurs des cultures maraîchers dans le monde (en tonnes) (FAO, 2015).....	18
Tableau 4: Test ANOVA sur l'effet de la température	52
Tableau 5: Test ANOVA sur l'effet de la lumière	53
Tableau 6: Test ANOVA sur effet de la fréquence d'arrosage	54
Tableau 7: Test ANOVA scarification vs Témoin	55

Liste des figures

Figure 1: piment doux allongés (FAO, 2009).	7
Figure 2: piment doux carrés (FAO, 2009)	7
Figure 3: piments doux plats (poivrons tomates) (FAO, 2009).....	7
Figure 4: Système racinaire du piment (BADACHE 2015).....	13
Figure 5: Plante du piment (BADACHE. 2015)	14
Figure 6: Tige piment (BADACHE. 2015)	14
Figure 7: Feuille du piment (BADACHE 2015)	14
Figure 8: Fleurs du piment (BADACHE 2015)	15
Figure 9: Fruits du piment (BADACHE 2015).	16
Figure 10: Semences du piment (BADACHE 2015).....	16
Figure 11: Production des principaux pays producteurs de poivron dans le bassin méditerranéen (en tonne) (FAO, 2015).	19
Figure 12 : A : graine dicotylédone B : graine monocotylédone	22
Figure 13 : la formation de la graine	23
Figure 14: a. graine à périsperme, b. graine albuminée, c. graine ex albuminée (CROSAZ, Y. 1995).....	25
Figure 15: la germination de la graine.....	26
Figure 16: Germination de graine.....	27
Figure 17: Germination de graine dicotylédone	28
Figure 18 : Courbe théorique d'imbibition d'une semence (d'après COME, 1982).....	29
Figure 19: Germination hypogée et épigée.....	31
Figure 20: Les différents facteurs impliqués dans la qualité germinative des semences (COME, 1993).....	33
Figure 21: Graines de piment doux	43
Figure 22: Les deux provenances de graines de piment doux.....	43
Figure 23: Matériel utilisé	44

Figure 24: disposées les gaines dans la boîte pétrie	45
Figure 25: préparation d'acide sulfurique	46
Figure 26 : Marquage des boîtes de pétri	47
Figure 27 : les boîtes pétrées dans Létov.....	48
Figure 28 : Table de données du logiciel appinio.....	49
Figure 29: Résultats de l'ANOVA sur le logiciel appinio.	49
Figure 30: Histogramme de l'effet de la température sur le taux de germination du piment doux	51
Figure 31: Histogramme de l'effet de la lumière sur le taux de germination du piment doux	52
Figure 32: Histogramme de l'effet de l'arrosage sur le taux de germination du piment doux	53
Figure 33: Histogramme de l'effet l'acide sulfurique sur le taux de germination du piment doux	54
Figure 34: Cinétique de germination de piment doux selon la température	55
Figure 35:Graphe de cinétique de germination selon le régime lumineux.....	56
Figure 36:graphe de cinétique de germination selon la fréquence d'arrosage	57
Figure 37:Graphe de cinétique de germination selon la scarification chimique	58

Résumé

Le *Capsicum annuum* L., plus connu sous le nom de piment doux, est une espèce cultivée dans le monde entier pour ses fruits à usage culinaire et médicinal. L'amélioration de ses techniques culturales, notamment à travers l'optimisation de la germination de ses graines, représente un enjeu agronomique majeur.

Ce travail expérimental a été mené au laboratoire de microbiologie appliquée de l'Université de Saïda, dans le but d'évaluer l'influence des facteurs abiotiques — température, lumière et humidité — sur la germination des graines de *C. annuum*. Deux types de semences ont été testés : commerciales et locales. Les paramètres expérimentaux ont été rigoureusement contrôlés : cinq niveaux de température (15 °C à 40 °C), trois régimes lumineux (obscurité, lumière continue et lumière alternée), et trois fréquences d'arrosage ont été appliqués. Une scarification chimique à l'acide sulfurique a également été testée pour lever l'inhibition tégumentaire.

Les résultats ont révélé que la germination optimale est obtenue entre 25 °C et 30 °C, avec un éclairage alterné et une humidité modérée. La scarification a significativement amélioré la vitesse et le taux de germination chez les semences locales, suggérant la présence d'une dormance tégumentaire.

En conclusion, cette étude a permis d'identifier les conditions abiotiques favorables à la germination des graines de *C. annuum*, apportant ainsi des pistes concrètes pour améliorer sa culture en milieu contrôlé et en production maraîchère.

Mots clés : *Capsicum annuum*, Germination, température, lumière, humidité, scarification.

Abstract

Capsicum annuum L., better known as sweet pepper, is a species cultivated worldwide for its fruits, which are used for culinary and medicinal purposes. Improving its cultivation techniques, particularly through optimizing seed germination, represents a major agronomic challenge.

This experimental work was conducted at the Applied Microbiology Laboratory of the University of Saida, with the aim of evaluating the influence of abiotic factors—temperature, light, and humidity—on the germination of *C. annuum* seeds. Two types of seeds were tested: commercial and local. Experimental parameters were rigorously controlled: five temperature levels (15°C to 40°C), three light regimes (darkness, continuous light, and alternating light), and three watering frequencies were applied. Chemical scarification with sulfuric acid was also tested to remove seed coat inhibition. The results revealed that optimal germination is achieved between 25°C and 30°C, with alternating light and moderate humidity. Scarification significantly improved the speed and rate of germination in local seeds, suggesting the presence of seed coat dormancy.

In conclusion, this study identified the abiotic conditions favorable to the germination of *C. annuum* seeds, thus providing concrete avenues for improving its cultivation in controlled environments and in market gardening.**Keywords:** Sweet pepper, germination, scarification, temperature, light, humidity

ملخص

الفلفل الحلو، المعروف أيضاً باسم الفلفل الحلو، هو نوع يُزرع عالمياً لثماره المُستخدمة في الطهي والأغراض الطبية. يُمثل تحسين تقنيات زراعته، وخاصةً من خلال تحسين إنبات البذور، تحدياً زراعياً كبيراً. أُجري هذا العمل التجريبي في مختبر الأحياء الدقيقة التطبيقية بجامعة صيدا، بهدف تقييم تأثير العوامل غير الحيوية -درجة الحرارة والضوء والرطوبة- على إنبات بذور الفلفل الحلو. تم اختبار نوعين من البذور: تجاري ومحلي. خضعت المعايير التجريبية لرقابة صارمة: خمسة مستويات لدرجة الحرارة (من 15 درجة مئوية إلى 40 درجة مئوية)، وثلاثة أنظمة للضوء (الظلام، والضوء المستمر، والضوء المتناوب)، وثلاثة ترددات للري. كما تم اختبار الخدش الكيميائي بحمض الكبريتيك لإزالة تثبيط غلاف البذور. أظهرت النتائج أن الإنبات الأمثل يتحقق بين 25 درجة مئوية و30 درجة مئوية، مع ضوء متناوب ورطوبة معتدلة. أدى التندب إلى تحسين سرعة ومعدل إنبات البذور المحلية بشكل ملحوظ، مما يشير إلى وجود خمول في غلاف البذور.

وفي الختام، حددت هذه الدراسة الظروف غير الحيوية المواتية لإنبات بذور *C. annuum*، مما يوفر سبلاً ملموسة لتحسين زراعتها في بيئات مُتحكم بها وفي البستنة التسويقية.

الكلمات المفتاحية: الفلفل الحلو، الإنبات، الخدش، درجة الحرارة، الضوء، الرطوبة

Table des matières

INTRODUCTION	2
CHAPITER I : GENERALITES SUR LA CULTURE DE PIMEN	4
I.1. Origine, historique et domestication	5
I.2. Définition du piment doux	6
I.3. Description de la plante :	8
I.3.1. Taxonomie.....	8
I.3.2. Description morphologique.....	8
I.3.3. Classification.....	8
I.3.4. Catégorie I.....	9
I.3.5. Ressources phylogénétiques.....	10
I.4. PRÉSENTATION DE LA PLANTE	12
I.4.1. Phénologie de la plante	12
I.5. Morphologie de la plante.....	13
I.5.1. Appareil végétatif.....	13
I.5.1.1. Système racinaire	13
I.5.1.2. Système aérien.....	13
I.5.2. Appareil reproducteur	15
I.5.2.1. Fleur	15
I.5.2.2. Fruit :	15
I.5.2.3. Graine :	16
I.6. Utilisation de poivron doux.....	16
I.6.1. Utilisation dans la médecine naturelle	16
I.6.2. Utilisation en cuisine.....	17
I.7. Importance économique de la culture du poivron	17
I.7.1. Dans le monde.....	18
I.7.2. Dans le bassin méditerranéen	19
Chapitre II : graine et la germination.....	20
II.1. La graine	21
II.1.1. Définition de la graine	21
II.1.2. La composition de la graine.....	21
II.1.3. La formation des graines.....	22
II.1.4. Les types de graines	24

II.2. La germination	25
II.2.1. Définition de la germination	25
II.2.2. Le processus de germination.....	25
II.2.3. La germination chez les plantes monocotylédones.....	27
II.2.4. Germination d'une dicotylédone :	28
II.2.5. Différence entre germination monocotylédone et dicotylédone	28
II.2.5.1. Les étapes de la germination.....	29
Phase d'imbibition.....	30
Phase de germination stricto sensu	30
Phase de croissance (Phase III)	30
II.2.6. Germination épigée et hypogée	30
II.3. Morphologie et physiologie de la germination	32
II.3.1. Morphologie de la graine	32
II.3.2. Physiologie de la germination.....	32
II.4. Les facteurs influençant la germination	32
II.4.1. Le facteur génétique.....	33
II.4.2. Les facteurs internes à la graine.....	33
a) La maturité de la graine	33
b) La longévité des graines	34
II.5. Conditions externes de la germination.....	34
1. Eau	34
2. Oxygène.....	34
3. Température.....	35
4. Lumière.....	35
II.5.1. Les facteurs avant la récolte.....	35
II.5.2. Les facteurs liés à la récolte	36
II.5.3. Les facteurs après récolte.....	36
II.6. La dormance.....	36
II.6.1. Les types de dormance.....	37
II.6.1.1. Les inhibitions tégumentaires	37
• L'imperméabilité à l'eau	38
• L'imperméabilité à l'oxygène	38
• La présence d'inhibiteurs chimiques	38
II.6.1.2. La dormance embryonnaire	39

II.6.1.2.1. Dormance primaire	39
II.6.1.2.2. Dormance secondaire (ou induite)	39
II.6.2. Levée de la dormance des graines	40
II.6.2.1. La vernalisation.....	40
II.6.2.2. La stratification	40
II.6.2.3. La pré-germination.....	40
Chapitre III : matériel et méthodes	41
Objectifs de l'étude :	42
1.1 Matériel du laboratoire :	42
1.2 Matériel végétal :	43
2. Méthodologie expérimentale	44
1. Préparation des graines	44
2. Milieu de germination	45
3. Disposition des graines et conditions expérimentales	45
4. Les paramètres expérimentaux étudiés :	46
A(Température :	46
5. Suivi quotidien de l'expérience :	47
6. Paramètres de germination :	48
2.6.1 Taux de germination :	48
2.6.2 Cinétique de germination :	48
.7 Test statistique :	49
RESULTAS ET DISCUSSION.....	50
1. Résultats :	51
1.1 Taux de germination :	51
a) Effet de la température :	51
b) Effet de la lumière	52
c) Effet de l'arrosage	53
d) Scarification par l'acide sulfurique	54
1.2 Cinétique de germination	55
a) Température :	55
b) Lumière.....	56
c) Arrosage	57
d) Scarification par l'acide sulfurique	58
DISCUSSION GÉNÉRALE.....	59

CONCLUSION	61
conclusion.....	62
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	64
Références bibliographiques.....	65

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Le piment doux (*Capsicum annuum* L.) est une plante annuelle appartenant à la famille des Solanaceae, largement cultivée à travers le monde, aussi bien pour ses fruits doux que pour ses variétés piquantes. Originaire d'Amérique du Sud et centrale, son introduction en Europe remonte au XVe siècle, suite aux expéditions de Christophe Colomb, mais son utilisation était déjà bien ancrée chez les civilisations précolombiennes comme les Aztèques, les Mayas et les Incas (HAMZA, 2010).

Du point de vue botanique, *Capsicum annuum* se distingue par la grande diversité morphologique de ses fruits, leur teneur variable en capsaïcine, et par son importance économique en tant que culture maraîchère majeure dans de nombreuses régions, notamment dans le bassin méditerranéen (El-OUMAIRINI, 2000 ; FAO, 2015).

L'une des étapes les plus critiques dans le cycle de développement des plantes à fleurs est la germination des graines. Elle marque la transition entre la vie latente de la graine et le développement actif d'une plantule. Ce processus complexe dépend de nombreux facteurs internes (comme la viabilité, la dormance ou la maturité de la graine) ainsi que de facteurs externes (tels que la température, l'humidité, la lumière et la disponibilité en oxygène) (BOUABDALLAH, LAGRAA & OUADIA, 2020 ; BALI & BENZINIA, 2018 ; WILHELM, 2023).

Chez les plantes dicotylédones, telles que *C. annuum*, la germination se manifeste par l'émergence de la radicule, suivie par le développement de la tigelle et des cotylédons, qui peuvent parfois jouer un rôle temporaire dans la photosynthèse (Gravis, 1898). En revanche, les conditions internes tels que la dormance embryonnaire ou tégumentaire ou externes tels que la température, la lumière et l'arrosage peuvent affecter ce processus, nécessitant l'application de techniques spécifiques de levée de dormance comme la scarification, la stratification ou la pré-germination (SMAIL & MOHAMMEDI, 2021 ; SIRINE & Eddine, 2024).

C'est dans cette optique que s'inscrit le présent travail, qui vise à évaluer l'effet de certains facteurs abiotiques (température, lumière, humidité) sur la

germination des graines de piment doux (*Capsicum annuum* L.), en vue d'optimiser les conditions culturales de cette espèce d'intérêt agroalimentaire.

CHAPITER I :
GENERALITES SUR LA
CULTURE DE PIMEN

I.1. Origine, historique et domestication

L'histoire de la culture du piment (*Capsicum*), une plante largement cultivée et utilisée par les civilisations précolombiennes d'Amérique. Christophe Colomb aurait introduit le piment en Europe après sa découverte du Nouveau Monde en 1492, mais cette plante était déjà utilisée bien avant par les peuples indigènes d'Amérique. (DEMOL, J., & OTOUL, É. 2002).

Le piment a effectivement une longue histoire dans le continent américain. Utilisé à la fois comme aliment, épice et médicament, il fait partie des premières plantes domestiquées dans le Nouveau Monde. Les Incas, les Mayas et les Aztèques exploitaient diverses parties de la plante pour ses propriétés médicinales et culinaires. (DIOUF, B. 2024).

Il est intéressant de noter que l'histoire des piments révèle non seulement leur rôle dans l'alimentation mais aussi leur importance dans les pratiques médicinales de ces civilisations anciennes. Leur usage en tant qu'anesthésiant et leur efficacité dans la stimulation de la circulation sanguine témoignent de connaissances avancées dans les domaines de la médecine et de la phytothérapie (GUILLAUME, J. 2011).

L'expansion de la culture du piment à travers l'Amérique du Nord, à partir des Indiens Pueblo, est également une facette intéressante de l'histoire de cette plante, et l'adoption progressive de ce produit a joué un rôle important dans le développement de l'agriculture et des cuisines locales (BEAUCAGE, P. 2013).

Après leur introduction sur le Vieux Continent, les plantes étaient d'abord perçues comme des curiosités botaniques en Europe du Nord. Cependant, avec l'essor de la cuisine méditerranéenne dans l'alimentation quotidienne, le piment a progressivement gagné en popularité dans les régions septentrionales. Son introduction en Afrique et en Asie a été facilitée par les voyageurs se rendant dans les comptoirs portugais et espagnols, mais elle doit également beaucoup aux efforts des missionnaires franciscains et jésuites. (HAMZA, 2010)

I.2. Définition du piment doux

Le piment (*Capsicum annuum* L.) est une plante annuelle de la famille des solanacées, originaire d'Amérique du Sud et centrale (El-OUAIRINI, 2000). Depuis plus d'un siècle, il s'est propagé et cultivé dans toutes les régions tropicales ou tempérées chaudes du monde (POCHARD et al, 1992). De nombreuses variétés sont cultivées depuis des siècles.

Le poivron est cultivé principalement pour ses fruits, qui peuvent être consommés crus ou cuits (de couleurs vert, jaune, rouge, etc.). La plante présente un port dressé, presque arbustif, et est très ramifiée. Les tiges, particulièrement à la base, tendent à se lignifier. En général, la plante atteint une hauteur de 40 à 50 cm. Les feuilles sont alternes, lancéolées, pointues, d'un vert brillant. Les fleurs, nombreuses et petites, sont blanches, avec des pétales soudés et pointus, au nombre de 6 à 8 (DOSSA, A. F. E. 2012).

Le fruit du poivron est une baie d'un type particulier, avec une pulpe relativement mince qui forme une capsule entourant un placenta plus ou moins volumineux portant de nombreuses graines (Amina, O. 2019). La peau extérieure est lisse, brillante et de couleur verte avant maturité. Elle prend, à maturité, une couleur vive, généralement rouge, mais peut aussi être jaune, orange, violette, marron, noire, etc. Les graines sont petites, plates, réniformes, et de couleur crème.

Les poivrons se distinguent des piments par la taille de leurs fruits, plus gros et plus charnus, ainsi que par l'absence de substance piquante (PURSEGLOVER, et al. 1996).



Figure 1: piment doux allongés (FAO, 2009).



Figure 2: piment doux carrés (FAO, 2009)



Figure 3: piments doux plats (poivrons tomates) (FAO, 2009).

