

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, Saida



N° d'Ordre

كلية العلوم والفلاحة
Faculté de Agronomie Et Nutrition

قسم البيولوجيا
Département de: Agronomie et sciences de nutrition

Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master

Biotechnologie

Spécialité: Biotechnologie végétale

Contribution à l'étude du comportement germinative des grains d'amande douce et amère

Présenté par:

- Mr: Daouadji Redha Abdessamed
- Mr: Aba Allaa Eddinne

Soutenu le: 28/06/2026

Devant le jury composé de:

Président	Mr. Laouar Abdel Malek	MCB Université UMTS
Examineur	Mme. Semiria Lamia	MCB Université UMTS
Rapporteur	Mr. Henni Mustapha	MCB Université UMTS

Année universitaire 2025/2026

Remerciements

La réalisation de ce mémoire de fin d'études a été une étape marquante de notre parcours, et elle n'aurait pas été possible sans le soutien de plusieurs personnes que nous tenons à remercier chaleureusement.

En premier lieu, nous tenons à remercier notre encadreur, Monsieur Henni Mustapha. Merci pour votre confiance, votre rigueur scientifique et la bienveillance avec laquelle vous nous avez guidés à chaque étape de ce travail.

Nous tenons également à saluer les membres du jury pour l'intérêt qu'ils portent à notre recherche. Merci à Madame Semiria Lamia et à Monsieur Laouar Abdelkrim d'avoir accepté d'examiner ce mémoire et d'enrichir notre travail par leurs remarques constructives.

Enfin, notre gratitude la plus profonde va à nos familles. Merci d'avoir toujours cru en nous, de nous avoir encouragés dans les moments de doute et de célébrer avec nous l'aboutissement de ce parcours.

Dédication

Dédicace de Redha Daouadji

Je dédie ce modeste travail :

À mes très chers parents, pour leur amour, leurs sacrifices, leur soutien indéfectible et leurs encouragements tout au long de mon parcours universitaire.

À ma famille et à tous mes proches qui ont toujours cru en moi et m'ont soutenu dans les moments difficiles.

À mon encadreur, Monsieur Henni Mustapha, pour sa disponibilité, ses précieux conseils et son accompagnement durant la réalisation de ce travail.

À Mesdames et Monsieur les membres du jury, Semiria Lamia et Laouar Abdelkrim, pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant d'évaluer ce mémoire.

À mon binôme de travail, pour sa collaboration, son sérieux et les efforts partagés tout au long de cette étude.

À tous mes enseignants qui ont contribué à ma formation.

Enfin, à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Redha Daouadji

Dédicace de Aba Allaa Edinne

Je dédie ce travail:

À mes chers parents, dont le soutien, les sacrifices et les encouragements constants ont été une source de motivation tout au long de mes études.

À ma famille et à mes amis pour leur présence, leur confiance et leur aide précieuse.

À notre encadreur, Monsieur Henni Mustapha, pour son encadrement, sa patience et ses orientations scientifiques qui ont grandement contribué à la réussite de ce travail.

À Mesdames et Monsieur les membres du jury, Semiria Lamia et Laouar Abdelkrim, pour l'intérêt qu'ils portent à notre travail en acceptant de l'examiner et de l'évaluer.

À mon binôme Redha Daouadji, pour son esprit de collaboration et les efforts fournis durant toute la période de réalisation de ce mémoire.

À tous les enseignants qui ont participé à notre formation universitaire.

À toutes les personnes qui nous ont aidés de près ou de loin.

Aba Allaa Edinne

RESUME :

Cette étude porte sur l'amandier (*Prunus dulcis* Mill.), une espèce fruitière appartenant à la famille des Rosacées, reconnue pour sa grande valeur économique, nutritionnelle et écologique dans les régions méditerranéennes. L'objectif principal de ce travail est de contribuer à l'amélioration des aptitudes germinatives de cette espèce en utilisant différents traitements pour lever l'inhibition tégumentaire qui constitue le facteur principal réduisant le taux de germination des graines d'amandes douces et amères. L'étude met en évidence l'efficacité de la détégumentation des graines d'amande douce et amère qui enregistrent les taux de germination les plus élevés (20 à 40%). En revanche le trempage dans l'eau chaud pendant 24h, La stratification dans le sable humide pendant 5 et 10 jours et la scarification par l'acide sulfurique pendant 3min, 6 min et 9min n'ont pas permis la levée de l'inhibition tégumentaire des graines d'amandes amère et douce.

Mots-clés : Amande, Inhibition tégumentaire, Détégumentation, Stratification, Scarification.

ABSTRACT:

This study focuses on the almond tree (*Prunus dulcis* Mill.), a fruit-bearing species belonging to the Rosaceae family, widely recognized for its significant economic, nutritional, and ecological value in Mediterranean regions. The main objective of this work is to contribute to the improvement of the germination capacity of this species through the application of different treatments aimed at overcoming seed coat inhibition, which is considered the principal factor limiting the germination rate of both sweet and bitter almond seeds.

The results obtained demonstrated that seed coat removal (detegumentation) of sweet and bitter almond seeds was the most effective treatment, yielding the highest germination rates, ranging from 20 to 40%. In contrast, soaking seeds in hot water for 24 hours,

stratification in moist sand for 5 and 10 days, and chemical scarification with sulfuric acid for 3, 6, and 9 minutes did not effectively overcome seed coat inhibition in the studied seeds.

Keywords: Almond, seed coat inhibition, detegumentation, stratification, scarification.

ملخص :

تتناول هذه الدراسة شجرة اللوز (*Prunus dulcis* Mill.) ، وهي نوع ثمري ينتمي إلى فصيلة الورديات (Rosaceae)، ويُعرف بقيمته الاقتصادية والغذائية والبيئية الكبيرة في مناطق حوض البحر الأبيض المتوسط. يتمثل الهدف الرئيسي من هذا العمل في المساهمة في تحسين القدرة الإنباتية لهذا النوع من خلال استخدام معاملات مختلفة تهدف إلى كسر التثبيط الناتج عن غلاف البذرة، والذي يُعد العامل الرئيسي المسؤول عن انخفاض نسبة إنبات بذور اللوز الحلو والمر.

أظهرت النتائج المتحصل عليها أن إزالة غلاف البذرة كانت المعاملة الأكثر فعالية بالنسبة لبذور اللوز الحلو والمر، حيث سجلت أعلى نسب إنبات تراوحت بين 20 و 40 % في المقابل، لم يساهم النقع في الماء الساخن لمدة 24 ساعة، ولا الكمر في الرمل الرطب لمدة 5 و 10 أيام، ولا الخدش الكيميائي باستعمال حمض الكبريتيك لمدة 3 و 6 و 9 دقائق، في كسر التثبيط الغلافي لبذور اللوز الحلو والمر بشكل فعال.

الكلمات المفتاحية: اللوز، التثبيط الغلافي للبذور، إزالة غلاف البذرة، الكمر (الاستراتيفيكاسيون)، الخدش الكيميائي.

SOMMAIRE:

REMERCIEMENT

DEDICACE

RESUME

ABSTRACT

ملخص

SOMMAIRE

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

LISTE DES ABREVIATIONS

INTRODUCTION

Chapitre I. La plante hôte l'amandier

I.1 Origine et historique d'amandier

I.2.1 Dans le monde

I.2.2 En Algérie

I.3 Différence entre amande douce et amande amère

I.4 Importance économique

I.4.1 Dans le monde

I.4.2 En Algérie

I.5 Description morphologique

I.6 Morphologie de l'amande

3

I.7 Caractéristiques biologiques d'amandier

3

I.8 Principales variétés d'amandier

6

I.8.1 Principales variétés présentes en Algérie

7

I.8.2 Description de quelques variétés dans le monde

17

I.9	Le porte-greffe	8
I.10	De la récolte à la vente	8
I.11	Exigences d’amandier	23
I.12	Soins culturaux	5
I.13	Multiplication	0
I.14	L'Amandier et l'altitude	3
I.15	Maladies d’amandier	3
I.16	Principaux Ravageurs D’amandier	5
ChapitreII. Graine et la germination		8
II.1	Définition de la graine	9
II.2	La composition de la graine	9
II.3	La formation des graines	1
II.4	Définition de la germination	2
II.5	Le processus de germination	2
II.6	Les types de graines	3
II.6.1	Graines à périsperme	

	4
II.6.2 Graines exalbuminées	4
II.7 La germination chez les plantes monocotylédones	5
II.8 Germination d'une dicotylédone :	7
II.9 Différence entre germination monocotylédone et dicotylédone	7
II.10 Les étapes de la germination	8
II.10.1 Phase d'imbibition	9
II.10.2 Phase de germination stricto sensu (Phase II)	9
II.10.3 Phase de croissance (Phase III)	9
II.11 Germination épigée et hypogée	0
II.12 Morphologie et physiologie de la germination	1
II.13 Les facteurs influençant la germination	2
II.14 La dormance	7
II.15 Les types de dormance	8
II.16 Levée de la dormance des graines	1
Chapitre III. Matériel et méthodes	2

III.1	Matériel	3
III.2	Méthodes :	4
III.2.1	Provenance des graines :	4
III.2.2	Préparation des graines :	4
III.2.3	Mise en germination des graines	5
III.2.4	Traitements de la levée de la dormance	6
III.3	Paramètres étudiés	6
III.3.1	Le taux de germination (TG)	7
III.3.2	La cinétique de germination	7
III.4	Analyse statistique	7
Chapitre IV. Resultas Et Discussion		8
IV.1	Résultats :	9
IV.1.1	Germination des amandes amères :	9
IV.1.2	Germination des amandes douces :	1
IV.2	Discussion des résultats	2
IV.3	Conclusion générale	

Références bibliographiques	4
	7

LISTE DES TABLEAUX :

Tableau 1 : Le Cycle de Vie des Amandes	1
	5
Tableau 2 : Les besoins et les apports de fertilisants de l'amandier (Rdt=Rendement) (Si Bennasseur, 2015).	2
	8
Tableau 3 : les maladies d'amande (Si Bennasseur, 2015) ; (Pinatel et Rossignol, 2017).	3
	3
Tableau 4 : Nombre de graines germées pour chaque traitement	6
	9
Tableau5 : Nombre de graines germées pour chaque traitement	7
	1

LISTE DES FIGURES :

Figure 1 : carte de l'Asie montrant le centre d'origine des espèces d'amandiers sélectionnées.	4
Figure 2 : La répartition géographique d'amandier dans le monde	5
Figure 3 : Arbre d'amandier	9
Figure 4 : Feuilles d'amandier	9
Figure 5 : Fleurs d'amandier	10
Figure 6 : Fruits d'amandier	11
Figure 7 : morphologie de l'amande Elaboration	13
Figure 8 : Stades phénologiques de l'amandier	16
Figure 9 : une corole	19
Figure 10 : remorque tapis	20
Figure 11 : bâche-tapis	21
Figure 12 : amande séché	22
Figure 13 : Pollinisation d'amande	32
Figure 14 : La guêpe de l'amande Eurytoma amygdali	35
Figure 15 : Puceron	36
Figure 16 : A : graine dicotylédone B : graine monocotylédone	40
Figure 17 : la formation de la graine	41
Figure 18 : la germination de la graine	43
Figure 19 : a. graine à périsperme, b. graine albuminée, c. graine ex albuminée	45
Figure 20 : Germination de graine	46
Figure 21 : Courbe théorique d'imbibition d'une semence	48
Figure 22 : Germination hypogée et épigée	51
Figure 23 : Les différents facteurs impliqués dans la qualité germinative des semences	52
Figure 24 : Les sujets d'amandier	64
Figure 25 : Mise en germination des graines d'amande dans les boîtes de pétri	65
Figure 26 : taux de germination d'amandes amères pour chaque traitement	70
Figure 27 : taux de germination d'amande douce pour chaque traitement	71

LISTE DES ABREVIATION :

Abréviation	Signification
ABA	Acide abscissique
FAOSTAT / FAOST	Base de données de l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (Food and Agriculture Organization)

GSI	Auto-incompatibilité gamétophytique (Gametophytic Self-Incompatibility)
H₂SO₄	Acide sulfurique
INRA	Institut National de la Recherche Agronomique
PNDA	Programme National de Développement Agricole
TG	Taux de Germination
GA₃	Acide gibbérellique

INTRODUCTION

INTRODUCTION :

L'amandier (*Prunus dulcis* Mill.) est l'une des espèces fruitières les plus importantes et les plus anciennement cultivées dans les régions méditerranéennes (Kester et al., 1991). Son adaptation remarquable aux conditions climatiques arides et semi-arides, ainsi que sa capacité à produire des fruits à haute valeur nutritionnelle, lui confère une importance stratégique dans les systèmes agricoles, notamment en Algérie où il représente une culture à forte valeur économique et sociale.

Les amandes sont riches en lipides insaturés, protéines, vitamines et minéraux essentiels, ce qui les rend très recherchées pour l'alimentation humaine et l'industrie agroalimentaire (Taiz et al., 2015).

Cependant, malgré cet intérêt, la production de plants d'amandier reste limitée par plusieurs contraintes biologiques, en particulier celles liées à la germination des graines.

En effet, les graines d'amandier présentent un phénomène de dormance qui constitue un mécanisme naturel permettant à l'embryon de survivre dans des conditions défavorables (Bewley et al., 2013). Toutefois, cette dormance représente un obstacle majeur en pépinière, car elle entraîne une germination lente, irrégulière et souvent faible, ce qui retarde la production de plants homogènes et vigoureux.

La dormance des graines peut être attribuée à plusieurs facteurs, notamment la présence d'un tégument dur et peu perméable, ainsi que des inhibitions physiologiques internes qui limitent le développement de l'embryon (Bewley et al., 2013 ; Pérez-García et González-Benito, 2006). Ces barrières réduisent l'absorption de l'eau, les échanges gazeux et l'activation des processus métaboliques nécessaires à la germination.

Dans ce contexte, différentes techniques de levée de dormance ont été développées afin d'améliorer les taux de germination. Parmi elles figurent des traitements physiques tels que la détégumentation, le trempage dans l'eau chaude et la stratification, ainsi que des traitements chimiques comme la scarification à l'acide sulfurique (Hartmann et al., 2011 ; Voyiatzis et Koukourikou-Petridou, 1995). Ces méthodes visent à lever les contraintes mécaniques et physiologiques qui empêchent la germination.

