



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des sciences exactes et des sciences de la nature
et de la vie
Département des sciences de la nature et de la vie
Filière : Biotechnologie

Référence / 2024

MÉMOIRE DE MASTER

Spécialité : Biotechnologie et valorisation des plantes

Présenté et soutenu par :
Saada bouthaina
Zemmit hadil

Le: mardi 4 juin 2024

Effet de l'osmoprimer sur la tolérance des graines de blé dur (Triticum durum Desf.) à la salinité "stade germination"

Jury :

Titre	Absi Rima	Grade	Université	Président
Titre	Hammia Hadjra	Grade	Université	Examineur
Titre	Belkharchouche Hafida	MCB	Université	Encadrant

Année universitaire: 2023 - 2024

Remerciements

Avant tout. Louange à dieu le tout puissant, le miséricordieux, de nous avoir donné le courage, la force, la santé et la persistance et de nous avoir permis de finaliser se travail dans de meilleurs conditions.

*Nous tenons à remercier chaleureusement notre encadrante **Mme Belkharhouche Hafida** , pour ses judicieux conseils, ses directives précieuses, et de son soutien scientifique et moral et financier au cours de la réalisation pratique et théorique de ce travail.*

Dédicace

Les mots courent aux portes des lèvres, et les expressions se pressent au seuil des paupières, pour que commence le voyage des souvenirs. Les années passées ont dispersé ou aminci l'amour dans les cœurs...

Au début, remerciements et louanges soient à Dieu, c'est à Lui que tout crédit est attribué, et les prières et la paix soient sur la plus honorable des créations de Dieu... J'ai le plaisir de présenter ma réussite et le produit de mes humbles recherches comme un murmure d'amour et un signe de fidélité...

*À celui qui a généreusement fait l'effort des années et a forgé les échelles des grands jours par lesquelles j'ai pu monter, à celui qui m'a appris à donner sans attendre, à celui qui... Je porte son nom avec fierté, à toi, **mon père bien-aimé**. À mon ange dans la vie..au sourire de mon chemin et au soleil de ma vie qui ne se couche jamais..à celui dont les prières étaient le secret de ma réussite..à celui qui s'est sacrifié J'espère beaucoup en toi, **ma chère mère**. Aux âmes bonnes et innocentes et aux compagnons de mon chemin, à ceux dans les yeux desquels je vois l'optimisme et le bonheur dans leurs rires... à La ceinture de mon dos et les vents de ma vie... à vous, **mes frères et sœurs** : Maryam, Amina, Khaira, Rahiel, AbdERRaouf et Mohammad Sharif.*

*À ceux qui m'ont embrassé avec gentillesse, m'ont aidé et m'ont motivé à progresser... à ceux qui ont été un phare pour moi, illuminant mes pensées de conseils et d'orientation, à **ma deuxième famille**. À un cœur qui attendait patiemment ma réussite, à celle qui partageait avec moi le fardeau de mes études et m'encourageait par sa fierté, **ma grand-mère**, À **mon mari**, Ali, la prunelle de mes yeux, mon partenaire de vie et mon ami de tous les jours, je vous dédie cette recherche en guise d'expression de mes remerciements pour votre soutien continu.*

*À celui qui m'a appris une lettre et m'a pris la main dans la poursuite de l'éducation et de la connaissance, et ici les mots ont été dispersés, **mes estimés professeurs**, lorsque j'ai essayé de vous écrire des expressions de louange et de gratitude pour vos merveilleux efforts. Sans oublier mon professeur encadrante,
Belkharhouche Hafida*

*Je le présente également à **ma chère tante***

Bouthaina

Dédicace

Louange à Dieu, par la grâce duquel les bonnes actions sont accomplies, grâce à Dieu et à son aide. J'ai terminé cet humble travail après des années d'efforts et de fatigue. Il a été couronné par Dieu Tout-Puissant avec un haut degré qui serait une source de fierté pour moi et ma famille. La première pluie est une goutte, le premier kilomètre est une étape, et la fin de ce travail est une lettre, un mot, une ligne, puis une étude académique.

À Mon père : Lui qui m'a appris le sens de la vie, les bonnes manières, la morale et la patience, et m'a comblé de son amour et de sa compassion, et a marché avec moi à travers les sentiers épineux du temps, et m'a épargné des heures de froid et de chaleur, et m'a enveloppé dans sa chaleur, mon père, la prunelle de mes yeux, mon trésor, mon répertoire et mon premier amour.

À Ma mère : À celle qui m'aime inconditionnellement, donnant sans prendre, faisant de son mieux pour mettre le sourire sur mes lèvres et faire du bonheur ma vie, à celle qui m'a accompagné pas à pas vers ma réussite et a considéré que c'était un devoir, ma mère, mon compagnon d'adversité et de joie, la lumière de mes yeux et mon paradis.

À Mon frère : Raid mohamed alhk à mon âme sœur et mon soutien.

À ma sœur : Dr Aridj, la sœur de mon cœur et la fierté de la famille.

À mon fiancé : Amjad, mon compagnon et partenaire de toujours, si Dieu le veut.

À ma deuxième mère et à mon deuxième père : les parents de mon fiancé, que Dieu les protège et prenne soin d'eux.

À mon professeur : respecté qui m'a soutenu tout au long de ce travail avec ses éclaircissements et explications du début à la fin,

À mes amis : aux fleurs de mon chemin et à la conclusion de mon parcours académique. Semah, Bouthaina, achwak, Chaima, Ismahane, Rafika, Asma, Nesrin, Yesmine, djazia.