I.3. Description de la plante :

I.3.1. Taxonomie

La classification internationale de Cronquist du *Capsicum annum* L. est la suivante (GOETZ et LE JEUNE, 2012) :

Règne : Plantae

Sous-règne : Tracheobionta

Subdivision : Spermatophyta

Division : Magniophyta

Classe : Magniopsida

Sous-classe : Asteridae

Ordre : Solanales

Famille : Solanaceae

Genre : *Capsicum*

Espèce : *Capsicum annum* L.

I.3.2. Description morphologique

Le piment est une gousse plus ou moins charnue contenant de nombreuses graines dans sa cavité intérieure. Les plants de piment peuvent atteindre environ 1,5 mètre de hauteur. Il existe près de 10 espèces de piments, qui varient en formes, tailles, couleurs et saveurs (DJEBOUR, K. S. 2017).

I.3.3. Classification

Les poivrons doux sont classés en trois catégories définies ci-après :

1. Catégorie « Extra »

Les poivrons doux classés dans cette catégorie doivent être de qualité supérieure. Ils doivent présenter les caractéristiques spécifiques de la variété et/ou du type commercial. Aucun défaut n'est autorisé, à l'exception de très légères altérations superficielles, à condition que celles-ci ne nuisent pas à l'aspect général du produit, à sa qualité, sa conservation et sa présentation dans l'emballage. (ACILA, S. 2018).

I.3.4. Catégorie I

Les poivrons doux classés dans cette catégorie doivent être de bonne qualité. Ils doivent présenter les caractéristiques de la variété et/ou du type commercial. Toutefois, ils peuvent présenter les défauts légers suivants (AMINA, O. 2019), à condition qu'ils ne compromettent pas l'aspect général du produit, sa qualité, sa conservation et sa présentation dans l'emballage :

- Un léger défaut de forme.
- Une couleur légèrement argentée ou un dommage causé par des thrips, couvrant au maximum un tiers de la surface totale. (AMINA, O. 2019)
- De légers défauts de l'épiderme, tels que :
 - Piquetage, éraflures, brûlures de soleil ou marques d'écrasement, dont la surface totale ne dépasse pas 2 cm pour les défauts de forme allongée et 1 cm² pour les autres défauts. (AMINA, O. 2019)
 - Ou des craquelures sèches et superficielles couvrant au maximum un huitième de la surface totale.
- Un pédoncule légèrement endommagé.

3. Catégorie II

Cette catégorie comprend les poivrons doux qui ne peuvent être classés dans les catégories supérieures mais qui respectent les caractéristiques minimales définies ci-dessus (Buchs, A. 2012). Ils peuvent présenter les défauts suivants, à condition de conserver leurs caractéristiques essentielles de qualité, de conservation et de présentation :

- Des défauts de forme.
- Une couleur légèrement argentée ou un dommage provoqué par des thrips, couvrant au maximum les deux tiers de la surface totale. (Buchs, A. 2012).
- Des défauts de l'épiderme, tels que :
 - Piquetage, éraflures, brûlures de soleil, meurtrissures et blessures cicatrisées, dont la surface totale ne dépasse pas 4 cm pour les

défauts de forme allongée et 2,5 cm² pour les autres défauts. (BUCHS, A. 2012).

- Ou des craquelures sèches et superficielles couvrant au maximum un quart de la surface totale.
- Une altération de l'extrémité pistillaire couvrant un maximum de 1 cm².
- Un dessèchement couvrant au maximum un tiers de la surface.
- Le pédoncule et le calice endommagés, à condition que la chair autour reste intacte (Buchs, A. 2012).

I.3.5. Ressources phylogénétiques

Le genre *Capsicum* comprend 25 espèces, qui sont classées en fonction de la forme de leurs fruits et de leur utilisation. Vingt de ces espèces sont sauvages et possèdent des gènes de résistance contre les organismes nuisibles (Hamza, 2010). Cinq autres espèces ont été domestiquées et sont les plus couramment cultivées à travers le monde : *C. frutescens* L., *C. annum* L., *C. baccatum* L., *C. pubescens* Ruiz & Pav., et *C. chinense* Jacq. Le tableau suivant présente quelques informations concernant les espèces de piment cultivées dans le monde.

Tableau 1: Espèces de piment cultivées dans le monde (DJEBOUR, K. S. 2017).

<i>C. frutescens</i> L.	- Hauteur de la plante: Variable selon le climat. - Feuilles : Parfois ovoïdes, formant un feuillage fin. - Fleurs : Insérées par paires. - Fruits : Allongés coniques (parfois ronds), très piquants mais peu parfumés. Faciles à sécher.
<i>C. annum</i> L.	- Hauteur de la plante : De 0,50 à 1,50 m. - Feuilles : Simples, larges, molles, pétiolées et alternes, souvent glabres ; ovales à elliptiques, plus ou moins allongées, à sommet aigu.

	- Fleurs : Généralement solitaires, parfois par paires ou en bouquets, petites, blanches, terminales, bisexuées et habituellement pentamériques. - Fruits : Baies indéhiscentes avec un épais pédoncule, variant selon la forme ou la saveur (piquante ou douce). Utilisées surtout comme condiment.
C. baccatum L.	- Cycle de culture: Environ 120 jours. - Fleurs : Corolle blanche marquée de chevrons jaunes avec des étamines libres. - Conservation : Les fruits se déshydratent rapidement, ce qui complique leur conservation.
C. pubescens Ruiz & Pav.	Un cycle de croissance d'au moins 120 jours. Un buisson pérenne de grande taille, pouvant atteindre jusqu'à 3 mètres de hauteur. Des feuilles en forme d'ovale, recouvertes de poils (ce qui explique d'ailleurs son nom). Des fleurs de couleur bleue.
C. chinense	Le cycle de croissance varie en moyenne entre 80 et 120 jours. La plante pousse plus lentement que C. annum. Plus vivace, elle produit des arbustes qui peuvent atteindre 1,5 m de hauteur et 2 à 3 cm de diamètre, avec une durée de vie de 3 à 4 ans. Le feuillage est plus large et plus gaufré que celui de C. frutescens.

	Chaque nœud porte de 2 à 6 fruits de formes variées, parfois en forme de lanterne.
--	--

Les piments cultivés font partie de deux espèces : *Capsicum annuum* et *Capsicum frutescens*. La classification de nombreuses variétés de *C. annuum* repose sur la forme des fruits ainsi que sur leur contenu en Capsaïcine, une substance active présente surtout dans le placenta des fruits, et qui est responsable de leur goût fortement piquant. (PONS, C. 2023).

Les variétés sans Capsaïcine (et à gros fruits) sont appelées poivrons et sont consommées comme légumes.

Les variétés de piments contenant de la capsaïcine, souvent de forme allongée, sont communément désignées sous le nom de piment de Cayenne (PONS, C. 2023).

La grande diversité de *Capsicum* a été largement mise à profit par les sélectionneurs. Trois anciennes variétés sont conservées dans un registre annexe du catalogue officiel, destiné aux jardiniers amateurs. Les variétés de *Capsicum* sont classées en trois catégories :

1. Les poivrons à gros fruits doux, de formes variées ;
2. Les piments à petits fruits pointus, ayant une saveur plus ou moins brûlante ;
3. Les piments doux à petits fruits pointus, non piquants (MARCHOUX et al, 2008).

I.4. PRÉSENTATION DE LA PLANTE

Dans cette section, nous fournirons des informations détaillées concernant la phénologie et la morphologie de l'espèce étudiée.

I.4.1. Phénologie de la plante

Tableau 2: Le cycle végétatif de la culture s'étend de 70 à 95 jours et est constitué de sept stades, selon ITCMI (2010).

Stade 0	Levée des semences
---------	--------------------

Stade 1	Les cotylédons se déploient.
Stade 2	Deux feuilles principales se déploient sur la tige.
Stade 3	Plus de feuilles se développent sur la tige.
Stade 4	Début de la floraison
Stade 5	Floraison complète.
Stade 6	Développement du fruit

I.5. Morphologie de la plante

I.5.1. Appareil végétatif

I.5.1.1. Système racinaire

"Le système racinaire du piment est de type pivotant, comportant de nombreuses racines adventives sur l'axe hypocotylé (CHAMBONNET, 1985).



Figure 4: Système racinaire du piment (BADACHE 2015)

I.5.1.2. Système aérien

La plante est herbacée, dont la hauteur varie de 40 à 50 cm selon HAMZA (2010) ; et de 0,30 à plus de 1 m dépendant des cultivars selon CHAMBONNET (1985).



Figure 5:Plante du piment (BADACHE. 2015)



Figure 6:Tige piment (BADACHE. 2015)

Les feuilles du piment ont un pétiole long et un limbe ovoïde ou lancéolé (CHAMBONNET, 1985). Elles sont persistantes, entières, alternes, lancéolées et à sommet aigu (HAMZA, 2010).



Figure 7: Feuille du piment (BADACHE 2015)

I.5.2. Appareil reproducteur

I.5.2.1. Fleur

Les fleurs du piment sont blanchâtres, dressées ou pendantes, et se situent à l'aisselle des bifurcations, généralement une à deux fleurs par nœud. Elles possèdent 6 sépales, 6 pétales, de 5 à 7 étamines, ainsi qu'un ovaire (KOLEV, 1976).

Selon CHAMBONNET (1985), le piment est principalement autogame, bien que le taux d'allogamie varie entre 8 et 30 % selon les cultivars.



Figure 8: Fleurs du piment (BADACHE 2015)

I.5.2.2. Fruit :

Les fruits peuvent être allongés, flexueux, coniques, globuleux à 3 ou 4 loges (lisses ou flexueux), sphériques ou plats et côtelés (NONDAH, 2000). Selon Michel et al, ils présentent une grande variété de formes et de couleurs (bien que les colorations rouge et jaune soient dominantes à maturité). Ils peuvent contenir, en quantités variables, de la capsaïcine, responsable de leur goût piquant. De plus, ces fruits sont une source importante de vitamine C.



Figure 9: Fruits du piment (BADACHE 2015).

I.5.2.3. Graine :

Les graines sont nombreuses, arrondies, plates et blanchâtres, avec une saveur piquante bien plus prononcée que celle de la chair du fruit (POLESE, J. M. 2006).

Elles conservent leur pouvoir germinatif pendant 4 à 5 ans à température ambiante (CHAMBONNET, 1985).



Figure 10: Semences du piment (BADACHE 2015)

I.6. Utilisation de poivron doux

I.6.1. Utilisation dans la médecine naturelle

Les différentes variétés de Capsicum sont utilisées depuis des millénaires pour guérir les petites et grandes douleurs ou du moins les soulager. (AMINA, O. 2019).

Le poivron a une action stimulante et digestive; la médecine naturelle moderne y a également recours à cause de ses propriétés irritantes. Selon les ouvrages spécialisés, il est fortifiant, antiseptique, stimule la circulation sanguine, les organes digestifs ainsi que la transpiration. (AMINA, O. 2019).

Le Capsicum est également utilisé en usage externe en cas de lumbago, névralgies et pleurésie. La liste de ses applications dans la médecine naturelle pourrait être complétée à volonté.

Dans les Tropiques, les piments forts sont également employés pour la désintoxication de l'estomac et de l'intestin ainsi que pour la conservation des aliments. Un contact avec les yeux ou des plaies ouvertes doit être évité. Nous attirons votre attention sur le fait qu'il est recommandé de consulter un naturopathe ou un droguiste pour une utilisation médicale du Capsicum. (AMINA, O. 2019).

I.6.2. Utilisation en cuisine

Les utilisations du poivron et du piment dans l'art culinaire moderne sont extrêmement variées. Les variétés fortes et douces sont utilisées de nos jours crues, cuites en tant que légume ou comme épice: légume apéro avec de délicieuses sauces, salade de poivron avec différents dressings, yaourt, ratatouille ou gratin goûteux avec des pommes de terre. Goulache hongroise, émincé de bœuf aux lanières de poivron, suprêmes de volaille farcis à la mousse de poivron comme on voit, le poivron est un vrai multitalent en cuisine. (AMINA, O. 2019).

Outre son arôme, le poivron apporte des notes de couleur dans les plats cuisinés modernes.

Paprika doux ou paprika piquant – ses applications vraiment multiples vont de A à (presque) Z. Alors, pourquoi ne pas essayer de faire une glace au poivron si vous êtes un champion de la cuisine ?

La valeur nutritive de Capsicum est élevée et il constitue une excellente source en vitamines C, A, B, E, acide folique, thiamine ainsi qu'en minéraux tels que le molybdène, le manganèse et le potassium. (AMINA, O. 2019).

Les piments contiennent sept fois plus de vitamine C que l'organe. Les β -caroténoïdes, et les vitamines C et A contenus dans les piments sont de puissants antioxydants qui détruisent les radicaux libres. (AMINA, O. 2019).

I.7. Importance économique de la culture du poivron

Le poivron originaire de l'Amérique du Sud, il est cultivé dans tous les pays du monde, en plein champs ou sous serre selon le climat du lieu de culture. (CHOUGAR, S. 2011).

I.7.1. Dans le monde

Le poivron reste l'une des spéculations les plus cultivées à travers les différents continents. Une évolution progressive dans le temps de la superficie mondiale réservée à la culture du poivron en plein champ et sous abris (Tableau I). Cette évolution est très marquée durant la dernière décennie. (AMINA, O. 2019).

De plus, la production mondiale du poivron a connu une évolution progressive au cours du temps, qui enregistre une quantité de l'ordre de 360081 millions de tonnes en 2000 pour atteindre une valeur de 496134 millions de tonnes en 2013, ce qui représente une augmentation annuelle d'environ 16 %. Cette progression est en rapport direct avec les superficies cultivées, car, en 2013 les superficies réservées à cette culture ces dernières ont dépassé les 538330 millions d'hectares en 2013. (AMINA, O. 2019).

Entre 2001 et 2010, la production du poivron a évolué avec l'évolution des superficies agricoles utiles GIULIANO, S. (2010).

Tableau 3: Principaux pays producteurs des cultures maraîchers dans le monde (en tonnes) (FAO, 2015)

Pays	Production (tonnes) Pays	Pays	Production (tonnes) Pays
Chine	583321399	Espagne	12701300
Inde	121015200	Nigéria	11923961
USA	34279961	Brésil	11458208
Turquie	28280809	Japon	11314562
Iran	23651582	Indonésie	10243856
Egypte	19590963	Ukraine	9872600
Russie	15485353	Algérie	6788809
Viet Nam	14975501	Philippines	6367844
Mexique	13238236	France	5235330

Italie	13049171	Pakistan	5059691
--------	----------	----------	---------

I.7.2. Dans le bassin méditerranéen

Selon la FAO en 2015, la production du poivron dans le bassin méditerranéen dépasse les 100 millions de tonnes avec la Turquie, l’Egypte, l’Italie et l’Espagne représentent 71% de cette production.

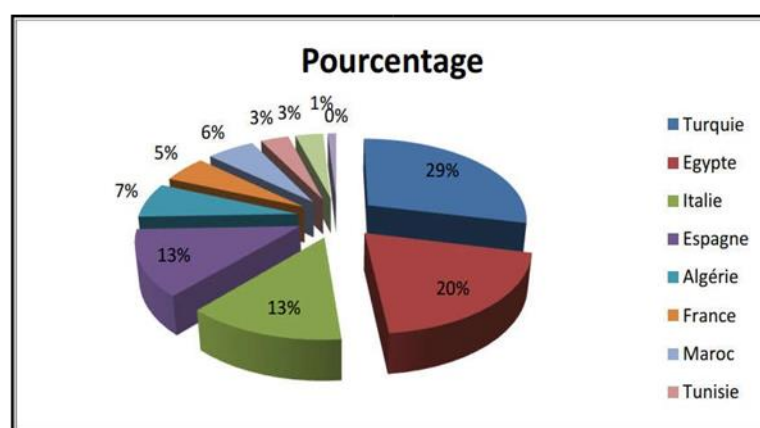


Figure 11: Production des principaux pays producteurs de poivron dans le bassin méditerrané (en tonne) (FAO, 2015).

Chapitre II : graine et la germination

II.1. La graine

II.1.1. Définition de la graine

La graine est le résultat du développement d'un ovule fécondé. Elle renferme un embryon ainsi que des substances nutritives nécessaires à son développement. Elle constitue une structure de protection permettant à la plante de survivre durant des périodes plus ou moins longues de conditions environnementales défavorables (températures extrêmes, sécheresse). Durant ces périodes, la plante ne pourrait ni croître, ni parfois même survivre. Si ces conditions hostiles persistent, la graine peut rester en dormance indéfiniment (MURRAY, 2008).

II.1.2. La composition de la graine

Une graine est une structure complexe qui représente le stade de dormance dans le cycle de vie des plantes à fleurs. Elle est généralement constituée de trois éléments principaux : l'embryon, les réserves nutritives et les téguments. L'embryon, élément central de la graine, est une jeune plantule en développement, issue de la fécondation, qui renferme toutes les structures nécessaires à la future plante. Il comprend une radicule, destinée à se transformer en racine, et une tigelle, qui formera la future tige de la plante. Sur cette tigelle sont insérés un ou plusieurs cotylédons, qui varient selon les groupes de plantes : un seul chez les monocotylédones, deux chez les dicotylédones, et parfois plus dans d'autres groupes. À l'extrémité de la tigelle se trouve la gemmule, un bourgeon terminal à partir duquel se développera la partie aérienne de la plante.

Autour de cet embryon se trouvent des réserves alimentaires, souvent riches en amidon, lipides ou protéines, indispensables pour nourrir la plantule lors de la germination, avant qu'elle ne devienne autonome grâce à la photosynthèse. L'ensemble est enveloppé par un ou plusieurs téguments, qui assurent la protection de la graine contre les agressions extérieures, la déshydratation et les pathogènes. Ces téguments proviennent généralement de l'ovule et peuvent varier en structure et en épaisseur selon les espèces.

