

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMERI, TIZI-OUZOU FACULTÉ DES SCIENCES
BIOLOGIQUE ET SCIENCE AGRONOMIQUE
DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE



Mémoire de fin d'études

En vue de l'Obtention du Diplôme de Master Filière : Science Biologique
Spécialité : Biodiversité et Physiologie Végétale

Thème

Influence des phytohormones et de l'acide ascorbique sur la germination et le début de croissance des graines jeunes et vieilles du blé tendre (*Triticum aestivum* L.).

Présenté par : Mr. Sahi Aghilas

Mr. Elias Mohamed akli

Devant le jury d'examen composé de :

Présidente : Mme. Daoudi H

Examinatrice : Mme. Taleb K

Promoteur : Mr. Medjebeur DJ

Co-promoteur: Mr. Ferraguig N

Année universitaire : 2024/2025

Remerciements

Au terme de ce modeste travail, nous remercions, avant tout, Dieu Tout-Puissant de nous avoir guidés sur le chemin du savoir, et de nous avoir accordé la volonté, la santé et la persévérance nécessaires pour mener à bien cette étude.

Nous exprimons notre profonde gratitude à notre promoteur, Monsieur Medjebeur Djamel, pour son encadrement exemplaire, ses orientations judicieuses, ses conseils précieux ainsi que sa disponibilité constante tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Nos sincères remerciements s'adressent également aux membres du jury, pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant d'évaluer ce travail, ainsi que pour l'intérêt qu'ils lui portent.

Nous tenons à remercier l'ensemble des enseignants du département de Biologie de l'UMMTO pour la qualité de la formation qu'ils nous ont dispensée durant toutes ces années.

Nos remerciements vont également à l'équipe pédagogique et technique du laboratoire pour leur aide précieuse, leur accompagnement et leur disponibilité.

Nous adressons une pensée particulière à notre camarade Rayan, ainsi qu'à Monsieur Ferragui Nordine, pour leur soutien constant, leurs conseils fraternels et leur présence à nos côtés dans les moments difficiles.

Nous n'oublions pas d'exprimer notre profonde reconnaissance à nos familles, en particulier nos parents, pour leurs prières, leur soutien indéfectible, leurs sacrifices et leur patience, ainsi qu'à nos amis et collègues pour leurs encouragements et leur solidarité.

À toutes celles et ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à l'aboutissement de ce travail, nous demandons à Allah de les récompenser amplement.

MERCI.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

À ma chère mère, source infinie de tendresse et de courage, dont l'amour, les prières et les sacrifices ont été ma plus grande force dans chaque étape de ce parcours.

À mon père, pilier de sagesse et de persévérance, pour son soutien constant, sa confiance en moi et ses encouragements qui m'ont guidé vers la réussite.

À mes deux frères adorés, dont la présence chaleureuse, l'humour et la bienveillance apportent lumière et joie à ma vie quotidienne.

À mon binôme exceptionnel, pour son engagement sans faille, sa patience, sa créativité et l'esprit de collaboration qui ont rendu ce travail possible et agréable.

À mes amis et à toutes les personnes qui me sont chères, pour leur soutien, leurs paroles motivantes et leurs gestes, visibles ou discrets, qui ont contribué à l'accomplissement de ce mémoire.

Aghilas

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

À ma mère bien-aimée, dont l'amour inépuisable, les prières sincères et les sacrifices silencieux ont été la source de ma force tout au long de ce parcours.

À mon père, exemple de sagesse et de détermination, pour sa confiance, son appui indéfectible et ses encouragements qui m'ont porté vers la réussite.

À mes chers frères et ma chère sœur, pour leur présence réconfortante et la joie qu'ils apportent dans ma vie.

À ma grand-mère adorée, pour ses prières, ses encouragements et son affection sans limite, ainsi qu'à toute ma famille qui m'a entouré d'attention et de tendresse.

À mon binôme exceptionnel, pour son soutien constant, sa créativité et son aide précieuse durant ce mémoire.

À tous ceux qui me sont chers et qui m'ont aidé de près ou de loï

Moumouh

Liste des figures :

Figure 01 : Anatomie du grain de blé tendre (Feuillet, 2000).....	6
Figure 02 : Cycle végétal du blé (Fritas, 2012).....	7
Figure 03 : Graines de blé tendre (<i>Triticum aestivum</i>) (photo originale, 2025).....	13
Figure 04 : Les graines de blé tendre après germination (photo originale, 2025)	19
Figure 05 : Effets des différentes phytohormones sur le pourcentage final de germination des graines de blé (graines vieilles).....	20
Figure 06 : Effets des différentes phytohormones sur la longueur des racines de blé (graines vieilles).....	21
Figure 07 : Effets des différentes phytohormones sur la longueur des tiges de blé (graines vieilles).....	22
Figure 08 : Effets des différentes phytohormones sur le nombre des racines du blé (graines vieilles).....	22
Figure 09 : Effets des différentes phytohormones sur le poids sec des graines de blé (graines vieilles).....	23
Figure 10 : Effets des différentes phytohormones sur le pourcentage final de germination des graines de blé (graines jeunes)	24
Figure 11 : Effets des différentes phytohormones sur la longueur des racines de blé (graines jeunes)	25
Figure 12 : Effets des différentes phytohormones sur la longueur des tiges de blé (graines jeunes)	25
Figure 13 : Effets des différentes phytohormones sur le nombre des racines du blé (graines jeunes)	26
Figure 14 : Effets des différentes phytohormones sur le poids sec des graines de blé (graines jeunes)	27

Tables des matières

Introduction	1
Chapitre I : Synthèse bibliographique	
I. Généralités sur l'espèce du blé tendre <i>Triticum aestivum</i> L.....	3
I.1 Origine biologique et archéologique du blé tendre	3
I.2 Classification du blé tendre	3
I.3 Morphologie de la plante	4
I.3.1 Appareils végétatifs.....	4
I.3.2 Appareil reproducteur.....	5
I.4 Cycle de développement	6
I.5 Composition biochimique du grain du blé tendre :.....	7
I.6 Exigences culturales	9
I.7 Répartition géographique et diffusion du blé.....	10
I.8 Intérêt de la culture du blé tendre	10
I.8.1 Intérêt alimentaire	10
I.8.2 Intérêt économique	10
II. La germination.....	11
II.1 Définition de la germination.....	11
II.2 Phases de germination	11
II.3 Conditions de la germination.....	11
III. Généralités sur les phytohormones	12
III.1 L'acide gibbérellique (GA_3)	13
III.1.1 Définition.....	13
III.1.2 Effet de l'acide gibbérellique sur la germination	13
III.2 L'auxine (AIA).....	13
III.2.1 Définition.....	13
III.2.2 Effet de l'auxine sur la germination	13
III.3 L'acide ascorbique (AA)	14

III.3.1 Définition.....	14
III.3.2 Effet de l'acide ascorbique sur la germination.....	14
IV. Le vieillissement accéléré des graines du blé	14
IV.1 Définition du vieillissement accéléré appliqué au blé.....	14
IV.2 Mécanismes du vieillissement des graines du blé	15
IV.3 Influence des facteurs externes : lumière et environnement.....	15
Chapitre II : Matériel et méthodes	
I Matériel d'étude	16
I.1 Matériels d'études	16
I.2 Matériel végétal.....	16
II Méthodes expérimentales	17
II.1 Préparation des solutions.....	17
II.2 Préparation et prétraitement des graines	17
III Vieillissement artificiel des graines.....	17
IV Mise en culture.....	17
V Paramètres mesures	18
V.1 Taux de germination (pourcentage final de germination)	18
V.2 La longueur de la racine	18
V.3 Longueur de la tige des plantules	18
V.4 Nombre de racines.....	18
V.5. Détermination de la biomasse des plantules	18
VI Test statistiques.....	19
Chapitre III : Résultats et discussion	
Résultats	20
I.1 Effet des phytohormones et de l'acide ascorbique sur le pourcentage de germination du blé tendre après 20 jours	20
I.2 Effet des phytohormones et de l'acide ascorbique sur la longueur de la racine principale du blé tendre après 20 jours	21
I.3 Effet des phytohormones et de l'acide ascorbique Sur la longueur de la tige principale des graines du blé tendre après 20 jours	22

I.4 Effet des phytohormones et de l'acide ascorbique sur le nombre des racines du blé tendre après 20 jours	23
I.5 Effet des phytohormones et de l'acide ascorbique sur le poids sec de la plantule après 20 jours	24
II.1 Comparaison des effets des phytohormones et de l'acide ascorbique sur les graines de blé non traitées et traitées.	25
Discussion.....	28
Conclusion et perspectives	31

Liste des tableaux :

Tableau 01 : Comparaison des effets des phytohormones et de l'acide ascorbique sur les graines de blé non traitées et traitées.

Listes des abréviations :

- **AA** : Acide Ascorbique
- **AIA** : Acide Indole Acétique (auxine naturelle)
- **ASA** : Acide Salicylique
- **DHA** : Acide Déhydroascorbique (forme oxydée de la vitamine C)
- **FAO** : Food and Agriculture Organization (Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture)
- **GA** : Acide Gibbérellique (Gibberellic Acid)
- **HD** : Hydrogène Peroxyde (H_2O_2 – souvent associé aux stress oxydatifs)
- **IAA** : Indole-3-Acetic Acid (acide indole acétique, auxine)
- **IBA** : Indole-3-Butyric Acid (acide indole butyrique, auxine synthétique)
- **ITGC** : Institut Technique des Grandes Cultures (Algérie)
- **MCA** : Matière Cellulaire Active (dans certains contextes biologiques)
- **MCB** : Matière Cellulaire Brute (ou Masse Cellulaire Brute)
- **PLT** : Plantules
- **PP** : Photosynthèse Primaire (parfois utilisé pour indiquer "pages" mais dans un mémoire agronomique c'est lié aux processus physiologiques)
- **ROS** : Reactive Oxygen Species (Espèces Réactives de l'Oxygène)

Introduction

En Algérie, les produits céréaliers constituent la base de l'alimentation et représentent l'ossature du système alimentaire. Ils apportent la plus grande part des protéines de la ration journalière (Talamalil, 2000). Parmi les principales espèces céréalières figurent le blé, l'orge, le maïs et le riz. Le blé occupe une place prépondérante dans la production mondiale des céréales (environ 40 %) et revêt une importance nutritionnelle et économique considérable (Nour, 2020). Le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) représente à lui seul près de 60 % de la ration alimentaire des Algériens. Les habitudes alimentaires, notamment la consommation de pain, de pâtes et de biscuits, expliquent la forte demande pour cette denrée de base (Ben Belkacem et al., 1995).

Le succès d'installation d'une espèce végétale ainsi que sa croissance et son rendement dépendent largement de sa capacité germinative. La germination constitue la première étape phénologique affectée par différents facteurs internes et externes. Elle correspond à la transition d'une graine en dormance vers une jeune plantule capable de croître de façon autonome (Come, 1975). Cette phase est régulée par de nombreux mécanismes, parmi lesquels les hormones végétales jouent un rôle central.

Depuis la découverte des régulateurs de croissance naturels et artificiels, leur utilisation en agriculture et en horticulture s'est intensifiée. Ces substances permettent de moduler plusieurs processus physiologiques des plantes tels que la germination, la croissance végétative, le développement reproductif, la maturation et la sénescence (Basra, 2000). Les hormones végétales, ou phytohormones, sont des substances organiques de faible poids moléculaire, produites par certaines cellules puis transportées à distance, où elles régulent des processus physiologiques spécifiques à des doses infimes. Pour être qualifiée de phytohormone, une molécule doit être endogène (produite par la plante), oligodynamique (active à faible concentration, de l'ordre de la micromole) et vectrice d'une information (influant sur une cellule cible sélective). Ces critères les distinguent des simples substances trophiques.

Parmi les principales phytohormones, les gibbérellines et les auxines occupent une place essentielle. Présentes dans toutes les plantes, elles interviennent dans la régulation de nombreux mécanismes physiologiques, notamment l'allongement des tiges et des racines, l'expansion foliaire, la germination, la floraison et le vieillissement des fruits (Hooley, 1994 ; Hedden et Suppel, 2015). Leur action passe notamment par l'activation de la transcription de gènes impliqués dans la division et l'élongation cellulaire, mécanismes fondamentaux du développement (Soleil, 2004).

À côté de ces régulateurs de croissance, certains composés organiques comme l'acide ascorbique (Vitamine C) jouent également un rôle majeur dans la croissance et la tolérance des plantes. L'acide ascorbique est une molécule abondante, hydrosoluble, possédant de puissantes propriétés antioxydantes et hydroxylantes. Elle participe à de nombreux processus métaboliques tels que la synthèse du collagène, de la tyrosine, de la carnitine et des acides biliaires, ainsi qu'au métabolisme du fer (Bockrisj et al., 1983 ; Cognard et al., 1984). Chez les plantes, l'acide ascorbique est impliqué dans la division et l'élongation cellulaire, la croissance des parois pecto-cellulosiques et la régulation de l'activité enzymatique antioxydante, contribuant ainsi à la détoxification des radicaux libres (Shah et al., 2025). De plus, son application exogène améliore la biomasse végétale et la tolérance aux stress abiotiques en

renforçant l'activité photosynthétique et les mécanismes de défense (Parvanah, 2015 ; Shah et al., 2025).