Le présent travail s'inscrit dans cette problématique et a pour objectif d'évaluer l'effet de plusieurs traitements physiques et chimiques sur la germination des graines d'amande douce et d'amande amère. L'étude repose sur une expérimentation comparative visant à analyser le taux et la vitesse de germination selon les différents traitements appliqués.

L'intérêt de cette étude réside dans la recherche d'une méthode efficace, simple et applicable en conditions de pépinière afin d'améliorer la production de plants d'amandier. Elle vise également à contribuer à une meilleure compréhension des mécanismes de dormance et de germination chez cette espèce fruitière (Hartmann et al., 2011 ; Bewley et al., 2013).

Chapitre I.
Le plant l'espèce l'amandier

I.1 Origine et historique d'amandier :

L'amandier *Prunus dulcis* (Miller) est originaire dans les régions du croissant fertile et représente l'une des premières cultures arboricoles à avoir été domestiquée (Gradziel et Martínez-Gómez, 2013). Comme toutes les espèces du genre *Prunus*, il est originaire de l'Asie (Figure 1) (Martínez-Gómez et al., 2003) et plus précisément de l'Asie du Sud-ouest (Ladizinsky, 1999 ; Gouta et al., 2008) (Fig. 1). Ensuite il a été disséminée dans le monde entier dans les régions de type méditerranéen, avec des hivers modérés et des étés chauds et secs (Gradziel et Martínez-Gómez, 2013).

Les romains ne connurent d'abord que l'amandier à fruit amer; ce ne fut que beaucoup plus tard qu'ils cultivèrent les variétés à fruits doux. Cet arbre s'est ensuite naturalisé dans tout le midi de l'Europe. Il passa d'abord en Asie Mineure, puis en Grèce (vers le V-VI^e siècle av. J.-C.) et parvient notamment en Italie au III^e siècle av. J.-C. Ce sont les arabes qui l'ont introduit en Afrique du Nord où, résistant bien à la chaleur et à la sécheresse, il a pu se développer (Silberfeld et al., 2013). L'amandier semble également être spontané en Afrique septentrionale: on a trouvé des bois d'amandiers dans les montagnes d'Algérie et du Maroc, mais certains en doutent, n'y verraient que des « ensauvagés » issu d'anciennes cultures. C'est par la Grèce, l'Italie et l'Espagne qu'il nous est parvenu (Tonolli et Gallouin., 2013).

Les mêmes auteurs certifié que l'amandier arriva seulement au XIX^e siècle aux États-Unis.

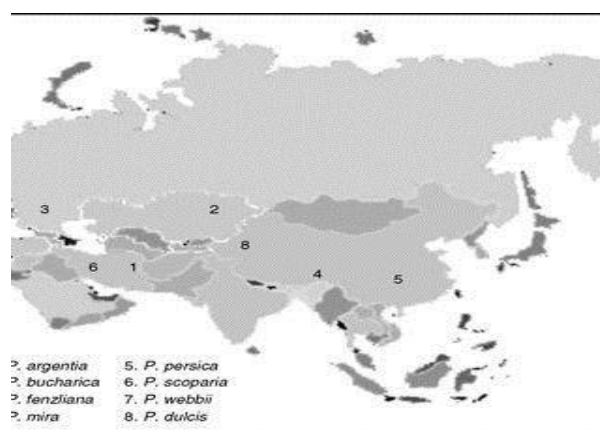


Figure1: carte de l'Asie montrant le centre d'origine des espèces d'amandiers sélectionnées (Mohan Jain et Priyadarshan, 2009)

I.2 Aire de répartition géographique

I.2.1 Dans le monde

Environ 430 espèces sont réparties dans toutes les régions tempérées du Nord du monde. La région climatique méditerranéenne du Moyen-Orient comme la Turquie et le Pakistan vers l'Est jusqu'à la Syrie est originaire de l'amandier et de ses espèces apparentées (Sana et *al.*, 2021). La dispersion ultérieure et généralisée de l'amandier domestiqué s'est déroulée en trois étapes : asiatique, méditerranéenne et du Nouveau Monde (Amérique du Nord, Amérique du Sud et Australie). L'étape asiatique comprenait la domestication initiale et l'expansion ultérieure dans toute l'Asie centrale et du Sud-Ouest. Les amandiers cultivés semblent avoir été présents dans la région méditerranéenne, y compris la Grèce, avant 300 bp et ont ensuite été amenés dans d'autres régions bordant la mer Méditerranée, modératrice du climat, au cours de la phase méditerranéenne. Plus récemment, des amandes provenant principalement d'Espagne et de France ont été distribuées dans le reste du monde, notamment en Amérique du Nord, en Amérique du Sud et en Australie (Zeinalabedini et *al.*, 2010 ; Gradziel, 2011) (**Figure2**). Aujourd'hui, les amandes sont cultivées dans plus de 50 pays(<http://faostat.fao.org>), bien qu'environ 95 % soient concentrés en Californie, en Australie et dans le bassin méditerranéen (Poonan et *al.*, 2011 ; Musa-Velasco et *al.*, 2016).

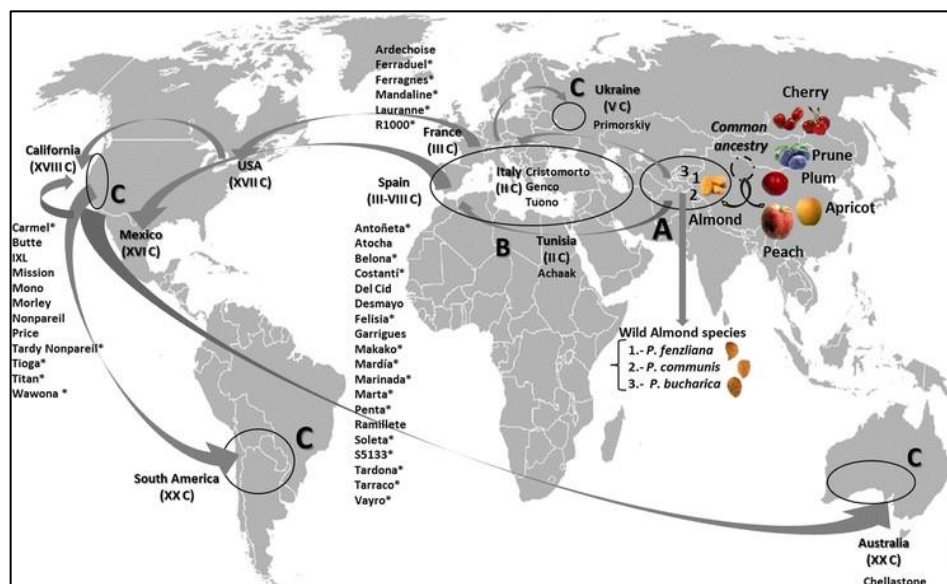


Figure 2: La répartition géographique d'amandier dans le monde (Zeinalabedini et *al.*, 2010; Gradziel, 2011).

I.2.2 En Algérie

L'amandier occupe une superficie totale de 50.000 hectares, soient 20,5% de la superficie totale des rosacées à noyau en Algérie. Ses principales zones de culture sont Médéa, Ain defla, Sétif, Sidi-Bel Abbès et Tlemcen. C'est une espèce rustique peu exigeante en matière de sol et résiste bien au froid (Agrichem Algérie, 2016).

l'amandier existe à l'état spontané en Algérie(Tozanli, 2018).

A l'Est de l'Algérie, les vergers d'amandiers se trouvent plutôt en pentes, dans les wilayas de Guelma et de Constantine, s'étendent vers le centre Est de l'Algérie et dans le Nord de la wilaya de Sétif vers Bejaïa et allant jusqu'à la wilaya d'Alger.

Au niveau national, on peut estimer que 5% de la population d'amandiers est d'amande amère. Par contre, il n'y a pas une exploitation organisée et industrielle de ce produit. Les amandiers d'amande amère sont en grande partie sauvages et sont situées en la lisière des forêts au nord du Sétif et à Bejaïa, une surface qui s'étend jusqu'à la wilaya d'Alger (Tozanli, 2018).

I.3 Différence entre amande douce et amande amère

Il existe deux principales variétés d'amandes, les amandes amères (*Prunus amygdalus* Amara) et les amandes douces (*Prunus amygdalus* dulcis) (Agunbiade et Olanlokun, 2006). Les amandes amères se différencient de celles dites douces par leur contenance en amygdaline, responsable de leur amertume. La concentration de cette substance dans les graines peut atteindre en moyenne 3 à 9% (Yada et *al.*, 2011). L'amygdaline est un di glucoside qui, par hydrolyse enzymatique, se transforme en benzaldéhyde (responsable du gout et de l'odeur caractéristiques des graines et de l'huile d'amandes), en glucose et en acide cyanhydrique (Wirthensohn et *al.*, 2008).

L'amande douce est la plus cultivée, alors que l'amande amère est fort peu. Les semis d'amandes douces en donnent parfois d'amères et vice versa (Mérat et Delens, 2009). Ils sont deux parties de l'amandier: La partie qui produit des fleurs blanches cultive des amandes douces; l'autre partie cultive des fleurs roses et produit des amandes amères (Zabat, 2023).

I.4 Importance économique

I.4.1 Dans le monde

On compte 46 pays producteurs d'amandes en 2019 et l'amande est produite sur tous les continents. La production mondiale d'amandes est passée de 756 588 tonnes en 1961 à 3 497 148 tonnes en 2019 (soit une multiplication par 4,62). Elle a été inférieure à 1 million de tonnes jusqu'au début des années 80, elle est passée de 1 à 1,5 millions de tonnes en 17 ans. Et elle a vraiment décollé à partir de 2000 (FAOST, 2021).

FAOST (2021), annonce aussi que l'Europe a été leader de la production mondiale d'amandes jusqu'au milieu des années 80, elle a été dépassée en 2000 par l'Amérique et en 2007 par l'Asie. La production française d'amandes est passée de 3 680 tonnes en 1961 à 1 130 tonnes en 2019.

Depuis 1972, l'Espagne est leader mondial en termes de surfaces cultivées en amandes. Celle-ci est passée de 203 600 hectares en 1961 à 687 230 hectares en 2019. A l'inverse, en Italie les surfaces sont passées de 316 000 hectares en 1961 à 52 040 hectares en 2019. A noter également la progression des surfaces au Maroc (pas de culture d'amandes répertoriée en 1961 et 190 612 hectares en 2019) et en Tunisie (85 000 hectares en 1961 et 225 453 hectares en 2019) (FAOST, 2021).

L'Amérique est désormais le continent qui produit le plus d'amandes et sa production est passée de 60 317 tonnes en 1961 à 1 976 40 tonnes en 2019 (soit une multiplication par 32,8).

Ils ont également augmenté les surfaces consacrées à la culture d'amandes, passant de à 477 530 hectares en 2019. Avec 214 487 tonnes, les Etats-Unis sont le premier exportateur d'amande en coque devant l'Australie (48 071 tonnes). Les Etats-Unis représentent environ 65% du total des amandes en coque exportées dans le monde. Avec 160 192 tonnes, le premier importateur mondial d'amandes en coque est l'Inde, En 2019, les Etats-Unis représentaient à eux seuls 55,4% de la production mondiale d'amandes. L'Europe n'en représentait plus que 13,5% (FAOST, 2021).

I.4.2 En Algérie

L'évolution des superficies arboricoles depuis près de 4 décennies montre que le verger national a connu une augmentation de près de 40 % en trois années avec la mise en œuvre du PNDA.

En effet, le programme algérien de développement des arbres fruitiers occupe une place prépondérante dans la nouvelle politique agricole du pays, considérant les vocations pédoclimatiques des différentes zones agricoles algériennes, visant une meilleure efficacité technico-économique.

Notre pays, envisage une production de plus de 74 000 tonnes/an tous produits confondus (agrumes, amande, raisin de table précoce) (Zemirli et Hammache, 2017).

L'amandier est la première rosacée à noyau la plus cultivée en Algérie (Zabat, 2023).

Selon les données du ministère de l'Agriculture, l'Algérie comptait une production d'environ 57 000 tonnes en 2010 pour un rendement de 14 qx/ha (OUAHIB, 2018).

La superficie occupée par l'amandier est de l'ordre de 132.000 ha, pour une production de 40.000 Td'amande en coque (Zabat, 2023).

I.5 Description morphologique

I.5.1 Arbre

L'amandier est un petit arbre de 10 à 12 mètres de haut. Il peut vivre jusqu'à une centaine d'années; son aire de dispersion est identique à celle de l'olivier (Hammiche et *al.*, 2013). Eveinoff (1952), a décrit des arbres à peine de 4 m de hauteur (vallée de l'Atrek). Tandis que, y a d'autres variété 6-8 m, parfois 10 -12 m. Au Portugal la race lusitanienne atteint parfois 20 m. En Afrique du Nord, la taille varie entre 3 et 5 m (Roberte de la taille, 1985). Non épineux, à cime étalée et à écorce grise; les jeunes rameaux sont glabres et vert clair. Les racines pivotantes sont puissantes (Tonolli et Gallouin, 2013). Il se multiplie par semis ou par greffe (Roberte de la taille, 1985). Ainsi que par le vent (anémophilie) et par les insectes (entomophilie) (Tonolli et Gallouin, 2013), effectuée principalement par les abeilles mellifères

(*Apis mellifera*). C'est une espèce à reproduction sexuée régulée par une auto-incompatibilité gamétophytique (GSI) (Socias i Company et *al.*, 1976).



Figure 3: Arbre d'amandier (Anonyme, 2022).

I.5.2 Feuille

Les feuilles, d'une dizaine de centimètres, sont étroites, lancéolées, à bord finement dentelé (Hammiche et *al.*, 2013). Elles sont glabres et luisantes sur le dessus; les pétioles glanduleux portent à leur base des stipules caduques. Sur la face inférieure des feuilles, la nervure centrale est très saillante (Tonolli et Gallouin, 2013). les feuille sont caduques, de disposition alternée, elles sont vert sombre, brillantes, revers mat, étroites, lancéolées, les bourgeons sont ovoïdes pointus(Roussin ,2014).