Ainsi, la graine joue un rôle crucial non seulement dans la reproduction et la dissémination des plantes, mais aussi dans leur survie en période défavorable,

grâce à sa capacité à rester en dormance jusqu'à ce que les conditions soient optimales pour la germination (TURNER, 2013).

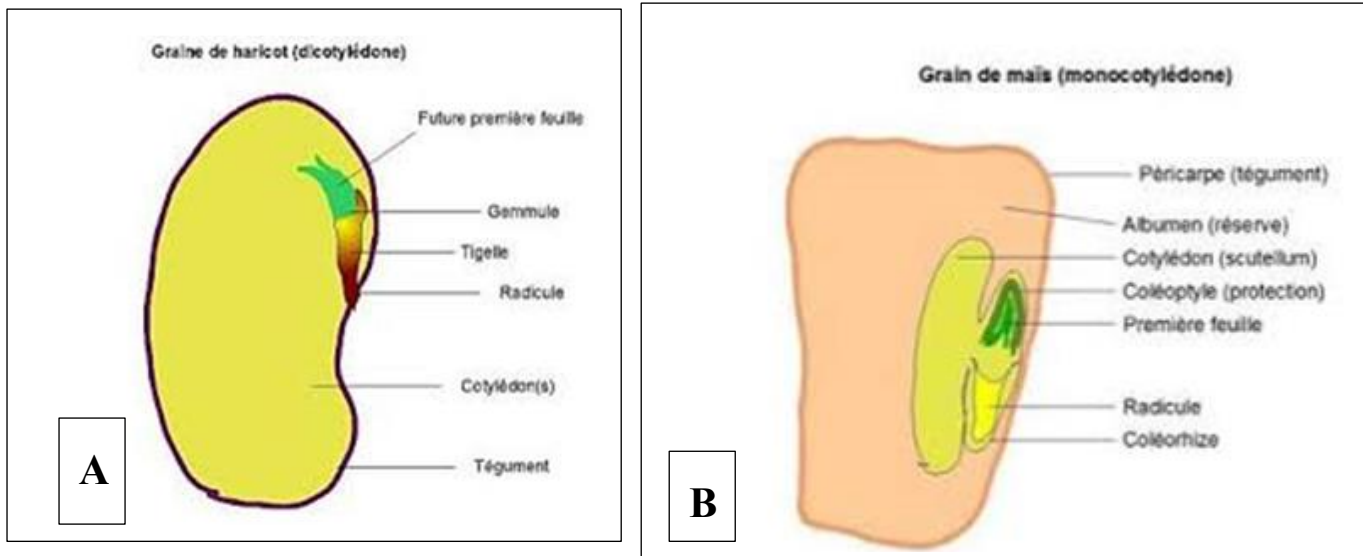


Figure 12 : A : graine dicotylédone B : graine monocotylédone

Les plantes dont les graines ne possèdent qu'un seul cotylédon sont appelées monocotylédones. Elles présentent également une autre caractéristique morphologique notable : leurs feuilles possèdent des nervures parallèles, c'est-à-dire que les nervures sont disposées de manière linéaire et ne se ramifient pas. Ce groupe comprend des familles bien connues telles que les graminées – comme le blé, le maïs ou le riz – ainsi que les liliacées, telles que le lis ou la tulipe. (HOPKINS, 2003).

À l'inverse, les plantes dont les graines contiennent deux cotylédons sont désignées sous le nom de dicotylédones. Leurs feuilles se distinguent par des nervures ramifiées ou réticulées, formant un réseau plus complexe. Ce groupe est très diversifié et regroupe la majorité des espèces de plantes à fleurs connues aujourd'hui, couvrant un vaste éventail de formes, de tailles et d'habitats. (VAN TIEGHEM, 1871).

II.1.3. La formation des graines

La graine est un organe fondamental de la reproduction sexuée chez les plantes à fleurs. Elle résulte d'un processus appelé double fécondation, caractéristique des angiospermes. Ce processus implique la rencontre d'un grain de pollen avec un ovule. Deux événements se produisent alors : d'un côté, la

fécondation de l'oosphère donne naissance à une cellule-œuf, qui se développera en embryon ; de l'autre, la seconde fécondation forme un tissu de réserve nutritive. Ce tissu peut prendre plusieurs formes selon les espèces : albumen, périsperme ou cotylédons, qui fourniront les nutriments nécessaires à la jeune plantule lors de la germination. (SPICHIGER, & JEANMONOD, 2002).

À la suite de la fécondation, la fleur subit de profondes transformations. Les ovules se transforment en graines, tandis que la paroi de l'ovaire se développe pour former le fruit. Celui-ci joue un rôle essentiel en protégeant les graines en formation. Une fois arrivées à maturité, souvent vers la fin de l'été, les graines sont libérées. Ce mécanisme assure non seulement la dissémination des espèces végétales à distance, mais aussi leur survie pendant les périodes défavorables, comme l'hiver. (RUFFIE, 1986).

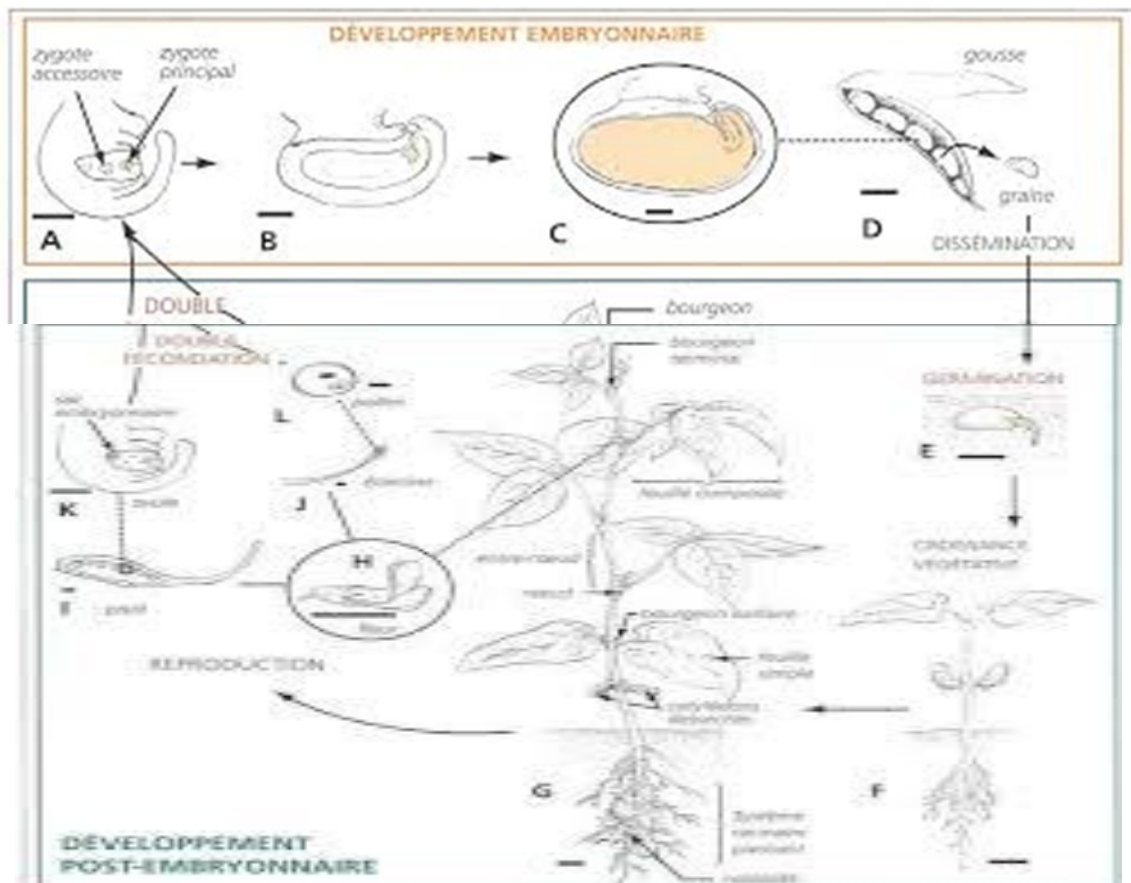


Figure 13 : la formation de la graine

II.1.4. Les types de graines

La graine est constituée d'un tégument (simple ou double) et d'une amande, formée de l'embryon et de tissus de réserve appelés albumen. L'élément fondamental de l'amande est l'embryon, qui comprend :

- Une radicule,
- Une tigelle qui prolonge la radicule,
- Et les cotylédons.

Selon la présence ou l'absence d'albumen dans la graine (CROSAZ, Y. 1995), on distingue trois types de graines :

- **Graines à périsperme**

- L'album en est peu développé.
- La réserve principale est assurée par le périsperme, tissu issu du nucelle qui n'a pas été digéré.

- **Graines albuminées**

- Le nucelle disparaît.
- L'album en est bien développé et constitue la réserve.
- Les cotylédons sont fins.
- Exemple : les caryopses des céréales.

- **Graines exalbuminées**

- Le nucelle est digéré par l'albumen.
- L'album en est ensuite absorbé par l'embryon en développement.
- Les cotylédons deviennent les principaux organes de réserve.
- Exemple : le pois ou le haricot. (Gris, A. (1864).

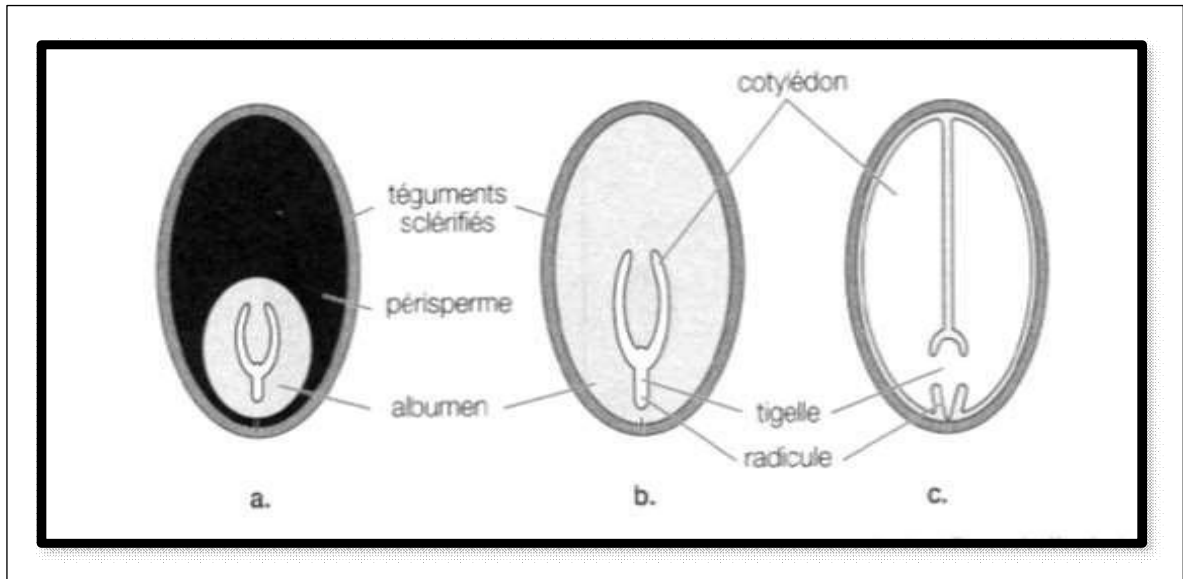


Figure 14: a. graine à périsperme, b. graine albuminée, c. graine ex albuminée (CROSAZ, Y. 1995)

II.2. La germination

II.2.1. Définition de la germination

La germination est une étape essentielle dans le cycle de vie d'une plante, marquant le réveil d'une graine dont l'activité vitale avait jusque-là été fortement ralentie. Ce processus complexe initie la transformation de la graine en une jeune plante appelée plantule. Il s'agit d'un enchaînement de mécanismes physiologiques sophistiqués, qui débute dès que la graine entre en contact avec l'eau et commence à s'hydrater. À partir de ce moment, toute une série de réactions biologiques s'enclenche, menant progressivement à l'émergence de la racicule, la première racine de la future plante. (D'après BOUZID, 2022)

II.2.2. Le processus de germination

La graine est un organe végétal complexe, composé d'un embryon, de tissus de réserve (albumen ou endosperme), et d'enveloppes protectrices appelées téguments, dont la structure varie selon l'espèce (FENNER, 2000). L'embryon, quant à lui, se divise en trois parties principales : la racicule, l'hypocotyle et l'épicotyle.

La fonction principale de la graine est d'assurer à l'embryon une protection physique ainsi qu'un apport nutritif essentiel à son développement, notamment au moment de la germination (SCHMIDT, 2000).

La germination marque le passage d'un état de vie latente (ou quiescente) à une phase active de croissance, conduisant au développement de la plantule (Baskin & Baskin,

2001). Chez la majorité des angiospermes, ce processus suit des étapes bien définies (Bewley, 1997) : Absorption de l'eau (imbibition) : l'eau pénètre dans la graine par ses ouvertures naturelles et se diffuse à travers les tissus internes (Young & Young, 1986). Les cellules deviennent turgescentes, provoquant un gonflement général.

Rupture des téguments et réactivation métabolique : cette hydratation entraîne la dilatation de la graine et l'ouverture des téguments. L'embryon réactive alors son métabolisme, amorçant la synthèse de nouvelles molécules nécessaires à la croissance.

Croissance embryonnaire et émergence : l'augmentation de la taille de l'embryon se poursuit jusqu'à ce que celui-ci perce les enveloppes. Le premier organe à émerger est généralement la radicule, formant la future racine. Son apparition constitue le principal signe visible du début de la germination.

En règle générale, les graines atteignent leur maturité, entrent dans une phase de quiescence, puis germent dès que l'eau, l'oxygène et la température sont favorables (Srivastava, 2002). Toutefois, chez de nombreuses espèces, certaines graines ne germent pas immédiatement malgré des conditions environnementales optimales. Cette inhibition physiologique est connue sous le nom de dormance (BASKIN & BASKIN, 2004).

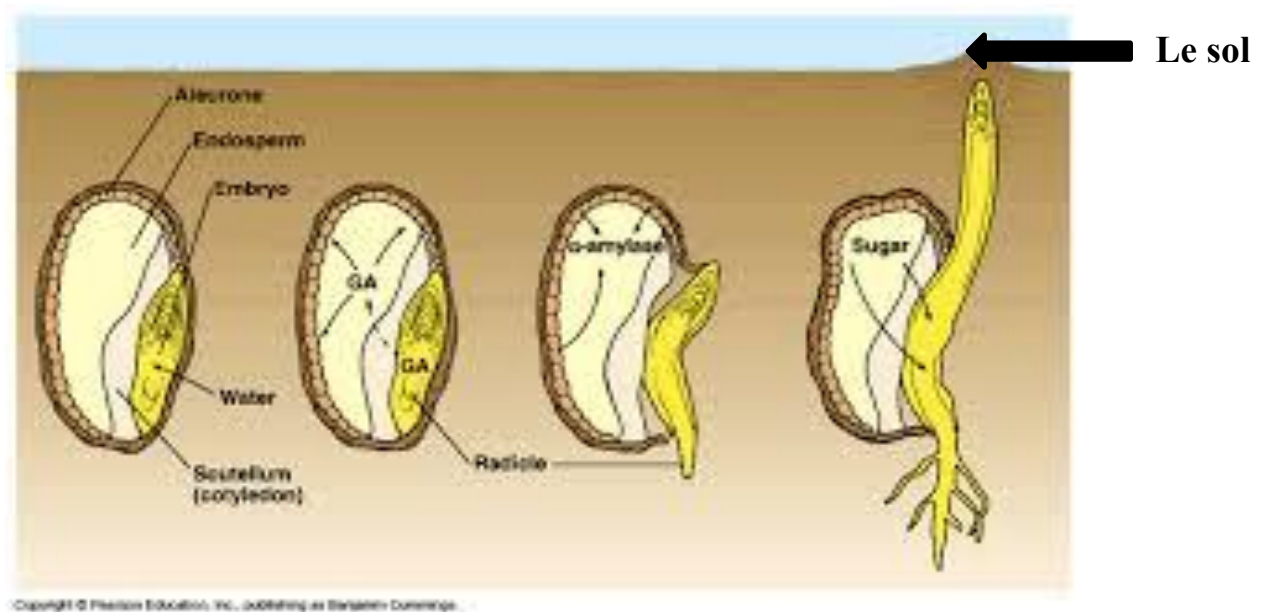


Figure 15: la germination de la graine

II.2.3. La germination chez les plantes monocotylédones

Toutes les graines ne germent pas de la même manière, et la germination des monocotylédones — comme le maïs ou le blé — suit un processus particulier, bien distinct de celui des dicotylédones.

Chez les monocotylédones, la germination commence par la sortie de la radicule, la future racine, qui perce une enveloppe spécifique appelée coléorhize. Cette structure protège la jeune racine lorsqu'elle s'enfonce dans le sol. Tandis que la radicule s'enracine vers le bas, une autre structure, la coléoptile, commence à croître vers le haut, en direction de la surface du sol.