Dans ce contexte, la présente étude se propose d'analyser l'effet de certaines phytohormones, à savoir l'auxine et la gibbérelline, ainsi que d'un antioxydant, l'acide ascorbique, sur la germination et la croissance du blé tendre (*Triticum aestivum* L.). Par ailleurs, l'impact de l'âge des graines, comparant graines jeunes et graines artificiellement vieilles, sera également évalué.

Ce mémoire est réparti en trois chapitres :

- **Le premier chapitre** est consacré à une synthèse bibliographique sur les généralités de blé et les phytohormones et l'acide ascorbique, en abordant leurs rôles dans la germination, la croissance et la tolérance des plantes.
- **Le deuxième chapitre** présente le matériel et les méthodes utilisés pour la réalisation de notre travail expérimental.
- **Le troisième chapitre** est dédié à la présentation des résultats obtenus, suivis de leur discussion.

Ce travail se termine par une conclusion et perspectives.

Chapitre 01 :
Synthèse bibliographique

I. Généralité sur l'espèce du blé tendre *Triticum aestivum* :

Le blé tendre appartient au genre *Triticum* espèce *aestivum* L. (syn. *Triticum vulgare*, Villars.). Le genre *Triticum* comporte de nombreuses autres espèces, chacune d'elles étant composée d'un grand nombre de variétés botaniques (Moule, 1971). Le genre *Triticum* appartient à la tribu des Triticées au sein de la famille des Poacées et plus largement au groupe des angiospermes monocotylédones (Bolot et al., 2009). Le blé tendre (*Triticum aestivum*) aurait vu le jour entre 7000 et 9500 ans, probablement à travers la domestication des espèces de blé (Nesbitt et Samuel, 1998). Selon Bonjean (2001), les botanistes rangent le blé tendre dans la catégorie des blés hexaploïdes ($2n=42$). Il est très probable que le *Triticum aestivum* hexaploïde à génome soit apparu uniquement suite à la domestication des blés de deux et quatre chromosomes (Chantret et al., 2005).

I.1. Origine biologique et archéologique du blé tendre :

Le blé tendre a pris naissance dans le couloir qui s'étend de l'Arménie en Transcaucasie, en jusqu'aux zones côtière du sud-ouest de la mer Caspienne en Iran. C'est l'hybridation d'une espèce sauvage d'*Aegilops* (*Aegilops tauschii* Coss. de génome D) avec l'amidonnier, un type ancien de blé cultivé appartenant à *Triticum turgidum*, qui a donné naissance aux blés hexaploïde, mais on ignore si le premier à apparaître a été le blé tendre ou l'épeautre (*Triticum spelta* L.). Les restes archéologiques les plus anciens d'épeautre proviennent du sud de la Caspienne vers 5000 avant J-C. Les restes de blé tendre sont difficiles à distinguer de ceux du blé dur (*Triticum turgidum*), mais on pense que ceux trouvés dans le Caucase, dans le plateau anatolien (Turquie), en Europe centrale et en Asie centrale à partir du cinquième millénaire sont bien du blé tendre. Le génome D a en effet apporté au blé tendre et à l'épeautre une adaptation aux hivers froids de conquérir l'Eurasie tempérée, alors que la Méditerranée restait acquise à l'amidonnier et au blé dur. Vers le troisième millénaire avant J-C. En 1525 les Espagnols l'introduisirent dans le nouveau monde. Son introduction en Afrique tropicale est le fait de négociants arabes, de missionnaires et de colons. L'époque à laquelle il est parvenu en Ethiopie reste incertaine. Du nord de l'Afrique, il fut apporté en Afrique de l'Ouest, où il était déjà connu vers 1000 après J-C n'est qu'au début du XXe siècle qu'il a été introduit au Kenya et à l'est de la R.D du clonage. De nos jours, le blé tendre est cultivé dans presque toutes les régions du monde. En Afrique que tropicale, il est surtout produit au Nigeria, au soudan, en Ethiopie, au Kenya, en Tanzanie, en Zambie et au Zimbabwe (FAO, 2006).

I.2. Classification du blé tendre :

Le genre *Triticum* se situe dans la tribu des *triticacées*, qui fait partie de la famille des poacées et, de manière plus générale, du groupe des angiospermes à monocotylédones. Les plantes du genre *Triticum* sont des herbacées annuelles à feuille alternée et à développement limité. Le cycle de vie du blé comprend une phase végétative caractérisée par la croissance des racines, des feuilles et des tiges, suivie d'une phase reproductive définie par l'émergence des épis, la floraison et le remplissage des graines (BOGARD, 2011 cités dans BRAHIMI A, 2017).

Le blé tendre est une plante annuelle monocotylédone qui appartient à la famille des graminées, dont la classification botanique suivante :(FEILLET, 2000 in BRAHIMI A, 2017)

- Règne : Plantae
- Division : Magnoliophyta (angiospermes)
- Classe : Liliopsida (monocotylédones)
- Sous Classe : Commelinidae
- Ordre : Poales
- Famille : Gramineae et/ou Poaceae
- Sous Famill : Triticeae
- Tribu : Triticeae
- Sous Tribu : Triticinae
- Genre : *Triticum*
- Espèce : *Triticum aestivum* L

I.3. Morphologie de la plante :

I.3.1. Appareils végétatifs :

I.3.1.1 Système racinaire :

Les racines du blé possèdent une structure fasciculée, c'est-à-dire qu'elles apparaissent en forme de faisceaux. Les racines primaires, aussi appelées racines séminales, sont celles qui se développent directement à partir de la graine lors du processus de germination et garantissent l'expansion initiale de la plantule jusqu'à la phase de tallage. Par la suite, de nouvelles racines secondaires, nommées racines adventices, se développent à partir du stade de tallage. Ces racines adventices se développent à partir des nœuds situés à la base de la plante et constituent le système racinaire permanent de celle-ci. Elles participent activement à l'absorption des nutriments et de l'eau du sol tout en assurant un soutien structurel à la plante (Maamri, 2011).

I.3.1.2 Tiges :

Elles sont des chaumes, caractérisées par leurs tiges cylindriques souvent vides, qui possèdent des interruptions distinctes à travers des nœuds. À ce stade, de longues feuilles se développent à partir des nœuds, qui enveloppent d'abord la tige avant de se déployer en un limbe étroit présentant des nervures parallèles (Bebba, 2011). Au commencement de la montée, elle façonne sa personnalité en générant entre 7 et 8 Feuilles, ainsi que des bourgeons secondaires qui engendrent les tiges. Au cours de cette période, elle s'étend considérablement.

I.3.1.3 Feuilles :

Les feuilles de blé ont généralement une longueur notable et se divisent en deux sections distinctes : une section supérieure qui correspond au limbe qui a la forme d'une lame (Soltner, 1980) et une section inférieure nommée gaine qui enveloppe la tige (Bachir Bey et al., 2015). Les feuilles sont arrangées de façon alternée et affichent des veines parallèles (Maamri, 2011) et (Benderradji, 2013). En général, le bord des feuilles est lisse, cependant, au niveau où la gaine de la feuille est fixée, on distingue une membrane mince et claire nommée ligule. Cette dernière possède deux petites protubérances latérales connues sous le nom d'oreillettes.

I.3.2. Appareil reproducteur :

I.3.2.1 Fleurs :

L'épi est constitué de fleurs de blé qui sont assemblées en épillets et se fixent à son axe ou rachis. Un épi peut renfermer entre 15 et 25 épillets, tandis que chaque épillet peut abriter de 3 à 5 fleurs. Deux glumelles, l'une interne et l'autre externe, encadrent chaque fleur. Chacune de ces glumelles renferme trois étamines dotées d'anthères à deux loges, et un pistil qui possède deux styles munis de stigmates plumeux. Suite à la fécondation, le pistil a la capacité de produire un fruit contenant une seule graine, connu sous le nom de caryopse (Maamri, 2011). Au moment de la fécondation, les anthères se manifestent à partir des fleurs tandis que le grain assume simultanément les fonctions de fruit et de graine (Bebba, 2011). La pollinisation de la fleur a lieu au sein des glumelles avant que les étamines ne soient dispersées à l'extérieur (Benderradji, 2013).

I.3.2.2 Graines :

Le blé tendre, tout comme la majorité des graminées, possède un fruit sec qui se distingue par un grain mince et allongé, doté d'une rainure prononcée, d'un en-tête peu développé et souvent d'une texture vitreuse (Bachir Bey Ilhem et al., 2015). Protégée par une enveloppe végétale qui la défend des influences extérieures, la graine est constituée d'un germe, indispensable pour la reproduction de la plante, qui germe et donne vie à une nouvelle plante. De plus, elle contient une amande renfermant environ 65 à 70% d'amidon, ainsi qu'une substance protéique dénommée gluten, dispersée parmi les grains d'amidon (Bebba, 2011).

Trois régions composent un grain de blé :

- **L'albumen** : se compose de deux éléments majeurs : l'albumen amylacé, dans lequel l'amidon est réparti à travers une matrice protéique avec des parois cellulaires difficilement perceptibles, et la couche à aleurone, qui représente la plus grande partie du grain, soit environ 80 à 85 %.
- **Les enveloppes du grain** : Le grain est entouré de six couches différentes : l'épiderme du nucelle, le tégument séminal ou testa (la couche externe du grain), des cellules en forme de tube, des cellules croisées et le mésocarpe, qui compose environ 13 à 17 % du grain.
- **Le germe** : qui constitue approximativement 3% du grain, comprend un embryon formé de la coléoptile, de la gemmule, de la radicule, du coléorhize et de la coiffe, ainsi que du scutellum. (FEILLET, 2000). (Figure01).

Composition biochimique du grain de blé tendre :

Le grain de blé est majoritairement composé d'amidon (approximativement 70%), de protéines (entre 10 et 15%) et de pentosanes (8 à 10%). Les autres éléments présents en plus petite quantité comprennent les lipides, la cellulose, les sucres libres, les minéraux et les vitamines (FEILLET, 2000)

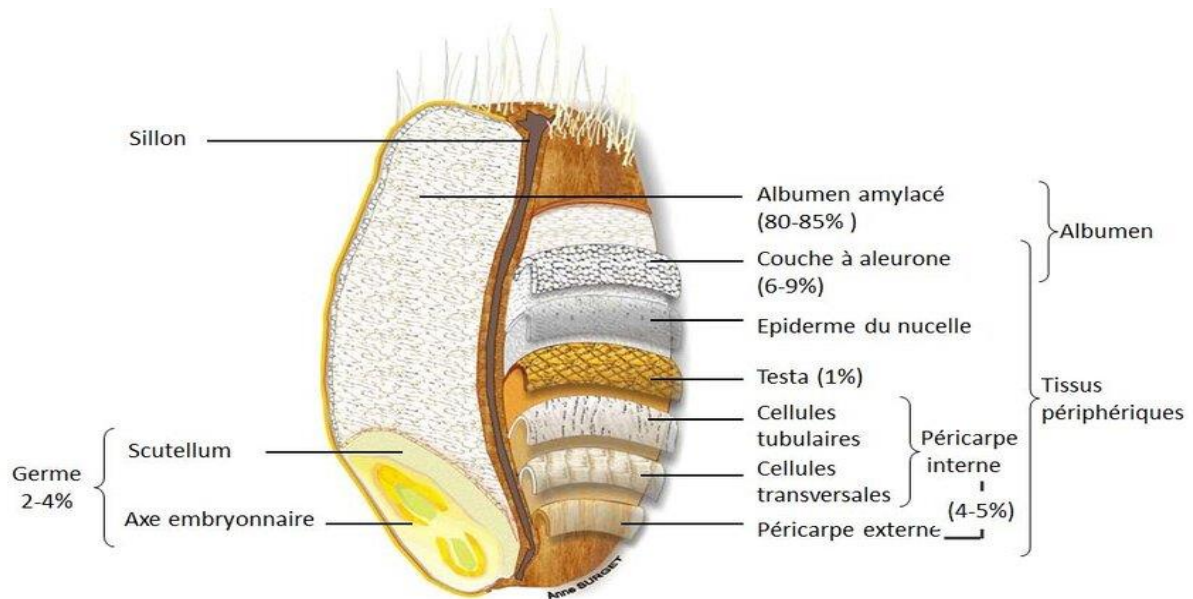


Figure 01 : anatomie du grain de blé tendre (feuillet ,2000)

I.4. Cycle de développement :

Trois phases principales caractérisent le cycle de développement d'un blé :

- La première étape, dénommée phase végétative, va de la germination jusqu'à l'apparition des premiers indices d'élongation de la tige principale, indiquant ainsi le commencement de la montée, qui comporte trois phases : La phase de semis à la levée, phase de la levée au tallage, phase du tallage au montaison.
- Par la suite, nous avons la phase reproductrice qui est cruciale pour le développement des feuilles et des racines de la plante. Pour que la graine de blé atteigne un taux d'humidité idéal, entre 35 et 45% de sa masse, elle doit être de bonne qualité. L'émergence de l'épi marque le début de la phase reproductive, qui se poursuit par la croissance et la maturation du grain, jusqu'à son développement complet (Boulal et al., 2007).
- Pour finir, la phase finale, connue sous le nom de période de maturation, qui va de la fertilisation jusqu'à ce que le grain soit complètement mature, est essentielle pour la formation des réserves telles que l'amidon et les substances organiques. Ces dernières sont synthétisées et se déplacent vers l'albumen. Simultanément, l'embryon prend forme. (Moule, 1971).