Hadil

Table des matières

Table des matières

Remerciements	I
Dédicace	II
Table des matières.....	IV
Liste des abréviations	VII
Liste des tableaux	VIII
Liste des figures.....	IX
Introduction général.....	I
Introduction	1
Partie Bibliographique.....	3
Chapitre 1.....	4
Germination des graines.....	4
1.Chapitre 1 : La germination des graines	3
1.1. Définition.....	3
1.2. Types de germination.....	3
1.2.1. Germination épigée.....	3
1.2.2. Germination hypogée.....	3
1.3. Conditions de germination	4
1.3.1. Conditions externes de la germination	4
➤ L'eau	4
➤ L'oxygène.....	4
➤ La température	4
➤ La lumière	4
1.3.2. Conditions internes de la germination	4
1.4. Phases de la germination	5
1.5 Dormance des graines	6
1.5.1. Définition de la dormance.....	6
1.5.2. Types de dormance.....	7
1.5.2.1.Dormance embryonnaire.....	7
1.5.2.2. Dormance tégumentaire	7
1.5.2.3. Dormance primaire	8
1.5.2.4. Dormance secondaire.....	8

1.5.2.5. Cas des dormances combinées et doubles dormances	8
1.5.3. Levée de la dormance des graines	8
Chapitre 2.....	10
Priming (amorçage).....	10
2.1. Priming	10
2.1. Définition	10
2.2. Techniques d'amorçage (Les méthodes de prétraitement).....	10
2.2.1. Hydro-priming.....	10
2.2.2. Osmo-priming	10
2.2.3. Hormo-priming.....	10
2.3. Mécanismes du priming.....	11
2.4. Effets de priming.....	11
2.4.1. Sur la germination	11
2.4.3. Sur la respiration	11
Partie expérimentale	13
Chapitre 3.....	14
Matériel et méthodes.....	14
3.1. Matériel végétal.....	16
3.2. Protocole expérimental.....	16
➤ Application du traitement pré germinatif (osmopriming) :	16
➤ Application du traitement germinatif :	16
➤ Témoin	16
➤ Préparation des solutions salines	16
➤ Mise à germination	16
3.3. Paramètres étudiés	16
3.3.1. Taux de germination final.....	16
3.3.2. Cinétique de germination.....	16
3.3.3. Longueur des racines et des épicotyles	16
3.4. Analyse statistique.....	16
Chapitre 4.....	17
Résultats et discussion.....	17
4.1. Résultats et discussion	20
4.1.1 Taux de germination.....	20
4.1.2. Cinétique de germination.....	20

4.1.3. Longueur des racines et des épicotyles	22
4.1.3.1. Longueur des racines	22
4.1.3.2. Longueur des épicotyles.....	23
4.2. Discussion	22
Conclusion.....	23
Conclusion.....	26
Références.....	27
Bibliographiques.....	27

Liste des abréviations

% : Pourcentage

° C : Degrés Celsius

ITDAS : Institut technique du développement de l'agronomie saharienne

NaCl : Chlorure de sodium

TGF : Taux de germination finale

Liste des tableaux

Tableau 1 : Analyse de la variance pour le taux de germination de la variété (Wahbi)

Tableau 2 : Analyse de la variance pour le taux de germination de la variété (Simito)

Liste des figures

Figure 1 : Les événements cellulaires et métaboliques déclenchés par l'absorption d'eau pendant la germination des graines

Figure 2 : les différents variétés de blé dur étudiées

Figure 3 : Effet de l'osmopriming sur le taux de germination chez deux variétés de blé dur en fonction de l'intensité du stress salin

Figure 4 : Effet de l'osmopriming sur la cinétique de la germination de blé dur (variété Wahbi) sous l'effet des différents niveaux du stress salin

Figure 5 : Effet de l'osmopriming sur la cinétique de la germination de blé dur (variété Simito) sous l'effet des différents niveaux du stress salin

Figure 6 : Effet de l'osmopriming sur la longueur des racines des deux variétés de blé dur en condition de l'intensité du stress salin

Figure 7 : Effet du osmopriming sur la longueur des épicotyles des deux variétés de blé dur en fonction de l'intensité du stress salin

Introduction général

Introduction

Dans le monde entier, l'agriculture est unanimement reconnue comme un socle fondamental de l'alimentation humaine et animale, jouant également un rôle pivot dans le développement économique national.

Parmi les cultures les plus vitales se trouve la production de céréales, qui fut à l'origine des premières civilisations et demeure aujourd'hui un pilier de l'alimentation quotidienne pour la majorité des habitants de la planète.

Le blé se distingue en tête de la production céréalière mondiale, représentant environ un tiers du total, tandis que l'orge occupe une place de choix, en quatrième position après le blé, le riz et le maïs, dont une majorité écrasante est produite en Europe (Simon et *al.*, 1989).

La culture du blé s'étend à travers le globe en raison de son importance économique et nutritionnelle, ses graines renfermant une gamme variée de composés nutritifs, allant des glucides aux protéines, en passant par les lipides, les sels minéraux et les vitamines. Bien que largement répandue, la culture du blé, particulièrement en Afrique du Nord, est souvent confrontée à des défis climatiques et environnementaux qui peuvent entraver son rendement.

À l'échelle mondiale, la productivité et le développement agricoles sont confrontés à une multitude de contraintes, parmi lesquelles la sécheresse et la salinité occupent une place prépondérante, surtout dans les régions arides et semi-arides (Rjeibi et *al.*, 2015).

La germination des graines, étape cruciale du cycle de vie des plantes supérieures, est étroitement liée à la production végétale et à l'établissement de cultures prospères (Cheng et *al.*, 1999). Cependant, cette germination peut souvent être inégale, les graines ne germant pas toutes de manière uniforme ou synchronisée. Pour relever ces défis et améliorer le développement ainsi que le rendement des cultures, de multiples approches ont été explorées au fil des années (Basra et *al.*, 2003).

Parmi celles-ci, la méthode la plus courante et répandue est l'amorçage, également connu sous le nom de "priming". Cette méthode physiologique modifie les activités métaboliques de la germination avant l'émergence de la radicule (Bradford, 1986 ; Taylor et *al.*, 1990), notamment pendant la phase réversible de la germination où la semence peut être redéshydratée tout en conservant sa capacité à germer (Mazliak, 1998). Cette technique, peu

coûteuse et respectueuse de l'environnement, évite l'utilisation de produits chimiques potentiellement nocifs pour l'écosystème et la santé humaine.

L'objectif de cette étude vise à évaluer l'effet de l'osmoprimum sur la tolérance des graines de deux variétés de blé dur (*Triticum durum Desf.*) à la salinité au stade germination.

Ce mémoire est structuré en deux parties :

- ✓ La première partie, est consacrée à une synthèse bibliographique concernant le thème de travail, elle est composée de deux chapitres :
 - Chapitre 1 : Germination des graines .
 - Chapitre 2 : Priming (l'amorçage).
- ✓ La deuxième partie est la partie expérimentale, elle est formée de deux chapitres aussi :
 - Chapitre 3 : Matériel et méthodes.
 - Chapitre 4 : Résultats et discussion.

Cette étude se termine par une conclusion générale comprenant un certain nombre de recommandations, tout en mettant en valeur les résultats les plus pertinents.