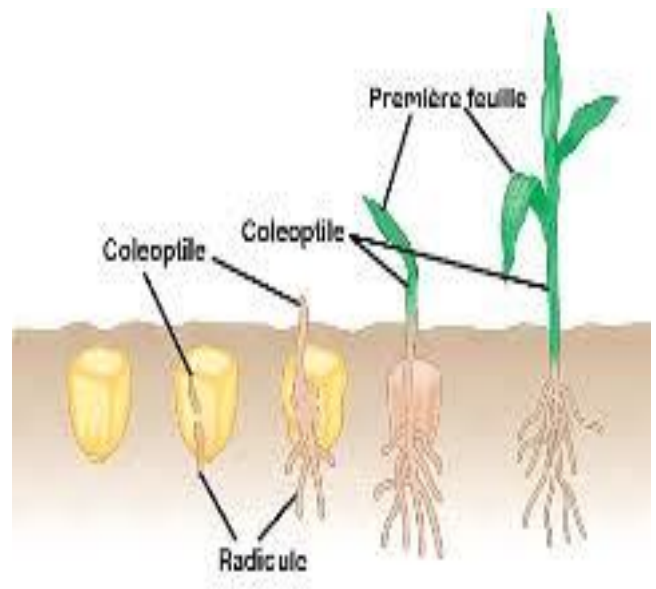


Figure 16: Germination de graine

La coléoptile a pour rôle essentiel de protéger la première feuille en développement contre les agressions mécaniques du sol (frottements, obstacles, etc.). (BENTATA, & NATECHE, 2021).

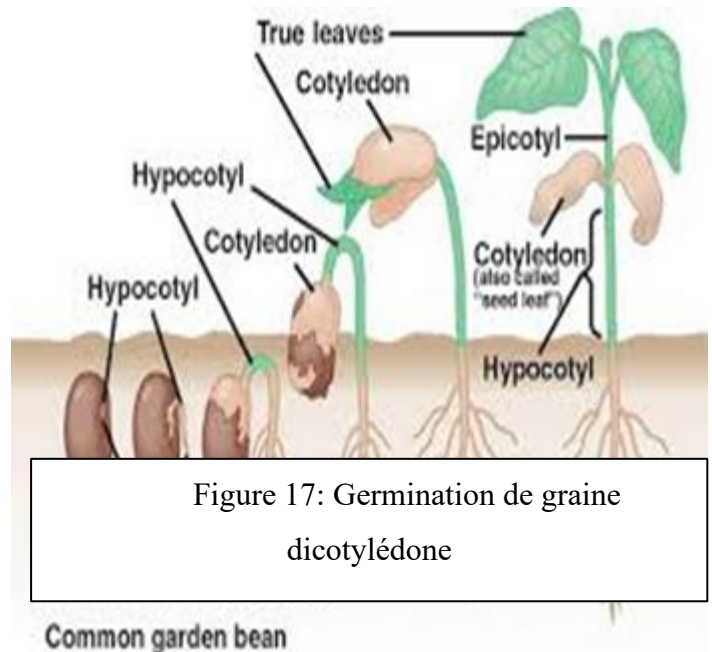
Une fois que la coléoptile atteint la surface et entre en contact avec la lumière et l'air, il cesse sa croissance. C'est alors que la première feuille, jusque-là enfermée à l'intérieur de la coléoptile, commence à se développer et à émerger. Cette feuille jouera un rôle déterminant dans la photosynthèse initiale et permettra le développement des feuilles suivantes. (CHOUARD, 1948).

Dans ce type de germination, le cotylédon ne sort pas de la graine. Chez les monocotylédones, il est appelé scutellum. Ce dernier reste enfoui dans la graine et ne participe pas directement à la croissance externe de la plantule. Son rôle est avant tout nutritif : il permet de transférer les réserves contenues dans l'albumen de la graine vers les jeunes structures en croissance, notamment la coléoptile. (AISSANI, 2013).

Ainsi, la germination des monocotylédones se caractérise par un développement souterrain partiel et une stratégie de protection efficace pour permettre à la plante de s'implanter avec succès dès les premières étapes de sa vie

II.2.4. Germination d'une dicotylédone :

Chez les plantes dicotylédones, la germination suit un développement particulier. Tout commence par l'apparition de la radicule, qui émerge de la graine et s'oriente vers le bas pour s'ancrer dans le sol. C'est elle qui formera les futures racines. La radicule est reliée à la partie allongée de la plantule appelée tigelle. Lorsque cette tigelle se situe sous le point d'attache des cotylédons, on parle d'hypocotyle, ce qui signifie littéralement "sous le cotylédon".



Dans certains cas, comme celui illustré dans la figure 15, l'hypocotyle s'allonge activement et soulève la partie supérieure de la graine vers la surface du sol. Ce mouvement entraîne avec lui les cotylédons, qui constituent les deux premières structures visibles hors de la graine. Une fois arrivés à l'air libre, ces cotylédons s'ouvrent et s'étalent. Ils peuvent alors temporairement assurer une fonction de photosynthèse, en attendant l'apparition de la première vraie feuille, qui se développe rapidement au sommet de la jeune plantule. (GRAVIS, 1898).

II.2.5. Différence entre germination monocotylédone et dicotylédone

La principale différence entre les deux types de germination concerne la manière dont la jeune feuille est protégée lors de sa traversée du sol. Chez les monocotylédones, la première feuille est enveloppée dans une gaine protectrice appelée coléoptile, sorte de fourreau rigide qui la guide et la protège jusqu'à ce qu'elle atteigne l'air libre. Ce mécanisme est absent chez les dicotylédones, où ce sont les cotylédons eux-mêmes qui émergent directement du sol sans être protégés par une structure équivalente. (Gravis, 1898).

II.2.5.1. Les étapes de la germination

La germination se divise en trois phases successives (figure 02) : la phase d'imbibition, la phase de germination stricto sensu et la phase de croissance.

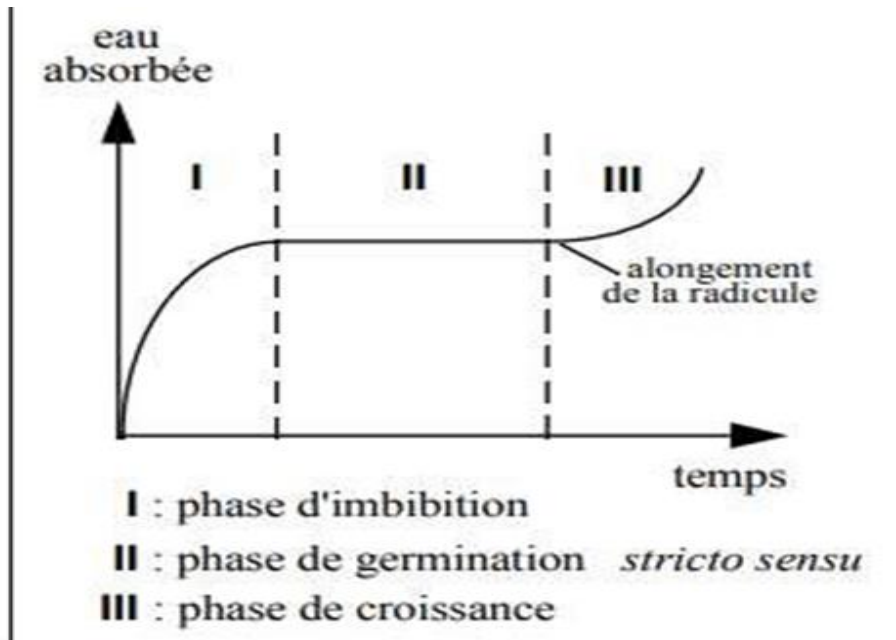


Figure 18 : Courbe théorique d'imbibition d'une semence (d'après COME, 1982).

La germination se divise en trois grandes phases successives. La première, appelée phase d'imbibition, correspond à l'absorption d'eau par la graine, ce qui réactive son métabolisme. Vient ensuite la phase dite de germination stricto sensu, où les processus internes s'intensifient, notamment ceux liés à la respiration et à la mobilisation des réserves nutritives. Enfin, la troisième phase est celle de la croissance proprement dite, au cours de laquelle la radicule commence à se développer activement.

Il est important de noter que jusqu'à la fin de la seconde phase, c'est-à-dire la germination stricto sensu, la graine reste relativement résistante à une éventuelle déshydratation : elle peut encore survivre si elle perd de l'eau. En revanche, dès que la radicule entre en phase de croissance, cette tolérance disparaît. Toute déshydratation à ce stade entraîne la mort de la plantule, tant cette période est critique pour son développement initial. (D'après BOUZID, 2022)

Phase d'imbibition

Cette première étape correspond à une hydratation rapide des tissus par absorption d'eau, entraînant le gonflement de la graine. La quantité d'eau absorbée varie selon l'espèce :

Blé : environ 47 g d'eau pour 100 g de graines,

Haricot : entre 200 et 400 g d'eau pour 100 g de graines.

Phase de germination stricto sensu

Il s'agit d'une phase relativement brève (entre 12 et 48 heures), durant laquelle la graine reste viable même en cas de déshydratation temporaire. Cette période se termine par l'émergence de la radicule à travers les téguments, marquant le véritable début de la germination visible. (BALI, & BENZINIA, 2018).

Phase de croissance (Phase III)

Cette phase se caractérise par une reprise de l'absorption d'eau et une augmentation de la consommation d'oxygène. Elle correspond à une croissance active, d'abord de la radicule, puis de la tige.

À ce stade, il est important de distinguer deux dynamiques métaboliques :

L'activité métabolique de la jeune plantule, issue de l'embryon, qui s'intensifie,

Et celle des tissus de réserve (albumen ou cotylédons), qui décline progressivement en raison de l'épuisement des réserves nutritives. (BETTOUATI, 2024).

II.2.6. Germination épigée et hypogée

Les schémas précédents montrent une différence notable entre la germination du haricot, une dicotylédone, et celle du maïs, une monocotylédone : dans le cas du haricot, les cotylédons émergent à l'air libre, alors que dans le cas du maïs, le cotylédon reste enfoui dans le sol. À première vue, cette différence pourrait sembler suffisante pour distinguer la germination des monocotylédones de celle des dicotylédones. Pourtant, ce critère ne suffit pas, car il ne s'applique pas de manière universelle.

En réalité, la position des cotylédons (au-dessus ou en dessous du sol) ne dépend pas uniquement du fait qu'il s'agisse d'une monocotylédone ou d'une dicotylédone. En effet, chez les dicotylédones, la germination peut se produire selon deux modalités :

Une germination épigée, comme celle observée chez le haricot, où les cotylédons sont tirés vers la surface du sol, s'ouvrent à l'air libre et peuvent même temporairement assurer une fonction photosynthétique.

Une germination hypogée, dans laquelle les cotylédons restent enfouis dans le sol, sans émerger à la surface. Ils restent alors protégés et servent uniquement de réserves nutritives, sans jouer de rôle photosynthétique.

Cette distinction est donc indépendante du type de plante (monocotylédone ou dicotylédone). Elle repose uniquement sur le comportement des cotylédons lors de la germination. C'est pourquoi on distingue la germination épigée (cotylédons au-dessus du sol) de la germination hypogée (cotylédons restent sous terre), quel que soit le groupe botanique concerné. (MAGROU, 1943).

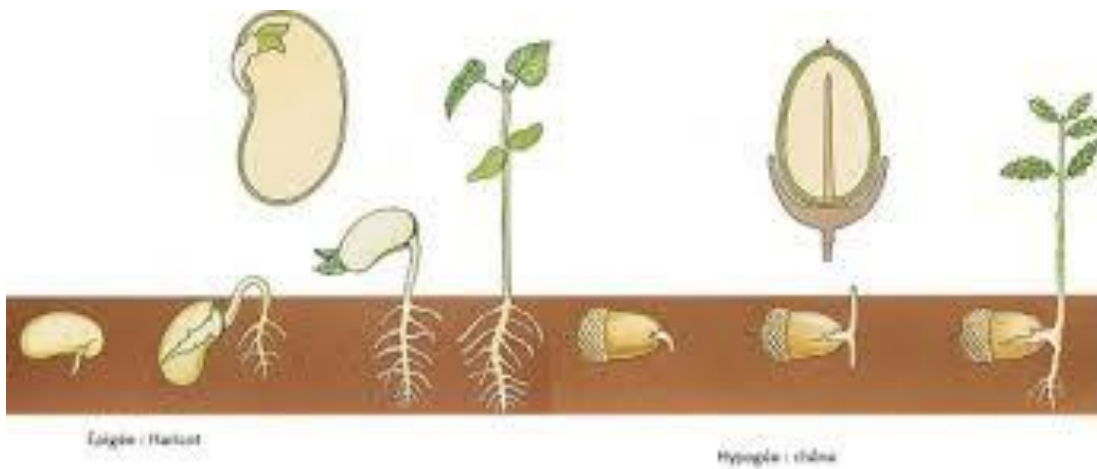


Figure 19: Germination hypogée et épigée

II.3. Morphologie et physiologie de la germination

II.3.1. Morphologie de la graine

Lors de la germination, la graine absorbe de l'eau et gonfle. Cette imbibition provoque la rupture du tégument, permettant à la radicule de sortir. Celle-ci se dirige vers le sol en réponse à un géotropisme (ou gravitropisme) positif. Ensuite, la tigelle émerge à son tour et croît en direction du haut, vers la lumière. Progressivement, les téguments de la graine se dessèchent et se détachent (MEYER et al, 2004).

II.3.2. Physiologie de la germination

Au cours de la germination, la graine absorbe de l'eau, ce qui entraîne sa réhydratation. Elle commence alors à consommer de l'oxygène, utilisé pour l'oxydation de ses réserves, afin de produire l'énergie nécessaire à son développement. L'efficacité de cette phase dépend de la perméabilité du tégument ainsi que du contact étroit entre la graine et les particules du sol, qui favorisent l'imbibition et la diffusion de l'oxygène. Les réserves, qu'elles soient glucidiques, lipidiques ou protéiques, sont alors mobilisées et dégradées pour soutenir la croissance de la plantule (MICHEL, 1997).

II.4. Les facteurs influençant la germination

La germination d'une graine est un processus délicat qui dépend d'un grand nombre de facteurs. Ces derniers interviennent non seulement au moment précis où la graine est mise à germer, mais aussi tout au long de sa "vie", depuis sa formation sur la plante mère jusqu'à sa reprise d'activité.

Chaque étape du cycle de vie de la graine peut avoir un impact sur sa capacité à germer. Les conditions dans lesquelles la graine a été produite, les caractéristiques de la plante mère, le mode de récolte, les conditions de stockage (température, humidité, durée, etc.), mais aussi les facteurs environnementaux au moment de la germination proprement dite (comme la température, l'humidité, la lumière ou la présence d'oxygène) influencent directement le comportement de la graine lorsqu'elle est placée dans un environnement favorable à la germination.

Ainsi, la germination ne dépend pas d'un seul paramètre isolé, mais bien d'un ensemble d'éléments interconnectés, qui conditionnent à la fois le déclenchement du

processus et son bon déroulement. Comprendre ces facteurs est essentiel pour optimiser la réussite de la germination, en agriculture comme en horticulture. (HOAREAU, 2012).

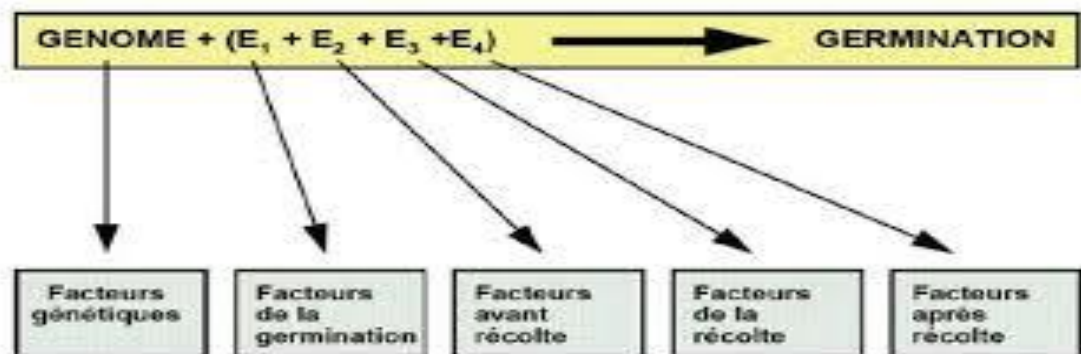


Figure 20: Les différents facteurs impliqués dans la qualité germinative des semences (COME, 1993).

II.4.1. Le facteur génétique

Le potentiel de germination d'une graine est, en grande partie, déterminé par son patrimoine génétique. En effet, certaines caractéristiques génétiques telles que l'espèce à laquelle appartient la plante, la variété cultivée, ou encore des aspects morphologiques comme la taille ou le poids des graines, peuvent influencer leur capacité à germer. Par exemple, des semences plus lourdes ou bien formées sont souvent associées à une meilleure qualité germinative, car elles contiennent davantage de réserves nutritives pour soutenir le développement initial de la plantule. (MIEGE, 1957).

II.4.2. Les facteurs internes à la graine

Outre l'aspect génétique, plusieurs facteurs internes à la graine elle-même peuvent jouer un rôle clé dans la réussite de la germination :

a) La maturité de la graine

Pour qu'une graine puisse germer dans de bonnes conditions, elle doit être morphologiquement mature, c'est-à-dire que toutes ses parties constitutives doivent être entièrement développées. Cela comprend les enveloppes séminales (formées du tégument et, chez certaines espèces, du péricarpe) ainsi que l'amande, composée des tissus de réserve et de l'embryon. Cependant, il est important de noter qu'une graine peut être parfaitement formée et ne pas germer immédiatement : elle peut entrer dans une phase

de dormance, une stratégie naturelle de repos permettant à la graine de ne pas germer dans des conditions défavorables. (BALI, & BENZINIA, 2018).

b) La longévité des graines

La longévité correspond à la durée maximale pendant laquelle une graine peut conserver son pouvoir germinatif, à condition que toutes les conditions de conservation soient optimales. Cette durée varie fortement d'une espèce à l'autre et permet de classer les graines en trois grandes catégories :

Graines microbiontiques : Ce sont les graines les plus fragiles, dont la longévité ne dépasse que quelques jours. C'est le cas, par exemple, du saule ou du bouleau.