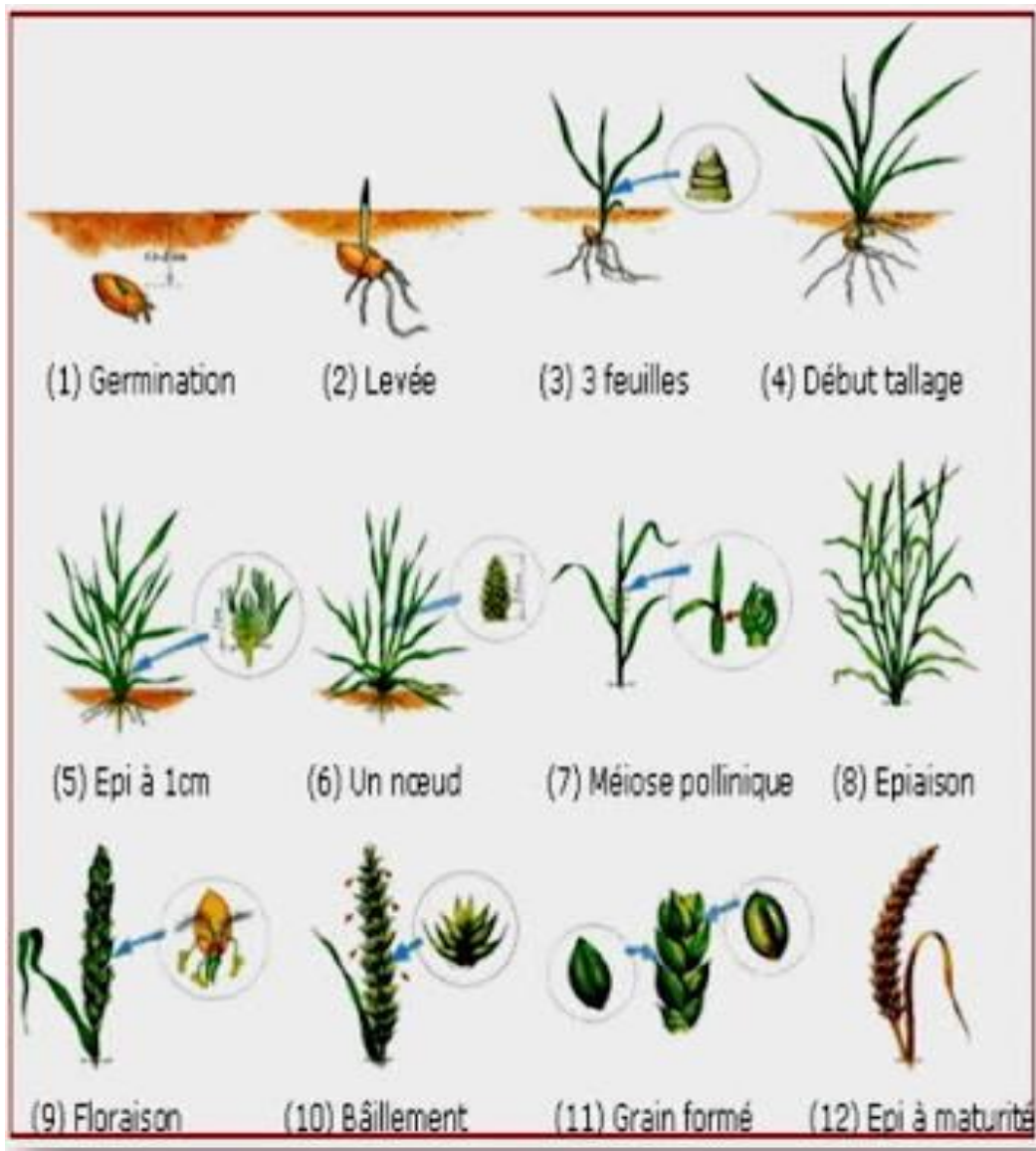


Figure 02 : Cycle végétal de blé (Fritas , 2012)

I.5. Composition biochimique du grain du blé tendre :

Le grain de blé est majoritairement composé d'amidon (approximativement 70%), de protéines (entre 10 et 15%) et de pentosanes (8 à 10%). Les autres éléments présents en plus petite quantité comprennent les lipides, la cellulose, les sucres libres, les minéraux et les vitamines (FEILLET, 2000).

I.5.1. Amidon :

L'amidon est le polysaccharide de réserve dominant chez les plantes supérieures, et il constitue respectivement 67-68% du grain de blé et 78-82% de l'albumen. Il s'agit de l'un des polymères fonctionnels les plus importants dans le domaine alimentaire, grâce à ses propriétés de gélification et de rétention d'eau. L'amidon de blé est composé principalement de granules de type A (80-90% en poids et 15-20% en quantité), qui sont généralement les plus volumineux

(20-25um) et lenticulaires, ainsi que de granules de type B, qui sont plus petits (2-10 um) et sphériques. (FEUILLET, 2000).

I.5.2. Protéines :

Les grains de blé contiennent un vaste assortiment de protéines : des protéines structurales, des protéines biologiques actives et des protéines de réserve. Ces protéines ne se trouvent pas de manière uniforme dans le grain de blé, elles sont principalement situées dans le germe et la couche protéique. Les protéines sont les seules substances qui assurent à la fois l'extensibilité, la ténacité, l'élasticité et la cohésion de la pâte. Le gluten, qui représente 80 à 85% des protéines totales, est le plus important parmi les diverses protéines du blé, tant en termes de quantité que de technologie (BENHANIA, 2013).

I.5.3. Les lipides :

Les lipides représentent 2%. Ils sont localisés dans le germe et l'assise protéique. Se lier lors de pétrissage de la pâte aux protéines et aux glucides pour assurer la rétention en eau, l'extensibilité et l'élasticité de la pâte (Fredot, 2009)

Ces lipides sont :

- ✓ Lipides apolaires, localisés dans le germe.
- ✓ Lipides polaires (lipides de structure du grain). L'albumen amylicé contient la plus grande part des lipides polaires, dont une partie est associée au grain d'amidon. L'impact nutritionnel des lipides des grains de céréales est relativement limité en raison de leur faible abondance. Par ailleurs, les triglycérides peuvent former des complexes de cristallisation avec les molécules d'amylose durant le processus de rétrogradation (Saulnier., 2012).

Le grain du blé contient aussi les éléments suivants :

- **Vitamines** : Principalement présentes dans le germe, leur distribution dépend du type de sol, des conditions climatiques et de la variété du blé. On trouve principalement les vitamines suivantes : B1, B2, B5, PP, B6 et E. Les fluctuations liées aux procédés technologiques sont nettement plus prononcées puisque certaines vitamines réagissent fortement à la chaleur (GODON, 1995).
- **Substances minérales** : Le grain contient une multitude de minéraux en des proportions variées : 75% de potassium (300-600 mg/100g de matière sèche), le phosphore (200-500 unités) qui est principalement sous forme de phytate, le soufre (100-250 unités), le magnésium (100-150 unités), le chlore (50-150 unités) et le calcium (25-100 unités). Les éléments minéraux ne se trouvent pas sous forme libre, mais plutôt combinés. La teneur en minéraux du blé peut varier en fonction du sol, des conditions climatiques, de l'engrais et même de l'année (GODON, 1995).
- **Les enzymes** : Ce sont des substances complexes présentes en quantité négligeable, mais dont le rôle est très important, elles sont responsables des transformations que subissent les autres substances. (NIQUET et LASSERNAN, 1989). Les plus courantes sont les protéases, les lipases, les lipoxygénases et les amylases, plus phytases (phosphatases) les peroxydases et les catalases (BOUDREAU et MENARD, 1992).

I.6. Exigences culturales :

I.6.1. La température :

La vitesse des réactions chimiques, y compris celles qui interviennent dans le processus de photosynthèse des plantes, est notablement affectée par la température. Dans des conditions de basse température, l'activité métabolique diminue et la croissance végétale est freinée puisque la production de matière organique est restreinte. Toutefois, une hausse de température stimule les réactions chimiques de la photosynthèse, conduisant à une augmentation de la production de matière organique. Cette stimulation continue jusqu'à ce qu'une température idéale soit atteinte, au-delà de laquelle les réactions risquent d'être affectées ou même entravées (Battinger, 2002).

Mekhlouf et al. (2001) situent les exigences en température pour les stades suivants :

- Pour la levée, il faut cumuler 120 degrés Celsius de température.
- Pour le tallage, il faut atteindre une somme de 450 degrés Celsius en température.
- Au plein tallage, la somme des températures doit être de 500 degrés Celsius.
- Lorsque l'épi atteint 1 cm, la somme des températures doit être de 600 degrés Celsius.

I.6.2. La lumière :

L'éclairage joue un rôle crucial qui a un impact direct sur la photosynthèse et la croissance du blé. Lorsque le blé est soumis à des conditions, un tallage optimal est garanti. Des performances optimales (Siouda et Benkhelifa, 2016).

I.6.3. L'eau :

Le blé a besoin d'une source continue d'humidité tout au long de sa phase de croissance, avec des exigences en matière d'eau qui changent selon les phases de son développement (Soltner, 1980).

I.6.4. Le sol :

Les sols les mieux adaptés à la culture du blé sont ceux qui offrent un drainage efficace, une profondeur adéquate et qui ne contiennent pas de calcaire actif. Il est idéal d'avoir un pH entre 6,5 et 7,5, car cela facilite l'absorption de l'azote, ce qui contribue à la croissance et au rendement du blé (Ben Mbarek et Boubaker, 2017).

I.6.5. Fertilisation :

Les cultures annuelles comme le blé sont sensibles aux carences en phosphore (P), en potassium (K) et en azote, surtout lorsqu'elles sont jeunes, car leurs systèmes racinaires n'exploitent qu'une petite partie du sol. Dans les régions sahariennes, où les sols sont souvent pauvres, la fertilisation azote-phosphorique revêt une grande importance. Cette fertilisation doit être adaptée en fonction des caractéristiques des variétés cultivées. De plus, en raison de la mobilité élevée de l'azote, il est essentiel de fractionner son application pour optimiser son utilisation par les cultures (Ouazar, 2012).

I.7. Répartition géographique et diffusion du blé (à l'échelle mondiale) :

Les blés trouvent leur origine dans le Proche-Orient, plus précisément dans la région appelée le Croissant fertile, qui comprend l'Irak, la Syrie et la Turquie (Baldy, 1986). Leur diffusion vers l'Europe, l'Asie et l'Afrique du Nord remonte à des millénaires. Le blé tendre serait apparu entre 7000 et 9500 ans avant notre ère, probablement à la suite de la domestication de variétés sauvages de blés (Nesbitt et Samuel, 1995).

I.8. Intérêt de la culture du blé tendre :

I.8.1. Intérêt alimentaire :

Le blé est la ressource alimentaire primordiale pour l'humanité et la source principale de protéines. Ils constituent aussi une ressource de choix pour la nourriture animale et ont de nombreuses applications industrielles (Nedjah, 2015). On cultive le blé tendre afin de produire la farine panifiable destinée à la fabrication du pain. Au moment du battage, ses grains se détachent de leurs enveloppes. Souvent appelée blé tendre ou simplement blé, cette espèce a connu une vaste répartition géographique et est devenue la céréale la plus répandue. La sélection moderne, lancée à la fin du XIXe siècle par Henry de Vilmorin, s'est focalisée sur trois piliers : la résistance aux variations climatiques, l'abondance en protéines, particulièrement le gluten pour la fabrication du pain, et bien sûr le rendement (Armand et Germain, 1992).

I.8.2. Intérêt économique :

I.8.2.1 Dans le monde :

Du point de vue superficie, le blé est la plus grande culture au monde, avec une superficie annuelle moyenne de 219 millions d'hectares de 2010 à 2017. La superficie ensemencée de 2010 à 2017 était de, suivie de l'évolution de la production (tableau N°02), de 640 millions de tonnes en 2010 à 715 millions de tonnes en 2017. La raison de cette tendance à la hausse est que l'intensification a augmenté le rendement par hectare (q/ha) de 2,79 tonnes (q/ha) en 2010 à 3,26 tonnes par hectare en 2017 (FAO. 2017).