Figure 4: Feuilles d'amandier (Anonyme, 2022).

I.5.3 Fleurs

L'amandier porte un nombre de fleurs considérable mais seulement 30% d'entre-elles donneront des fruits (Jacamon, 1985).

Les fleurs blanches ou rosâtres apparaissent bien avant les feuilles, dès la fin de l'hiver vers février. Le fruit est une drupe ovale, verte et veloutée dont la partie charnue n'est pas comestible. Elle entoure une coque ligneuse et criblée de trols, contenant une, parfois deux, graines comestibles, enveloppées d'un fin tégument couleur cannelle (Hammiche et al., 2013). Les fleurs sont grandes (4 à 6 cm), hermaphrodites, régulières (actinomorphes) et apparaissent avant les feuilles; elles sont solitaires ou géminées (groupées par deux) et subsessiles. Le calice en forme d'urne (urcéolé) se termine par cinq lobes triangulaires étalés. Il constitue une cavité réceptaculaire qui porte au niveau de sa gorge cinq pétales libres, blancs ou rosés subovales; leur extrémité est un peu incisée et ils se recouvrent légèrement dans leur partie plus large, viennent ensuite 25 à 30 étamines (Tonolli et Gallouin, 2013). Les pétales sont insérés sur le bord du réceptacle. Ce dernier, a une forme d'une coupe au fond de laquelle est attaché l'ovaire velu formé d'un seul carpelle libre (Reille et Maurice, 2015).



Figure5: Fleurs d'amandier (original, 2022).

I.5.4 Fruit

Le fruit est une drupe oblongue et comprimée; veloutée, de couleur vert amande (vert gris bleuté). Le mésocarpe mince est un peu charnu avant la maturité puis il se dessèche et s'ouvre en long spontanément en deux valves (les écales), laissant voir le noyau dur (issu de la partie interne du mésocarpe et de l'endocarpe) qu'on nomme la coque. Le noyau est oblongues et pointu, ses faces sont sillonnées et criblées de perforations étroites (Tonolli et Gallouin, 2013).

Le fruit de l'amandier est appelé amande. L'amande est un ovule vert velouté devenant gris noir en séchant. Entourant une coque ligneuse contenant l'amande (la graine) 2 types de fruit: sativa (amande douce) ou amara (amande amère) toxique à forte dose due à la présence d'acide cyanhydrique (Roussin, 2014).



Figure6: Fruits d'amandier(original2022)

I.5.5 Graine

La graine est protégée par des téguments dont l'aspect change avec les variétés (couleur et rugosité) (Roberte de la taille, 1985).

Pour les graines entières d'amandes douces, 71% de longueur sont situés entre 26,83 et 35,84 mm, 66% de la longueur sont entre 17,85 et 21,72 mm, et 79% d'épaisseur se trouve entre 13,51 et 17,22 mm.

Tandis que pour les graines entières d'amandes amères 70% de longueur sont entre 25,37 et 30,04 mm, 63% de longueur se situent entre 19,22 et 24,29 mm et 70% de l'épaisseur se trouve entre 12,37 et 15,66 mm. En ce qui concerne les noyaux, 76% de la longueur des noyaux douces et amères se situent respectivement dans l'intervalle de 20,35 à 26 mm et de 19,18 à 22,29 mm. Alors, 70 à 78% de leur largeur se situent respectivement dans la gamme de 11,18 à 15,31mm et 10,92 à 13,75 mm. Tandis que, 73 à 83 % de l'épaisseur se trouve dans l'intervalle 5,35-8,87mm, respectivement pour les noyaux doux et les noyaux amers (Trachi, 2015).

I.5.6 Racines

La formation des racines, appelée rhizogénèse. C'est un processus qui conditionne la formation et le développement de racines chez les végétaux. Elle est conditionnée par plusieurs facteurs tels que la disponibilité en sels minéraux, en sucre, en température, en lumière et le développement foliaire (Khendoudi et *al.*, 2021).

Les racines de l'amandier puissantes et pivotantes, étant très sensibles à l'exposition à l'air, la plantation doit être réalisée immédiatement à la réception des plants.

I.6 Morphologie de l'amande

Au sens botanique, le terme amande a la valeur générale de « graine contenue dans le noyau d'une drupe qui contient une importante réserve alimentaire permettant à l'embryon de se développer » (Marouf et Reynaud, 2007). Le fruit de l'amandier (*Prunus dulcis*) est une drupe dont la partie externe (composé de l'épicarpe et de l'endocarpe) est d'abord un peu charnue et couverte d'une peau duveteuse, de couleur verte (vert gris bleuté). Le fruit vert est comestible en entier. La chair devient progressivement sèche, la partie interne de l'épicarpe, croquante et de bonne saveur chez l'amande verte devient un noyau dur et fibreux à maturité qui se détache bien de la chair (Kodad et *al.*, 2014). L'amande [*Prunus dulcis* (Miller) D.A. Webb] est une exception; la graine est la partie comestible du fruit et le mésocarpe n'est utilisé que pour l'alimentation du bétail (Mart'inez-Garc'ia et *al.*, 2014).

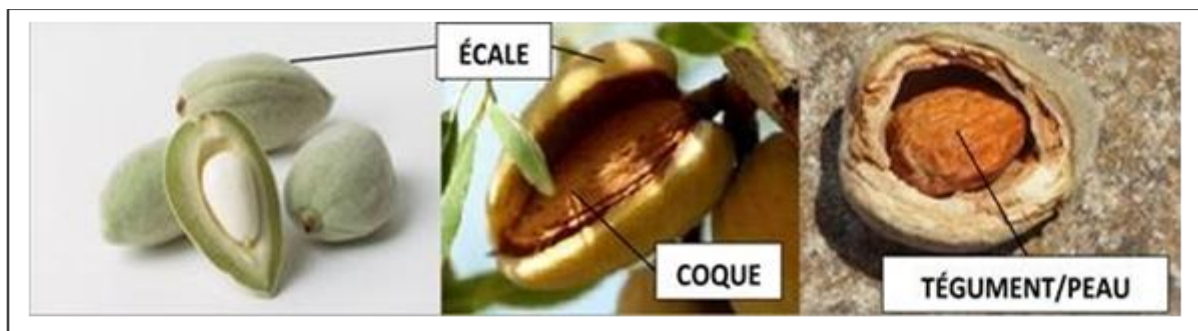


Figure 7: morphologie de l'amande Elaboration (Pinatel et Rossignol, 2017)

I.7 Caractéristiques biologiques d'amandier

I.7.1 Floraison

La floraison de l'amandier est précoce (fin d'hiver/début mars, assez proche de celle d'un pêcher ou d'un abricotier) et l'apport de ruches dans le verger (6 ruches/ha) est obligatoire pour assurer une bonne fécondation des fleurs apparaissant avant les feuilles. Souvent groupées par deux, elles atteignent un diamètre de 5 cm et ont un calice rougeâtre et une corolle blanche ou rosée. Formée de 5 pétales et renfermant de nombreuses étamines. Dans une région donnée, la floraison des amandiers est relativement fugaces, ne durent pas plus de 2 à 3 semaines (Riquet, 2021).

I.7.2 Fructification

En fin d'été, les fruits sont allongés, aplatis, duveteux, verts puis beige à maturité, de 5 cm de long, s'ouvrant pour laisser sortir un noyau ligneux, qui contient l'amande. La fructification est variable selon les années. Il existe deux types d'amandiers: ceux qui produisent des amandes douces comestibles et ceux qui donnent des amandes amères toxiques (Garnett, 2013).

L'amandier fleurit et fructifie sur 3 types de ramification: le bouquet de Mai, les brindilles et les rameaux mixtes. Le bouquet de Mai est le plus fructifère et sa durée de vie est d'environ 5 ans. L'amandier est exigeant en lumière et en chaleur pendant la phase de croissance du fruit (Bamouh, 2013).

La taille de fructification doit être légère et régulière pour permettre un renouvellement des rameaux fructifères et une production bien répartie dans l'arbre. Il faut éclaircir pour permettre une bonne pénétration de la lumière (Zabat, 2023).

Il est important d'adapter la forme et la conduite au port au mode de fructification de la variété. Le but est d'avoir un ensoleillement optimal sur toutes les parties de l'arbre afin qu'il soit équilibré avec une fructification uniformément répartie (Pinatel et Rossignol, 2017).

I.7.3 Cycle phénologique d'amandier

L'amandier est l'espèce fruitière la plus précoce à la floraison avec une durée de floraison très large (Socias i Company et Felipe, 1992; Oukabli et *al.*, 2012). Ce stade phénologique conditionne la répartition écologique des variétés notamment vis-à-vis des températures hivernales et les risques de gelée. Sa culture, initialement restreinte aux zones non gélives, a été étendue aux zones à risque en raison des conditions pédologiques et pluviométriques favorables à son développement. Sur le plan physiologique, la floraison est un stade phénologique qui intervient lorsque l'arbre a levé sa dormance qui est en rapport direct avec l'effet cumulé des basses températures. Les besoins en froid dépendent des variétés et se situent généralement entre 110 et 400 heures de température inférieures à

7°C (Tabuenca, 1972; Oukabli et *al.*, 2012). Le tableau ci-dessus représente le cycle phénologique d'amandier.

Tableau 1: Le Cycle de Vie des Amandes (Land Cover et *al.*, 2017).

Stade A : Temps de Repos	De novembre à janvier, les amandiers traversent une période d'inactivité pendant laquelle ils perdent leurs feuilles et se reposent durant les hivers frais et humides de Californie. Les sols des vergers absorbent et retiennent l'eau de pluie pour la prochaine saison de production, tandis que les arbres stockent les nutriments et l'énergie nécessaires à la récolte de l'année qui suit. À l'approche de la fin de cette période d'inactivité, les bourgeons commencent à grossir sur les branches des arbres et annoncent la floraison.
Stade B : Floraison	Entre mi-février et mi-mars, les bourgeons des amandiers s'ouvrent et forment de magnifiques fleurs de couleur blanche et rose clair. La plupart des amandiers ne sont pas auto-pollinisants : on cultive ainsi dans les vergers de nombreuses variétés d'amandes et les apiculteurs y disposent des ruches d'abeilles pour que toutes les bonnes conditions soient réunies. Alors que les arbres fleurissent, les abeilles butinent le pollen et le nectar qu'elles trouvent dans le verger. En passant d'arbre en arbre, elles pollinisent les fleurs d'amandiers sur leur chemin.
Stade C : Croissance	De mars à juin, les amandes mûrissent jusqu'à atteindre leur taille finale ; leur coque durcit et finit par se recouvrir d'une peau protectrice au toucher duveteux.
Stade D : Ouverture des Peaux	En juillet, la peau des amandes s'ouvre, laissant apparaître la coque et permettant à celle-ci ainsi qu'à
	L'amande qu'elle contient de sécher. Peu de temps avant la récolte, les peaux prennent une couleur jaune paille et s'ouvrent complètement.

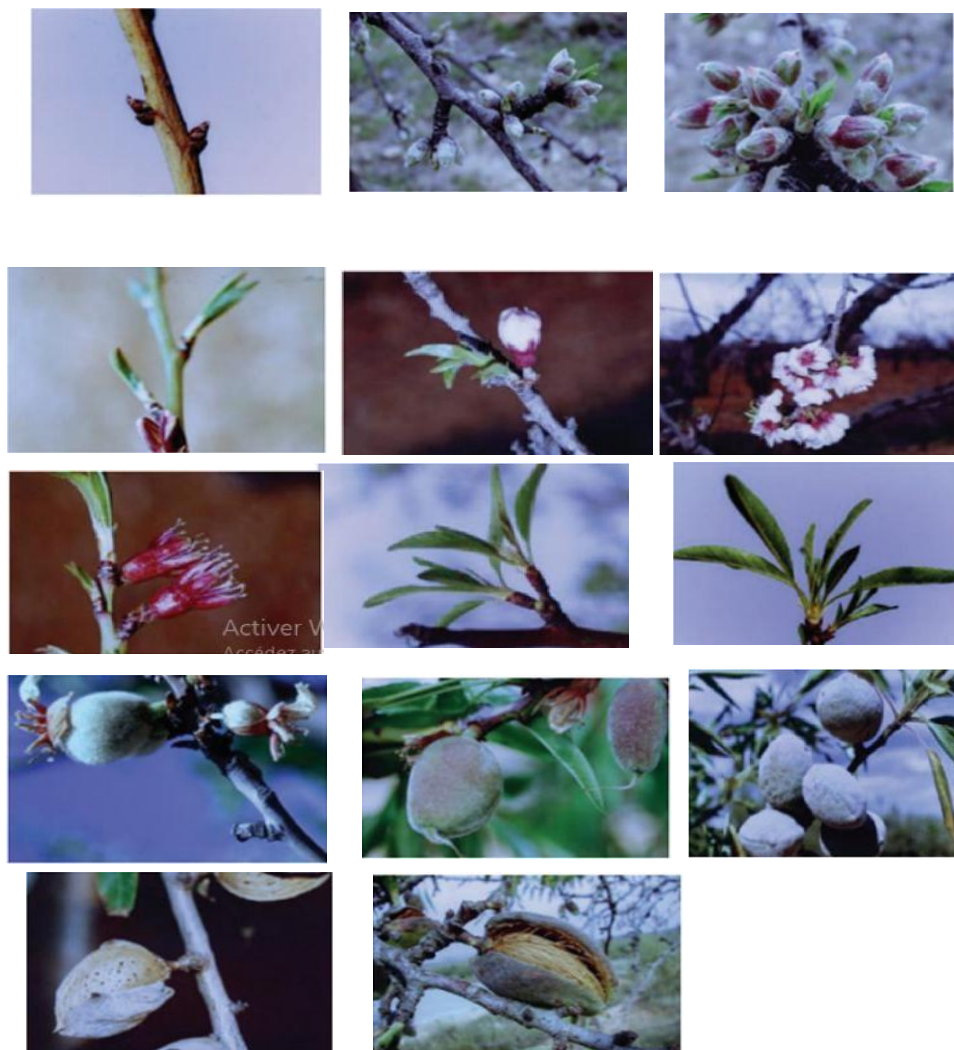


Figure 8: Stades phénologiques de l'amandier (Chastaing, 2018).