Graines mésobiontiques : Elles ont une durée de vie intermédiaire, généralement comprise entre un et dix ans. Ce type de graine est le plus courant chez la majorité des espèces végétales.

Graines macrobiontiques : À l'opposé des microbiontiques, ces graines sont capables de conserver leur pouvoir germinatif pendant de nombreuses années, voire plusieurs décennies. On retrouve dans cette catégorie certaines légumineuses ou céréales particulièrement résistantes. (RUBROSTIPA , 2015).

II.5. Conditions externes de la germination

La germination dépend aussi de plusieurs facteurs environnementaux indispensables, notamment l'eau, l'oxygène, la température et la lumière.

1. Eau

L'eau est un facteur absolument nécessaire à la germination. Selon CHAUSSAT et al. (1975), elle doit être présente à l'état liquide pour pouvoir pénétrer par capillarité à travers les enveloppes de la graine. Elle permet la mise en solution des réserves internes, les rendant disponibles pour l'embryon, tout en déclenchant le gonflement cellulaire et la division des cellules (Dominique, 2007).

2. Oxygène

D'après MAZLIAK (1982), une quantité relativement faible d'oxygène peut suffire à permettre la germination. Selon Meyer et al. (2004), les enveloppes de la graine agissent à la fois comme barrière et comme réservoir d'oxygène, régulant ainsi son accès.

3. Température

La température constitue un facteur limitant essentiel, car elle régule l'ensemble des processus métaboliques et, par conséquent, influence la reproduction, l'activité et la distribution des espèces dans la biosphère (RAMADE, 2003). Pour MAZLIAK (1982), elle joue un rôle fondamental durant la germination, notamment en influençant la vitesse de consommation de l'oxygène par l'embryon et les réactions d'oxydation des composés phénoliques.

4. Lumière

La lumière exerce une influence complexe sur la germination, principalement via le système du phytochrome, un pigment photorécepteur présent sous deux formes interconvertibles (CHAUSSAT et al, 1975).

Selon Come (1970), on distingue trois grands types de semences selon leur sensibilité à la lumière :

- Semences à photosensibilité positive : leur germination est favorisée par la lumière blanche (environ 70 % des espèces).
- Semences à photosensibilité négative : leur germination est inhibée par la lumière et favorisée par l'obscurité (environ 25 % des espèces).
- Semences indifférentes : elles peuvent germer aussi bien à la lumière qu'à l'obscurité.

II.5.1. Les facteurs avant la récolte

La qualité germinative d'une semence commence à être influencée bien avant sa récolte. Plusieurs facteurs liés à la culture de la plante mère peuvent avoir un impact important, notamment :

- Les conditions climatiques durant la formation des graines, telles que la température, la pluviométrie ou encore l'ensoleillement, qui jouent un rôle dans la maturité et la viabilité des semences ;
- Les techniques culturales utilisées : l'apport de fertilisants, l'utilisation de produits phytosanitaires, ou encore la gestion de l'irrigation influencent la santé globale de la plante et donc la qualité des graines qu'elle produit
- La position des graines sur la plante mère, car les graines situées en haut ou en périphérie peuvent ne pas recevoir les mêmes ressources que celles au centre ou à la base ;
- Enfin, l'âge de la plante mère au moment de la reproduction peut également avoir une incidence sur la vigueur des semences produites. (LASSOUDIERE, 2007).

II.5.2. Les facteurs liés à la récolte

Le moment de la récolte est un facteur déterminant pour la germination future. Une graine récoltée trop tôt, c'est-à-dire avant d'avoir atteint sa pleine maturité, risque d'avoir une viabilité réduite, voire d'être incapable de germer. Il est donc essentiel de choisir une date de récolte optimale, en fonction du stade de développement des graines, afin de garantir leur pouvoir germinatif maximal. (HOAREAU, 2012).

II.5.3. Les facteurs après récolte

Après la récolte, les graines subissent souvent plusieurs traitements qui peuvent également influencer leur capacité à germer. Ces traitements incluent :

- Le séchage, qui permet de réduire l'humidité de la graine pour améliorer sa conservation, mais qui doit être effectué de manière contrôlée pour éviter d'endommager les tissus internes ;
- Le nettoyage, visant à éliminer les impuretés et les débris, mais qui peut, s'il est mal réalisé, altérer la graine ;
- Le stockage, dont les conditions (température, humidité, durée) sont cruciales pour préserver le pouvoir germinatif des semences sur le long terme.

D'autres facteurs liés à la graine elle-même peuvent également intervenir :

- L'âge des semences : avec le temps, même bien stockés, les graines perdent progressivement leur capacité de germination. De plus, des graines plus âgées peuvent nécessiter des conditions particulières pour germer, notamment sur le plan thermique ;
- Les facteurs directs de la germination, c'est-à-dire ceux qui interviennent au moment où la graine est semée : la température, la présence d'oxygène, et parfois la lumière sont des éléments essentiels au déclenchement du processus germinatif ;
- Enfin, d'autres éléments comme la présence de substances inhibitrices de germination, la nature du substrat (profondeur du semis, taille des particules du sol), ou encore les conditions expérimentales en laboratoire (pH du milieu, densité des graines testées) peuvent également influencer la réussite ou l'échec de la germination. (HOARRAU, 2012)

II.6. La dormance

La dormance est un état physiologique particulier dans lequel une graine suspend temporairement son développement et sa croissance, même si toutes les conditions environnementales nécessaires à la germination semblent réunies. Ce mécanisme naturel agit comme une stratégie de survie, permettant à la graine de différer sa germination jusqu'à ce que les circonstances soient véritablement favorables à la croissance d'un nouveau plant.

Autrement dit, la graine entre dans une forme de "veille biologique" afin de ne pas gaspiller ses ressources si l'environnement est trop froid, trop sec, ou instable.

Il est important de noter que cette dormance peut persister même en présence de conditions optimales de température, d'humidité, de lumière et d'oxygène. Cela signifie que certains types de graines ne germent pas simplement parce qu'on les place dans un terreau humide et chaud, ce qui peut surprendre. En réalité, il existe plusieurs types de dormance, chacun répondant à des mécanismes biologiques bien précis.

Parmi les formes les plus fréquentes, on retrouve l'inhibition tégumentaire, causée par l'enveloppe externe de la graine, appelée le tégument. Cette enveloppe peut être imperméable à l'eau ou aux gaz, ou encore contenir des substances chimiques inhibitrices qui empêchent la germination. La germination ne peut alors avoir lieu qu'après une modification ou une rupture de cette enveloppe, par exemple via des processus naturels comme le gel, la digestion par un animal, ou encore une intervention humaine (scarification, trempage, etc.).

L'autre type majeur est la dormance embryonnaire, qui réside non pas dans l'enveloppe, mais dans l'embryon lui-même. Dans ce cas, l'embryon n'est tout simplement pas prêt à se développer, souvent parce qu'il doit d'abord passer par une période de repos physiologique. Ce type de dormance nécessite parfois des traitements particuliers, comme une exposition prolongée au froid humide (stratification), pour permettre à l'embryon de terminer sa maturation interne.

Ainsi, la dormance est un processus essentiel qui permet aux plantes de réguler leur cycle de vie et de maximiser leurs chances de survie dans un environnement naturel souvent imprévisible. Elle joue un rôle fondamental dans la dynamique des écosystèmes, mais aussi dans l'agriculture, où comprendre et lever la dormance des graines est souvent une étape cruciale pour assurer une bonne germination et des récoltes optimales (WILHELM, 2023).

II.6.1. Les types de dormance

II.6.1.1. Les inhibitions tégumentaires

Parmi les différentes formes de dormance que peuvent présenter les graines, l'inhibition tégumentaire occupe une place centrale. Ce type de dormance est directement lié à la structure externe de la graine, c'est-à-dire aux téguments qui enveloppent l'embryon. Ces enveloppes, appelées aussi enveloppes séminales, agissent comme une barrière physique

ou chimique qui limite, voire empêche, la germination, même lorsque les conditions environnementales sont optimales. (BOUABDALLAH, LAGRAA, & OUADIA ,2020).

- **L'imperméabilité à l'eau**

Dans certains cas, les téguments sont totalement imperméables à l'eau. Cela signifie que l'eau, pourtant essentielle au processus de germination, ne peut pénétrer à l'intérieur de la graine. En conséquence, la graine ne gonfle pas, ne s'hydrate pas et reste inactive. Ces graines, que l'on qualifie souvent de "semences dures", ne montrent aucune modification visible en milieu humide : elles conservent leur forme et leur sécheresse, et résistent même à l'écrasement. Cette caractéristique est fréquemment observée chez plusieurs familles de Légumineuses, notamment les Césalpiniées, Mimosacées et Papilionacées. Chez ces espèces, la levée de dormance nécessite souvent une intervention mécanique (comme la scarification) ou chimique pour affaiblir le tégument et permettre à l'eau d'atteindre l'embryon. (BOUALEM, 2015).

- **L'imperméabilité à l'oxygène**

Une autre forme d'inhibition tégumentaire est liée à la faible perméabilité du tégument à l'oxygène. Or, tout comme l'eau, l'oxygène est indispensable à l'activation du métabolisme embryonnaire lors de la germination. Si les gaz ne peuvent pas traverser le tégument, la respiration cellulaire ne peut s'amorcer, et la graine reste en état de dormance. Cette limitation à l'échange gazeux est une barrière moins visible, mais tout aussi efficace pour contrôler le moment de la germination. (DEMNI, & BOUZID, 1979).

- **La présence d'inhibiteurs chimiques**

Enfin, certains téguments contiennent des substances chimiques inhibitrices qui empêchent l'activation des processus biologiques nécessaires à la germination. Ces composés, naturellement présents dans la graine ou son péricarpe, incluent des molécules telles que l'acide cyanhydrique, l'ammoniac, l'éthylène, ainsi que divers dérivés soufrés, l'acide abscissique (ABA), et des composés phénoliques. Ces inhibiteurs jouent un rôle actif dans le maintien de la dormance tant qu'ils ne sont pas dégradés ou neutralisés. Leur présence peut être levée naturellement (par exemple par lessivage sous la pluie) ou artificiellement (par traitement chimique ou par trempage).

Ainsi, les inhibitions tégumentaires représentent un ensemble de mécanismes complexes qui assurent un contrôle strict du moment de la germination. Ces barrières, qu'elles soient physiques ou chimiques, protègent l'embryon contre des conditions défavorables et permettent à la plante de maximiser ses chances de survie dans son environnement naturel. (HADJ MOUSSA, & TIRICHINE, 2024). .

II.6.1.2. La dormance embryonnaire

Contrairement à la dormance tégumentaire, qui est liée aux enveloppes externes de la graine, la dormance embryonnaire provient de l'embryon lui-même. Dans ce cas, même si les téguments sont enlevés ou altérés, et même si la graine est placée dans des conditions optimales de germination, la radicule ne sort pas. Cela signifie que le blocage se situe au niveau physiologique ou biochimique de l'embryon, et non à la périphérie de la graine. (ALLORENT, 2011).

On distingue deux formes principales de dormance embryonnaire :

II.6.1.2.1. Dormance primaire

Elle s'installe au cours de la maturation de la graine et bloque l'émission de la radicule (la première racine). On distingue plusieurs types de dormances primaires, selon les conditions qui permettent leur levée :

Dormance photolabile : levée par l'exposition à la lumière.

Dormance scotolabile : levée par l'obscurité.

Dormance xérolabile : levée après un séjour prolongé en atmosphère sèche.

Dormance psychrolabile : levée par un froid humide. Suszka, Muller, Bonnet-Masimbert. (1994).

II.6.1.2.2. Dormance secondaire (ou induite)

Même après la levée de la dormance primaire, la germination peut être interrompue ou empêchée si une dormance secondaire s'installe. Celle-ci nécessite à nouveau des conditions spécifiques pour être levée.

Par exemple, une dormance peut subsister au niveau de l'épicotyle (ou gemmule), ce qui bloque la germination complète. Dans certains cas, il faut alors deux hivers successifs pour lever cette dormance secondaire (CHAUVEL, al2018).

II.6.2. Levée de la dormance des graines

II.6.2.1. La vernalisation

Certaines graines ne peuvent germer que si elles ont été exposées au froid. Elles contiennent en effet une hormone inhibitrice de la germination, qui ne peut être désactivée que par l'action du gel. Ce processus, appelé vernalisation, est donc essentiel pour déclencher leur développement. (RAFFENEAU-DELILE, 1836)

II.6.2.2. La stratification

Pour permettre la germination de ces graines, il est nécessaire de procéder à une stratification. Cette méthode consiste à les disposer en couches successives dans de grands pots en terre cuite, en les séparant par des couches de sable. Après une période d'exposition au froid, les graines pourront être semées au printemps. (SMAIL, & MOHAMMEDI, 2021).

II.6.2.3. La pré-germination

La pré-germination est une technique pratiquée en serre. Elle consiste à faire tremper les graines pendant 2 à 3 jours dans de l'eau chaude afin de ramollir ou d'altérer leur enveloppe externe. Cela facilite la pénétration de l'eau et favorise ainsi le déclenchement de la germination. (SIRINE, & EDDINE, 2024).

Chapitre III : matériel et méthodes

Cette étude expérimentale a été menée au laboratoire du projet de fin d'études de l'Université de Saïda, durant la période allant du 9 février au 16 avril.

Objectifs de l'étude :

Ce travail vise l'étude des facteurs abiotiques (température, d'arrosage, Scarification chimique, **lumière**) la germination de graines de *Capsicum annuum* L, elle vise aussi une réponse au problème de retard des germinations des graine commercialisées observées chez les agricultures

- Évaluer l'effet de la température sur la germination des graines de *Capsicum annuum* L.
- Étudier l'impact de l'humidité sur le taux et la rapidité de germination
- Analyser l'influence de la luminosité sur l'aptitude germinative des graines
- Déterminer les conditions abiotiques optimales pour une germination efficace
- Contribuer à l'amélioration des techniques de culture du piment doux

1.1 Matériel du laboratoire :

Pour la réalisation de cette étude, les matériels et produits suivants ont été utilisés :

- **Boîtes de Pétri** : servant de support pour la germination.

Papier filtre (papier Whatman) : placé au fond des boîtes.

Eau distillée : pour l'irrigation et le rinçage.

Eau de Javel (Javel) : utilisée pour la désinfection des graines.

Acide sulfurique (H_2SO_4) 10% : utilisé pour la scarification chimique.

Létof (chiffon propre) : pour essuyer et manipuler les matériaux de manière stérile.

Autoclave : utilisé pour la stérilisation des matériels à la chaleur humide.

Bec Benzène : pour stériliser à la flamme les instruments métalliques.

Pince métallique : pour manipuler les objets chauds ou stériles.

Passoire (tamis) : pour égoutter et rincer les graines après traitement.

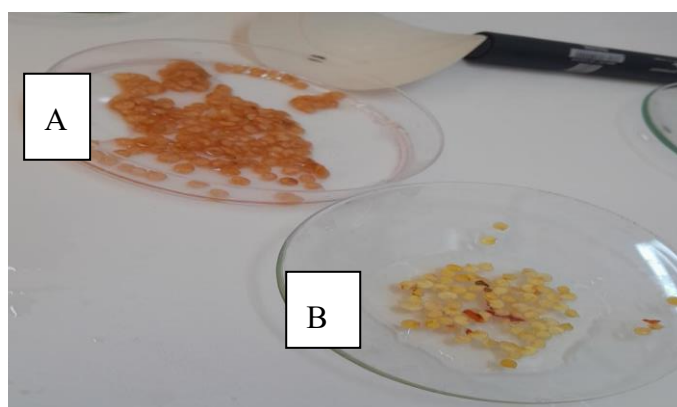
Marqueur permanent : pour marquer les boîtes et noter les observations

1.2 Matériel végétal :

Les graines utilisées dans cette expérience (figure 21) appartiennent à l'espèce *Capsicum annuum* L. Deux origines distinctes (figure 22) ont été retenues afin d'évaluer l'influence potentielle de la provenance génétique ou des conditions de stockage antérieures sur la germination. Le premier lot de graines a été acheté dans un commerce spécialisé en semences horticoles, garantissant une certaine homogénéité et traçabilité du matériel végétal. Le second lot récolté d'une culture en plein champ l'année précédente (2024) provient d'un agriculteur local (Commune de Doui tabet – Saida). Cette diversité de lots offre un contraste intéressant en termes de variabilité potentielle et d'adaptation écologique.



Figure 21: Graines de piment doux



A : Graines achetées sur le marché ; B : Graines récoltées au champ

Figure 22: Les deux provenances de graines de piment doux

2. Méthodologie expérimentale

L'ensemble de cette étude a été rigoureusement conduit dans un environnement semi-stérile, afin de limiter au maximum les risques de contamination microbienne susceptibles d'interférer avec les résultats de germination. Pour garantir une stérilité optimale, tous les instruments utilisés ont été préalablement stérilisés à l'aide d'un autoclave un procédé efficace permettant d'éliminer la majorité des micro-organismes présents sur le matériel. Par ailleurs, toutes les manipulations sensibles, en particulier celles impliquant le contact direct avec les graines, ont été réalisées sous une hotte de type microbiologique équipée d'un bec Benzène. Ce dernier permet la création d'un courant d'air ascendant chaud réduisant les risques de dépôt de spores ou de particules en suspension dans l'air.

1. Préparation des graines

Avant toute mise en culture, les graines ont été soumises à un protocole de désinfection rigoureux. Elles ont été soigneusement triées pour éliminer les graines visiblement endommagées, puis immergées pendant 10 minutes dans une solution eau de Javel. Cette étape vise à détruire les pathogènes externes susceptibles d'altérer la germination. Par la suite, les graines ont été rincées trois fois de manière successive avec de l'eau distillée stérile à l'aide d'une passoire préalablement stérilisée, puis laissées à égoutter à température ambiante dans un environnement aseptique.