I.8.2.2 En Algérie :

Chaque année, environ 3.3 millions d'hectares en Algérie sont dédiés à la culture de céréales. On cultive du blé dur sur une superficie de 1,5 million d'hectares et du blé tendre sur 600 000 hectares. Selon Abis (2012), l'Algérie, avec près de 600 grammes par individu et par jour, est le pays maghrébin où les résidents consomment le plus cette denrée au monde. À l'échelle mondiale, l'Algérie continue d'être un important acheteur de céréales, notamment de blé dur et de blé tendre, en raison des limitations de la filière nationale à répondre à l'augmentation constante des besoins alimentaires de sa population (Ammar, 2014 ; Abis, 2012). D'après la FAO (2014), l'Algérie se classe quatrième en Afrique et dix-septième à l'échelle mondiale, avec une production de 2,4 millions de tonnes, répartie en moyenne entre 58,7% de blé dur et 33% de blé tendre.

II. La germination :

II.1. Définition de la germination :

La germination est fréquemment perçue comme la transition d'une graine en dormance vers une jeune pousse capable de croître de manière autonome, caractérisée par le développement initial des premières feuilles (Come, 1975). La germination est un processus qui commence à l'initiation de l'hydratation de la graine et qui s'achève dès le commencement du développement de la radicule (Evenari, 1957). D'après Mazliak (1982), la germination d'une graine est considérée comme achevée lorsque la radicule traverse les enveloppes ou, dans le cas d'un embryon isolé, dès que la radicule commence à se développer.

II.2. Phase de germination :

- **Phase I ou phase d'imbibition** : Au cours de cette étape, les tissus se réhydratent, stimulant par conséquent le redémarrage de l'activité métabolique. Cela est également associé à une intensification de l'activité respiratoire. Durant cette période, la graine connaît une augmentation significative de sa taille, pouvant même multiplier son volume par deux ou trois. Cette étape est plutôt brève, habituellement elle dure de 6 à 12 heures en fonction des variétés de graines (Heller, 1995).
- **Phase II, ou phase de germination au sens strict** : Durant cette phase précise de la germination, on ne peut observer aucun changement morphologique de la graine. Elle dure de 12 à 48 heures et prend fin lorsque la radicule perce les enveloppes séminales (Come, 1975 ; Heller, 1995). Dans ce contexte, l'absorption d'eau et d'oxygène est faible et constante, tandis que les réserves sont mises en action et par la suite dégradées par des enzymes dédiées. Toutefois, tant que la radicule n'est pas encore apparue, la graine peut traverser des cycles de réhydratation et de déshydratation sans être endommagée.
- **Phase III ou phase de développement** : Durant cette étape, on note une hausse de l'absorption d'eau et une activité respiratoire en progression, essentiellement causée par l'élargissement de la radicule (Mazliak, 1982 ; Evenari, 1957 ; Come, 1970). D'après Mazliak (1982), cette étape se caractérise par une stimulation de l'activité enzymatique, accompagnée d'une hausse des niveaux de respiration et d'assimilation. Ces manifestations témoignent de la mobilisation des nutriments accumulés et de leur distribution vers les régions en croissance.

II.3. Conditions de la germination :

Plusieurs éléments influencent la germination : la température et l'oxygène, mais aussi des facteurs internes tels que le stade de maturation, la période de dormance et les processus inhibiteurs. Conditions extérieures :

- **Eau** : selon Côme, 1975 Lors des premières étapes de la germination, l'absorption d'eau est rapide durant les premières heures. Cependant, cette vitesse diminue par la suite même si l'eau demeure sous forme liquide.

Température : ce facteur a un impact notable sur la vitesse des réactions biochimiques ; l'intervalle de température optimal pour la germination se trouve entre 20°C et 25°C (Côme, 1975).

- **Oxygène** : La germination nécessite de l'oxygène, tout comme tout être vivant. Selon Côme (1975), l'embryon ne peut se servir que de l'oxygène qui est dissous autour des téguments.

Conditions à l'intérieur :

Ø Maturation : une graine est jugée mûre lorsqu'elle a atteint son degré optimal de déshydratation naturelle, ce qui facilite sa récolte, ou lorsqu'elle est libérée par la plante (Côme, 1975).

- **Dormance** : à l'intérieur d'une graine, c'est l'embryon qui initie la germination et engendre la nouvelle plante, représentant le segment actif et vivant de la graine. La dormance embryonnaire subsiste même après le retrait des enveloppes de la graine ou l'élimination du facteur à l'origine de son déclenchement. Elle se produit fréquemment durant la phase de développement de la graine sur la plante, pendant sa maturation morphologique. On se réfère à cela comme la dormance embryonnaire primaire (Côme, 1975).
- **Inhibitions de germination** : l'inhibition de la germination fait référence à tout mécanisme qui empêche la germination d'un embryon qui n'est pas en dormance (Côme, 1975).

III. Généralités sur les phytohormones :

Une hormone végétale, également appelée phytohormone, est une hormone sécrétée par une plante. Il s'agit d'une composante chimique organique qui contrôle le développement des plantes ou joue un rôle dans la communication entre différentes espèces végétales (un arbre en détresse peut libérer une hormone informant d'autres arbres qu'une situation de stress est en cours. Ce stimulus peut accroître la production de tanins ou de molécules défensives au sein de la plante hôte. On évoque parfois les hormones de stress pour désigner les molécules produites par des plantes en situation de sécheresse ou endommagées, qui peuvent attirer aussi bien des prédateurs que leurs propres prédateurs (Laberche, 2010).

Pour qu'un composé soit désigné comme étant une phytohormone, il doit remplir les critères suivants :

- Endogène (c'est-à-dire, non issue de l'environnement).
- Oligo dynamique, c'est-à-dire opérant à faible dose, typiquement de l'ordre de la micromole.
- Agissant comme un vecteur d'information (transmise à une cellule cible qui réagit spécifiquement à son action et dont elle modifie le fonctionnement).

Ces critères permettent de différencier une phytohormone d'une substance trophique. On regroupe les hormones végétales en cinq familles majeures, auxquelles s'ajoutent d'autres ensembles également impliqués dans la régulation du développement de la plante. Ces hormones font partie de divers groupes chimiques et peuvent remplir plusieurs fonctions. Les premières molécules reconnues étaient les auxines, les gibbérellines, l'acide abscissique, les cytokinines, l'éthylène et plus récemment d'autres substances telles que les brassinostéroïdes, l'acide jasmonique, l'acide salicylique ainsi que des prolamines et des Oligosaccharides (Laberche, 2010).

III.1. L'acide gibbérellique :

III.1.1. Définition :

Les acides gibbérelliques sont présents chez tous les groupes végétaux. Il en existe une vingtaine de composés à structure chimique très voisine, l'acide gibbérellique (GA3) étant le plus répandu (Hartman, 1990).

Les gibbérellines sont produites à la fois par les champignons et les plantes supérieures. Une application exogène de gibbérellines provoque un allongement marqué des tiges intactes (Hopkins, 2003).

III.1.2. L'effet de l'acide gibbérellique sur la germination :

Heller (1995) montre que le rôle de cette hormone est de favoriser la synthèse des enzymes, et notamment celle de l' α -amylase dans la graine. Cet effet permet la mobilisation des réserves de produits simples solubles susceptibles de fournir de l'énergie.

Selon le même auteur, les acides gibbérelliques (GA3) lèvent la dormance des semences et ont généralement une action stimulante sur la germination.

(Gomath et al., 2005) ont montré que la salinité diminuait la croissance et le rendement. L'application d'acide gibbérellique réduit cet effet.

Quelques études ont montré que l'application externe de gibbérelline sur *Hibiscus sabdariffa* L. en conditions de salinité stimule la synthèse de la catalase, réduit les effets négatifs de la salinité et améliore les conditions de croissance des plantes (Parvanah, 2015).

III.2. L'auxine :

III.2.1. Définition :

L'auxine est une phytohormone majeure, présente dès les premiers stades de la germination, notamment au niveau de l'extrémité de la racine (Liu et al., 2007 ; Miransari et Smith, 2014). Elle joue un rôle central dans la régulation de nombreux processus physiologiques et morphogénétiques chez les plantes. Parmi ses fonctions clés, on retrouve le contrôle du cycle cellulaire, la promotion de l'élongation cellulaire, la différenciation des tissus, ainsi que le développement des organes végétatifs et reproducteurs.

III.2.2. Effet de l'auxine sur la germination des graines :

Des recherches ont montré que l'auxine intervient activement dans la formation des tissus vasculaires (xylème et phloème) (Schuetz et al., 2007), dans la production du pollen (Ni et al., 2002), ainsi que dans le développement global des structures de la plante, telles que les feuilles, les racines et l'embryon (He et al., 2000 ; Xu et Ni, 1999 ; Rashotte et al., 2000 ; Popko et al., 2010). Ces processus sont étroitement dépendants du transport polarisé de l'auxine, un mécanisme sophistiqué qui permet à la plante d'orienter sa croissance en fonction des signaux internes et environnementaux.

En particulier, l'auxine joue un rôle déterminant dans la rhizogénèse (formation des racines) et la caulogénèse (formation des tiges). Ces deux processus sont considérés comme des étapes fondamentales qui prolongent la germination au sens botanique défini par Evenari (1957), c'est-à-dire la reprise du développement embryonnaire et la mise en place des premiers organes fonctionnels de la plante. Ainsi, l'auxine n'est pas seulement une molécule de croissance, mais

un véritable chef d'orchestre du développement post-germination, en intervenant dans l'organisation spatiale et fonctionnelle de la plante dès ses premiers instants de vie.

III.3. Acide ascorbique :

III.3.1. Définition :

L'acide ascorbique (noté AA) est un acide organique de la famille des hydroxycétones. Sa structure chimique a été établie par Haworth en 1932. Il est constitué de la molécule $C_6H_8O_6$. Il possède une fonction éne-diol, deux fonctions alcool et une fonction lactone qui unit les carbones C1 et C4. Sa forme oxydée est l'acide déhydroascorbique (noté DHA), dont la formule chimique est $C_6H_6O_6$.

Les autres noms de l'acide ascorbique sont la vitamine C, l'acide L-thréo-hex-2-énoïque – gamma-lactone et l'acide L-xyloascorbique, qui fait référence à ses propriétés anti-scorbutiques.

L'acide ascorbique est une vitamine hydrosoluble. Il possède deux isomères : l'acide L-ascorbique et l'acide D-ascorbique. Seule la forme L est métabolisée de façon efficace, car une mutation du gène de la L-gluconolactone oxydase empêche la forme D d'être métabolisée. L'organisme ne disposant pas de capacité de stockage, un apport minimal quotidien d'origine alimentaire est donc nécessaire. En France, la majeure partie des apports (70 %) provient des fruits (agrumes essentiellement) et des légumes (Bockrisj et al., 1983). Les pommes de terre, le pain et les céréales en apportent de 12 à 22 %.

L'acide ascorbique joue plusieurs rôles dans l'organisme grâce à ses propriétés antioxydantes et hydroxylantes. Il intervient dans la synthèse du collagène, de la tyrosine, de la carnitine, du cholestérol et des acides biliaires. Il participe également au métabolisme du fer et aide à éliminer les carcinogènes et les nitrosamines cancérigènes (Cognard et al., 1984).

III.3.2. Effet de l'acide ascorbique sur la germination :

L'acide ascorbique est une petite molécule relativement abondante chez les plantes. Elle joue des rôles multiples : dans la croissance et le développement des plantes, dans le processus de division cellulaire ainsi que dans l'expansion des parois pecto-cellulosique.

Cette molécule joue également un rôle clé dans l'activité des enzymes antioxydantes telles que le glutathion et la détoxification par le H_2O_2 , et contribue ainsi à la protection contre les radicaux libres.

IV. Le Vieillessement Accéléré des Graines du blé :

IV.1. Définition du vieillissement accéléré appliqué au blé :

Le vieillissement accéléré est une méthode artificielle permettant de simuler le vieillissement naturel des graines de blé en conditions contrôlées. Ce protocole consiste à exposer les graines à une température élevée (typiquement 41 à 45°C) et à une humidité relative élevée (souvent > 75 %) pendant plusieurs jours. Ces conditions extrêmes visent à accélérer les processus de dégradation physiologique qui affecteraient normalement les graines au cours d'un stockage prolongé (Corbineau, 2024).

Dans le cas du blé, espèce stratégique pour la sécurité alimentaire mondiale, cette méthode permet de tester la stabilité du pouvoir germinatif, un critère fondamental pour la qualité des semences.

IV.2. Mécanismes du vieillissement dans les graines du blé :

Chez le blé, comme chez d'autres espèces, le vieillissement accéléré entraîne plusieurs altérations biochimiques et physiologiques :

Perte d'intégrité des membranes cellulaires : la peroxydation des lipides membranaires provoque des fuites d'électrolytes, réduisant la viabilité cellulaire.

Augmentation du stress oxydatif : la production accrue d'espèces réactives de l'oxygène (ROS) endommage les protéines, les lipides et les acides nucléiques.