I.8 Principales variétés d'amandier

Le choix des variétés est un acte d'une très grande importance dans l'implantation d'un verger d'amandier. Bien que le potentiel de rendement soit essentiel dans le choix des variétés, il peut différer selon l'année, les conditions édaphiques, les conditions de pollinisation, et les techniques culturales. Toutefois, certaines variétés alternent plus que d'autres.

Les caractères variétaux, périodes de floraison et maturité, productivité, sensibilité aux maladies et aux insectes, facilité de récolte, qualité de l'amandon et aptitudes à la

commercialisation sont à prendre en compte dans le choix de la variété (Pinatel et Rossignol, 2017).

Les variétés de l'Amandier sont innombrables. Cela provient de la multiplication par semis encore très répandue et du croisement entre variétés qui est d'une extrême facilité (Evreïnoff, 1952).

I.8.1 Principales variétés présentes en Algérie

Les variétés les plus importantes présentes en Algérie sont:

Nonpareil, Drake, nec plus ultra, nougat, Ferraduel, burlesque, shami-furk (Belabed, 2017).

I.8.2 Description de quelques variétés dans le monde

Selon Riquet (2021), les variétés d'amande les plus connues au monde sont:

Ferragnès: variété principale du verger français. Coque demi-tendre. Production élevée et régulière car peu sensible à l'alternance mais sensible à certaines maladies comme le chancre à *Fusicoccum amygdali*.

Ferraduel: pollinisateur traditionnel de Ferragnès. Coque dure. Variété intéressante mais déconseillée pour la vente directe en coque.

Lauranne: variété auto-fertile qui est devenue progressivement le pollinisateur de Ferragnès, prenant ainsi la place de Ferraduel. Fort potentiel de production, amandes de petit calibre à coque tendre.

Ferrastar: pollinisateur de Ferragnès, cette variété résiste bien à certaines maladies mais sa production est irrégulière. Elle est envisageable sur des petites superficies pour une vente directe.

Mandaline: variété récente auto-fertile créée par l'INRA, Pollinisateur de Ferragnès, Fort potentiel de production.

I.9 Le porte-greffe

Les caractères de vigueur, tolérance aux maladies telluriques, à la sécheresse ou au calcaire actif sont à prendre en compte dans le choix du porte-greffe (Pinatel et Rossignol, 2017).

Le porte-greffe détermine la résistance à l'humidité ou à la sécheresse ou encore la résistance au calcaire actif. Selon Riquet (2021), ce sont les suivants:

GF 677:INRA Amandier x Pêcher. Le plus vigoureux, résiste à la chlorose dans des sols très calcaires, sensible à l'asphyxie racinaire. C'est l'assurance d'une bonne vigueur des arbres et d'une meilleure régularité de rendement.

GF 8-1 Mariana:INRA. Vigoureux, une certaine résistance au pourridié et à l'asphyxie racinaire. Adapté aux sols calcaires. Incompatible avec certaines variétés d'amandiers qui nécessitent l'utilisation d'un « intermédiaire », sensible à la sécheresse.

Cadaman Avimag (cov): Hybride Pêcher x Pêcher / Amandier. Sensiblement moins vigoureux, et moins sensible à l'asphyxie racinaire, il est d'une bonne productivité et d'une mise à fruits assez rapide.

Ishtara Ferciana (cov):Prunier x Pêcher. Tolérant au pourridié, convient dans des sols filtrants sans calcaire, très sensible à l'asphyxie racinaire.

Julior Ferdor (cov):Prunier. Vigoureux, résistant à l'asphyxie racinaire, n'aime pas les terrains trop alcalins.

I.10 De la récolte à la vente

I.10.1 Récolte

La récolte des amandes vertes n'est pas mécanisable. On cueille les fruits à la main, au mois de juin, avant que la coque ne durcisse (période de 8 à 10 jours). On les détache par torsion pour éviter de blesser le rameau. Le rendement de cueille varie entre 15 et 20 kg à l'heure

(Grasselly et Duval, 1997). L'amande verte ne se conserve pas longtemps (3 à 4 semaines) et se récolte en fonction de la demande (Pinatel et Rossignol, 2017).

Les même auteurs rajoute que la récolte des fruits à maturité (en sec) est mécanisable. Elle s'effectue lorsque le fruit « baille » c'est-à-dire que la gove est ouverte et la coque visible. On dispose de 12 à 15 jours pour réaliser l'opération dans de bonnes conditions. Il peut y avoir un mois de décalage entre les variétés précoces et les tardives. A maturité, éviter d'attendre, car les vents violents et les fortes pluies peuvent faire chuter les fruits.

I.10.2 Outils de récolte

I.10.2.1 La pince vibrante / corole

La pince vibrante est une combinaison de trois outils fixés sur le tracteur. La pince permet de vibrer les troncs. Une corolle se déploie, récupère les amandes et les transfère dans une trémie intégrée (autonomie de 300 à 350 kg). Une égoveuse (ou écaleuse) sépare les goves des coques. Cette opération peut être intégrée à l'outil de récolte ou réalisée séparément. Une seule personne suffit pour conduire le chantier. La corolle s'adapte à des distances de plantation relativement serrées (6 x 4.5 m voire 6 x 4 m). Elle permet de récolter 0.8 à 1 ha par jour et 1.2 ha si la machine est équipée d'une double écaleuse (Pinatel et Rossignol, 2017).



Figure9: une corole (Pinatel et Rossignol, 2017)

I.10.2.2 La pince vibrante/remorque tapis

La pince vibrante sont deux automotrices qui se positionnent de chaque côté de l'arbre. La première est équipée d'une pince vibrante et d'un plan incliné et transporte les fruits jusqu'au pallox situé à l'arrière qui dirige les amandes vers un tapis roulant central. Ce tapis est porté par la seconde automotrice. Le chantier mobilise trois personnes. Il est adapté aux différentes distances de plantation du gobelet.

Le temps de récolte est de 45 secondes par arbre, soit 2 hectares par jour pour un verger planté à 6 x 5m (333 arbres/ha). Le coût est plus élevé que celui de la corole car l'investissement initial et le nombre de personnes mobilisées sont supérieurs (Pinatel et Rossignol, 2017).



Figure10: remorque tapis (Pinatel et Rossignol, 2017).

I.10.2.3 La pince vibrante/bâche-tapis

Une automotrice assure le déroulement et l'enroulement d'une bâche au sol par 2 satellites montés sur roues (ils remplacent les personnes qui déplaient et ramenaient la bâche). Les arbres sont vibrés par une pince indépendante qui avance sur la bâche. Les fruits sont ensuite récupérés sur un tapis roulant et envoyés sur un pallox placé à l'arrière.

Trois personnes participent au chantier. Ce matériel est adapté à toutes les distances de plantation, y compris des arbres à 3 m sur le rang, car la largeur de la bâche est réglable, ce qui ouvre des perspectives pour des formes aplaties et denses. Les branches basses qui

augmentent le potentiel de rendement ne sont pas un obstacle. Le temps de récolte est inférieur à 40 secondes par arbre, soit un peu plus de 2 ha par jour pour un verger à 6 x 5 m.

Le coût sera également plus élevé que la corolle de par l'investissement de base et le nombre de personnes nécessaires.



Figure 11: bâche-tapis (Pinatel et Rossignol, 2017).

I.10.3 Conservation

L'amande peut être conservé 7 à 8 mois à la température ambiante et à une hygrométrie relative inférieure à 70 %, pour des conservations qui dépassent 2 ans, les qualités intrinsèques des amandes peuvent être maintenues si les fruits sont emmagasinés à 0°C et 75 % d'humidité relative (Walali et *al.*, 2003).

I.10.4 Valorisation

I.10.4.1 Propriétés médicinales

La consommation d'amandes douces aurait un effet calmant sur les douleurs et aigreurs d'estomac par le film lipidique qui se dépose sur la muqueuse et qui pourrait limiter un peu les effets irritants des sécrétions (acide chlorhydrique et pepsine).

En pharmacie, l'huile d'amandes entre dans la composition d'émulsions et de « loochs »:

émulsion rendue plus consistante à l'aide d'un mucilage (Tonolli et Gallouin, 2013).

I.10.4.2 Consommation en frais

Les bienfaits de l'amande sont très nombreux pour la santé, dans la mesure où l'amande regorge de qualités nutritionnelles, Mais il faut les manger fraîches ou séchées naturellement car grillées, salées, fumées ou rôties à l'huile, elles sont moins intéressantes sur le plan nutritionnel (Lafaurie, 2019).



Figure 12: amande séché, Anonyme2022.

I.10.4.3 Utilisations industrielles

Les amandes sont considérées comme un aliment précieux dans le monde. Elles sont appliquées dans l'industrie alimentaire, pharmaceutique, et cosmétique. Elles sont utilisées aussi pour diminuer le risque des maladies cardiovasculaires (Moayedi et *al.*, 2011).

I.11 Exigences d'amandier

I.11.1 Climat

L'amandier s'adapte bien aux conditions méditerranéennes sèches et présente une bonne opportunité de valorisation des terrains marginaux. En plus de son intérêt économique incontestable, l'amandier est d'un intérêt reconnu dans la mise en valeur des écosystèmes fragiles en matière de fixation des sols et d'embellissement du paysage (Walali et *al.*, 2003).

I.11.1.1 Sensibilité au gel:

Durant la période de repos végétatif, l'amandier peut résister à des températures très basses, jusqu'à -15 à -20°C.

En période végétative, l'amandier est très sensible au gel. Ce paramètre est le principal facteur limitant de la production d'amande.

On admet que les risques de gel sont à craindre à partir de:

- -3,3°C au stade bourgeon.
- -2 à -3°C à la fleur.
- -1.1°C au stade jeune fruit.

Les dégâts occasionnés sont fonction de la durée du gel, de la position des bourgeons, fleurs ou fruits sur l'arbre (les organes situés au sommet ayant moins de risque d'être atteints par le gel), de l'état physiologique de l'arbre (Pinatel et Rossignol, 2017).

I.11.1.2 Sensibilité aux excès d'eau:

L'amandier est également très sensible à l'asphyxie racinaire. L'analyse du profil du sol et le choix de la porte greffe, voire la mise en place de fossés et drains, sont donc des dispositions nécessaires à prendre lors de l'implantation d'un verger.

Dans certains sols, s'il y a une accumulation d'eau importante (sols très argileux ou présence de nappe perchée), les aménagements ne suffiront pas. Dans ce cas, il paraît plus raisonnable de ne pas planter d'amandiers (Pinatel et Rossignol, 2017).

I.11.1.3 Besoins en froid:

L'amandier est une espèce relativement résistante au froid, elle nécessite de basses températures hivernales pour la levée de la dormance (200 à 400 heures en dessous de 7.2°C), sa floraison étant précoce (Décembre à Mars) (Walali et *al.*, 2003).

I.11.1.4 Besoins en lumière:

L'amandier est exigeant en lumière et en chaleur pendant la phase de croissance du fruit, Il redoute aussi la forte hygrométrie dans les phases de floraison et croissance du fruit (Walali et *al.*, 2003). Les parties trop à l'ombre s'étioilent et se dessèchent. La malformation des fleurs et un faible taux de fructification sont la conséquence d'un manque de lumière (Pinatel et Rossignol, 2017).

I.11.2 Exigences écologiques de l'amandier

L'amandier est un arbre relativement rustique qui peut se développer sous des climats assez variés. L'amandier a besoin de froid pour fleurir au printemps et pour débourrer. Cette espèce originaire du Moyen orient et d'Asie Centrale a un besoin de lumière important.

Il donne les meilleurs rendements dans des sols profonds, fertiles, bien drainés, et exempt de sels nocifs. Cependant, avec l'utilisation des systèmes d'irrigation de bas volume un verger d'amandier peut bien produire dans les sols peu profonds. Les apports d'eau et les amendements permettent aux producteurs de reprendre des sols salins et alcalins, considérés marginaux et non productifs.

L'amandier est tolérant au calcaire actif. C'est une espèce résistante à la chlorose grâce à sa grande capacité d'extraire le fer (Si Bennasseur, 2015).

I.11.3 Sol

L'amandier s'adapte bien aux conditions méditerranéennes sèches et présente une bonne opportunité de valorisation des terrains marginaux. En plus de son intérêt économique incontestable, l'amandier est d'un intérêt reconnu dans la mise en valeur des écosystèmes fragiles en matière de fixation des sols et d'embellissement du paysage (Walali et *al.*, 2003).

I.12 Soins cultureux

Walali et *al.*, (2003), proposer les façons culturales essentielles qui sont:

- Taille de formation et de fructification.
- Gestion d'enherbement des interlignes.
- Gestion de la floraison/nouaison.
- Lutte contre les ravageurs et maladies.
- Irrigations fertilisations régulières.
- Récolte.

I.12.1 Plantation

I.12.1.1 Date de plantation

Les plantations de Novembre-Décembre sont généralement plus réussies que celles de Janvier-Février. Lorsque les arbres sont plantés en Novembre-Décembre, les températures ambiantes sont basses ce qui empêche la croissance des bourgeons des feuilles. Ceci donne le temps au développement de nouvelles racines avant que les bourgeons des feuilles commencent à se développer (Si Bennasseur, 2015).

I.12.1.2 Profondeur de plantation

Le trou de plantation doit être juste assez grand pour recevoir les racines sans que celles-ci soient pliées ou serrées.

La règle la plus sûre dans des conditions ordinaires c'est que les jeunes plants soient placés à la même profondeur qu'ils se sont développés dans la pépinière.

Pour permettre le bon contact sol-racines de l'amandier, on doit affermir le sol sous et autour des racines avec ses doigts. L'utilisation des chaussures pour affermir le sol autour des racines est déconseillée, car ceci peut blesser les racines et le tronc. Rappelons que les dommages peuvent mener aux infections des blessures de couronne (Si Bennasseur, 2015).