Partie Bibliographique

Chapitre 1

Germination des graines

1.Chapitre 1 : La germination des graines

1.1. Définition

La germination est donc définie comme la phase transitoire entre le stade de graine sèche et l'apparition de la radicule (Bewley et Black, 1994). Ce processus se décompose en trois phases distinctes : l'imbibition, la germination proprement dite et la croissance. Les physiologistes et les biologistes considèrent généralement que la germination commence avec l'imbibition de la graine, un phénomène essentiellement physiologique, et se termine avec le début de la croissance, marqué par l'allongement de la radicule (Evenari, 1957 ; Bewley, 1997).

La germination est un processus très complexe qui repose sur des propriétés moléculaires assurant le déroulement des trois phases. Elle est également influencée par de nombreux facteurs, tant endogènes qu'exogènes. En général, avant la fin de la deuxième phase, la germination est considérée comme un processus réversible : les graines peuvent être séchées à nouveau et rester en vie pendant le stockage sans être affectées, ce qui permet ensuite de relancer la germination dans des conditions favorables (Shafii et Price, 2001).

1.2. Types de germination

Il existe deux principaux types de germination, selon Hopkins (1999) :

1.2.1. Germination épigée

Dans ce type de germination, l'hypocotyle (la partie de la tige embryonnaire située entre la radicule et les premières feuilles) s'allonge en premier, entraînant les cotylédons et les premières feuilles au-dessus du sol. La gemmule se développe pour former une tige feuillée au-dessus des cotylédons. Ce type de germination est observé chez la plupart des Dicotylédones.

1.2.2. Germination hypogée

Dans ce type de germination, l'hypocotyle reste court et compact, et les cotylédons restent dans le sol. C'est plutôt l'épicotyle (la partie de la tige embryonnaire située au-dessus des cotylédons) qui subit une élongation extensive, entraînant les premières feuilles au-dessus du sol. Ce type de germination est observé chez certaines Dicotylédones (par exemple, le petit pois, la fève) et la plupart des graminées (Monocotylédones), comme dans le cas du blé dur.

1.3. Conditions de germination

1.3.1. Conditions externes de la germination

Pour que la graine puisse germer, elle nécessite la présence de conditions extérieures favorables, telles que l'eau, l'oxygène, une température adéquate et parfois la lumière (Soltner, 1990).

➤ L'eau

Selon (Yakoubi, 2014), Pour que la germination puisse avoir lieu, la présence d'eau est indispensable, et celle-ci doit être sous forme liquide. L'eau pénètre par capillarité à travers les enveloppes de la graine, se dissout dans les réserves de la graine, puis est utilisée par l'embryon. Ce processus entraîne le gonflement des cellules et leur division.

➤ L'oxygène

La germination nécessite impérativement la présence d'oxygène (Soltner, 2007). Même une faible quantité d'oxygène peut suffire à déclencher le processus de germination (Meyer et *al.*, 2004). L'oxygène est régulé par les enveloppes de la graine, qui agissent à la fois comme une barrière et une réserve.

➤ La température

La température joue un rôle crucial avec deux effets distincts : directement en augmentant la vitesse des réactions biochimiques, ce qui signifie qu'une légère augmentation de la température peut stimuler la germination (Mazliak, 1982), et indirectement en affectant la solubilité de l'oxygène dans l'embryon (Chaussat et *al.*, 1975).

➤ La lumière

La lumière a un effet variable selon les espèces. Elle inhibe la germination des graines ayant une sensibilité négative à la lumière, tandis qu'elle stimule celles ayant une sensibilité positive (Anzala, 2006). Les espèces qui sont indifférentes à la lumière sont rares (Heller et *al.*, 1990).

1.3.2. Conditions internes de la germination

Lorsque des graines parvenues à maturité sont placées dans des conditions optimales de température, d'humidité et d'oxygénation pour leur croissance et qu'elles ne germent pas, plusieurs causes sont à envisager, notamment la dormance de l'embryon ou les inhibitions de

germination. Les conditions internes de la germination concernent la graine elle-même : elle doit être vivante, apte à germer (non dormante) et saine (Jean et *al.*, 1998).

1.4. Phases de la germination

Le processus de germination démarre dès que la graine sèche entre en contact avec l'eau. La cinétique de l'absorption d'eau permet de définir la germination en trois phases distinctes (figure 01).

Phase I : Imbibition - Cette phase marque le début de la germination. C'est un processus fondamental où la graine passe d'un état déshydraté à un état hydraté (Vertucci, 1989). Elle se caractérise par une absorption rapide d'eau, entraînant l'activation des enzymes mitochondriales responsables de la production d'ATP (Mazliak, 1982 ; Anzala, 2006).

Phase II : Cette phase correspond à la germination proprement dite. Elle se caractérise par une diminution de l'absorption d'eau, tandis que l'hydratation des tissus et des enzymes est totale. La consommation d'oxygène reste stable. Au cours de cette phase, la respiration et l'activité métabolique reprennent, et les phytohormones, en particulier les gibbérellines, entrent en jeu pour stimuler la synthèse d'hydrolases telles que l'alpha-amylase, les protéases, les lipases ou les nucléases. Ces enzymes sont nécessaires à la dégradation des réserves, à la division cellulaire et à l'élongation cellulaire (Anzala, 2006). Cette phase se termine avec l'émergence de la racicule hors des téguments séminaux (Heller et *al.*, 1995).

Phase III : Cette phase marque le début de la croissance post-germinative. Elle se caractérise à nouveau par une absorption d'eau et une augmentation significative de la respiration. La consommation d'oxygène serait attribuable aux enzymes néosynthétisées (Anzala, 2006). Cette phase est marquée par un changement profond et irréversible de l'état physiologique de la graine (Mazliak, 1982).