Déclin enzymatique : les enzymes nécessaires à la mobilisation des réserves (amylases, protéases) deviennent moins actives, ce qui nuit au bon déroulement de la germination.

Modification du métabolisme énergétique : le potentiel respiratoire diminue, réduisant la capacité de la graine à initier le processus germinatif.

Selon Corbineau (2024), ces phénomènes sont particulièrement rapides chez les graines à faible taux de tolérance au stockage, ce qui peut être le cas de certaines variétés de blé sensibles.

IV.3. Influence des facteurs externes : lumière et environnement

Bien que le test de vieillissement accéléré se fasse en environnement obscur, l'étape de germination qui suit peut-être influencée par la lumière. D'après Cousens (1988), certaines semences deviennent plus sensibles aux facteurs environnementaux (notamment la photoréception) après un stress de vieillissement. Chez le blé, espèce plutôt peu sensible à la lumière pour la germination, un stress préalable peut cependant modifier cette tolérance et rendre la germination plus dépendante de la lumière, de la température et de l'humidité du sol. Cette interaction entre vieillissement et environnement de germination doit être prise en compte, notamment dans les régions à forte variabilité climatique ou en agriculture de conservation où les semences sont moins enfouies.

Chapitre 02 :
Matériel et méthodes

Le présent travail a été réalisé au laboratoire d'écophysiologie végétale du département de biologie de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. Il vise à étudier l'effet de différentes phytohormones et de l'acide ascorbique sur la germination et la croissance des graines de blé tendre (*Triticum aestivum* L.), artificiellement vieilles.

I. Matériel d'étude :

I.1. Matériels utilisés :

- Acide ascorbique
- L'auxine
- L'acide gibbérellique
- H₂O distillée, l'eau javel, l'alcool, balance, fioles, béchers, papier aluminium, boîtes de pétri, papier absorbant, les étiquettes, agitateur, passoire.

I.2. Matériel végétal :

Graines de blé tendre variété « HD 1220 » (récolte 2021) fournies par l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC), Baraki. Les semences n'ont subi aucun traitement préalable et ont été conservées dans un local sec à température ambiante.



Figure 03 : graines de blé tendre (*Triticum aestivum*) ; (photo originale 2025).

II. Méthodes expérimentales :

II.1. Préparation des solutions :

Les solutions utilisées pour les traitements exogènes sont les suivantes :

- **Acide ascorbique (Vitamine C) :**

Solution préparée : $30 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$.

Volume utilisé : 15 ml/lot de graines

- **Acide gibbérellique (GA_3) :**

Solution préparée : $13,9 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$.

Volume utilisé : 15 ml/lot de graines.

- **Auxine (AIA/IAA) :**

Solution préparée : $0,175 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$.

Volume utilisé : 15 ml/lot de graines

II.2. Préparation et prétraitement des graines :

- **Tri :** nous avons trié les graines en évitant toute celle qui sont abimées pour chaque lot de traitement, 1,33 g de graines saines ont été pesées.
- **Désinfection :** trempage dans l'eau de Javel pendant 5 minutes suivi de rinçages répétés à l'eau distillée.
- **Imbibition :** immersion des lots de graines pendant 24 h dans 15 ml de solution (GA_3 , AIA ou Vitamine C).
- **Rinçage lavage** abondant à l'eau distillée.
- **Séchage :** séchage à température ambiante.

III. Vieillessement artificiel des graines :

Les graines sont déposées dans un bécher mis dans un cristallisateur remplie à moitié par de l'eau. Le cristallisateur est ainsi mis à l'étuve à température de 45°C pendant 48h.

IV. Mise en germination :

Les graines du Blé sont placées dans des boîtes de Pétri en plastique de 25 cm de diamètre et 1,3 cm de hauteur, tapissées de deux couches de papier filtre et arrosé de 20 ml d'eau distillée. Un régime d'arrosage est appliqué une fois par semaine. Le nombre de répétition est de 5 boîtes par traitement.

Les graines ont été ensuite mises dans l'étuve réglée à une température de 20°C .

Le suivi de la germination a été réalisé sur une période de 20 jours, le comptage des graines germées a été effectué chaque jour.

Nous avons ensuite retiré les boîtes de l'étuve et les avons placées sur la paille au laboratoire.

Les graines testées dans cette expérimentation sont réparties en deux lots, le premier concerne les graines n'ayant pas subi le traitement de vieillissement accéléré et sont ainsi appelées

graines jeunes, le deuxième lot est représenté par les graines qui ont subi le traitement de vieillissement accéléré (artificiel) et sont ainsi considérées graines vieilles.

V. Paramètres mesurés :

Le suivi du comportement des graines de Blé durant la germination, sur une période de 20 jours, a été réalisé à partir de plusieurs paramètres morphologiques.

Nous avons calculé plusieurs paramètres, notamment le taux de germination final, ainsi que différents indicateurs de croissance des plantules, tels que la longueur de la partie aérienne, la longueur des racines, le nombre de racines ainsi que le poids sec. Les longueurs des plantules issues des graines germées ont été mesurées à l'aide d'une règle graduée en centimètres.

V.1. Taux de germination (pourcentage final de germination) :

Le taux de germination ou TG est calculé selon la formule suivante : (Mazaliak, 1982)
 $TG (\%) = n/N (100)$ n : Nombre de graines germées et N : Nombre total de graine

V.2. La longueur de la racine :

Après avoir retiré délicatement les graines des boîtes de Pétri, nous avons mesuré par une Règle graduée.

V.3. Longueur de la tige des plantules :

La longueur des plantules a été mesurée par une règle graduée à la fin de la durée de germination.

V.4. Nombre de racines :

Après 20 jours de germination, les racines des plantules ont été observées et dénombrées à l'œil nu afin de déterminer le nombre total de racines par plantule.

V.5. Détermination de la biomasse des plantules :

La biomasse est exprimée en gramme cette dernière a été effectuée par pesée de la matière fraîche des plantules avec une balance une fois que la germination est finie.



Figure 04 : les graines du blé tendre après germination (photo originale ;2025).

VI. Test statistiques :

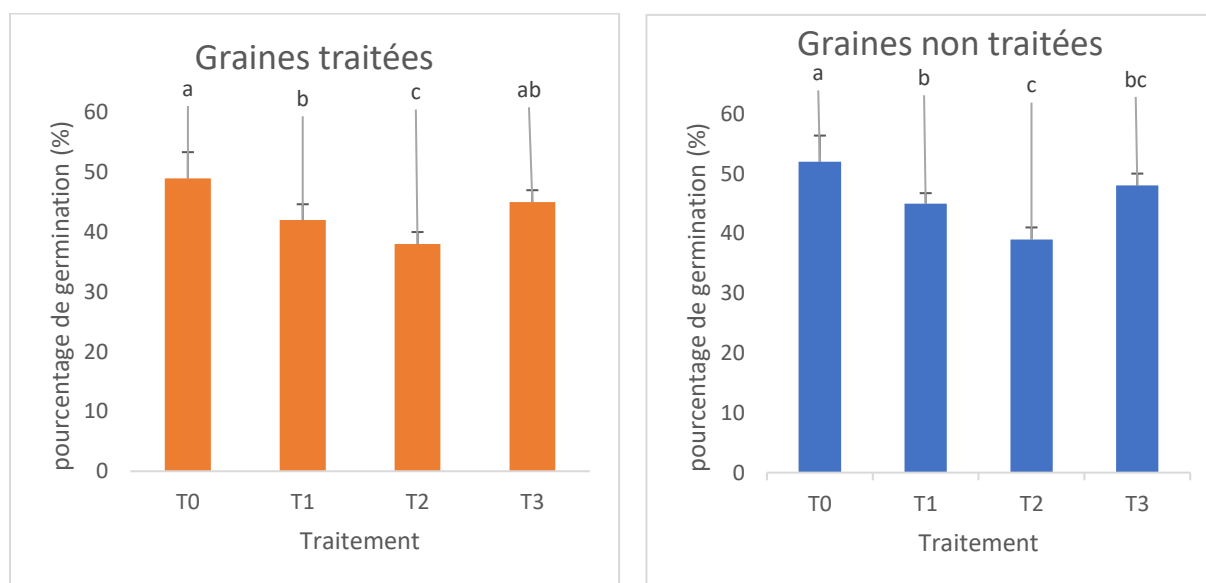
Pour traiter nos résultats, on a procédé à la comparaison des moyennes des traitements En utilisant le logiciel R. L'analyse a été réalisée en utilisant le test anova.

Chapitre 03 :
Résultats et discussion

I.1. Effet des phytohormones et de l'acide ascorbique sur le pourcentage de germination du blé tendre après 20 jours (figure 05) :

Le suivi du pourcentage de germination des graines non traitées révèle des différences significatives en fonction des traitements appliqués. Le témoin (T0) enregistre une valeur moyenne de 52 %. Le traitement à l'auxine (T1) réduit ce taux à 45 %, soit une diminution de 13,5 % par rapport au témoin. L'application de gibbérelline (T2) accentue cette baisse avec une moyenne de 39 %, correspondant à une réduction de 25 %. En revanche, le traitement à l'acide ascorbique (T3) conserve un taux élevé de 48 %, très proche de T0 (variation de -7,7 %). Ces résultats indiquent que T2 est le traitement le plus défavorable, tandis que T0 et T3 maintiennent les taux de germination les plus élevés.

Chez les graines traitées, le témoin (T0) affiche un pourcentage final de germination de 49 %. Le traitement à l'auxine (T1) fait baisser ce taux à 42 %, soit une diminution de 14,3 % par rapport au témoin. Le traitement à la gibbérelline (T2) enregistre la valeur la plus faible (38 %), correspondant à une réduction marquée de 22,4 %. Quant à l'acide ascorbique (T3), il donne une valeur intermédiaire de 45 %, avec une baisse modérée de 8,2 %. Ici encore, T2 est le plus défavorable, alors que T0 conserve le meilleur taux de germination.



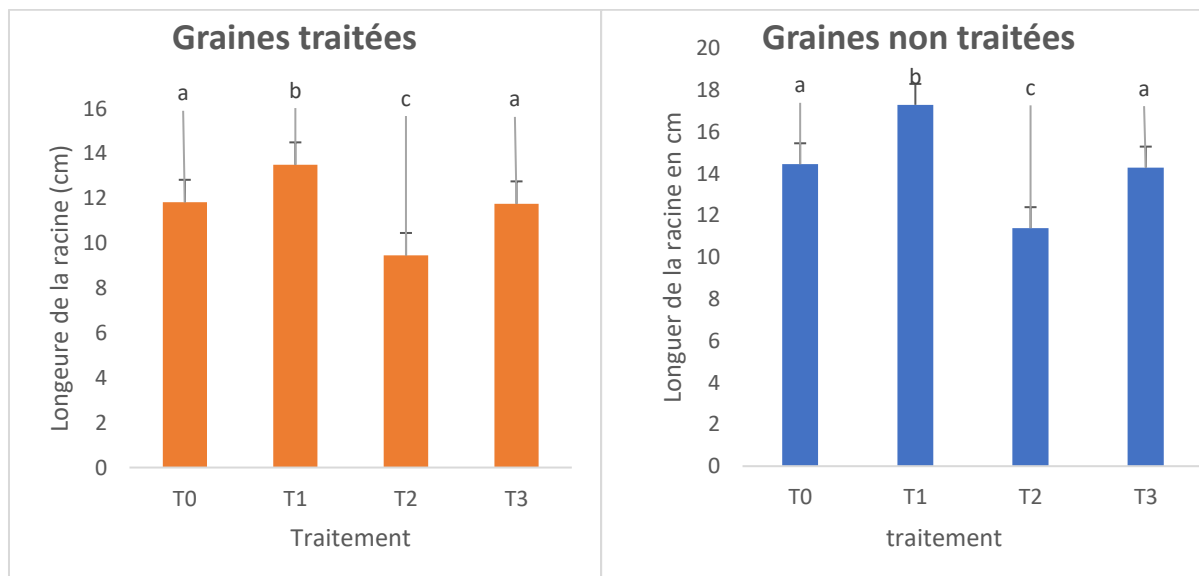
T0 : témoin ; **T1** : auxine ; **T2** : acide gibbérellique ; **T3** : acide ascorbique

Figure 05 : Effets des phytohormones et de l'acide ascorbique sur le pourcentage de germination des graines du blé tendre (après 20 jours).

I.2. Effet des phytohormones et de l'acide ascorbique sur la longueur de la racine principale du blé tendre après 20 jours (figure06) :

L'analyse statistique a révélé un effet hautement significatif ($p < 0,001$) des différents traitements sur la longueur des racines des plantules de blé tendre. Chez les graines non traitées, la plus grande valeur a été enregistrée sous auxine (T1) avec 17,3 cm, soit une augmentation d'environ 20 % par rapport au témoin (14,47 cm). Cette différence est statistiquement significative ($p = 0,007$). À l'inverse, le traitement par la gibbérelline (T2) a induit une chute nette de la longueur des racines, avec une moyenne de 11,4 cm, soit une diminution d'environ 21 % par rapport au témoin. Quant à l'acide ascorbique (T3), il n'a pas montré d'effet significatif.