I.12.1.3 Densité de plantation

Dans le raisonnement de la densité de plantation, nous devons tenir compte des conditions édaphoclimatiques, de la nature du matériel végétal, et des contraintes culturales. On adoptera une densité faible (plus de 50 m² /arbre) sur des sols peu profonds et en absence d'irrigation, et on peut l'augmenter si on irrigue (Si Bennasseur, 2015).

I.12.1.4 Règles à suivre pour une bonne plantation:

Pinatel et Rossignol (2017), proposer ces règles pour une bonne plantation:

- La plantation de l'amandier doit se dérouler de préférence entre mi-Novembre et fin Février.
- Il faut veiller à limiter les contaminations potentielles du précédent cultural en éliminant les résidus de la culture précédente.
- La situation de la parcelle, la vigueur du couple variété/porte-greffe, la fertilité du sol, les contraintes culturales et de récolte sont des paramètres à prendre en compte dans le choix de la densité de plantation.
- La plantation des arbres en quinconce présente plusieurs avantages.

- Pour être sûr d'avoir des plants l'année de la plantation il faut les réserver en avance.
- Pour amortir les coûts de mécanisation il est conseillé de planter au minimum 5 ha.

I.12.1.5 Entretien régulier

Afin d'optimiser la production on doit contrôler la concurrence des mauvaises herbes pour l'eau et les éléments nutritifs. Le désherbage sur le rang et l'enherbement entre les rangs est couramment utilisé. Il peut être effectué chimiquement ou mécaniquement (Belaid., 2016).

En cas de précédent cultural de type vigne, arbres fruitiers, friches... un labour permettra d'extraire les anciennes racines afin de limiter la propagation de champignons pathogènes, notamment le pourridié auquel l'arbre est très sensible (Pinatel et Rossignol, 2017).

Les mêmes auteurs ajoutent que en sols tassés, il est préconisé de réaliser un sous-solage croisé à 50-60 cm en fin d'été-début d'automne, après les pluies et ressuyage. Ce travail aère le sol et le proche sous-sol et favorise la circulation de l'eau.

Si le sol est très compacté avec des risques d'asphyxie racinaire, il vaut mieux différer d'une année la plantation et réaliser sur la parcelle, un semis de luzerne ou de sorgho du fourrager qui va permettre, par son enracinement profond (jusqu'à deux mètres de profondeur), un décompactage des différents horizons (Pinatel et Rossignol, 2017).

I.12.1.6 Irrigation

Les besoins en eau de l'amandier sont de 800 à 850 mm/an, les apports sont recommandés durant Mai-Juin- Juillet, mois pendant lesquels les besoins en eau sont maximum.

Avec 3 à 4 irrigations d'Avril à Juin de 600-800 m³/ha chacune, les rendements peuvent être doublés. L'irrigation localisée à la goutte à goutte peut être envisagée sur l'amandier (Walali et *al.*, 2003).

Quel que soit le système choisi (gravitaire, aspersion sous frondaison ou goutte-à-goutte), il faut pouvoir irriguer dès la première année et donc ne pas différer cet investissement (Pinatel et Rossignol, 2017).

I.12.1.7 Fertilisation

Les résultats d'une analyse de sol seront la base de réflexion d'un programme de fertilisation raisonnée (Zabat, 2023).

- L'analyse sera renouvelée tous les 5 ans et le plan de fumure modifié si besoin. La fumure doit permettre de satisfaire l'ensemble des besoins.
- Le fractionnement des apports est la clé pour réaliser une bonne fertilisation.
- La fertilisation peut se faire par:
 - un premier apport d'engrais au sol en février, environ un mois avant floraison, avec un engrais complet (minéral ou organique).
 - un deuxième apport à la nouaison et un troisième pendant le grossissement du fruit avec des spécialités commerciales riches en azote et potasse (Zabat, 2023).

La fertilisation au moment de plantation n'est pas recommandée, puisque le plant contient assez d'aliments pour la croissance des pousses et des racines initiales. L'application de l'azote devrait être retardée jusqu'à ce que les pousses soient environ 10 à 15 cm de longueur (Si Bennasseur, 2015).

Tableau 2: Les besoins et les apports de fertilisants de l'amandier (Rdt=Rendement) (Si Bennasseur, 2015).

	Exportations (kg/ha)		immobilisation (bois et charpente) (kg/ha)	Besoins totaux (kg/ha)		Apport Kg/ha	
	Rdt 1 t/ha	Rdt 4 t/ha	kg/ha	Rdt 1 t/ha	Rdt 4 t/ha	Rdt 1 t/ha	Rdt 4 t/ha

Azote	10-20	40-80	40	50	100	30	90
Phosphore	1,5-2,5	6-10	6	18	37	20	50
Potassium	13-15	52-60	30	55	108	40	100
Calcium	1,5-2,5	6-10	30	45	56	-	-
Magnésium	0,8-1,0	3,2-4,0	4	8	14	20	50
Fer	0,4-0,6	1,6-2,4	1,5	-	-	Si sol basique	
Manganèse	0,04-	0,16-	0,5	-	-	Si sol basique	
	0,006	0,24					
Zinc	0,1-0,3	0,4-0,12	0,8	-	-	oui	

I.12.1.8 Fumure

A adapter en fonction des résultats d'analyse. On peut apporter un engrais organique (partiellement enfoui ou non selon la nature de celui-ci) qui activera la vie du sol et libérera des éléments nutritifs toute la saison. Les deux éléments les plus importants sont l'azote qui stimule la pousse et donne de la vigueur et le phosphore qui favorise le développement racinaire.

Si la matière organique est suffisante, des apports minéraux solides peuvent être réalisés en dispersant bien l'engrais au pied des arbres pour ne pas brûler les racines (Zabat, 2023).

L'équilibre à respecter pour une amanderaie adulte est le suivant: N = 1; P 205 = 0,3 et K20 = 1 à 1,2. Si l'amanderaie est conduite en bour (200 à 280 arbres/ha), apporter 80 à 90 unités d'N dont 60 un mois avant la floraison et 20 à 30 à la nouaison; P205 = 30-35 unités et K 20 = 80-100 unités en localisation de surface en Décembre-Janvier(Bamouh ,2013).

Et selon le même auteur, Pour une amanderaie adulte conduite en irrigation (300-400 arbres/ha), apporter: 100 à 120 unités d'N dont 50-60 un mois avant floraison; 25-30 à la nouaison et 25-30 au grossissement du fruit; P205 = 40-45 unités et K 20 = 120-140 unités en localisation de surface et enfouissement par discage en Décembre-Janvier

I.12.1.9 Engrais

Pinatel et Rossignol (2017), classe les engrais en trois catégories:

- Les amendements organiques (NFU 44 051) sont d'origine végétale (compost...) ou végétale et animale (fumier...). Ils ont une faible teneur en éléments fertilisants.

Aucun des 3 éléments majeurs, N, P₂O₅ et K₂O, n'est supérieur à 3% de la matière brute et la somme de ces éléments N+P₂O₅+K₂O est inférieure à 7% de la matière brute. Leur incorporation dans le sol permet, selon les conditions, la libération d'éléments fertilisants mais l'effet recherché est surtout l'amélioration des propriétés agronomiques du sol.

- Les engrais organiques (NFU 42 001), d'origine animale et/ou végétale, doivent contenir au moins un des éléments majeurs 3 % ou le total N+P₂O₅+K₂O $\geq$ 7%.
- Les engrais organo- minéraux (NFU 42 001), contiennent des matières fertilisantes d'origine organique (animale et/ou végétale) ainsi que des fertilisants minéraux. Ils doivent contenir au minimum 1% d'azote organique.

Les engrais organiques et organo-minéraux ont peu d'influence sur les qualités agronomiques du sol du fait de leur minéralisation rapide.

I.13 Multiplication

Les amandes récoltées en juillet-Août sont conservées dans un local frais et sec jusqu'à leur stratification en Décembre. Cette opération consiste à entreposer les graines dans du sable humide à 4-5 C pendant 45-60 jours, ce qui permet de lever la dormance et hâter la germination des amandes. En Juillet-Août de l'année suivante, les graines sont greffées à œil dormant et les plants peuvent être livrés en Décembre-Janvier pour la plantation (Bamouh, 2013)

I.13.1 Semis

Précédant le semis on a intérêt à stratifier les amandes en novembre-décembre, en laisse radicule et tigelle se développer quelque centimètre dans le récipient de stratification et sans passer par le semis on repique directement en pépinière en février-mars sous

châssis froid ou en pleine terre selon la saison ou la latitude, on peut éviter la stratification en brisant la coque de l'amande.

Dans les terres peu profondes, de mauvaise constitution, on peut semer directement en place en mettant 3 à 4 amandes la pointe en bas dans un poquet; en cours de végétation on supprime les plantes inutiles et on conserve la plus vigoureuse (Bretaudeau et Fauré, 1991).

I.13.2 Greffage

On emploie la greffe en écusson à œil dormant, du 15 août à courant septembre. En Algérie on préconise la greffe en écusson à œil poussant en mai.

Pour les semis en place, on peut greffer en fente au printemps, en pied ou en tête, ainsi qu'en flûte (Bretaudeau et Fauré, 1991).

I.13.3 Désherbage

A la plantation, si le sol présente un profil homogène, un labour de défoncement d'une profondeur de 40-60 cm est suffisant pour améliorer la perméabilité du sol et son aération.

Dans le cas de profils hétérogènes (croûte calcaire ou couche imperméable en profondeur), un sous-solage sans retournement du sol est préférable (fissuration du sol et meilleure pénétration et développement des racines). Dans un verger en production et en culture à sec, 2 à 3 passages annuels du disque ou d'instruments à dents de préférence, permet de maintenir le terrain propre. Un traitement au gramoxome (paraquat) au cours du dernier disage élimine les mauvaises herbes (Bamouh, 2013).

I.13.4 Taille

La taille doit favoriser son renouvellement. Cette taille est effectuée en Novembre-Décembre avant le débourrement des bourgeons. Elle consiste à éliminer le bois mort, les rameaux atteints de diverses nécroses, les gourmands improductifs et à dégager les

prolongements pour laisser pénétrer la lumière à l'intérieur de la frondaison. Quinze à vingt minutes suffisent pour tailler un arbre adulte (Bamouh, 2013).

I.13.5 Pollinisation

La pollinisation croisée est indispensable en amandier pour les variétés auto-incompatibles

(Ferragnès, Ferraduel...) qui ont besoin du pollen d'une autre variété et d'abeilles pour le transporter.

C'est également vrai pour les variétés autofertiles (Lauranne, Mandaline...) qui peuvent être plantées seules en verger, mais qui ont tout de même besoin des abeilles. Dans tous les cas, l'amandier doit être fortement pollinisé (Pinatel et Rossignol, 2017).

Il faut introduire les ruches dans le verger dès les premières fleurs. Sur des zones très fraîches à cette période, il peut être intéressant d'utiliser des bourdons qui peuvent poloniser même à faible température (Zabat, 2023).



Figure 13: Pollinisation d'amande (original, 2022).

I.14 L'Amandier et l'altitude

Arbre de coteaux par prédilection, l'Amandier présente ses formes spontanées uniquement à une certaine altitude, parfois même assez élevée.

En Afrique du Nord, notamment dans l'Oranie, la culture peut être entreprise avec succès jusqu'à 800 m d'altitude sur le versant S des montagnes mais il est recommandé de ne pas dépasser 400 m sur le versant N.

Ces limites constituent une règle générale, mais on peut voir en Oranie notamment, des plantations, situées aux environs de 1 000 m d'altitude sur le versant S, donner de bons résultats (Evreïnoff, 1952).

I.15 Maladies d'amandier

Tableau 3: les maladies d'amande (Si Bennasseur, 2015); (Pinatel et Rossignol, 2017).

Maladie	Symptômes	Méthode de lutte
Cloque	Attaque le feuillage et cause la boursofflure du limbe.	17. Traitez à l'aide de spécialités à base du Zirame 76% ou Thirame 80%.
Maladie criblée	Apparition de ponctuations rondes sur le feuillage, les fruits et les rameaux.	18. Eliminez les rameaux présentant des chancres avant et après l'hiver. 19. Evitez les arrosages par aspersion. 20. Traitez chimiquement en même temps que pour la cloque.
Monilia	Dessèchement des fleurs et des rameaux.	• Collectez les fruits ainsi que les rameaux malades pour les brûler. • Utilisez des produits à base de cuivre en automne à la chute des feuilles. • Protégez le verger au moyen de fongicides de synthèse à base de Thiophanate.
Verticilliose	Flétrissement des feuilles et des rameaux et parfois de tout l'arbre.	Evitez de planter l'amandier dans des parcelles ayant eu des solanées maraîchers comme l'aubergine, la tomate, ou la pomme de terre, le melon et la
		luzerne. Modérez la fumure azotée et l'irrigation pour éviter une croissance excessive.

le Fusicoccum	Dessèchement des rameaux et des bouquets de mai, avec chancres brunâtres. Les symptômes peuvent être confondus avec ceux du monilia. Le prélèvement et la mise en germination de rameaux (15 jours entourés d'un papier humidifié) permettent de préciser le diagnostic : sortie de fructifications cireuses blanches dans le cas de Fusicoccum et de coussinets gris pour le monilia.	• Lutte conjointe avec le monilia sur la période de floraison des stades D à G. En cas de symptômes ou de variété sensible, choisir les produits plus efficaces sur Fusicoccum et prévoir une intervention à la chute des feuilles. • On supprime les rameaux atteints dès le début des attaques. Le cuivre hivernal n'a, par contre, que très peu d'efficacité.
Polystigma ochraceum la maladie des taches rouges ou « mancha ocre », provoquée par le champignon <i>Polystigma ochraceum</i> .	On ne le trouve qu'autour de la Méditerranée. La maladie se manifeste sur les feuilles par des taches assez larges, de 1 à 2 cm de diamètre, de forme variable et de couleur d'abord jaunâtre puis brun orangé. L'infection due au champignon perturbe le potentiel photosynthétique de l'arbre, limitant son développement végétatif. Dans le cas de fortes attaques, une défoliation précoce peut survenir en été.	En général, la protection assurée contre la tavelure durant les mois d'avril et mai permet de contrôler la maladie, en tout cas de limiter son développement à un niveau acceptable. Le broyage des feuilles tombées au sol en automne permet de réduire la source d'inoculum.