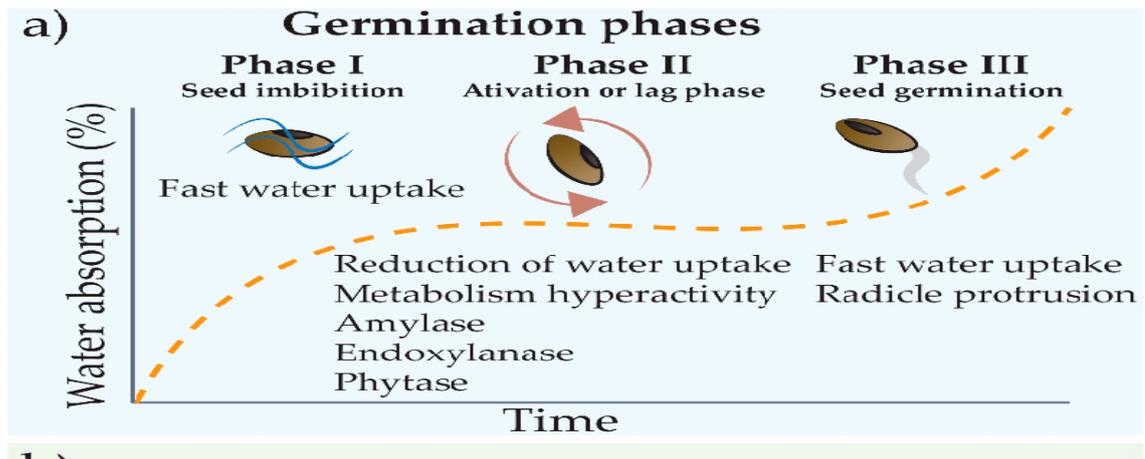


Figure 1 : Les événements cellulaires et métaboliques déclenchés par l'absorption d'eau pendant la germination des graines (Pereira et *al.*, 2021).

1.5 Dormance des graines

1.5.1. Définition de la dormance

La dormance d'une semence est classiquement définie comme l'incapacité à germer, même lorsque toutes les conditions de l'environnement semblent favorables. Ce blocage de la germination se trouve à l'intérieur de la semence elle-même et ne résulte pas de l'influence des facteurs externes (Côme, 1992).

La dormance des bourgeons fait référence à la période pendant laquelle les bourgeons des graines, des tubercules ou des bulbes sont incapables de germer, même si les conditions environnementales nécessaires, telles que l'humidité, l'oxygène et la température adéquates, sont réunies. Ce phénomène peut être dû à des facteurs physiologiques ou environnementaux, et il est souvent nécessaire de rompre cette dormance pour permettre la germination ou la croissance des plantes (Hopkins, 1999).

Il est courant que des graines, même placées dans des conditions idéales de germination, ne parviennent pas à germer. Ce phénomène est communément appelé dormance, comme le soulignent (Lang et *al.*, 1987). Ils ont répertorié 54 types de dormance, classés en trois catégories principales avec plus de quinze sous-catégories, en se basant sur la variation des facteurs qui déterminent ces types de dormance. Cependant, malgré cette classification, les mécanismes complexes impliqués dans la dormance des graines restent largement mal compris. (Hilhorst et Karssen, 1992) estiment qu'il est prématuré de distinguer autant de formes de dormance, soulignant ainsi la nécessité de recherches supplémentaires pour mieux comprendre ce phénomène.

1.5.2. Types de dormance

On peut distinguer deux grandes catégories de dormance selon la morphologie des graines:

1.5.2.1. Dormance embryonnaire

Selon (Marouf, 2007), la dormance embryonnaire se caractérise par l'incapacité de l'embryon à germer même après avoir été débarrassé de ses différentes structures externes.

Selon (Zerrouki, 1990), cette dormance est régulée par la valeur d'équilibre du rapport entre les inhibiteurs et les stimulateurs, en particulier l'acide abscissique et l'acide gibbérellique.

Cet équilibre détermine l'entrée ou la sortie de la dormance. La dormance embryonnaire est considérée comme "endogène" car elle est influencée par des facteurs internes à l'enveloppe de la graine. Dans cette catégorie, deux sous-types de dormance sont distingués : la dormance embryonnaire chimique et l'immaturation physiologique.

1.5.2.2. Dormance tégumentaire

Dans ce contexte, la graine intacte est incapable de germer, mais son embryon peut facilement germer s'il est dénudé, car ce sont les enveloppes séminales et éventuellement l'albumen qui s'opposent à la germination (Mazliak, 1998).

Les enveloppes séminales peuvent contenir des téguments imperméables à l'eau, à l'oxygène ainsi qu'à la présence d'inhibiteurs (Rouage, 1990).

Cette forme de dormance est également appelée "exogène" car elle provient de l'extérieur du corps de la graine, en opposition à la dormance "endogène". Dans cette catégorie, deux sous-types de dormance sont distingués

- La dormance tégumentaire chimique.
- La dormance tégumentaire physique.

Selon la maturité des graines on peut distinguer :

1.5.2.3. Dormance primaire

Elle affecte les semences au moment de leur maturité, elle se met donc en place sur la plante à un stade de développement des graines, qui est très variable selon les espèces (Mazliak, 1998).

1.5.2.4. Dormance secondaire

Les recherches indiquent que la dormance secondaire peut être déclenchée par des facteurs environnementaux tels qu'une température élevée et une hypoxie (Grahl 1965; Leymarie et *al.*, 2008; Corbineau et Come 2003). Des expériences menées avec l'orge et l'avoine ont révélé que l'induction de la thermodormance était observable après 3 à 8 heures d'incubation à 30 °C et atteignait son maximum après 1 à 3 jours (Leymarie et *al.* 2008). En outre, une dormance secondaire peut être imposée par une imbibition à basse température (10-15 °C), conjuguée à de faibles niveaux d'oxygène, surtout chez les graines qui présentent déjà une dormance primaire (Hoang et *al.*, 2014).

1.5.2.5. Cas des dormances combinées et doubles dormances

Certaines espèces possèdent des graines combinant plusieurs formes de dormance, qui résultent en une imperméabilité des enveloppes à l'eau et à l'oxygène. Certaines légumineuses sont dans un état où deux facteurs primaires (ou plus) de nature différente, tels qu'une dormance embryonnaire et une inhibition tégumentaire par imperméabilité des enveloppes à l'oxygène (pommier, tournesol), voire de même nature, une double inhibition tégumentaire. L'absence complète de dormance est assez rare. Cependant, semble-t-il, toutes les semences récalcitrantes sont dans ce cas. Quelques semences orthodoxes (maïs, radis) sont également réputées sans dormance (Côme, 1982)."

Ce passage nous a permis de discuter des différentes conditions de dormance des graines, y compris les facteurs qui peuvent inhiber la germination, comme l'imperméabilité des enveloppes. Il est à mentionner également que certaines graines n'ont pas de dormance du tout, bien que cela soit rare.