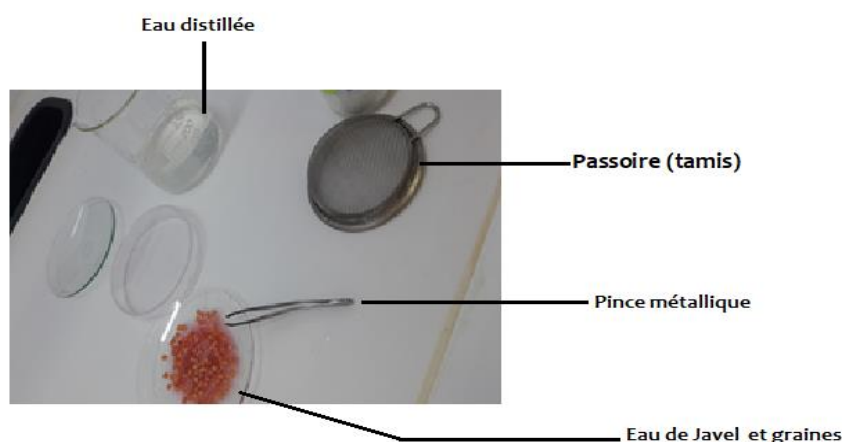


Figure 23: Matériel utilisé

2. Milieu de germination

Le matériel nécessaire à la mise en germination a également fait l'objet d'un traitement stérile. Les papiers filtres ont été stérilisés à l'autoclave. Une fois refroidis, ces éléments ont été manipulés exclusivement sous hotte, avec des pinces métalliques stériles. Dans chaque boîte de pétrie, un papier filtre stérilisé a été disposé au fond, puis humidifié avec quelques millilitres d'eau distillée stérile, pour maintenir une humidité suffisante sans noyer les graines. Les boîtes ainsi préparées ont été entreposées temporairement dans un incubateur improvisé à proximité immédiate du bec Benzène, toujours dans le but de préserver l'intégrité du milieu.

3. Disposition des graines et conditions expérimentales

Dans chaque boîte de Pétri, dix graines ont été déposées avec soin sur le papier filtre humidifié, en veillant à leur espacement pour éviter toute compétition directe ou recouvrement. Les boîtes ont été placées sous différentes conditions abiotiques (Température ; lumière ; hydratation...etc). Chaque condition expérimentale a été répétée trois fois afin de garantir la robustesse statistique des données (répétitions R1, R2, R3). Toutes les boîtes ont été étiquetées de manière précise, avec mention du type de graine, de la température d'incubation, du régime lumineux, de la fréquence d'arrosage et, le cas échéant, de l'application d'un traitement chimique (acide sulfurique).



Figure 24: disposées les graines dans la boîte pétrie

4. Les paramètres expérimentaux étudiés :

Les paramètres expérimentaux étudiés comprennent

A) Température :

Cinq valeurs testées (15°C, 20°C, 25°C, 30°C, 40°C), chacune appliquée aux deux lots de graines.

B) Lumière:

Trois régimes lumineux à 25°C : obscurité totale (24h/24), lumière continue (24 h/24), et lumière cyclique (7 h de lumière par jour).

C) Fréquence d'arrosage :

Également à 25°C, trois régimes ont été testés : deux fois par jour (matin et soir), une fois par jour (matin uniquement), et un jour sur deux. 20ml l'eau distillée

D) Scarification chimique :

Certaines graines ont été traitées par scarification chimique afin de faciliter la germination. Elles ont été immergées pendant 3 minutes dans une solution d'acide sulfurique (H_2SO_4) dilué avec de l'eau distillée. Après le traitement, les graines ont été rincées trois fois à l'eau distillée stérile, puis mises en germination dans les mêmes conditions que les autres groupes, avec trois répétitions par type de graine.

Dilution : 1V /2V

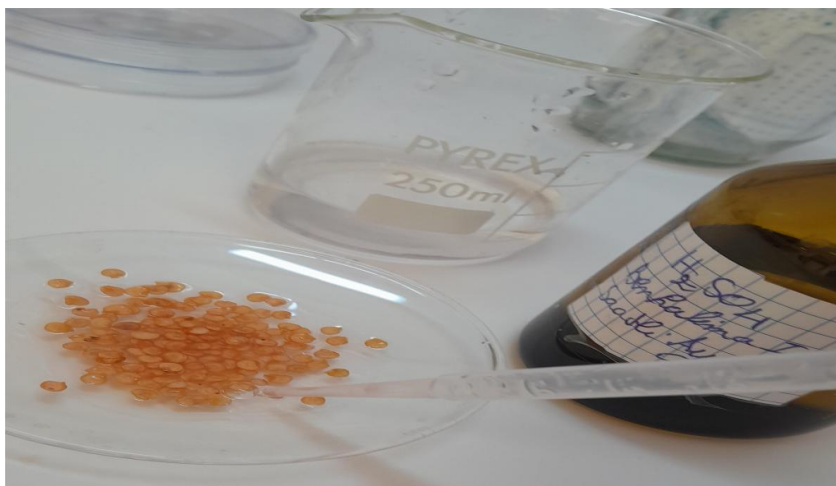


Figure 25: préparation d'acide sulfurique

5. Suivi quotidien de l'expérience :

Chaque jour, nous avons effectué un suivi rigoureux des graines en germination dans l'incubateur. L'arrosage est réalisé à l'aide d'un bécher stérile, en versant soigneusement l'eau distillée sur le papier filtre tout en soulevant légèrement le couvercle des boîtes de Pétri, sans le retirer complètement, afin de préserver la stérilité du milieu.

La fréquence d'arrosage varie selon les groupes expérimentaux, les boîtes soumises à un arrosage deux fois par jour sont irriguées le matin et le soir. Celles avec un arrosage une fois par jour sont arrosées uniquement le matin. Enfin, les boîtes devant être arrosées tous les deux jours sont irriguées un jour sur deux, en alternant un jour d'arrosage et un jour de repos.

Concernant les conditions de lumière, les graines appartenant au groupe "7 heures de lumière par jour" sont sorties de l'étuve réglée à 25°C et placées dans une hotte stérile chaque matin vers 8h00. Après 7 heures, elles sont remises dans l'étuve à l'abri de la lumière. Les graines appartenant au groupes (24/24 h lumière) sont placées dans la hôte et exposée à la lumière jour t nuit. Les graines appartenant au groupe (24/24h obscurité) sont placées dans l'étuve où elles sont privées de la lumière jour et nuit.

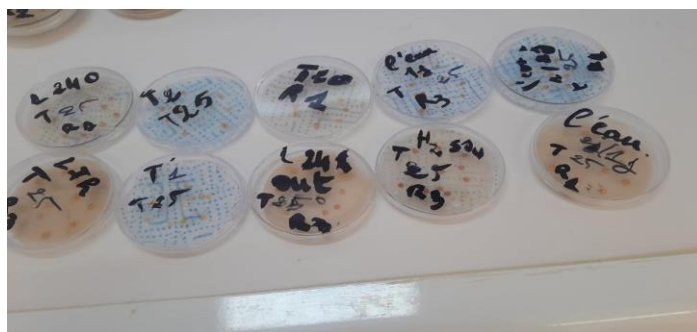


Figure 26 : Marquage des boîtes de pétri

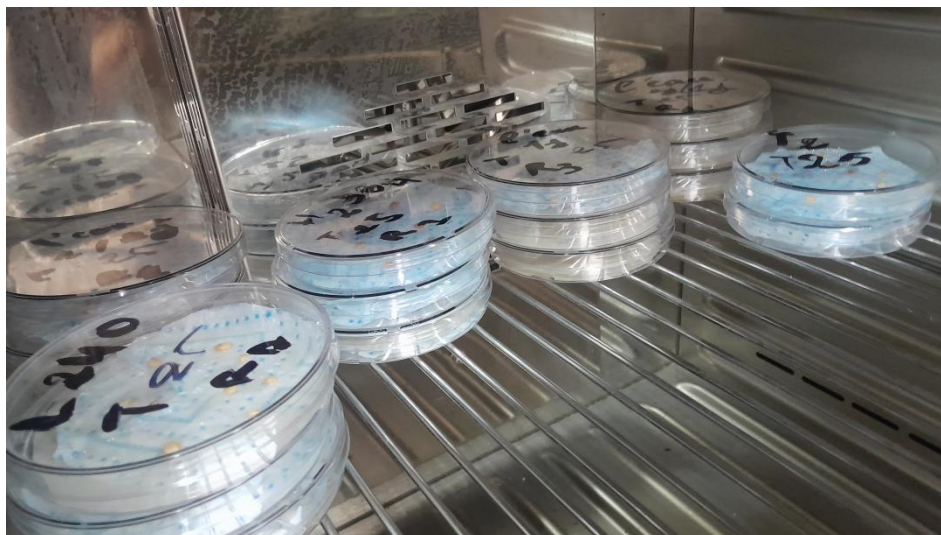


Figure 27 : les boîtes pétrées dans Létov

6. Paramètres de germination :

2.6.1 Taux de germination :

Le taux de germination représente le pourcentage de graines ayant réussi à germer au sein d'un lot donné, dans des conditions contrôlées de température, d'humidité et de lumière. Il constitue un indicateur clé de la viabilité des semences ainsi que de leur potentiel de développement. Ce paramètre est couramment utilisé pour évaluer la qualité physiologique des graines dans le cadre d'expérimentations agronomiques (BEWLEY et al, 2013).

$$\text{Taux de germination} = \frac{\text{Nombre totale des graines germées}}{\text{Nombre totale des graines testés}} \times 100$$

2.6.2 Cinétique de germination :

Il s'agit du pourcentage quotidien de germination observé dans les conditions définies par l'expérimentateur. Ce taux dépend étroitement des paramètres environnementaux de germination ainsi que des traitements préalables appliqués aux semences (MAZLIAK, 1982, cité par LARDJANI, 2019).

7. Test statistique :

Afin de tester la significativité des résultats obtenus sur la germination du poivron doux (*Capsicum annuum* L.), une analyse de la variance à un facteur (ANOVA) a été réalisée avec un seuil de signification de $\alpha = 5\%$. Cette analyse a été effectuée à l'aide du logiciel en ligne Appinio (Figures 28 et 29), accessible gratuitement à l'adresse suivante : <https://www.appinio.com/fr/outils/calculateur-anova>.

Figure 28 : Table de données du logiciel appinio

Résultats

Valeur de la statistique F = 17.2857

valeur-p = 0.0142

Selon les critères conventionnels, cette valeur est considérée comme **statistiquement significative**.

Résumé des données:

Groupes	N	Moyenne	Écart type	Erreur type
Groupe 1	3	6.33	1.5275	0.8819
Groupe 2	3	10.00	0.0000	0.0000

Résumé de l'ANOVA:

Source	Degrés de liberté	Somme des carrés	Carré moyen	Stat F	valeur-p
Entre les groupes	1	20.17	20.17	17.2857	0.0142
Au sein des groupes	4	4.67	1.17		
Total	5	24.83			

Figure 29: Résultats de l'ANOVA sur le logiciel appinio.

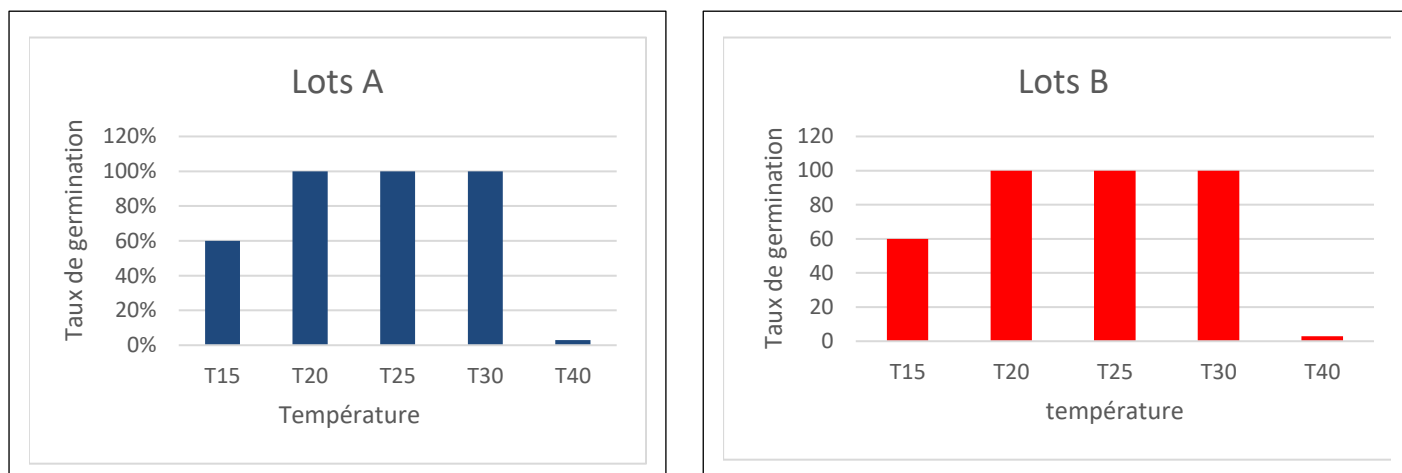
RESULTAS ET DISCUSSION

1. Résultats :

1.1 Taux de germination :

a) Effet de la température :

Les résultats de l'effet de cinq températures différentes (15°C, 20°C, 25°C, 30°C et 40°C) sur la germination des deux lots de graines (Lot A et B) sont représentés par la figure 30 :



A : Graines récoltées au champ ; B : Graines achetées sur le marché

Figure 30: Histogramme de l'effet de la température sur le taux de germination du piment doux

Cette figure met en évidence que la température a une influence déterminante sur la germination des graines de *Capsicum annuum*.

Les meilleures performances sont observées entre 25°C et 30°C avec un taux de 100% pour les deux lots A et B, tandis que des températures extrêmes (15°C et 40°C) ralentissent considérablement la germination qui décroît à environ 60 % à la température 15°C et 3% à la température 40°C pour les deux lots A et B.

L'analyse de la variance (Tableau 4) montre que les températures inférieures (15°C) ont un effet significatif sur la germination du piment des deux lots A et B ($P=0.0142$ et 0.0194 respectivement). Cette effet est hautement significatif à la température supérieurs (40°C) pour les deux lots A et B ($P=0.000001$)

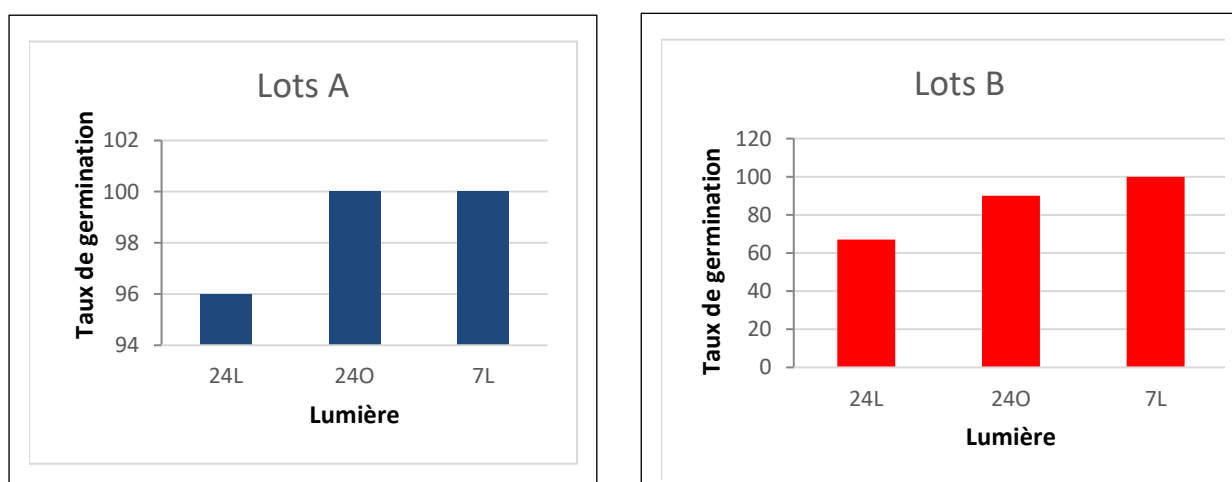
Cela montre que le poivron doux est une plante thermophile, avec une plage optimale de développement située autour de 25–30°C.

Tableau 4: Test ANOVA sur l'effet de la température

Température	Lot A		Lot B	
	Valeur P	OBS	Valeur P	OBS
25-15	0.0142	Signification	0.0194	Signification
25-20	/	Non Signification	/	Non Signification
25-30	/	Non Signification	0.3739	Non Signification
25-40	0.000001	Signification	0.000001	Hautement Signification

b) Effet de la lumière

Les résultats de l'effet de la lumière sur le taux de germination du piment doux sont donnés par la figure 32 :



A : Graines récoltées au champ ; B : Graines achetées sur le marché ; (24O) : 24h en obscurité ; (24 L) : 24h en lumière ; (7L) : 7h en lumière

Figure 31: Histogramme de l'effet de la lumière sur le taux de germination du piment doux

Les résultats de la figure 32 montrent que les graines des deux lots A et B mises à l'obscurité prolongée (16 h à 24h d'obscurité) présentent un taux de germination élevé (>90%) comparativement aux grains exposées à la lumière pendant 24h qui enregistrent une diminution du taux de germination (67%).