Chez les graines traitées, les traitements ont également affecté la longueur des racines. L'auxine (T1) a entraîné une augmentation notable avec une moyenne de 13,5 cm, soit une amélioration d'environ 14 % par rapport au témoin (11,83 cm). En revanche, la gibbérelline (T2) a provoqué une réduction marquée (9,47 cm, soit -20 % par rapport au témoin). Le traitement à l'acide ascorbique (T3) a donné une longueur très proche de celle du témoin.



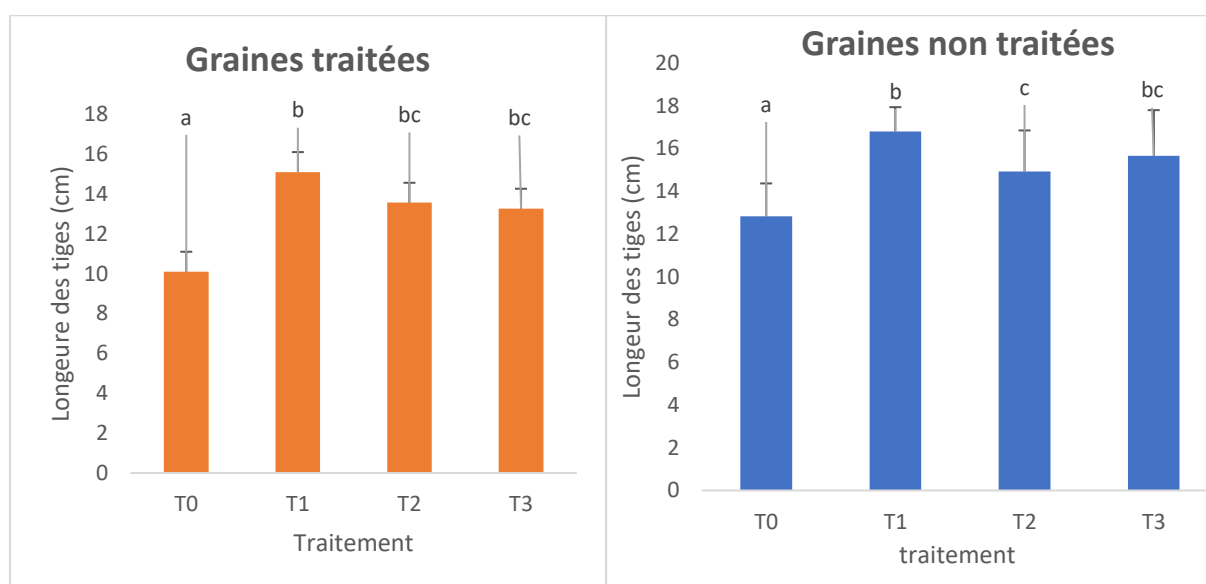
T0 : témoin ; **T1** : auxine ; **T2** : acide gibbérellique ; **T3** : acide ascorbique

Figure 06 : effets des phytohormones et de l'acide ascorbique sur la longueur de racine principale du blé tendre (après 20 jours).

I.3. Effet des phytohormones et de l'acide ascorbique Sur la longueur de la tige principale des graines du blé tendre après 20 jours (figure07) :

L'étude de la longueur de la partie aérienne des plantules a révélé un effet significatif des traitements ($p < 0,001$). Chez les graines non traitées, l'auxine (T1) a permis d'obtenir la plus grande hauteur moyenne des tiges (16,8 cm), soit une augmentation de 31 % par rapport au témoin (12,83 cm). Les traitements à la gibbérelline (T2) et à l'acide ascorbique (T3) ont aussi favorisé la croissance des tiges, avec des longueurs moyennes respectives de 14,93 cm (+16 %) et 15,67 cm (+22 %), toutes deux significativement supérieures au témoin.

Chez les graines traitées, les traitements ont également influencé la longueur des tiges. L'auxine (T1) a entraîné une augmentation significative à 15,1 cm, soit une amélioration d'environ 49 % par rapport au témoin (10,1 cm). La gibbérelline (T2) a également augmenté la longueur à 13,57 cm (+34 %), tandis que l'acide ascorbique (T3) montre une hausse modérée (13,27 cm, +31 %).



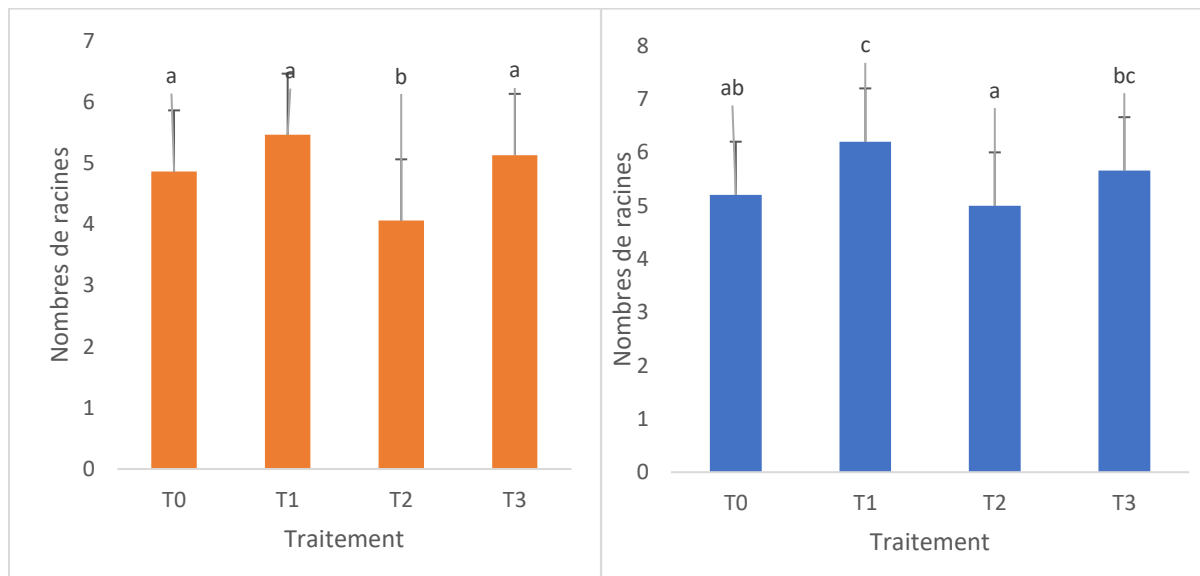
T0 : témoin ; **T1** : auxine ; **T2** : acide gibbérellique ; **T3** : acide ascorbique

Figure 07 : effets des phytohormones et de l'acide ascorbique sur la longueur de la tige principale du blé tendre (après 20 jours).

I.4. Effet des phytohormones et de l'acide ascorbique sur le nombre des racines du blé tendre après 20 jours (figure 08) :

Chez les graines non traitées, le nombre moyen de racines a été significativement affecté ($p < 0,001$). L'auxine (T1) a augmenté ce nombre à 6,2 racines, soit une augmentation de 19 % par rapport au témoin (5,2 racines). Un effet inhibiteur a été noté dans le cas du traitement à la gibbérelline (T2), tandis que l'acide ascorbique (T3) a donné un nombre moyen intermédiaire (5,67 racines, +7 %).

Chez les graines traitées, les traitements hormonaux n'ont pas révélé un apport positif significatif. Au contraire, une légère diminution a été mise en évidence chez les graines traitées par la gibbérelline, tandis que l'auxine et l'acide ascorbique conservent des valeurs proches du témoin.



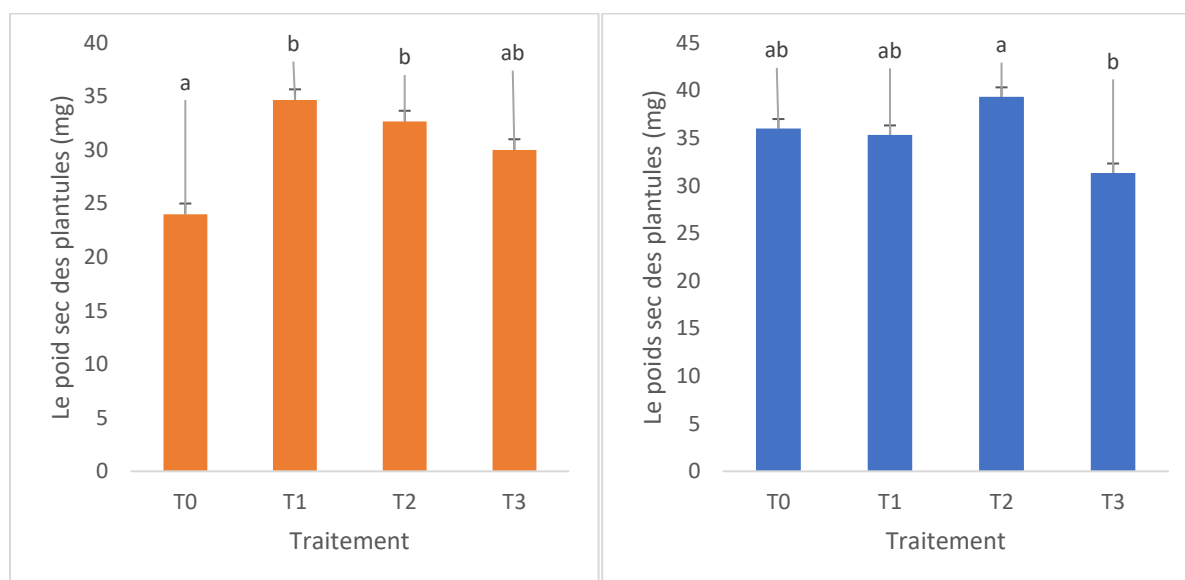
T0 : témoin ; **T1** : auxine ; **T2** : acide gibbérellique ; **T3** : acide ascorbique

Figure 08 : effets des phytohormones et de l'acide ascorbique sur le nombre des racines du blé tendre (après 20 jours).

I.5. Effet des phytohormones et de l'acide ascorbique sur le poids sec de la plantule après 20 jours (figure 09) :

Chez les graines non traitées, l'analyse statistique du poids sec a mis en évidence un effet significatif ($p = 0,029$). Le témoin (T0) affiche 36 mg, tandis que le traitement à la gibbérelline (T2) n'induit aucune variation significative. Le poids sous auxine (T1) est de 35,33 mg, comparable au témoin, tandis que l'acide ascorbique (T3) provoque une légère diminution ($p = 0,015$).

Chez les graines traitées, une variation du poids sec a également été observée. Le témoin (T0) affiche 24 mg. Le traitement à l'auxine (T1) a augmenté ce poids à 34,67 mg (+44 %), tandis que la gibbérelline (T2) a aussi provoqué une hausse notable (32,67 mg, +36 %). En revanche, l'acide ascorbique (T3) n'a pas présenté de différence significative comparativement au témoin ($p \approx 0,055$).



T0 : témoin ; **T1** : auxine ; **T2** : acide gibbérellique ; **T3** : acide ascorbique

Figure 09 : effets des différentes phytohormones sur le poids sec des graines de blé (graines vieilles).

II.1. Comparaison des effets des phytohormones et de l'acide ascorbique sur les graines de blé non traitées et traitées

Paramètres mesurés	Traitements appliqués	Graines non traitées	Graines traitées	Observation générale
Pourcentage final de germination (%)	T0 (Témoin)	≈ 78 %	49 %	La germination diminue fortement après traitement de vieillissement.
	T1 (Auxine)	≈ 84 %	42 %	L'auxine améliore légèrement la germination des graines non traitées, mais effet négatif sur les traitées.
	T2 (Acide gibbérellique)	≈ 71 %	38 %	La gibbérelline montre une réduction notable du taux de germination chez les graines traitées.
	T3 (Acide ascorbique)	≈ 76 %	45 %	L'acide ascorbique atténue partiellement les effets du vieillissement.
Longueur moyenne des racines (cm)	T0	12,6 cm	11,83 cm	Faible différence entre les deux lots.
	T1	14,2 cm	13,5 cm	L'auxine stimule la croissance racinaire dans les deux cas.
	T2	10,8 cm	9,47 cm	La gibbérelline réduit la longueur racinaire, effet accentué sur les graines traitées.
	T3	12,0 cm	11,7 cm	L'acide ascorbique conserve un développement proche du témoin.
Longueur moyenne des tiges (cm)	T0	11,2 cm	10,1 cm	Léger affaiblissement observé après traitement.
	T1	16,0 cm	15,1 cm	Effet stimulant marqué de

				l'auxine sur la partie aérienne.
	T2	14,0 cm	13,57 cm	L'acide gibbérellique stimule modérément la croissance des tiges.
	T3	12,8 cm	13,27 cm	L'acide ascorbique montre un effet de compensation après stress.
Nombre moyen de racines	T0	5,2	4,8	Peu de différence entre les lots.
	T1	6,1	5,7	Légère augmentation sous auxine.
	T2	4,5	3,9	Réduction marquée sous gibbérelline.
	T3	5,0	4,6	Stabilité relative sous acide ascorbique.
Poids sec (g)	T0	0,43 g	0,36 g	L'effet du vieillissement réduit la biomasse.
	T1	0,47 g	0,39 g	L'auxine favorise la matière sèche.
	T2	0,41 g	0,34 g	La gibbérelline diminue la masse sèche.
	T3	0,45 g	0,37 g	L'acide ascorbique améliore légèrement la biomasse.