1.5.3. Levée de la dormance des graines

Des études antérieures ont démontré que l'endurcissement favorise la levée de la dormance des semences en activant l'enzyme endo- β -mannase, qui est responsable de la synthèse de l'éthylène. Cette hormone facilite la dégradation de l'albumen, ce qui permet la

levée de la dormance (Still et Bradford, 1997; Toorop et *al.*, 1998). Même en présence d'inhibiteurs de la synthèse de l'éthylène, comme le thiosulfate d'argent, l'amorçage est capable de lever la dormance des semences. Des observations ont été faites chez la laitue osmoconditionnée par du PEG (Varier et *al.*, 2010).

Certains chercheurs ont suggéré que l'osmopriming favorise la libération d'éthylène dans les tissus embryonnaires recouverts par l'endosperme, ce qui pourrait être suffisant pour permettre la germination des graines. Ainsi, le traitement pré germinatif peut lever la dormance même à des températures non optimales en provoquant le relâchement de la région testa de l'endosperme (Habdas et *al.* , 2000; Siriwitayawan et *al.* , 2003).

Chapitre 2

Priming (amorçage)

2.1. Priming

2.1. Définition

Le priming, également appelé amorçage ou endurcissement, représente une méthode physiologique visant à améliorer la production végétale en régulant les activités métaboliques de la germination avant l'émergence de la radicule (Taylor et *al.*, 1990), c'est-à-dire pendant la phase réversible de la germination. Pendant cette phase, les graines peuvent être partiellement réhydratées tout en conservant leur capacité à germer (Mazliak, 1998). Lors du priming, les graines sont hydratées partiellement à un niveau d'humidité suffisant pour permettre le déroulement des processus métaboliques prégerminatifs, mais pas assez pour permettre l'émergence de la radicule (Ghassemi-Golezani et *al.*, 2010).

2.2. Techniques d'amorçage (Les méthodes de prétraitement)

2.2.1. Hydro-priming

C'est une méthode économique et respectueuse de l'environnement pour préparer les semences. Il s'agit de tremper les graines uniquement dans de l'eau, puis de les laisser sécher jusqu'à retrouver leur poids initial. Chaque génotype a une durée de trempage optimale spécifique, qui doit être soigneusement déterminée pour améliorer au mieux la vigueur des graines (Harris et *al.*, 2001).

2.2.2. Osmo-priming

Il s'agit de traiter les graines avec des solutions contenant divers sels tels que le nitrate de potassium (KNO_3), le phosphate de potassium (K_3PO_4), le chlorure de potassium (KCl), ainsi que des substances comme NaCl, $CaCl_2$, $MgSO_4$ ou polyéthylène glycol (PEG), chacune avec différents potentiels hydriques. Ces solutions sont appliquées pendant des durées variables, comme indiqué dans les études de (Lei et *al.*, 2021).

2.2.3. Hormo-priming

Cette méthode implique l'application externe de régulateurs de croissance des plantes ou d'hormones végétales, visant à stimuler l'imbibition des graines et à modifier leur métabolisme. Parmi les régulateurs de croissance des plantes couramment utilisés de cette manière, on trouve l'acide abscissique (ABA), les gibbérellines, les cytokinines (CK), les auxines, l'éthylène et les polyamines (Diego et Spicale, 2020).

2.3. Mécanismes du priming

Les bénéfices de l'endurcissement sont étroitement liés à diverses modifications physiologiques, biochimiques, cellulaires, moléculaires et génétiques. Ces changements comprennent la mobilisation des réserves, la dégradation de l'albumen, l'activation des systèmes antioxydants, la stimulation de la synthèse des osmolytes, ainsi que l'activation du cycle cellulaire et de certains gènes impliqués dans la tolérance aux stress abiotiques. Ces éléments ont été bien documentés dans des études telles que celles menées par (Varier et *al.*, 2010).

2.4. Effets de priming

2.4.1. Sur la germination

Toutes les recherches sur l'endurcissement ont démontré que l'amorçage est une méthode efficace pour améliorer les performances de germination, conduisant à des cultures uniformes et homogènes (Ghassemi-Golezani et *al.*, 2010). Plusieurs études ont expliqué cette germination rapide et synchronisée par une activation des processus pré-germinatifs, entraînant des modifications biochimiques quantitatives et qualitatives au niveau de la graine (Maroufi et *al.*, 2011), telles que la réparation des membranes et la synthèse des acides nucléiques (ADN et ARN) (Jowkar et *al.*, 2012), une forte synthèse et activation des enzymes impliquées dans la dégradation et la mobilisation des réserves (Wattanakulpakin et *al.*, 2012), ainsi qu'une activation de l'endo-B-mannase, enzyme responsable de la synthèse de l'éthylène (hormone qui permet la dégradation de l'albumen pour la levée de la dormance) (Toorop et *al.*, 1998 ;Varier et *al.*, 2010).

Certains auteurs ont suggéré que l'osmopriming facilite la libération de l'éthylène à l'intérieur des tissus embryonnaires recouverts par l'endosperme, ce qui pourrait être suffisant.

2.4.2. Sur la dormance

Des expériences ont prouvé que le traitement pré-germinatif peut lever la dormance même à des températures non optimales en relâchant la région du testa et de l'endosperme (Siriwitayawan et *al.*, 2003).

2.4.3. Sur la respiration

Chez certaines espèces, des études ont démontré que l'hydropriming et l'osmopriming avec du PEG entraînent une modification significative de l'activité respiratoire. Cette modification s'accompagne d'une augmentation marquée du nombre de mitochondries, de la

quantité d'adénosine triphosphate (ATP), de la charge énergétique et du rapport ATP/ADP au niveau des tissus embryonnaires des graines traitées (Corbineau et *al.*, 2000).

Partie expérimentale

Chapitre 3

Matériel et méthodes

3.1. Matériel végétal

L'expérimentation a été menée sur 2 variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.), fournies par l'institut Technique de Développement de l'Agronomie Saharienne (ITDAS) Ain Ben Naoui Biskra. Ces variétés sont : Wahbi qui est une variété d'origine ICARDA-CIMMYT et Simito, variété introduite de l'Espagne CIMMYT.



Figure 2 : les différentes variétés de blé dur étudiées (2024) .