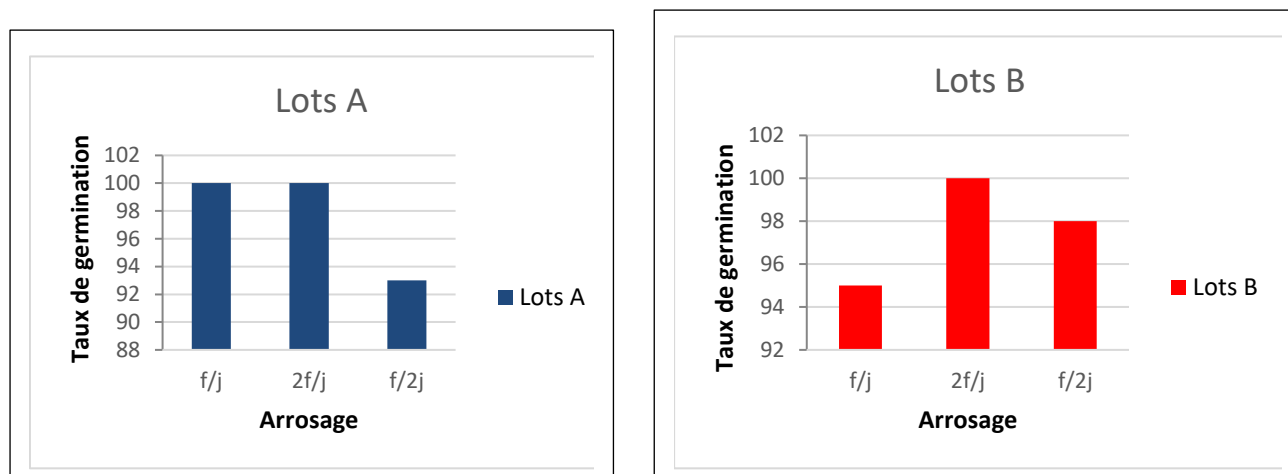
L'analyse de la variance (tableau 5) révèle un effet significatif de la durée d'exposition des graines à la lumière. Cette effet concerne la durée de 24 h de lumière par rapport aux deux durées 07 h de lumière et 24h d'obscurité ($p= 0.0374$).

Cela suggère que *Capsicum annuum* nécessite une durée d'obscurité prolongée (plus de 16 h) pour stimuler les mécanismes physiologiques de la germination.

Tableau 5: Test ANOVA sur l'effet de la lumière

Lumière	Lot A		Lot B	
	Valeur P	OBS	Valeur P	OBS
7L – 24 L	0.0374	Signification	0.03739	Signification
7L – 24O	/	Non Signification	/	Non Signification

c) Effet de l'arrosage



A : Graines récoltées au champ ; B : Graines achetées sur le marché ; 1f/j : arrosage 1 fois/jour ; 2f/j : arrosage 2 fois/jour ; f/2j : arrosage 1 fois/2 jours

Figure 32: Histogramme de l'effet de l'arrosage sur le taux de germination du piment doux

Les résultats de la figure 33 montrent que les différentes fréquences d'arrosage n'ont pas d'effet sur le taux de germination des deux lots A et B qui affichent un taux de germination élevé (> 90%).

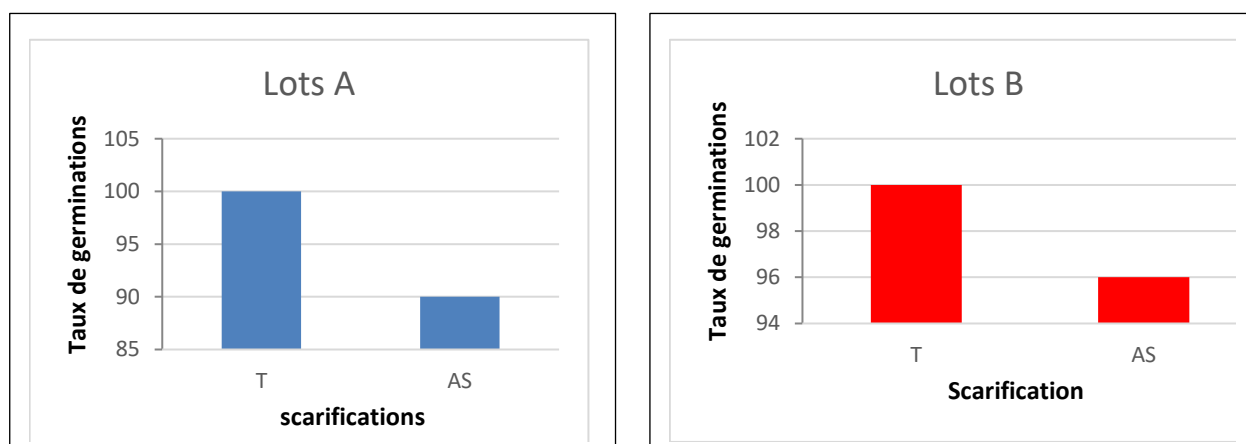
L'analyse de la variance (tableau 6) confirme l'effet non significatif des trois fréquences d'arrosage sur la germination des deux lots de graines ($0.1161 < p < 0.5185$)

Cela indique que les graines du piment doux sont peu exigeantes à l'eau en période de germination.

Tableau 6: Test ANOVA sur effet de la fréquence d'arrosage

L'eau	Lot A		Lot B	
	Valeur P	OBS	Valeur P	OBS
1f/j – f/2j	0.3739	Non Signification	0.5185	Non Signification
1f/j – 2f/j	/	Non Signification	0.1161	Non Signification
2f/j - f/2j	0.3739	Non Signification	0.3739	Non Signification

d) Scarification par l'acide sulfurique



A : Graines récoltées au champ ; B : Graines achetées sur le marché ; T : témoin ; AS : acide sulfurique

Figure 33: Histogramme de l'effet l'acide sulfurique sur le taux de germination du piment doux

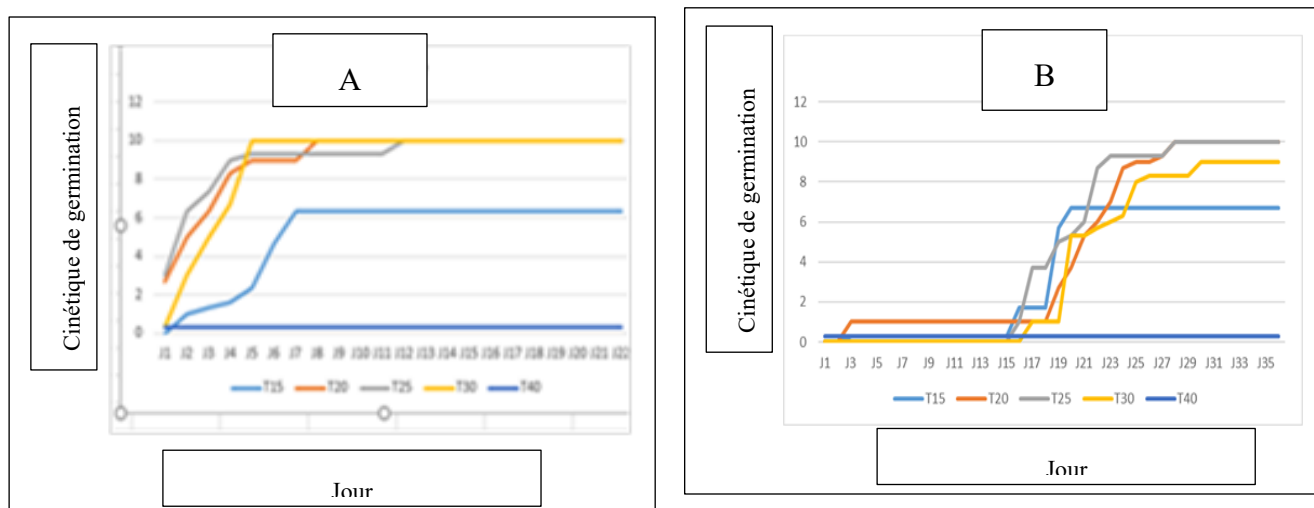
Les résultats de la figure 34 montrent des taux de germination élevés pour les graines du témoin et celles scarifiées à l'acide sulfurique pour les deux lots A et B. Cette scarification diminue légèrement le taux de germination qui passe de 100% pour le témoin à 90% pour les graines traitées par l'acide sulfurique. L'analyse de la variance (tableau 9) indique un effet non significatif de ce type de scarification sur la germination des deux lots de graines de piments doux ($P > 0.1583$)

Tableau 7: Test ANOVA scarification vs Témoin

AS et Température	Lot A		Lot B	
	Valeur P	OBS	Valeur P	OBS
AS – T25	0.1583	Non Signification	0.3739	Non Signification

1.2 Cinétique de germination

a) Température :



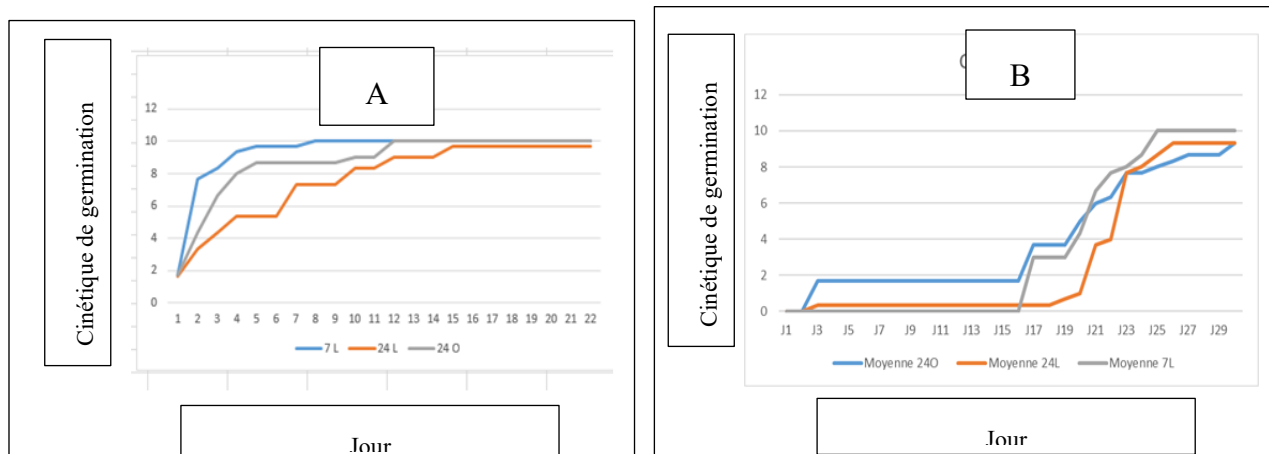
A : Graines récoltées au champ ; B : Graines achetées sur le marché

Figure 34: Cinétique de germination de piment doux selon la température

Température de 15°C. Le T50 (temps nécessaire pour atteindre 50 % de la germination) est atteint au sixième jour, et la germination se stabilise au septième jour avec un taux de germination maximal de 60 %. À 30°C, la germination est rapide : le T50 est atteint au troisième jour, et la germination se stabilise dès le cinquième jour avec un taux maximal de 100 %. Le même comportement est observé à 20 et 25°C, où la germination est encore plus rapide, avec un T50 atteint dès le deuxième jour, et une stabilisation au sixième jour avec un taux de 100 %. Enfin, à 40°C, la plante ne pousse pratiquement pas : la germination reste quasi nulle, atteignant seulement 1 %, et se stabilise à ce taux jusqu'au dernier jour de l'expérimentation

Dans le groupe B, la plante connaît un retard dans son début de germination au quinzième jour, puis la germination commence à toutes les températures. À une température de 15°C, le T50 est atteint au jour 18 et la germination se stabilise au jour 21 au maximum de 67%. À 20°C, le T50 est atteint au jour 19 et le taux de germination maximal de 100 % est atteint au jour 27. Pour la température de 25°C, la germination reste stable jusqu'au jour 15, puis la germination commence. Le T50 est atteint au jour 19, et la germination se stabilise au jour 27 avec un taux de 100 %. En ce qui concerne la température de 30°C, le T50 est atteint au jour 20, et la germination se stabilise au jour 29 avec un taux de 90 %. Enfin, à 40°C, la germination est quasiment inexistante, avec un taux stable de seulement 1 %.

b) Lumière



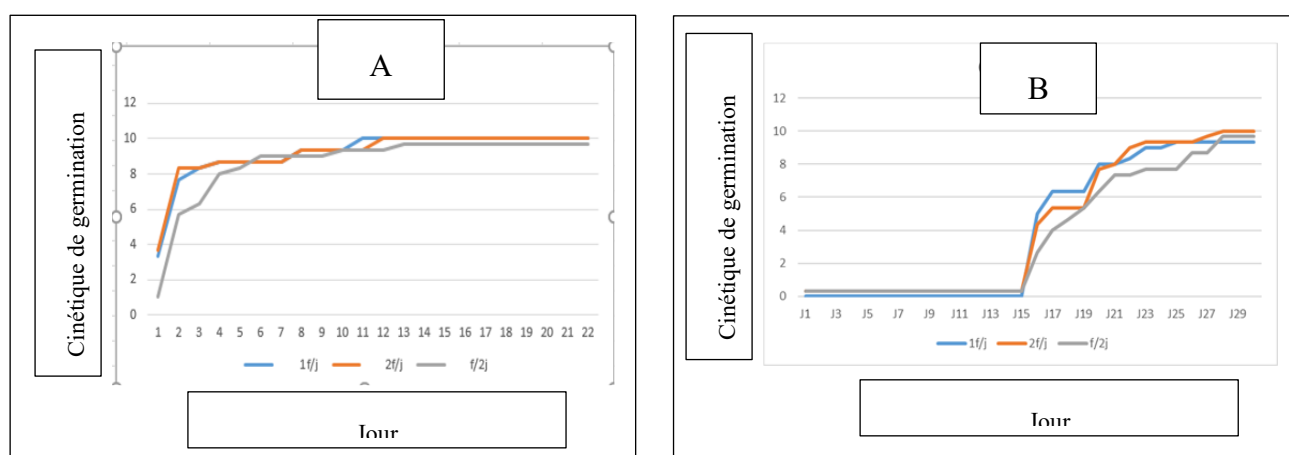
A : Graines récoltées au champ ; B : Graines achetées sur le marché

Figure 35:Graphe de cinétique de germination selon le régime lumineux

La figure 35 indique que dans le lot A, la germination des plantes varient selon la durée d'exposition à la lumière. Lorsque les graines sont exposées à la lumière pendant 7 heures par jour, la germination commence dès le premier jour, le T50 est atteint au deuxième jour, et la germination se stabilise au huitième jour avec un taux de germination de 100 %. En condition de 24 heures d'obscurité, le T50 est atteint au troisième jour, et la germination se stabilise au douzième jour, avec un taux de germination de 100 %. Lors d'une exposition continue à la lumière pendant 24 heures, le T50 est atteint au sixième jour, et la germination se stabilise au quinzième jour, avec un taux final de 97 %.

Dans le lot B, la germination commence après le 16^e jour. Lorsque les plantes sont exposées à la lumière pendant 7 heures par jour, le T50 est atteint au 20^e jour, et la germination se stabilise au 24^e jour, avec un taux de germination de 100 %. En condition de 24 heures d'obscurité, le T50 est également atteint au 22^e jour, mais la germination se stabilise plus tôt, au 30^e jour, avec un taux de 97 %. En cas d'exposition continue à la lumière pendant 24 heures, le T50 est atteint au 22^e jour, et la stabilisation se produit au 42^e jour, avec un taux de germination de 97 % également.

c) Arrosage



A : Graines récoltées au champ ; B : Graines achetées sur le marché

Figure 36: graphe de cinétique de germination selon la fréquence d'arrosage

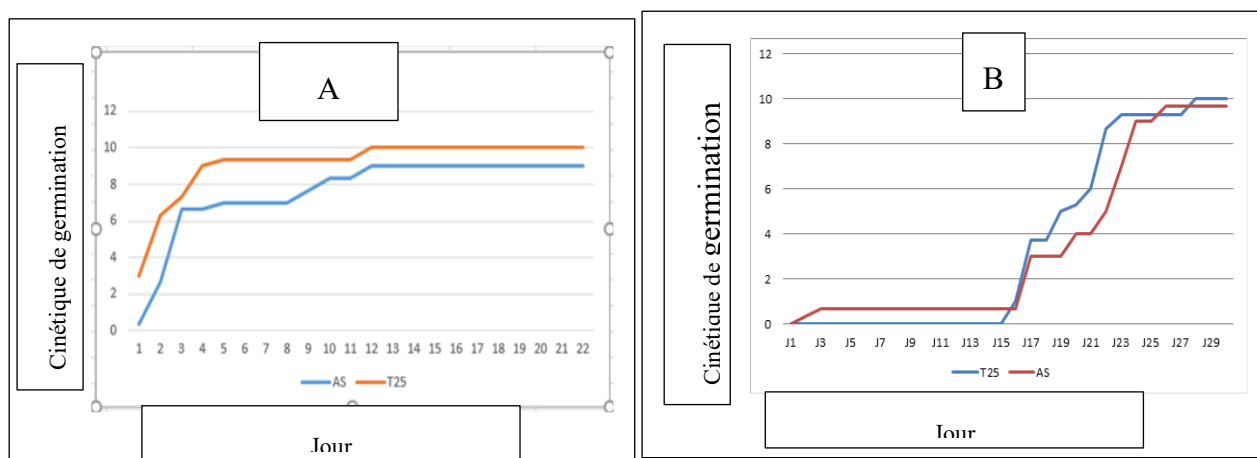
La figure 36 révèle que dans le lot A, la germination commence dès le premier jour après l'arrosage. Lorsque les plantes sont arrosées une fois par jour, le T50 est atteint au deuxième jour, et la germination se stabilise au onzième jour avec un taux de germination de 100 %. Pour un arrosage deux fois par jour, le T50 est atteint au deuxième jour, la stabilisation se fait au treizième jour, et le taux de germination est de 100 %.