Tableau 01 : Comparaison des effets des phytohormones et de l'acide ascorbique sur les graines de blé non traitées et traitées.

DISCUSSION :

Les résultats de cette étude révèlent que l'application de phytohormones influence différemment la croissance des plantules issues de graines jeunes et vieilles de blé tendre, en fonction des paramètres mesurés : pourcentage final de germination, longueur des racines et des tiges, nombre de racines et biomasse.

Dans le présent essai ; nos résultats ont montré qu'il n'y a aucune amélioration significative de la germination des graines. Cette constatation ne s'accorde pas avec certaines données bibliographiques telle que les travaux de Zhao et Jiang (2014) qui ont bien observé une amélioration du taux de germination des plantules de pin masson trempée en réponse au priming à la GA₃. Ceci peut être expliqué par le fait que la gibbérelline synthétisée principalement dans la radicule de l'embryon joue un rôle clé dans la levée de la dormance et par conséquent l'induction de la germination (Wang et al., 2019 ; Zhang et al., 2020). Gimeno-Gilles (2009), souligne que les espèces végétales déficientes en gibbérelline (GA₃) sont incapables de mener à bien le processus de germination, soulignant ainsi le rôle essentiel de cette hormone dans le déclenchement et la progression de cette phase du développement.

Dans certains cas notamment face aux taux élevés de GA₃, plusieurs travaux ont montré un effet négatif sur les paramètres de germination comme Jamil et Rha (2007) sur *Sacharum officinarum* L., Karkan et al. (2021) sur *Alium tuncelianum* , Li et al. (2022) sur *Phyllostachys edulis*, Ge et al (2018) sur *Avena sativa*.

En effet ; Shuai et al. (2017) ont enregistré une réduction de la capacité germinative des graines de Haricot traitées à l'auxine comparativement aux témoins.

Dans le cas des graines jeunes n'ayant pas subi de traitement de vieillissement. Concernant la phase de début de croissance ; l'application de traitements hormonaux — en particulier ceux utilisant des gibbérellines (GA₃) et des auxines (AIA, IBA) — a entraîné une stimulation notable de la croissance, notamment en ce qui concerne l'allongement des tiges et la production de biomasse. Ces constatations soutiennent les conclusions de Wierzbowska et al. (2008), qui ont démontré qu'une utilisation conjointe de gibbérelline et d'auxine induisait une hausse de 28 % de la concentration en calcium dans les grains, les feuilles et la paille, y compris dans les feuilles plus âgées du blé, par rapport au groupe témoin. En ce qui concerne le magnésium, la gibbérelline a favorisé son accumulation dans les tiges, la paille et les feuilles plus âgées, alors que les auxines ont encouragé sa distribution dans la plupart des organes de la plante.

Ces conclusions soulignent l'importance cruciale de ces deux hormones dans la gestion de l'absorption et du stockage des nutriments dans la biomasse végétale.

En outre, Sravani et al. (2020) signalent que l'usage d'auxines sur la biomasse de *Phaseolus vulgaris*, *Nothapodytes goettingense* et *Artemisia corsica* provoque une amélioration notable du rendement. En outre, la gibbérelline (GA₃) a prouvé son efficacité à améliorer le rendement chez *Allium cepa*.

L'application de AIA montre une amélioration significative de la croissance et du rendement des plantes tandis qu'augmentait la longueur et le poids frais et sec et stimule la transcription (Marie-Ève Leclerc et al., 2007).

Les auxines et les gibbérellines influencent de manière significative la composition chimique de la biomasse végétale en agissant sur l'accumulation de macroéléments. Des recherches ont montré que l'application de ces hormones entraîne une augmentation de la teneur en potassium, calcium et magnésium dans différentes parties des plantes

Wierzbowska et Nowak, (2000) et Wierzbowska et Nowak, (2002) ont observé que les auxines appliquées sur le blé ont permis d'augmenter la teneur en potassium des grains de 10,33 %.

En outre, Selon Shah et al. (2025), l'acide ascorbique (ASA) améliore la biomasse végétale des plantules soumises aux conditions contraignantes en renforçant l'activité photosynthétique, l'homéostasie ionique et les mécanismes antioxydants. Il active des voies métaboliques essentielles telles que le cycle de Calvin et le cycle ascorbate-glutathion, favorisant ainsi l'accumulation de matière sèche permettant ainsi aux plantes de renforcer leur tolérance aux conditions environnementales défavorables (sécheresse, chaleur, salinité...).

La croissance en longueur et nombre des racines et longueur des tiges chez les plantules a révélé une différence entre les graines jeunes et les graines vieilles. Les graines jeunes ont produit des plantules présentant une croissance racinaire plus importante comparativement à celles issues de graines conservées pendant une longue période. Cette différence peut être attribuée à la perte progressive de la vigueur germinative liée au vieillissement des semences. Selon Coin et al. (1995), la durée nécessaire à la germination est également influencée par l'âge des graines. Ces auteurs ont observé une diminution de la capacité germinative chez une variété d'orge soumise à un processus de vieillissement naturel. Ainsi, le stockage prolongé des graines entraîne non seulement une réduction de la vitesse de germination, mais aussi une altération du développement initial des plantules, traduisant un affaiblissement global de la qualité physiologique des semences.

Selon Domergue et ses collaborateurs (2022) Le stockage prolongé des graines entraîne une série de modifications physiologiques et biochimiques susceptibles d'affecter négativement la croissance et la morphologie des organes. L'une des principales raisons de la réduction de la taille des organes réside dans la dégradation progressive des réserves nutritives, notamment les sucres, les lipides et certains acides aminés essentiels. Cette dégradation, souvent associée à une perte d'eau et à un ralentissement du métabolisme cellulaire, limite la disponibilité de

l'énergie et des précurseurs nécessaires à la division et à l'élongation cellulaires au moment de la germination. Par ailleurs, le déséquilibre dans la composition biochimique, comme la diminution des lipides et l'augmentation de protéines pauvres en soufre, altère la synthèse des structures cellulaires et des enzymes clés impliquées dans le développement des tissus. Ces altérations métaboliques compromettent la qualité et la fonctionnalité des organes formés, entraînant ainsi une réduction observable de leur taille par rapport à ceux issus de graines jeunes.

Selon Domergue et al. (2022) l'auxine, joue un rôle clé dans la stimulation de la croissance en longueur des racines principales et latérales, ainsi que dans l'augmentation du nombre de racines latérales. Elle agit principalement en favorisant la prolifération et l'élongation cellulaire à travers la régulation de gènes impliqués dans sa synthèse et son transport, tels que **TAR2**, **YUC**, **PIN** et **AUX1**, entraînant une accumulation locale d'auxine dans les tissus racinaires. De plus, l'auxine module la sensibilité des racines à la gibbérelline (GA), soulignant l'importance des interactions hormonales dans la régulation de la croissance racinaire. La gibbérelline, de son côté, peut également stimuler l'élongation des racines, mais ses effets dépendent fortement de la concentration et de l'espèce végétale concernée. Par exemple, chez la carotte ou la patate douce, des doses élevées de GA peuvent inhiber la croissance des racines principales tout en favorisant le développement des racines latérales ou du xylème. Cette hormone agit en interaction avec l'auxine, en influençant notamment la biosynthèse locale de celle-ci et son transport polaire, soulignant une régulation hormonale complexe et intégrée du développement racinaire. Ces résultats concordent avec ceux signalés par Fortin, l'acide indole-3-acétique (AIA), une forme naturelle d'auxine, joue un rôle clé dans l'élongation et la multiplication cellulaires, ainsi que dans la différenciation. L'auxine favorise également la dominance apicale, c'est-à-dire la croissance en hauteur de la plante au détriment de la croissance latérale. Par ailleurs, l'application de gibbérelline (GA₃) sur le niébé (*Vigna unguiculata* L.) a montré des effets notables sur les caractères morphologiques, notamment une amélioration de la croissance végétative et du rendement. D'après Mshelmbula et al. (2021), le traitement des plants avec une faible concentration de GA₃ a significativement augmenté le nombre de feuilles par rapport au témoin, indiquant une réponse positive même à de faibles doses.

L'auxine est un régulateur maître du développement racinaire car elle crée des gradients de concentration via un transport polarisé, ce qui déclenche des transitions développementales et contrôle la croissance cellulaire. Dans la racine, un maximum localisé d'auxine au niveau de la pointe racinaire maintient le méristème racinaire et la niche des cellules souches, favorisant la division cellulaire. L'auxine régule aussi l'expression de facteurs de transcription (comme les PLT) qui contrôlent la balance entre division cellulaire et différenciation, assurant ainsi une croissance racinaire continue. De plus, l'auxine active des réseaux de signalisation qui stimulent la formation et l'élongation des racines latérales, augmentant la capacité d'exploration du sol.

En résumé, l'auxine stimule la croissance des racines en maintenant l'activité des cellules méristématiques, en contrôlant la différenciation cellulaire, et en favorisant la

formation et l'allongement des racines latérales via des réseaux de signalisation complexes. (Roychoudhry, S., & Kepinski, S. 2022).

**Conclusion
et
persepectives**

Cette étude avait pour objectif d'évaluer l'influence de deux phytohormones (auxine et acide gibbérellique) et d'un antioxydant (acide ascorbique) sur la germination et la croissance de graines jeunes et celles ayant subi un traitement de vieillissement de blé tendre (*Triticum aestivum* L.).

L'analyse des résultats obtenus montre que l'âge des graines exerce un impact significatif sur la faculté germinative. En effet, les graines vieilles ont présenté une réduction moyenne de 32 % du pourcentage de germination par rapport aux graines jeunes. De même, la longueur des racines a diminué de près de 28 %, et la biomasse fraîche de 35 %, confirmant la perte de vigueur associée au vieillissement des semences.

L'application exogène des substances testées a permis d'atténuer ces effets négatifs et d'améliorer la croissance des plantules :

L'auxine s'est distinguée par une action marquée sur le système racinaire, avec une augmentation moyenne de 14 à 45 % de la longueur des racines et de 40 % du nombre de racines par rapport au témoin. Elle a également stimulé l'allongement caulinaire, avec une hausse de 49 % chez les graines vieilles et de 31 % chez les graines jeunes.

L'acide gibbérellique (GA_3) a montré des effets variables. À la dose utilisée, il a favorisé la croissance aérienne avec une hausse de 34 % de la longueur des tiges et de 36 % du poids sec chez les graines vieilles, et de 16 à 30 % pour les graines jeunes. Cependant, son effet sur les racines a été limité, voire inhibiteur dans certains cas (jusqu'à -22 %).

L'acide ascorbique, bien que moins performant que les phytohormones. En effet ; celle-ci a induit une amélioration de 7 à 18 % du taux de germination, de 22 % du poids sec et de 13 % de la longueur des tiges par rapport au témoin.

Globalement, la comparaison entre les traitements montre que l'auxine exerce l'effet le plus favorable et constant sur la germination et la croissance, suivie de la GA_3 , puis de l'acide ascorbique.

En conclusion, l'utilisation exogène de phytohormones, et particulièrement de l'auxine, apparaît comme une approche prometteuse pour renforcer la vigueur germinative et la croissance des plantules de blé tendre, même lorsque les semences sont vieilles.

Perspectives :

Afin de compléter et d'approfondir ce travail, plusieurs pistes de recherche peuvent être envisagées :

- Tester **différentes doses** d'auxine, de GA_3 et d'acide ascorbique afin de déterminer les concentrations optimales.
- Explorer les **combinaisons de traitements** (auxine + GA_3 , auxine + acide ascorbique, etc.) pour mettre en évidence d'éventuels effets synergiques.
- Comparer la réponse hormonale de **plusieurs variétés de blé tendre**, afin d'identifier les génotypes les plus tolérants au vieillissement.

- Évaluer l'influence de la **durée de stockage** (6 mois, 1 an, 2 ans...) sur l'efficacité des traitements.
- Étudier l'effet des régulateurs sur des **paramètres complémentaires** tels que la surface foliaire, le contenu chlorophyllien, le taux de tallage et la teneur en protéines.
- Prolonger les observations à des **stades phénologiques plus avancés** (tallage, montaison, floraison) afin de vérifier la persistance des effets observés à la phase de germination.
- Tester l'efficacité de ces substances dans des conditions de **stress abiotiques** simples comme la salinité, le déficit hydrique ou la variation de température.
- Réaliser une comparaison avec d'autres **hormones végétales** (cytokinines, acide abscissique, brassinostéroïdes) pour élargir le champ d'étude.
- Étudier l'effet des traitements hormonaux dans un cadre appliqué, en **agriculture de conservation** ou en conditions réelles de culture.