I.16 PRINCIPAUX RAVAGEURS D'AMANDIER

I.16.1 *Eurytoma amygdali*, la guêpe d'amande

L'insecte *Eurytoma amygdali* peut entraîner de très grosses pertes de rendement. Deux interventions avec des insecticides spécifiques sont indispensables chaque année contre ce ravageur (Pinatel et Rossignol, 2017).

Symptômes: pique des fruits avec développement d'une larve à l'intérieur l'amande. Les fruits parasités restent sur l'arbre.

Lutte: des pièges cages peuvent être fabriqués (voir photo). Remplis d'amandes parasitées et placés en hiver dans le verger, ils permettent de positionner avec précision la première intervention dès l'observation des premiers adultes.

En cas de verger attaqués, la prophylaxie est indispensable pour baisser la pression du ravageur. Les fruits atteints restés dans l'arbre doivent être récoltés en hiver et détruits avant l'émergence des adultes.



Figure 14: La guêpe de l'amande *Eurytoma amygdali* (Jean-Philippe, 2016)

I.16.2 Pucerons

Symptômes: déformations de pousses, dessèchement de rameaux, fumagine...

Lutte: l'intervention avec des huiles blanches au stade B-C permet le plus souvent d'éviter la présence de foyers tôt en saison. La surveillance du verger est nécessaire pour

repérer d'éventuels foyers. La présence d'auxiliaires permet une bonne régulation avant la migration des pucerons (sur le collet des arbres pour le puceron noir, ou sur d'autres plantes hôtes pour le puceron farineux ou le puceron vert) (Pinatel et Rossignol, 2017).

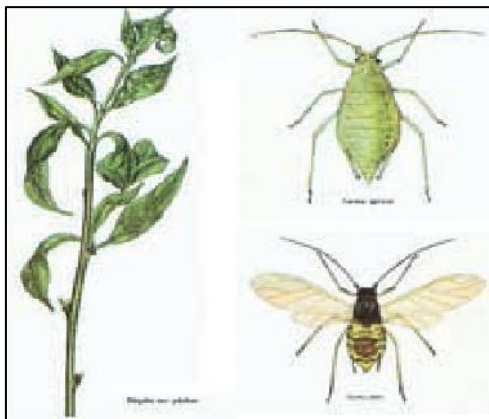


Figure 15: Puceron (Benazoun, 2001).

I.16.3 Ravageurs occasionnels

Pinatel et Rossignol (2017), estime que Ravageurs occasionnels nécessitent pas d'intervention régulière, sauf en cas de présence importante.

Les principaux ravageurs que l'on peut rencontrer occasionnellement en verger d'amandier sont:

- Chenilles mineuses des pousses en jeunes vergers (petite mineuse, ou anarsia, et tordeuse orientale)
- Larves mangeuses de bois: capnodes (surtout en verger non irrigué) et cossus (surtout sur les arbres à tronc abimé ou avec chancre)
- Scolytes (sur des arbres affaiblis ou mal irrigués)
- Acariens rouges (surtout en cas de mauvaise gestion de la lutte phytosanitaire avec des interventions trop fréquentes)
- Cicadelle bubale ou cicadelle verte (surtout en jeune verger)

- Oiseaux (dégâts sur fruits)
- Mammifères: sangliers, chevreuils et écureuils.

Chapitre II.

Graine et la germination

II.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.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 cotyledons (figure 16), 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).

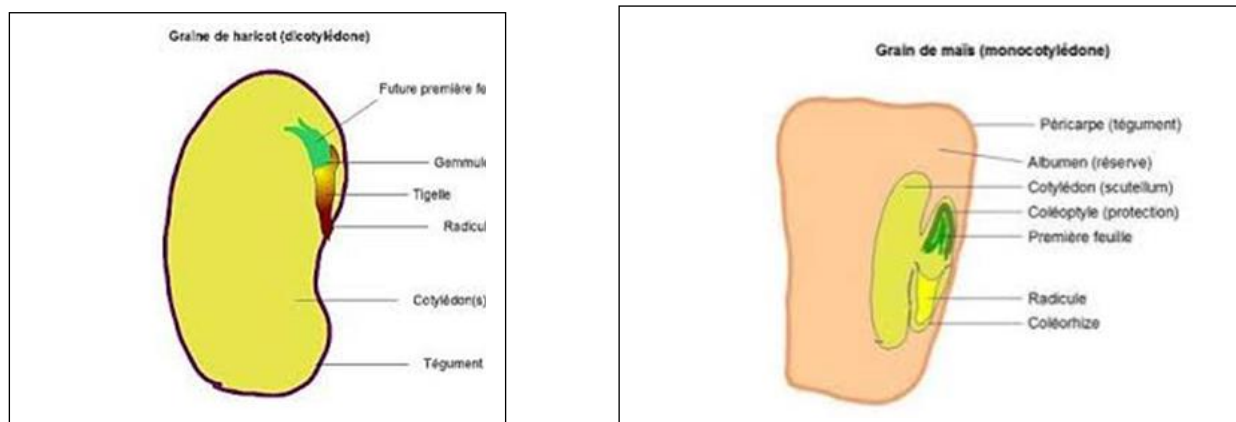


Figure 16 : A : graine dicotylédone B : graine monocotylédone

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.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, péricarpe 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. (Ruffié, 1986).

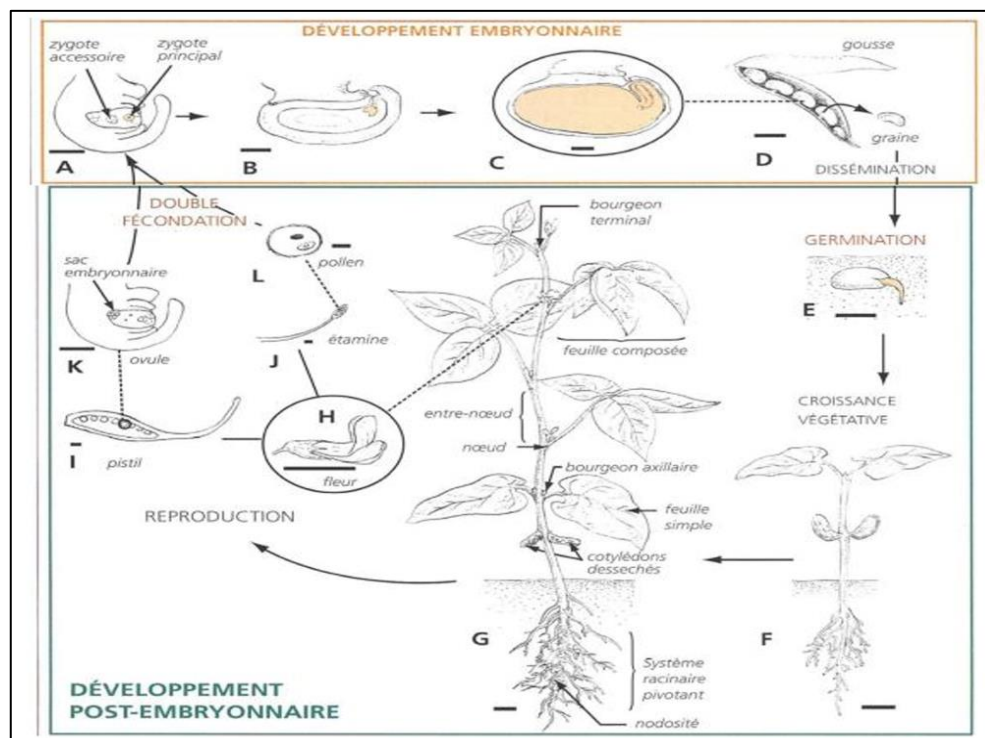


Figure 17: la formation de la graine

II.4 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 radicule, la première racine de la future plante.(BOUZID, 2022)

II.5 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 radicule, 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).

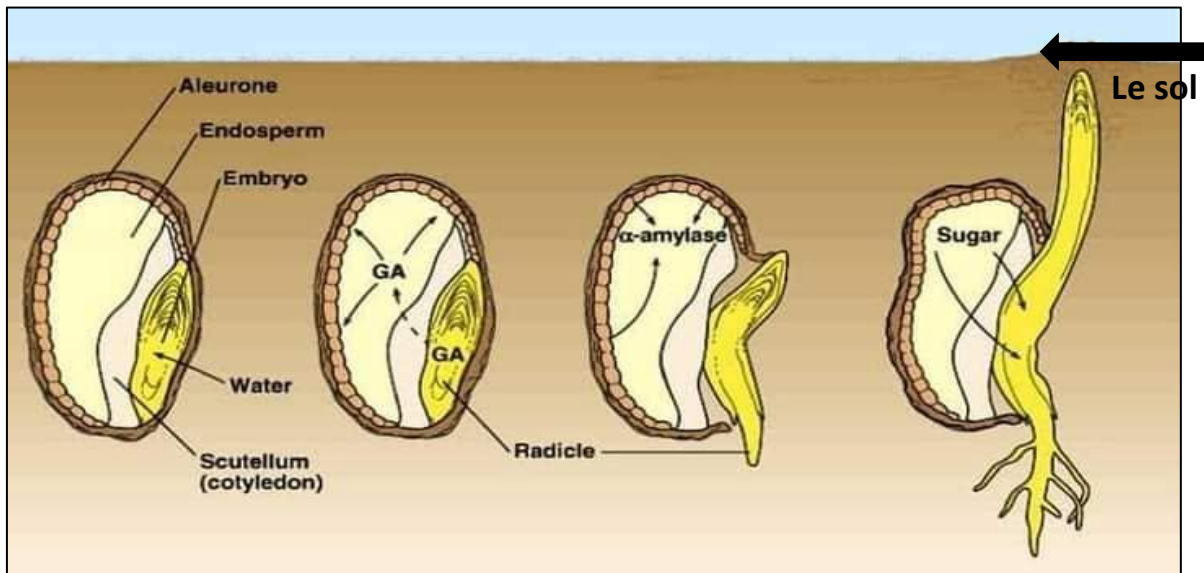


Figure 18: la germination de la graine

II.6 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:

II.6.1 Graines à péricarpe

- L'albumen est peu développé.
- La réserve principale est assurée par le péricarpe, tissu issu du nucelle qui n'a pas été digéré.
- Le nucelle disparaît.
- L'albumen est bien développé et constitue la réserve.
- Les cotylédons sont fins.
- Exemple: les caryopses des céréales.

II.6.2 Graines exalbuminées

- Le nucelle est digéré par l'albumen.
- L'albumen 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).

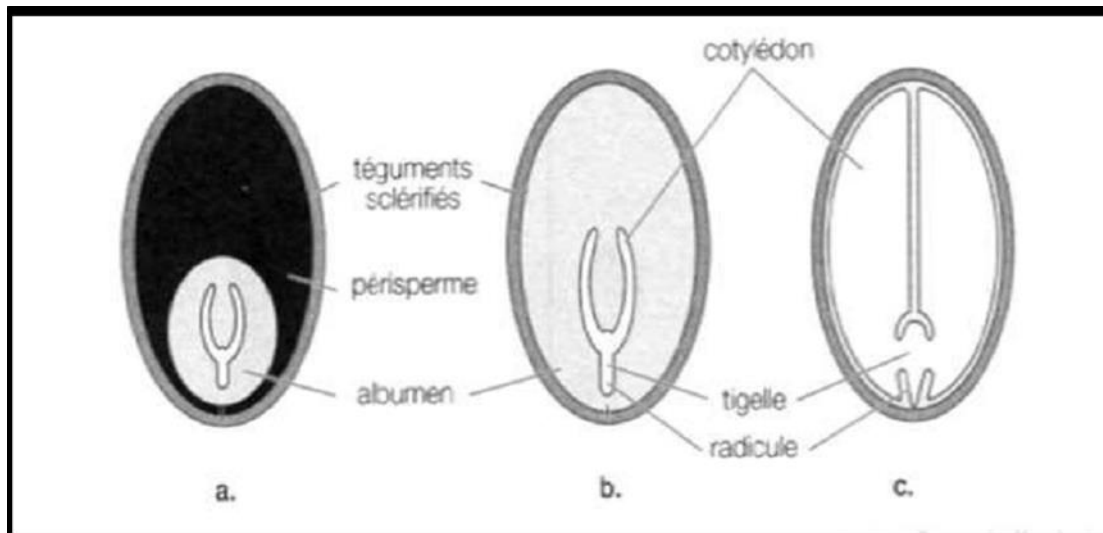


Figure 19: a. graine à périsperme, b. graine albuminée, c. graine ex albuminée (CROSAZ, Y. 1995)

II.7 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, le coléoptile, commence à croître vers le haut, en direction

de la surface du sol. Le 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 le 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 du 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 le 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

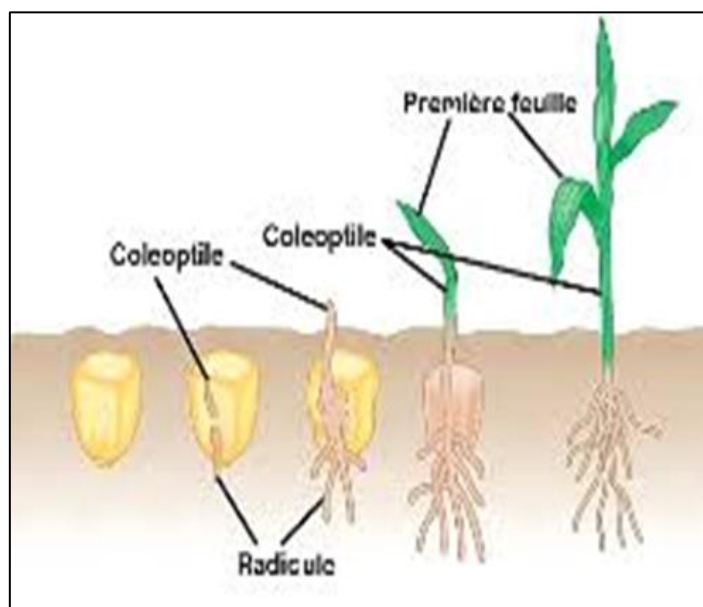


Figure 20: Germination de graine

II.8 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 22), 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.9 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.10 Les étapes de la germination

La germination se divise en trois phases successives (figure 21): la phase d'imbibition, la phase de germination stricto sensu et la phase de croissance.