3.2. Protocole expérimental

Cette étude vise à évaluer les effets de l'osmoprimer (un traitement pré germinatif) sur la germination et les stades précoces de la croissance, des graines de 2 variétés de blé dur en conditions de stress salin par l'ajout de différentes concentrations de chlorure de sodium, pendant une durée de 8 jours.

➤ **Application du traitement pré germinatif (osmoprimer) :**

Pour chaque variété, des graines de blé sélectionnées selon leur taille et leur forme sont imbibées dans différentes concentrations de chlorure de sodium (0g/L, 5g/L, 10g/L), pendant 16 heures. Cette imbibition est suivie d'un séchage à température ambiante jusqu'à ce que les graines reprennent leur poids initial.

➤ **Application du traitement germinatif :**

Les graines amorcées et redéshydratées de chaque variété sont mises à germer dans des boîtes de Pétri de Ø 9 cm sur une couche de papier filtre. Elles sont soumises à différentes pressions osmotiques (0g/L, 5g/L, 10g/L, 15g/L). L'essai a été réalisé selon un dispositif

expérimental complètement randomisé et chaque combinaison de prétraitement /traitement, comprenait trois répétitions.

➤ **Témoin**

aucun prétraitement n'a été appliqué avant la mise à germination sous conditions salines.

➤ **Préparation des solutions salines**

Préparation des solutions salines à différentes pressions osmotiques (0g/L, 5g/L, 10g/L, 15g/L) selon le protocole de (Sosa et al., 2005).

➤ **Mise à germination**

Dans un groupe témoin, 10 ml d'eau distillée ont été ajoutés, tandis que dans les autres groupes, 10 ml de solution contenant 5 g/L, 10 g/L ou 15 g/L de NaCl ont été ajoutés. Les boîtes ont été placées dans l'obscurité dans un incubateur réglé à une température de 25°C pendant une période de 8 jours. La germination a été détectée par l'émergence de la radicule à travers les téguments de la graine, avec une longueur d'au moins 2 mm.

3.3. Paramètres étudiés

Les paramètres étudiés au cours de ce travail sont :

3.3.1. Taux de germination final

Il est exprimé comme le rapport du nombre de graines germées au nombre total de graines mises à germer (Oukara et al., 2017).

Le taux de germination (TGF) est calculé selon la relation :

$$\text{TGF} = \text{Ni} \times 100 / \text{Nt}$$

Ni : nombre des graines germées.

Nt : nombre totale de graines utilisées.

3.3.2. Cinétique de germination

Elle est exprimée en nombre de graines qui ont germé après 24, 48, 72 et 96 heures depuis le début de l'expérience. Cela permet de mieux comprendre la signification écologique du comportement germinatif des cultivars étudiés et de tous les événements partant du stade

de reprise en eau par la graine et se terminant par l'élongation de l'axe embryonnaire et l'émergence de la radicule.

3.3.3. Longueur des racines et des épicotyles

La longueur de la racine primaire et la longueur de l'épicotyle ont été mesurées avec une règle graduée à la fin de l'expérimentation (Camara et *al.*, 2018).

3.4. Analyse statistique

Les expériences ont été répétées trois fois. Les résultats, présentés sous forme de courbes ou d'histogrammes représentent les valeurs moyennes des répétitions. L'analyse de la variance à deux facteurs (ANOVA) a été réalisée afin de mettre en évidence les différences significatives éventuelles entre les différents traitements au seuil de probabilité de 5 % à l'aide de SPSS 26 .

Chapitre 4

Résultats et discussion

4.1. Résultats et discussion

4.1.1 Taux de germination

Le taux de germination sous des conditions de stress salin donne toujours une indication plus ou moins précise du comportement des variétés examinées.

La figure 3 présente la variation du taux de germination final des différentes variétés de blé dur. Les cultivars étudiés (Wahbi et Simeto) ont été immergés dans différentes concentrations de chlorure de sodium (SP, 0 g/l, 5 g/l, 10 g/l) et par la suite exposés à différents niveaux de pression osmotique (stress salin) (0 g/L, 5 g/L, 10 g/L, 15 g/L).

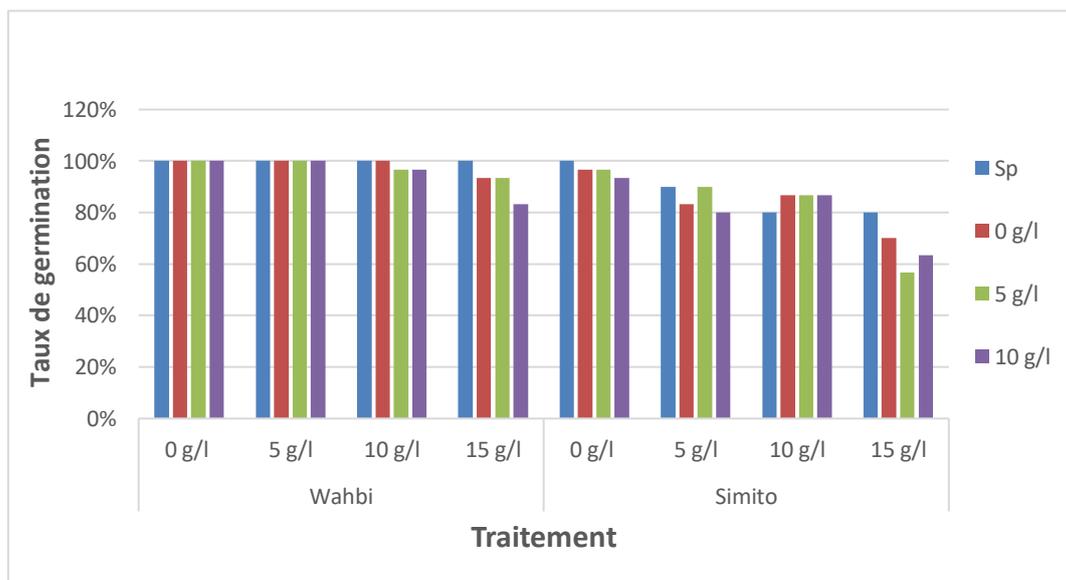


Figure 3 : Effet de l'osmoprimer sur le taux de germination chez deux variétés de blé dur en fonction de l'intensité du stress salin.

En effet, cette étude met en lumière que l'osmoprimer peut favoriser l'augmentation du taux de germination des graines de blé dur, ceci dépend de la variété, aussi bien dans des conditions de germination favorables (eau distillée) que sous certaines concentrations de stress salin (pression osmotique).