Références bibliographiques

- BACHIR-BEY I., & SOUMATIA N. (2015).** Contribution à l'étude de l'effet de la fréquence d'irrigation sur la production du blé dur sur des sols lourds en zone semi-aride. Mémoire de Master ; Université Djilali Bounaama Khemis Miliana, 67 p.
- BATTINGER R. (2002).** La photosynthèse. Educagri édition, Dijon.
- BEBBA S. (2011).** Essai de comportement de deux variétés de blé dur (*Triticum durum* L. var. Carioca et Vitron) conduites sous palmier dattier au niveau de la région de Ouargla. Mémoire d'Ingénieur d'État en Agronomie Saharienne, Université Kasdi Merbah – Ouargla, 71 p.
- BEHAIRY R., EL-DANASOURY M., & CRAKER L. (2012).** Impact of ascorbic acid on seed germination, seedling growth, and enzyme activity of salt-stressed fenugreek. *Journal of Medicinally Active Plants*, 1, 106–112.
- BEN MBAREK K., & MOHSEN B. (2017).** Manuel de grandes cultures – les céréales.
- BENHANIA Z. (2013).** Étude de la fabrication de la farine et contrôle de sa qualité. Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah Ouargla, Algérie, 52 p.
- BENDERRADJI L. (2013).** Sélection in vitro pour la tolérance aux stress salin et thermique chez le blé tendre. Mémoire de doctorat, Université Constantine, 143 p.
- BOCKRIS J. O. M., CONWAY B. E., SARANGAPANI S., & YEAGER E. (1983).** *Comprehensive treatise of Electrochemistry*. Plenum Press. New York. 59 p.
- BOGARD M. (2011).** Analyse génétique et éco-physiologique de l'écart à la relation teneur en protéines – rendement en grains chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.). Thèse doctorat, École doctorale Sciences de la vie, santé, agronomie et environnement, 17–19 p.
- BOLOT S., ABROUK M., MASOOD-QURAIISHI U., STEIN N., MESSING J., FEUILLET C., & SALSE J. (2009).** The “inner circle” of the cereal genomes. *Current Opinion in Plant Biology*, 12(2), 119–125.
- BOUDREAU A., & MENARD G. (1992).** Le blé : éléments fondamentaux et transformation. Ed. Les presses de l'université de Laval. Québec, p. 29–197.
- CHANTRET G., ROBERT N., BRANLARD G., LINOSSIER L., MARTRE P., & TRIBOÏ E. (2005).** Genetic analysis of dry matter and nitrogen accumulation and protein composition in wheat kernels. *Theoretical and Applied Genetics*, 111(3), 540–550.
- COGNARD J. (1984).** Adhesion to gold. *Gold Bulletin*, 17, 131–139.
- COME D. (1970).** Les obstacles à la germination. Edition Masson et Cie, pp. 9–10.
- COME D. (1975).** Rôle de l'eau, de l'oxygène et de la température dans la germination. pp. 27–29.
- CORBINEAU F. (2024).** The effects of storage conditions on seed deterioration and ageing: How to improve seed longevity. *Seeds*, 3(1), 56–75.
- DOMERGUE J., LALANDE J., BEUCHER D., SATOUR P., ABADIE C., LIMAMI A., & TCHERKEZ G. (2022).** Experimental Evidence for Seed Metabolic Allometry in Barrel Medic (*Medicago truncatula* Gaertn.). *International Journal of Molecular Sciences*, 23. <https://doi.org/10.3390/ijms23158484>

ÉVÉNARI M. (1957). Les problèmes physiologiques de la germination. Bulletin Société Française Physiologie Végétale, 3(4), 108.

FAO (2007). Perspectives alimentaires. Analyse des marchés mondiaux. En ligne : <http://www.fao.org/010/ah864f/ah864f00.htm>

FEILLET P. (2000). Le grain de blé composition et utilisation. Ed. INRA. Paris, 308 p.

FREDOT E. (2009). Connaissance des aliments « Bases alimentaires et nutritionnelles de la diététique ». 2e éd., Paris : Lavoisier, pp. 210–215.

FRITAS S. (2012). Etude bioécologique du complexe des insectes liés aux cultures céréalières dans la région de Batna. Mémoire de Magistère, Université Abou Bakr Belkaid, Tlemcen, 115 p.

GIMENO-GILLES C. (2009). Etude cellulaire et moléculaire de la germination chez *Medicago truncatula*. Thèse de doctorat en Biologie Cellulaire et Moléculaire Végétale. Université d'Angers, 174 p.

GODON B. (1995). Le pain. Pour la science. Dossier hors-série de mars (science et Gastronomie), 16–25.

GOMATHI R., & THANDAPANI V. (2005). Role of gibberellins and polymines in relation to salt stress in crop plants. Australian Journal of Crop Science, 5, 726–734.

GUANGWU Z., & XUWEN J. (2014). Roles of Gibberellin and Auxin in Promoting Seed Germination and Seedling Vigor in *Pinus massoniana*. Forest Science, 60(2), 367–373. <https://doi.org/10.5849/forsci.12-143>

HARTMAN H. (1990). Technique of seed production and handling. Plant propagation principles and practises. Fifth edition. Universita degli Studi, Departments di Ortoflora Fruthicoltura, Firenze, p. 161.

HELLER R. (1995). Physiologie végétale, tome 2 : Développement. Dunod, Paris, 241 p.

HELLER R., ESNAULT R., & LANCE C. (1995). Physiologie végétale II : Développement. Ed. Masson, pp. 243–251.

HE Y. K., XUE W. X., SUN Y. D., YU X. H., & LIU P. L. (2000). Formation de têtes feuillues de descendance de plantes transgéniques de chou chinois avec des gènes exogènes d'auxine. Cell Research, 10(2), 151–160.

HOPKINS W. G. (2003). Physiologie végétale. 2e édition. De Boeck, Bruxelles, pp. 61–476.

LIU P. P., MONTGOMERY T. A., FAHLGREN N., KASSCHAU K. D., NONOGAKI H., & CARRINGTON J. C. (2007). La répression de la FACTOR10 de réponse auxine par le microARN160 est essentielle pour les stades de germination et de post-germination des graines. Plant Journal, 52(1), 133–146.

MAAMRI K. (2011). Stabilité du critère de la discrimination du carbone isotopique en relation avec le poids spécifique de la feuille drapeau chez quelques variétés de blé dur cultivées en milieu semi-aride. 111 p.

- MAZLIAK P. (1982).** Physiologie Végétale II : croissance et développement. Ed. Dumond, pp. 133–225.
- MEKHLOUF A., BOUZERZOUR H., DEHBI F., & HANNACHI A. (2001).** Rythme de développement et variabilité de réponses du blé dur (*Triticum durum* Desf.) aux basses températures. In Proceedings Séminaire sur la valorisation des milieux semi-arides. Université, Oum El Bouaghi.
- MIRANSARI M., & SMITH D. L. (2014).** Hormones végétales et germination des graines. *Environmental and Experimental Botany*, 99, 110–121.
- MOULE C. (1971).** Céréales Tome 2. La Maison Rustique – Paris. 95 p.
- NACIRI Y., FEYZI P., & JAVANMARD A. (2014).** Effects of hydro and Hormonal Seed Priming on Seed Germination of Milk Thistle under Saline Stress Condition. *Notulae Scientiae Biologicae*, 6(3), 374–380.
- NESBITT M., & SAMUEL D. (1998).** Wheat Domestication: Archaeobotanical Evidence. *Science*, 279(5356), 1431.
- NI W. M., CHEN X. Y., XU Z. H., & XUE H. W. (2002).** Familles de gènes PIN codant pour des composants des transporteurs d’efflux d’auxine chez *Brassica juncea*. *Cell Research*, 12(3), 247–255.
- NOCTOR G., & FOYER C. (1998).** Ascorbate and glutathione: Keeping active oxygen under control. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 49, 249–279.
- NIQUE G., & LASSERAN J. C. (1989).** Stockage et conservation des grains à la ferme. Guides pratiques, 50 p.
- OUANZAR S. (2012).** Etude comparative de l’effet du semis direct et du labour conventionnel sur le comportement du blé dur (*Triticum durum* Desf.). Mémoire pour obtenir un diplôme de Magistère, Université Abed Alhamid Ben Badis, Mostaghanem, p. 15.
- PARAVAEH R., & SAYED M. H. (2015).** Evaluation of Germination and Some Physiologic Factors under Salinity Stress and Gibberellic acid Hormone (GA3) Treatments in Wheat *Triticum aestivum* L. *International Journal of Advanced Research in Science*, 2(2), 122–131.
- POPKO J., HÄNSCH R., MENDEL R. R., POLLE A., & TEICHMANN T. (2010).** Le rôle de l’acide abscissique et de l’auxine dans la réponse du peuplier au stress abiotique. *Plant Biology*, 12(2), 242–258.
- RASHOTTE A. M., BRADY S. R., REED R. C., ANTE S. J., & MUDAY G. K. (2000).** Le transport de l’auxine basipète est nécessaire pour le gravitropisme dans les racines d’*Arabidopsis*. *Plant Physiology*, 122(2), 481–490.
- ROYCHOUDHRY S., & KEPINSKI S. (2022).** Auxin in Root Development. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, 14(4), a039933. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a039933>
- SAULNIER L. (2012).** Les grains de céréales : diversité et compositions nutritionnelles. *Cahiers de nutrition et diététique*, 4–15.
- SCHUETZ M., HAGHIGHI-KIA A., WENZEL C. L., & MATTSSON J. (2007).** Induction of xylem and fiber differentiation in *Populus tremuloides*. *Botany*, 85(12), 1147–1157.

- SHAH S., KHAN Y., CHENG Z., BOUSKOUT M., ZHANG T., YAN H., & WANG M. (2025).** Priming effect of ascorbic acid on the growth and biomass of quinoa under saline conditions. *Frontiers In Plant Science*, 16. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1600423>
- SIoudA A., & BENKHLIFA Z. (2016).** Etude écophysiolgique des quelques écotypes de blé dur dans les régions semi-aride de Sétif. *Univ Med El-Ibrahimi B.B.A. Sétif*, p. 11.
- SOLTNER D. (1980).** Les grandes productions végétales, collections de sévices des techniques agricoles.
- SOLTNER D. (2000).** Phytotechnie générale : les bases de la production végétale. Tome 1 : le sol et son amélioration. 2e édition. Sciences techniques agricoles, 467 p.
- WIERZBOWSKA J., & BOWSZYS T. (2008).** Effect of growth regulators applied together with different phosphorus fertilization levels on the content and accumulation of potassium, magnesium and calcium in spring wheat. *Journal of Elementology*, 13(3), 411–422.
- WIERZBOWSKA J., & NOWAK G. A. (2000).** Effects of cytokinins and auxins application on potassium management of spring wheat in relation to level on mineral fertilization. *Natural Sciences*, 7, 81–92.
- WIERZBOWSKA J., & NOWAK G. A. (2002).** The influence of growth regulators and increasing doses of nitrogen on the phosphorus and potassium management of spring wheat. *Polish Journal of Natural Sciences*, 12, 7–19.
- XU Z. H., & NI D. A. (1999).** Modifications de la morphogénèse foliaire induites par l'inhibition du transport polaire de l'auxine. In *Plant Biotechnology and In Vitro Biology in the 21st Century: Proceedings of the IX International Congress*, (pp. 97–99). Springer Pays-Bas.

Résumé :

Le blé tendre (*Triticum aestivum L.*) est une céréale majeure dont la germination et la vigueur peuvent être affectées par l'âge des graines. Cette étude évalue l'effet de deux phytohormones (auxine et acide gibbérellique) et d'un antioxydant (acide ascorbique) sur la germination et la croissance initiale de graines jeunes et artificiellement vieilles. Les résultats montrent que l'acide gibbérellique stimule la germination et la croissance, surtout chez les graines vieilles, tandis que l'acide ascorbique améliore leur tolérance au vieillissement. L'auxine présente un effet variable selon le traitement. Ces résultats soulignent le rôle des régulateurs de croissance dans l'amélioration de la viabilité des semences de blé tendre.

Mots clés : Blé tendre, germination, vieillissement, phytohormones, acide gibbérellique, auxine, acide ascorbique.

Abstract :

Bread wheat (*Triticum aestivum L.*) is a major cereal crop whose germination and seedling vigor can be affected by seed aging. This study evaluated the effect of two phytohormones (auxin and gibberellic acid) and an antioxidant (ascorbic acid) on the germination and early growth of young and artificially aged seeds. Results showed that gibberellic acid significantly enhanced germination and growth, particularly in aged seeds, while ascorbic acid improved their tolerance to aging. Auxin exhibited a variable effect depending on the treatment. Overall, these findings highlight the role of growth regulators in improving the viability and vigor of bread wheat seeds.

Keywords : Bread wheat, germination, aging, phytohormones, gibberellic acid, auxin, ascorbic acid.