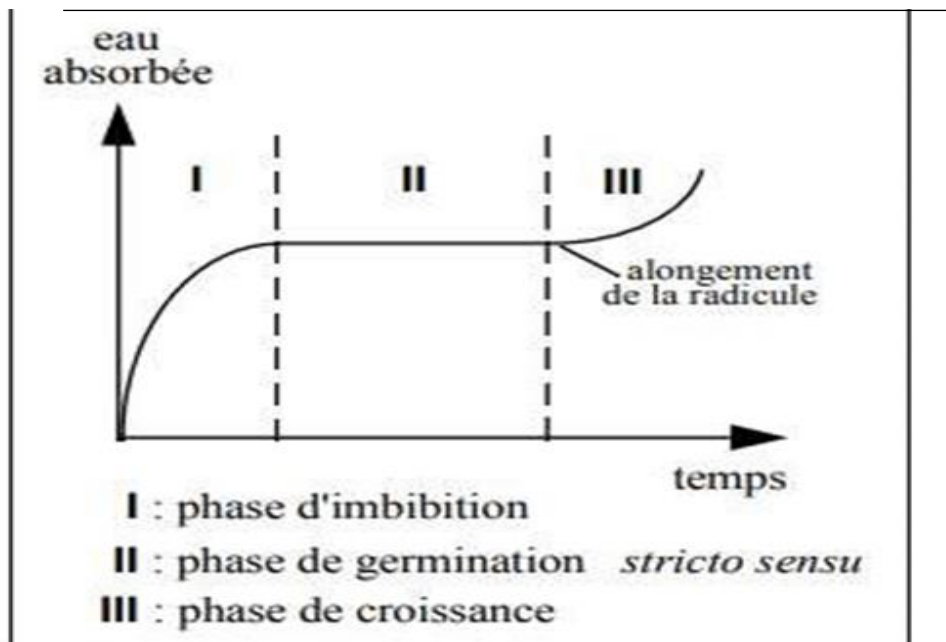


Figure 21: Courbe théorique d'imbibition d'une semence (d'après Côme, 1982).

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. (BOUZID, 2022).

II.10.1 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.

II.10.2 Phase de germination stricto sensu (Phase II)

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).

II.10.3 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 tigelle.

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.11 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).

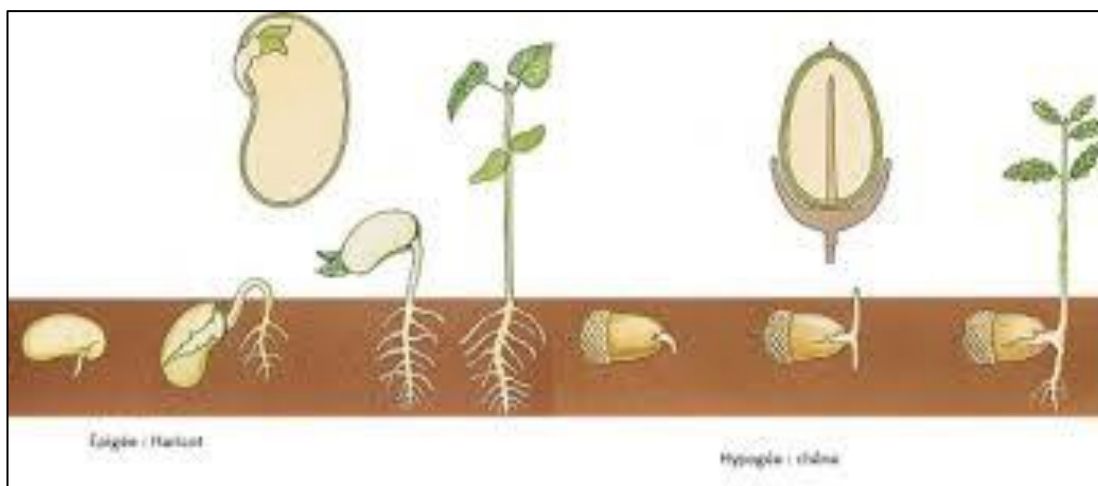


Figure 22: Germination hypogée et épigée

II.12 Morphologie et physiologie de la germination

II.12.1 Morphologie de la germination

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.12.2 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.13 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).

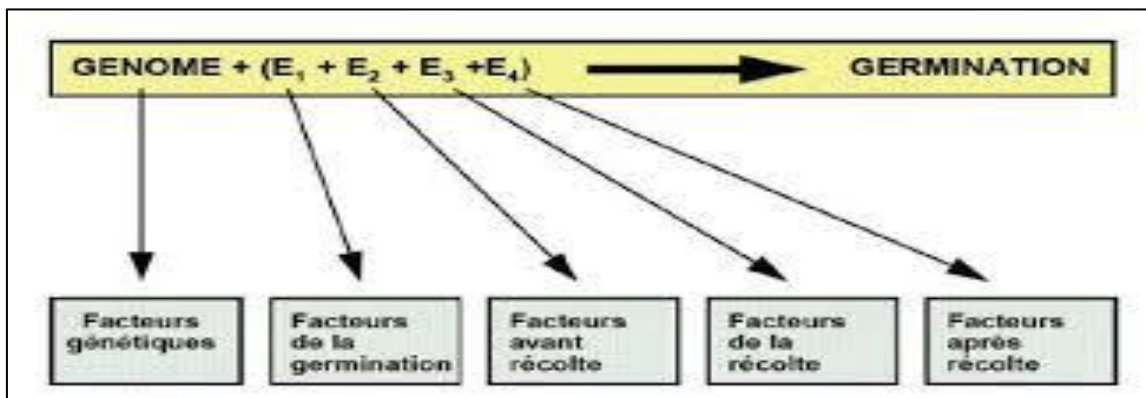


Figure23: Les différents facteurs impliqués dans la qualité germinative des semences (Côme, 1993).

II.13.1 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. (Miège, 1957).

II.13.2 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 Jum, 2015).

II.13.3 Conditions externes de la germination

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

a) Eau

L'eau est un facteur absolument nécessaire à la germination. Elle doit être présente à l'état liquide pour pouvoir pénétrer par capillarité à travers les enveloppes de la graine(Chaussat et al.,1975). 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).

b) Oxygène

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

c) 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). 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(Mazliak ,1982).

d) 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.

e) 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. (Lassoudière,2007).

f) 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).

g) 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 stockées, 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. (Hoareau, 2012)

II.14 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.15 Les types de dormance

II.15.1 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).

II.15.2 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).

II.15.3 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).

II.15.4 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. (CHENATLIA,& HAMDAT,2023).

II.15.5 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. (OUDINA,& SELFAOUI,2016)

On distingue deux formes principales de dormance embryonnaire:

a) 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 et Bonnet-Masimbert. 1994).

b) 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.16 Levée de la dormance des graines

II.16.1 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.16.2 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.16.3 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).

II.16.4 La scarification

La scarification consiste à affaiblir l'enveloppe externe dure des graines pour permettre à l'humidité de pénétrer. Cette opération peut être réalisée à l'aide d'outils comme des limes, du papier de verre, ou encore à l'aide de machines spécifiques. En rendant la coque moins imperméable, on stimule la germination.

Chapitre III.

Matériel et méthodes

Dans ce travail, l'objectif fixé est d'étudier l'effet de quelques traitements physiques et chimiques sur le taux et le délai de la germination des graines d'amandédoux et amer. Pour atteindre cet objectif nous avons utilisé le matériel et les méthodes suivants:

III.1 Matériel :

- Etuve d'incubation réglée à 25°C.
- Hotte d'aspiration chimique
- Boîtes de Pétri en plastique stériles
- Béchers en verre stériles
- Passoire
- Becque benzène
- Coton stérile
- Pipettes et poires
- Eprouvettes
- Plaque chauffante
- Acide sulfurique (H₂SO₄) à 98%
- Eau de Javel (pour l'utilisation comme désinfectant)
- Eau distillée stérile
- Sable
- Matériel végétal: graines d' d'amandédoux et amer.

III.2 Méthodes :

III.2.1 Provenance des graines :

La récolte des graines d'amandédoux et amer a eu lieu dans un ancien verger situé à 10 Km au nord du chef lieu de la wilaya de Saida. Cette zone (N: 34°49'27.25'';E: 0°03'07.80'') dépend administrativement de la commune de Doui thabet. Ce verger relique de l'époque coloniale (Figure 24) compte 7 sujets âgés produisant des amandes doux et amer. Les graines ont été récoltées au mois de Novembre 2025 (à maturation) sur des arbres choisis aléatoirement.



Figure24: Les sujets d'amandier. (Source: Google earth)

III.2.2 Préparation des graines :

Les graines ont été décortiquées manuellement puis désinfectées dans l'hypochlorite de Na dilué pendant 10 min. Elles sont ensuite rincées 03 fois à l'eau distillée, puis placées dans des sacs en papier étiquetés.

III.2.3 Mise en germination des graines

Les graines ont été placées dans des boîtes de Pétri (5 graines par boîte), tapissées de coton imbibé de 4 ml d'eau distillée. Nous avons retenu trois (03) répétitions pour chaque traitement (Figure25) des graines d'amande doux et amer. Les boîtes sont ensuite placées dans une étuve à la température de 25°C. L'imbibition se fait tous les jours durant les trois semaines de l'incubation (21 jours).



Figure 25:Mise en germination des graines d'amande dans les boîtes de pètri

III.2.4 Traitements de la levée de la dormance

De nombreuses techniques ont été utilisées pour rendre les semences perméables et améliorer leur aptitude à germer(Roussal,1984). Nous avons appliqué différents traitements sur les graines:

III.2.4.1 Traitements physiques:

A) Détégumentation des graines:

Les graines sont extraites de leurs téguments externes. Nous avons cassé l'enveloppe rigide des amandes en veillant à ne pas altérer la graine.

B) Trempage dans l'eau chaude:

Les graines sont trempées dans de l'eau chaude (45°C) pendant 18 heures (Wahbi et al., 2010).

D) La stratification dans le sable:

Les graines sont déposées entre deux couches de sable humide pendant 5, 10 et 15 jours (JEAM et al, 1998).

III.2.4.2 Traitements chimiques (acide sulfurique H₂SO₄)

Les graines sont mises au contact de l'acide sulfurique (98%) pendant 3mn, 6mn et 9mn, puis lavées à l'eau courante (Hiltner, 1902).

III.3 Paramètres étudiés

La germination des graines est relevée quotidiennement pour chaque boîte durant 21 jours. Pour la présente étude, les paramètres retenus, à la fin du test est le taux de germination et la cinétique de germination.

III.3.1 Le taux de germination (TG)

Le taux de germination correspond au pourcentage maximal de graines germées par rapport au total des graines semées (COME, 1970). En effet, le taux de germination est calculé par la formule suivante:

$$\text{Taux de germination} = \frac{\text{Nombre des graines germées}}{\text{Nombre total mis en germination}} \times 100$$

III.3.2 La cinétique de germination

La cinétique de la germination correspond aux variations dans le temps du taux de germination des graines des espèces traitées par des traitements physiques et chimiques.

$$\text{Taux quotidien de germination} = \frac{\text{Nombre des graines germées quotidiennement}}{\text{Nombre total mis en germination}} \times 100$$

III.4 Analyse statistique :

Nous avons utilisé le test ANOVA à un facteur avec un risque $\alpha = 5\%$ pour comparer les résultats obtenus et déterminer leur degré de significativité.

Chapitre IV.

Resultas Et Discussion

IV.1 Résultats :

A travers cette étude nous avons tenté de mettre en évidence l'effet des traitements physiques et chimiques sur la germination des graines d'amande amère et douce. Nous présentons dans ce chapitre les résultats des traitements suivants : la détégumentation des graines, la stratification dans le sable humide, la scarification par l'acide sulfurique et le trempage dans l'eau chaude.

IV.1.1 Germination des amandes amères :

Le tableau montre le nombre de graines d'amande amère germées et le taux final de germination obtenu après 21 jours d'incubation à une température de 25 °C.

Tableau4: Nombre de graines germées pour chaque traitement

TRAITEMENT		NOMBRE DE GRAINS GERMEES/TESTEES	TAUX (%)
TÉMOIN		0/5	0
DÉTÉGUMENTATION		2/5	40
EAU CHAUDE		0/5	0
STRATIFICATION DANS LE SABLE	5 JOURS	0/5	0
	10 JOURS	0/5	0
SCARIFICATION PAR H ₂ SO ₄	3 MINUTES	0/5	0
	6 MINUTES	0/5	0
	9 MINUTES	0/5	0

La figure illustre les taux de germination obtenus pour les différents traitements appliqués aux graines d'amande amère.

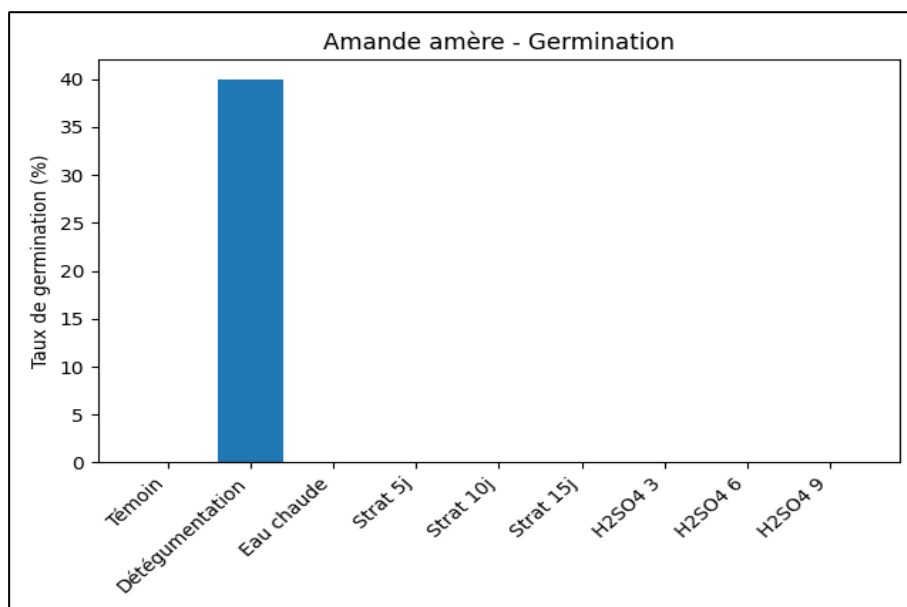


Figure26: taux de germination d'amandes ameres pour chaque traitement

d'après le tableau et la figure on constate que seules les graines détégumentées qui enregistrent une amélioration du taux de germination qui est de l'ordre de 40 % alors qu'aucune germination n'a été observé pour les graines témoins et celles trempées dans l'eau chaude, stratifiées dans le sable humide pendant 5 et 10 jours ou scarifiées par l'acide sulfurique pendant 3min, 6min et 9min.