En cas d'arrosage une fois tous les deux jours, le T50 est atteint au troisième jour, et la courbe de croissance se stabilise au quatorzième jour avec un taux de germination de 94 %.

Dans le lot B, la germination commence le 15^e jour après l'arrosage. Lorsque les plantes sont arrosées une fois par jour, le T50 est atteint au 16^e jour, et la germination se stabilise au 25^e jour avec un taux de germination final de 95 %. Pour un arrosage de deux fois par jour, le T50 est atteint au 16^e jour, la stabilisation se fait au 28^e jour, et le taux de germination final est de 100 %.

En cas d'arrosage une fois tous les deux jours, le T50 est atteint au 17^e jour, et la courbe de germination se stabilise au 25^e jour avec un taux de germination de 98 %.

d) Scarification par l'acide sulfurique



A : Graines récoltées au champ ; B : Graines achetées sur le marché

Figure 37: Graphe de cinétique de germination selon la scarification chimique

La figure 37 montre que dans le lot A, l'ajout de l'acide sulfurique entraîne le début de la germination dès le premier jour. Le T50 est atteint au troisième jour, et la croissance se stabilise au douzième jour avec un taux de germination de 90 %. Le témoin présente une courbe similaire ce qui suggère une germination standard sans influence particulière de la scarification par l'acide sulfurique.

De même, dans le lot B, l'ajout de l'acide sulfurique n'affecte pas la cinétique de germination qui débute le 15^e jour. Le T50 est atteint au 21^e jour, et la germination se stabilise au 25^e jour avec un taux de germination de 95 à 100 %.

DISCUSSION GÉNÉRALE

L'objectif principal de cette étude était d'identifier les conditions abiotiques optimales favorisant la germination des graines de *Capsicum annuum* L., plante maraîchère d'importance économique mondiale. Les résultats obtenus ont permis de dégager les paramètres essentiels influençant la dynamique de germination des semences.

Le facteur température s'est révélée le plus déterminant. Les graines soumises à une température comprise entre 25 °C et 30 °C ont montré les meilleurs taux de germination, avec un T50 plus rapide et une germination maximale de 100%. Ces températures favorisent l'activation enzymatique nécessaire à la reprise métabolique de la graine (MAZLIAK, 1982 ; RAMADE, 2003). En revanche, des températures extrêmes comme 15 °C ou 40 °C ont considérablement ralenti le processus, réduisant les taux de germination jusqu'à 3 %, probablement à cause d'une inhibition ou d'une dénaturation enzymatique.

Le facteur lumière marque une photosensibilité positive des graines de piment doux : les graines à l'obscurité ou exposées en une lumière alternée (7Lumière/17Obscurité) ont affiché une germination plus rapide et plus homogène, en accord avec les conclusions de CHAUSSAT et al. (1975) et de CÔME (1970), qui classent les graines de *C. annuum* parmi les espèces à sensibilité lumineuse modérée. Cela indique un rôle possible du système phytochrome dans la régulation hormonale entre l'acide abscissique (ABA) et les gibbérellines (GA).

La fréquence d'arrosage montré que le taux de germination restait élevé (>90 %) quel que soit le régime d'arrosage appliqué (1/jour, 2/jour, 1/2 jours). L'absence d'effet significatif, confirmée par l'ANOVA ($p > 0.1$), suggère que *Capsicum annuum* n'a pas d'exigence stricte en eau au stade de la germination, tant que l'humidité reste constante.

La scarification chimique à l'acide sulfurique présente un effet non significatif sur la vitesse et le taux de germination. Cette technique permis de lever la dormance tégumentaire, souvent liée à l'imperméabilité des enveloppes aux échanges gazeux et hydriques (BOUALEM, 2015 ; DEMNI & BOUZID,

1979). Cela indique que les graines de *Capsicum annuum* ne présentent aucune inhibition tégumentaire.

En fin, la comparaison des aptitudes germinatives entre les deux lots A et B montre qu'ils ne présentent pas la même cinétique de germination. On constate que la germination du lot B (semences achetées sur le marché) début 15 jours après le lot A (semences récoltées d'une culture récente). Cela s'expliquerait par la durée prolongée de stockage (au magasin) et le prétraitement des semences commercialisées par des produits de protection (Insecticides, fongicides, fumigants) qui peuvent induire une dormance embryonnaire.

CONCLUSION

Conclusion

Ce travail vise l'étude de l'effet des paramètres abiotiques sur la germination des graines de piment doux tel la lumière, ces paramètres ont été un test sur deux lots de graines : (graine commercialisées et graine récoltée aux champs) pour répondre aux problèmes de retard de germination constaté chez les agriculteurs au cours de l'année précédente (2023-2024)

Les résultats obtenus ont confirmé que la germination est un processus physiologique complexe, influencé par des paramètres internes à la graine comme la dormance, la viabilité ou les réserves nutritionnelles, mais aussi par des conditions environnementales précises (BASKIN & Baskin, 2004 ; HOAREAU, 2012). Parmi les facteurs testés, la température optimale se situait entre 25 °C et 30 °C, une plage favorable à l'activation enzymatique et à l'absorption rapide de l'eau (MAZLIAK, 1982 ; RAMADE, 2003).

L'influence de la lumière a également été significative, certaines graines exprimant une photosensibilité positive, nécessitant la lumière pour amorcer leur germination (CHAUSSAT et al, 1975; COME, 1970). De même, l'humidité constante du substrat a permis une imbibition adéquate et une activation métabolique efficace, contribuant à une germination rapide chez les semences (DOMINIQUE, 2007 ; & COME, 1982).

L'utilisation de la scarification chimique à l'acide sulfurique s'est révélée non efficace ce qui réduit l'effet de l'inhibition tégumentaire chez les semences de piment doux. Toutefois, la dormance embryonnaire peut s'installer chez des semences stockées sur une longue durée.

Enfin, l'ensemble de ces observations permet de recommander une combinaison précise de paramètres pour optimiser la germination de *Capsicum annuum* L. : traitement préalable des semences par désinfection, température contrôlée entre 25 et 30 °C, éclairage modulé selon la photosensibilité, et arrosage régulier. Ces données offrent ainsi une base solide pour améliorer les pratiques culturales du piment doux, tant en milieu expérimental que chez les producteurs agricoles.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

1. ACILA, S. (2018). Introduction de l'olivier (*Olea europaea* L.) à Oued Souf: Situation actuelle et perspectives de développement, cas de l'exploitation Daouia (Doctoral dissertation).
2. Aissani, S. (2013). Effets du stress hydrique sur une variété du blé dur (*Triticum durum* Desf.) [Mémoire de Master, Université de Saïda].
3. Allorent, G. (2011). *Expression du génome plastidial d'Arabidopsis thaliana pendant la formation des graines* (Doctoral dissertation, Université de Grenoble).
4. Amina, O. (2019). Effet de la salinité sur les comportements biochimiques et anatomiques chez le poivron doux (*Capsicum annuum* L (Doctoral dissertation, Abdelhafid Boussouf University centre-Mila).
5. Bali, K., & Benzinia, F. (2018). L'effet du plomb sur la germination et début de croissance d'une halophyte *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt [Mémoire de Master, Université Ibn Khaldoun-Tiaret].
6. Bali, M., & Benzinia, M. (2018). Facteurs internes de la germination. Université de Saïda.
7. Baskin, C. C., & Baskin, J. M. (2004). Seed dormancy and germination in plants: Ecological, biogeographical, and evolutionary perspectives. Academic Press.
8. Beaucage, P. (2013). Corps, cosmos et environnement chez les Nahuas de la Sierra Norte de Puebla: une aventure en anthropologie. Lux Éditeur.
9. Bentata, M., & Nateche, B. (2021). Étude de l'effet de la durée de stockage sur la viabilité et le déroulement de la phase de germination chez quelques variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.).
10. Bettouati, A. (2024). Cours de physiologie végétale.
11. Bouabdallah, A., Lagraa, S., & Ouadia, L. (2020). Types de dormance des graines. Université de Saïda.
12. Bouabdallah, N., Lagraa, H., & Ouadia, F. (2020). Effet de la salinité sur le pouvoir germinatif chez les plantes aromatiques et médicinales [Thèse de doctorat, Université Ibn Khaldoun-Tiaret].
13. Boualem, A. (2015). Effets de la scarification chimique sur la germination des semences. Université de Saïda.
14. Boualem, S. A. (2015). Contribution à l'amélioration des techniques de stratification et de greffage de quelques espèces du genre *Pistacia*.

15. Buchs, A. (2012). Observer, caractériser et comprendre la pénurie en eau. Une approche institutionnaliste de l'évolution du mode d'usage de l'eau en Espagne et au Maroc (Doctoral dissertation, Université de Grenoble (France)).
16. Chambonnet, D. (1985). Culture d'antheres in vitro chez trois Solanacees maraicheres: le piment (*Capsicum annum* L.), l'aubergine (*Solanum melongena* L.), la tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) et obtention de plantes haploides.
17. Chaussat, R., Courier, R., Flanzky, C., Gauthier, G., et al. (1975). La lumière dans la germination. *Revue de Botanique Appliquée*, 55(2), 101–109.
18. Chaussat, R., Mussat, M., & Chevalier, C. (1975). La germination des semences horticoles: influence de la lumière. INRA.
19. Chauvel, B., Darmency, H., Munier-Jolain, N., & Rodriguez, A. (2018). Gestion durable de la flore adventice des cultures. Éditions Quae.
20. Chouard, P. (1948). Les progrès récents dans la connaissance et l'emploi des substances de croissance. *Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée*, 28(307), 189–203.
21. Chougar, S. (2011). Bioécologie de la mineuse de la tomate *Tuta absoluta* (MEYRICK, 1917)(Lepidoptera: Gelechiidae) sur trois variétés de tomate sous serre (Zahra, Dawson et Tavira) dans la wilaya de Tizi-Ouzou (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
22. Come, D. (1970). Les inhibitions de la germination des graines. Masson.
23. Côme, D. (1970). Les obstacles à la germination. Masson.
24. Côme, D. (1982). Germination des graines : Initiation et développement. Masson.
25. Demni, N., & Bouzid, N. (1979). Étude de la dormance tégumentaire chez le piment. *Revue de Botanique Appliquée*.
26. Demni, N., & Bouzid, S. (1979). Effet de la scarification et de l'acide sulfurique sur la levée de dormance. *Cahiers Agricoles*, 38(4), 15–21.
27. Demni, S., & Bouzid, S. (1979). Premières informations sur la germination des graines de bigaradier (*Citrus aurantium* L.). *Fruits*, 34(4), 283–287.

28. Demol, J., & Otoul, É. (2002). Amélioration des plantes: application aux principales espèces cultivées en régions tropicales. Presses Agronomiques de Gembloux.
29. Diouf, B. (2024). Ces esprits qui dorment dans les semences: Ma grand-mère me disait... Éditions LaPresse.
30. DJEBBOUR Rahma, K. S. (2017). Effet d'un fertilisant biologique sur la qualité et le rendement d'une variété de piment cultivée sous serre.
31. Dominique, D. (2007). L'eau et l'activation des semences : Principes et techniques. Éditions techniques agricoles.
32. Dossa, A. F. E. (2012). Identification et classification des espèces utilisées en agroforesterie ayant un potentiel élevé en séquestration de carbone et appropriés aux différents sols du Bénin. Projet de Travail Individuel. <https://weadapt.org/wp-content/uploads/2023/05/4f735cacdf5ferapport-pti-asdi-eunice-projectplace-124755.pdf>.
33. El-Oumairini, M. (2000). Études agronomiques sur le poivron au Maroc [Thèse, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II].
34. FAO. (2015). Statistiques de la production agricole mondiale. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.
35. FAO. (2015). *Statistiques de la production agricole mondiale*. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.
36. Giuliano, S. (2010). Caractérisation de l'évolution de variétés paysannes pour la mise en place d'une législation semencière adaptée (Doctoral dissertation, Ecole Supérieure d'Agriculture de Purpan (ESAP), FRA.).
37. Goetz, P., & Le Jeune, R. (2012). Capsicum annuum et Capsicum frutescens Piment. Phytothérapie, 10, 126-130.
38. Gravis, A. (1898). Étude sur la germination des dicotylédones. Revue botanique.
39. Gravis, A. (1898). Recherches anatomiques et physiologiques sur le Tradescantia virginica L., au point de vue de l'organisation générale des Monocotylées et du type Commélinées en particulier. Mémoires de l'Académie royale de Belgique, 57(1), 1–304.
40. Gris, A. (1864). Recherches anatomiques et physiologiques sur la germination. V. Masson.

41. Guillaume, J. (2011). Ils ont domestiqué plantes et animaux: Prélude à la civilisation.
42. HADJ MOUSSA, M., & TIRICHINE, L. (2024). Contribution à l'étude phytochimique et biologique des extraits aqueux de quelques plantes spontanées sur l'orge *Hordeum vulgare*.
43. Hamza, A. (2010). Historique et culture du piment dans le monde. Université de Batna.
44. Hamza, A. A. (2010). Taxonomie et diagnostic des espèces de *Xanthomonas* associées à la gale bactérienne de la tomate et des *Capsicum* spp.: situation dans les Îles du Sud Ouest de l'océan Indien (Doctoral dissertation, Université de la Réunion).
45. Hanson, S. M., Lampman, R. L., Novak, R. J., & Purseglove, P. M. (1996). *Aedes albopictus* and *Ae. triseriatus* eggs survive waste tire processing. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 12(4), 728-729.
46. Hoareau, D. (2012). Écologie de la germination des espèces indigènes de La Réunion [Thèse de doctorat, Université de La Réunion].
47. Hoareau, L. (2012). Facteurs de germination et de levée de dormance [Mémoire de Master, Université de La Réunion].
48. Hopkins, W. G. (2003). Physiologie végétale. De Boeck Supérieur.
49. Institut Technique des Cultures Maraîchères et Industrielles (ITCMI). (2010). La culture de Laitue. Ministère de l'Agriculture, Algérie.
50. Koley, N. (1976). Wirkungsweise von füllkörperschüttungen. *Chemie Ingenieur Technik*, 48(12), 1105-1112.
51. Lassoudière, A. (2007). Le bananier et sa culture. Éditions Quae.
52. Magrou, J. (1943). Des orchidées à la pomme de terre : Essai sur la symbiose. FeniXX.
53. Marchoux, G., Gognalons, P., & Sélassié, K. G. (2008). Virus des Solanacées: Du génome viral à la protection des cultures. Editions Quae.
54. Mazliak, P. (1982). Physiologie végétale : Nutrition, respiration, photosynthèse. Masson.
55. Mazliak, P. (1982). Physiologie végétale: germination et croissance. Masson.

56. Miège, J. (1957). Influence de quelques caractères des tubercules semences sur la levée et le rendement des ignames cultivées. *Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée*, 4(7), 315–342.
57. Nondah, T. (2000). Contribution à la stratégie de sélection de génotypes de piments (*Capsicum annuum* L.) adaptés aux conditions tropicales chaudes et humides. Mémoire, Université..., 2000.
58. Pochard, E., Palloix, A., & Daubeze, A. M. (1992). Le piment. Amélioration des espèces végétales cultivées. Objectifs et critères de sélection.
59. Polese, J. M. (2006). La culture des plantes aromatiques. Editions Artemis.
60. Pons, C. (2023). Effets de l'élicitation par les UV-C et le peroxyde d'hydrogène sur le métabolisme de deux génotypes de piment (Doctoral dissertation, Université d'Avignon).
61. Raffeneau-Delile, A. (1836). Essais d'acclimatations à Montpellier, et mélanges d'observations. De la typographie de Madame Veuve Picot.
62. Ramade, F. (2003). Éléments d'écologie : Écologie fondamentale. Ediscience.
63. Ramade, F. (2003). Éléments d'écologie appliquée. Dunod.
64. Ruffié, J. (1986). Le sexe et la mort. Odile Jacob.
65. Sirine, F. R., & Eddine, D. A. (2024). Contribution à la germination et l'amélioration de la reprise végétative des graines d'el batom *Pistacia atlantica* [Thèse de doctorat, Université Echahid Chikh Larbi Tebessi-Tebessa].
66. Sirine, L., & Eddine, M. (2024). La pré-germination des graines de *Capsicum annuum* L. Université de Saïda.
67. Sirine, L., & Eddine, M. (2024). *La pré-germination des graines de Capsicum annuum* L.. Université de Saïda.
68. Smail, S., & Mohammedi, L. (2021). Contribution à l'étude de la variabilité des accroissements stationnels et de la qualité du liège de l'espèce *Quercus suber* L. de la subéraie de «El-Tarf» [Thèse de doctorat, Université Mouloud Mammeri].
69. Smail, Z., & Mohammedi, M. (2021). Techniques de levée de dormance chez les semences. Université de Saïda.

70. Spichiger, R. E., & Jeanmonod, D. (2002). Botanique systématique des plantes à fleurs : Une approche phylogénétique nouvelle des angiospermes des régions tempérées et tropicales. EPFL Press.
71. Suszka, B., Muller, C., & Bonnet-Masimbert, M. (1994). Graines des feuillus forestiers : De la récolte au semis. Éditions Quae.
72. Turner, M. (2013). Les semences (p. 224). Éditions Quae.
73. Van Tieghem, P. É. L. (1871). Recherches sur la symétrie de structure des plantes vasculaires. Masson.
74. Wilhelm, G. J. (2023). QD, Une autre gestion de la forêt : Basée sur la qualité, les cycles naturels et à moindre coût. CNPF-IDF.
75. Wilhelm, J. (2023). La dormance et la germination des graines. Éditions Techniques Agricoles.
76. Yachir, A., Amirat, Y., Chibani, A., & Badache, N. (2015). Event-aware framework for dynamic services discovery and selection in the context of ambient intelligence and Internet of Things. IEEE Transactions on automation science and engineering, 13(1), 85-102.