En conditions normales (groupe témoin), la variété Wahbi présente le taux de germination le plus élevé, avec des valeurs très proches de celles des graines ayant subi uniquement un osmoprimer faible (5 g/l), toutes deux atteignant 100% dans toutes les concentrations testées (0 g/L, 5 g/L, 10 g/L, 15 g/L). Cette supériorité du taux de germination chez le groupe témoin est également observée chez la variété Simeto, bien que légèrement inférieure et variant de 100% pour les graines mises à germer dans l'eau distillée et 80% pour les graines exposées à un stress salin de 15 g/l.

En effet, chez la variété Wahbi les différents prétraitements (0g/l,5g/l et 10g/l) présentent les meilleurs taux de germination, maintenant des pourcentages élevés de 100% pour les concentrations de 0g/L et 5g/L. Néanmoins, aucune différence n'a été enregistrée pour les traitements préliminaires (0g/l,5g/l et 10g/l) avec le témoin représenté par les graines qui n'ont subi aucun prétraitement. Chez les graines exposées à des stress plus prononcés 10g/l et 15g/l, le témoin prédomine par rapport aux autres avec respectivement 96,67% et 83,33, respectivement.

Quant à la variété Simito, les graines mises à germer dans la concentration 10g/l, tous les prétraitements se révèlent les plus efficaces et semblent avoir un effet significatif sur le taux de germination qui est de 87%. Cet effet est meilleur et supérieur à celui du témoin qui n'enregistre que 80%. La concentration 5g/l, présente un taux de germination de 90% pour les graines amorcées au prétraitement 5g/l. Ce taux reste similaire à celui du témoin.

L'analyse de variance ANOVA à deux facteurs, prenant en compte l'effet du stress salin avec quatre niveaux (0 g/L, 5 g/L, 10 g/L, 15 g/L), l'effet des variétés de blé dur (Wahbi et Simito), ainsi que l'effet de l'osmopriming sur la variation du taux de germination, révèle des différences significatives au seuil 5% (Tableaux 1 et 2).

Tableau 1 : Analyse de la variance pour le taux de germination de la variété (Wahbi)

Source	Somme des carrés de type III	ddl	Carré moyen	F	Signification	Eta-carré partiel
Modèle corrigé	204,275 ^a	6	34,046	3,042	,045	,670
Constante	152750,043	1	152750,043	13648,361	,000	,999
Pré	52,079	3	17,360	1,551	,026	,341
Tra	152,196	3	50,732	4,533	,034	,602
Erreur	100,726	9	11,192			
Total	153055,045	16				
Total corrigé	305,001	15				

Tableau 2 : Analyse de la variance pour le taux de germination de la variété (Simito)

Source	Somme des carrés de type III	ddl	Carré moyen	F	Signification	Eta-carré partiel
Modèle corrigé	1844,539 ^a	6	307,423	8,369	,003	,848
Constante	112226,675	1	112226,675	3055,301	,000	,997
pré	97,219	3	32,406	,882	,0486	,227
tra	1747,319	3	582,440	15,857	,001	,841
Erreur	330,586	9	36,732			
Total	114401,800	16				
Total corrigé	2175,125	15				

4.1.2. Cinétique de germination

Afin de mieux saisir la signification physiologique du comportement germinatif des variétés étudiées, les graines germées ont été comptées quotidiennement jusqu'au 8^{ème} jour de l'expérience.

Les figures (4 et 5) illustrent l'évolution de la germination de deux variétés de blé dur (Wahbi et Simito) en fonction du temps sous différentes concentrations de stress salin pour l'ensemble des prétraitements. Les résultats révèlent que les courbes relatives aux taux de germination quotidiens des graines, qu'elles aient été traitées ou non, présentent une allure similaire aux courbes de cinétique de germination observées chez diverses espèces végétales.

Effectivement, les courbes de cinétique de germination présentent les trois phases classiques de ce processus : une phase de latence due à l'imbibition des graines, suivie d'une phase d'accélération exponentielle de la germination, et enfin une troisième phase caractérisée par un plateau correspondant à un arrêt de la germination une fois que la capacité germinative maximale est atteinte.

Cette constatation met en évidence que, selon la variété, les graines ayant bénéficié d'un traitement préliminaire affichent un taux de germination supérieur par rapport aux graines non traitées (témoin), même dans des conditions normales, et parfois même en présence de stress salin.