IV.1.2 Germination des amandes douces :

La figure illustre les taux de germination obtenus pour les différents traitements appliqués aux graines d'amande amère

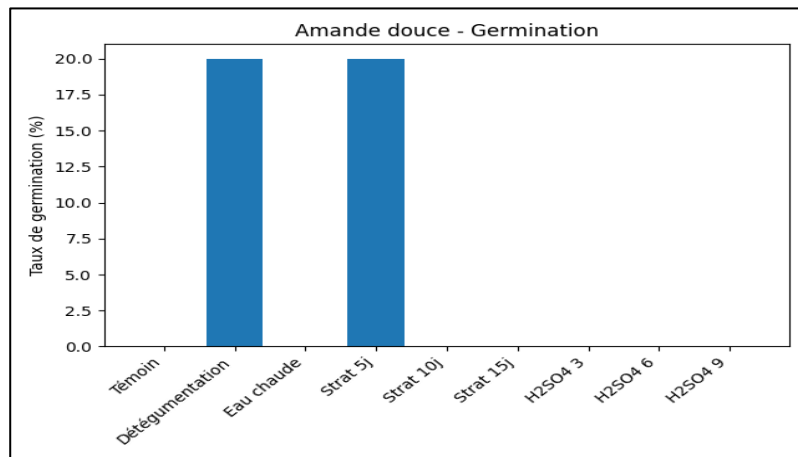


Figure27: taux de germination d'amande douce pour chaque traitement

Le tableau montre le nombre de graines d'amande amère germées et le taux final de germination obtenu après 21 jours d'incubation à une température de 25 °C.

Tableau5: Nombre de graines germées pour chaque traitement

TRAITEMENT		NOMBRE DE GRAINS GERMEES/TESTEES	TAUX (%)
TÉMOIN			0
DÉTÉGUMENTATION			20
EAU CHAUDE			0
STRATIFICATION DANS LE SABLE	5 JOURS		20
	10 JOURS		0
SCARIFICATION PAR H ₂ SO ₄	3 MINUTES		0
	6 MINUTES		0
	9 MINUTES		0

Comparativement à la germination des graine d'amande AMERE, on remarque une amélioration des taux de germination des graines d'amande douce détégumentées et stratifiées dans le sable humide pendant 5 avec un taux de germination qui est de l'ordre de 20 % alors qu'aucune germination n'a été observé pour les graines témoins et celles trempées dans l'eau chaude, stratifiées dans le sable pendant 10 jours ou scarifiées par l'acide sulfurique pendant 3min, 6min et 9min.

IV.2 Discussion des résultats

Les résultats obtenus mettent en évidence l'existence d'une dormance importante chez les graines d'amandier. Cette dormance constitue un mécanisme adaptatif qui permet à la graine de retarder sa germination jusqu'à ce que les conditions environnementales deviennent favorables à la survie et au développement de la plantule. Chez de nombreuses espèces fruitières appartenant à la famille des Rosacées, dont l'amandier, la dormance est un phénomène fréquent qui contribue à la protection de l'embryon contre des conditions climatiques défavorables.

L'amélioration significative de la germination observée après la détégumentation indique que le tégument joue un rôle majeur dans le maintien de cette dormance. Le tégument agit comme une barrière physique qui limite l'entrée de l'eau et de l'oxygène vers l'embryon. La suppression de cette enveloppe favorise ainsi l'imbibition de la graine, première étape indispensable de la germination, ainsi que l'activation des processus

métaboliques nécessaires à la croissance embryonnaire. Ces résultats suggèrent donc que la dormance observée possède une composante tégumentaire importante.

Cette interprétation est en accord avec les travaux de Bewley et Black (1994), qui ont montré que le tégument peut réduire l'absorption d'eau et limiter les échanges gazeux. L'oxygène étant indispensable à la respiration cellulaire de l'embryon, toute restriction de sa diffusion peut ralentir ou empêcher la germination. Ainsi, l'amélioration de la germination après détégumentation confirme que le tégument constitue un facteur limitant majeur chez les graines étudiées.

Concernant les traitements chimiques à l'acide sulfurique (H_2SO_4), leur inefficacité pourrait être expliquée par plusieurs facteurs. D'une part, la durée d'exposition ou la concentration utilisée peuvent avoir été insuffisantes pour fragiliser efficacement le tégument. D'autre part, l'embryon peut présenter une forte sensibilité à l'action corrosive de l'acide, entraînant une diminution de sa viabilité. Bien que la scarification chimique soit souvent utilisée pour lever certaines dormances tégumentaires, son efficacité dépend fortement des caractéristiques anatomiques et physiologiques de l'espèce étudiée.

De même, le traitement des graines avec de l'eau chaude n'a pas permis d'améliorer la germination. Cette absence d'effet peut s'expliquer par une température inadaptée ou par une durée d'application insuffisante pour provoquer les modifications physiologiques nécessaires à la levée de dormance. Il est également possible que les températures utilisées aient entraîné un stress thermique affectant négativement les tissus embryonnaires. La faible efficacité de la stratification dans le sable humide observée dans cette étude mérite également une attention particulière. La stratification froide est généralement recommandée pour les graines d'amandier afin de lever leur dormance physiologique. Cependant, les résultats obtenus suggèrent que la durée de stratification appliquée n'était pas suffisante pour induire les changements biochimiques nécessaires à la reprise de croissance de l'embryon. En effet, la levée de la dormance physiologique implique des modifications hormonales complexes, notamment une diminution de l'acide abscissique, hormone inhibitrice de la germination, et une augmentation des gibbérellines, qui favorisent le développement embryonnaire.

L'ensemble des résultats laisse penser que la dormance des graines d'amandier étudiées est probablement de nature combinée, associant une composante tégumentaire et une composante physiologique. Cette hypothèse expliquerait pourquoi la détégumentation

améliore fortement la germination alors que les autres traitements restent peu efficaces lorsqu'ils sont appliqués seuls. Des études complémentaires utilisant des durées de stratification plus longues ou une combinaison de plusieurs traitements pourraient permettre d'optimiser davantage la germination de cette espèce.

IV.3 Conclusion générale

Cette étude a été réalisée dans le but d'évaluer l'effet de différents traitements physiques et chimiques sur la germination des graines d'amande douce et d'amande amère, afin d'identifier les méthodes les plus efficaces pour lever la dormance et améliorer les performances germinatives.

Les résultats obtenus montrent clairement que la détégumentation constitue le traitement le plus efficace parmi ceux testés. Elle a permis d'obtenir les meilleurs taux de germination ainsi qu'une amélioration notable de la vitesse de germination chez les deux types de graines étudiées. Cette efficacité s'explique principalement par la suppression de la barrière physique du tégument, facilitant ainsi l'imbibition de l'eau, les échanges gazeux et l'activation des processus enzymatiques indispensables au développement embryonnaire.

En revanche, les autres traitements appliqués, notamment le trempage dans l'eau chaude, la stratification en sable humide et la scarification chimique à l'acide sulfurique, ont montré des résultats limités. Cela suggère que la dormance des graines d'amandier est principalement d'origine tégumentaire, même si une composante physiologique ne peut être totalement exclue.

L'analyse globale des résultats met en évidence l'importance du rôle du tégument dans le contrôle de la germination. En effet, sa présence constitue une barrière mécanique et parfois chimique qui ralentit ou empêche la germination normale de la graine. Ainsi, sa suppression apparaît comme une solution simple et efficace pour améliorer la production de plants.

Toutefois, certaines limites doivent être prises en considération, notamment la durée des traitements et l'absence de combinaisons entre différentes méthodes susceptibles d'améliorer davantage les résultats. Des recherches futures pourraient explorer l'effet de régulateurs de croissance tels que l'acide gibbérellique (GA3), ainsi que des protocoles combinés associant traitements physiques et chimiques.

En conclusion, cette étude apporte une contribution à la compréhension des mécanismes de germination chez l'amandier et confirme que la détégumentation représente une méthode simple, efficace et directement applicable en pépinière pour améliorer la production de plants dans les conditions agroclimatiques locales.

Références bibliographiques

1. Agrichem Algérie. (2016). Culture de l'amandier en Algérie. Document technique, Algérie.
2. Agunbiade, S. O., & Olanlokun, J. O. (2006). Quality assessment of processed almond seeds. *Pakistan Journal of Nutrition*, 5(4), 302-305.
3. Bamouh, A. (2013). La culture de l'amandier au Maroc. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Maroc.
4. Baskin, C. C., & Baskin, J. M. (2001). *Seeds: Ecology, Biogeography and Evolution of Dormancy and Germination*. Academic Press.
5. Baskin, C. C., & Baskin, J. M. (2004). A classification system for seed dormancy. *Seed Science Research*, 14, 1-16.
6. Belabed, A. (2017). Étude des variétés d'amandier cultivées en Algérie. Mémoire de Master, Université d'Algérie.
7. Belaid, N. (2016). Conduite technique des vergers d'amandier. Institut Technique de l'Arboriculture Fruitière.
8. Bewley, J. D. (1997). Seed germination and dormancy. *The Plant Cell*, 9, 1055-1066.
9. Bewley, J. D., Bradford, K. J., Hilhorst, H. W. M., & Nonogaki, H. (2013). *Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy* (3rd ed.). Springer.
10. Bretaudeau, J., & Fauré, Y. (1991). *Le jardin fruitier*. Éditions Rustica.
11. Chouard, P. (1948). Vernalization and its relations to dormancy. *Annual Review of Plant Physiology*, 1, 191-238.
12. Côme, D. (1970). *Les obstacles à la germination*. Masson, Paris.
13. Côme, D. (1982). *La germination*. Masson, Paris.
14. Fenner, M. (2000). *Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities*. CABI Publishing.
15. Gradziel, T. M. (2011). Almond production and breeding. In: *Fruit Breeding Handbook*. Springer.
16. Gradziel, T. M., & Martínez-Gómez, P. (2013). Almond breeding. In: *Plant Breeding Reviews*, 37, 207-258.
17. Gouta, H., Ksia, E., Zarrouk, M., & Mliki, A. (2008). Genetic diversity of almond populations. *Scientia Horticulturae*, 116, 46-52.

18. Hammiche, V., Merad, R., & Azzouz, M. (2013). Plantes médicinales d'Algérie. Éditions BERTI.
19. Hartmann, H. T., Kester, D. E., Davies, F. T., & Geneve, R. L. (2011). Plant Propagation: Principles and Practices. Prentice Hall.
20. Hopkins, W. G. (2003). Physiologie végétale. De Boeck Université.
21. Jacamon, M. (1985). Guide de dendrologie. ENGREF.
22. Khendoudi, N., et al. (2021). Rhizogenèse et développement racinaire chez les espèces fruitières. *Revue Agronomique*.
23. Kodad, O., et al. (2014). Almond fruit characteristics and quality evaluation. *Scientia Horticulturae*.
24. Ladizinsky, G. (1999). On the origin of almond. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 46, 143-147.
25. Marouf, A., & Reynaud, P. (2007). Botanique. Dunod.
26. Martínez-Gómez, P., et al. (2003). Almond genetic resources and breeding. *Plant Genetic Resources Newsletter*.
27. Mérat, P., & Delens, M. (2009). Dictionnaire des sciences animales. INRA.
28. Moayedi, A., et al. (2011). Antioxidant properties of almond kernels. *Food Chemistry*, 129, 1428-1434.
29. Mohan Jain, S., & Priyadarshan, P. M. (2009). Breeding Plantation Tree Crops: Temperate Species. Springer.
30. Oukabli, A., et al. (2012). Floraison et adaptation variétale de l'amandier au Maroc. *Acta Horticulturae*.
31. Pinatel, C., & Rossignol, M. (2017). Guide de la culture de l'amandier. Centre Régionalisé Interprofessionnel des Fruits et Légumes, France.
32. Pérez-García, F., & González-Benito, M. E. (2006). Seed germination of Mediterranean species. *Seed Science Research*.
33. Ramade, F. (2003). Éléments d'écologie. Dunod.
34. Schmidt, L. (2000). Guide to Handling of Tropical and Subtropical Forest Seed. Danida Forest Seed Centre.
35. Silberfeld, T., et al. (2013). Histoire et diffusion de l'amandier autour de la Méditerranée. *Cahiers Agricultures*.

36. Socias i Company, R., & Felipe, A. J. (1992). Self-compatibility in almond. *Acta Horticulturae*, 373, 111-116.
37. Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2015). *Plant Physiology and Development* (6th ed.). Sinauer Associates.
38. Tonolli, S., & Gallouin, F. (2013). *L'amandier : culture et valorisation*. France Agricole.
39. Walali, L. D., et al. (2003). *La culture de l'amandier*. INRA Maroc.
40. Wirthensohn, M. G., et al. (2008). Amygdalin content in bitter almond. *Journal of Horticultural Science*.
41. Yada, S., Lapsley, K., & Huang, G. (2011). A review of composition studies of cultivated almonds. *Food Research International*, 44, 1417-1427.
42. Zeinalabedini, M., et al. (2010). Almond genetic diversity and geographical distribution. *Scientia Horticulturae*, 126, 324-331.
43. Zemirli, A., & Hammache, M. (2017). *Arboriculture fruitière en Algérie*. Office des Publications Universitaires.