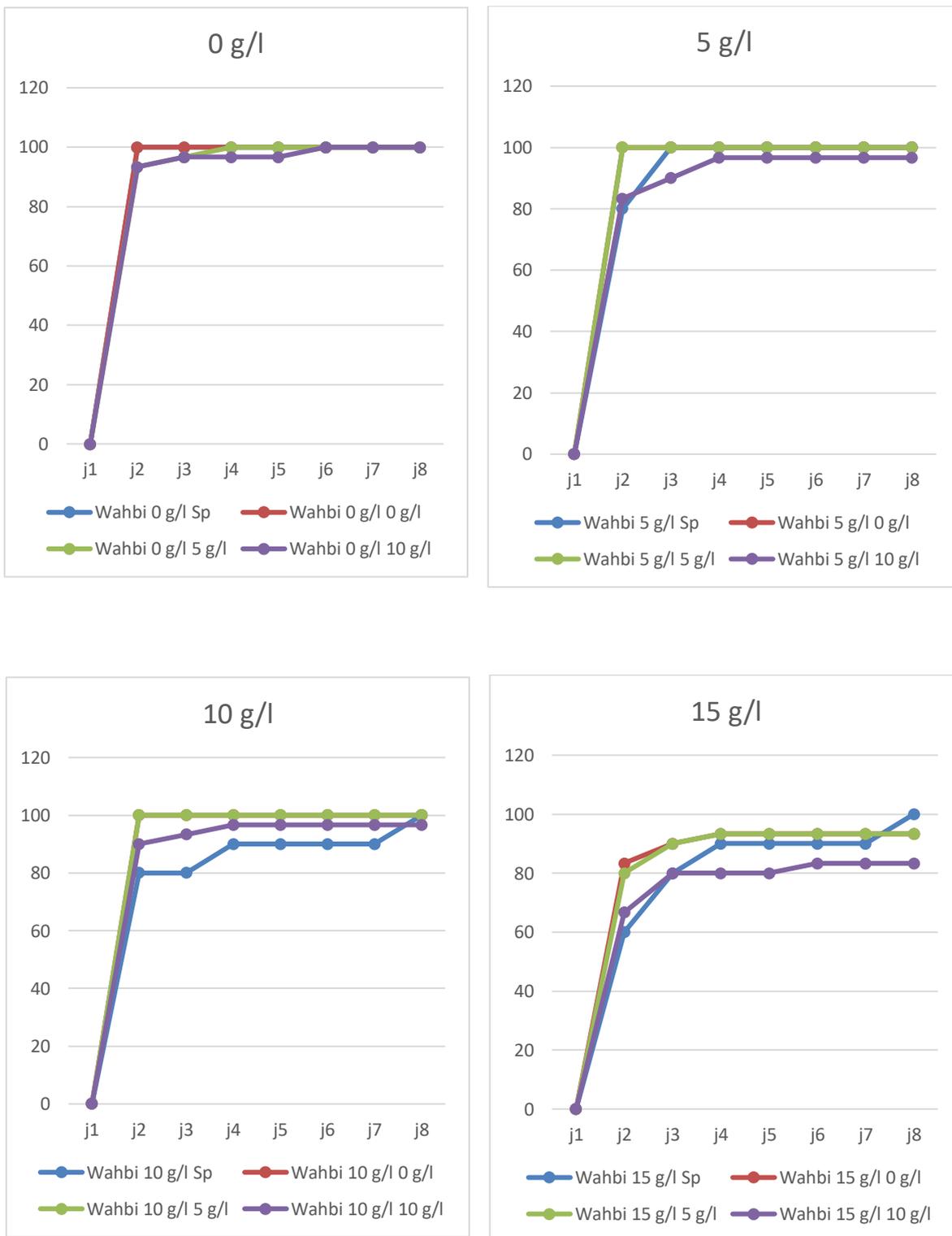


Figure 4 : Effet de l’osmoprimer sur la cinétique de la germination de blé dur (variété Wahbi) sous l’effet des différents niveaux du stress salin.

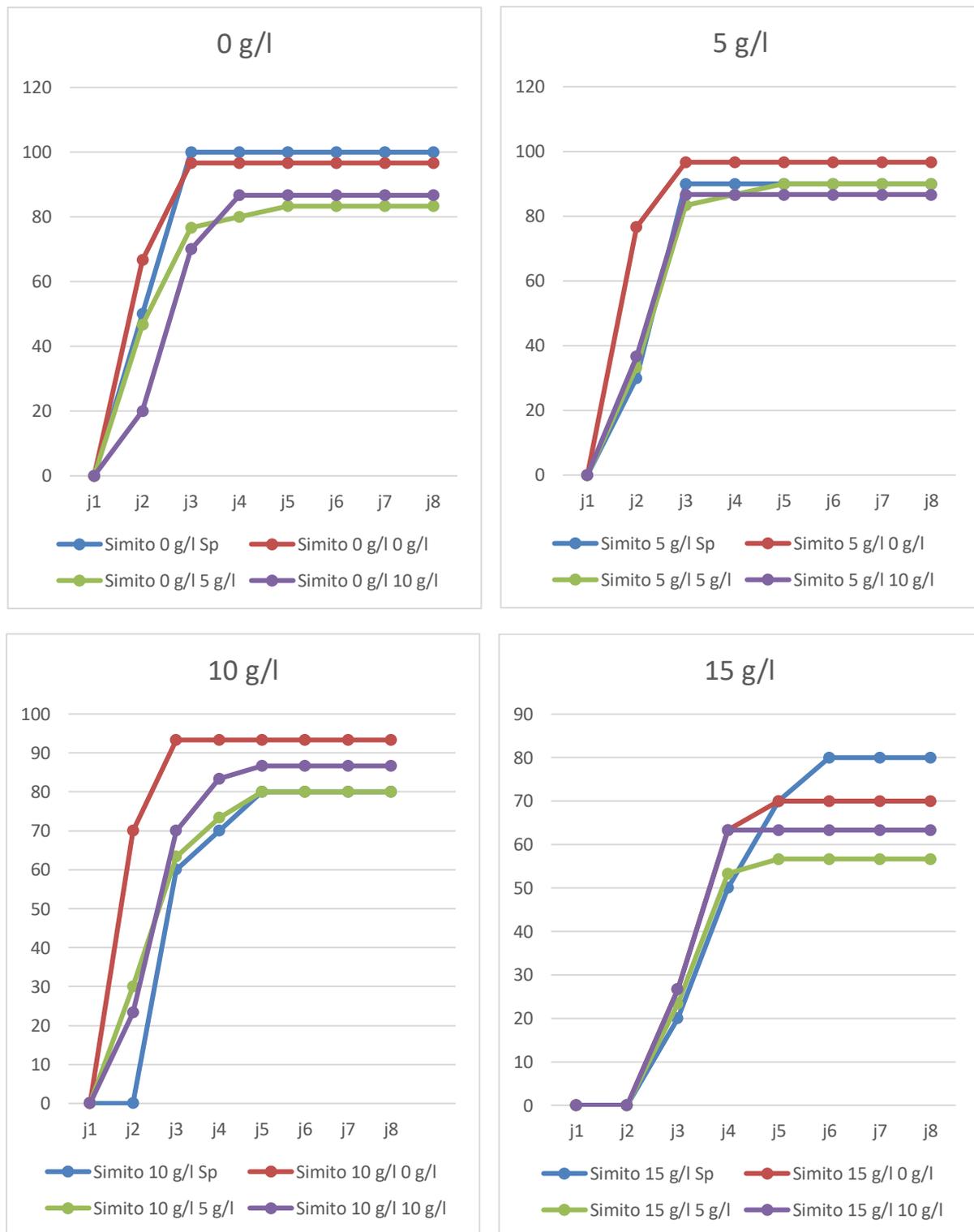


Figure 5 : Effet de l'osmoprimer sur la cinétique de la germination de blé dur (variété Simito) sous l'effet des différents niveaux du stress salin.

Il est remarquable que la variété Wahbi se montre la plus tolérante au stress osmotique et progresse plus rapidement que l'autre variété, tandis que la variété Simito tolère le stress salin, mais légèrement moins que Wahbi, même en ce qui concerne sa vitesse de développement.

En conclusion, nos résultats montrent qu'en conditions favorables ou stressantes, l'endurcissement améliore la cinétique de la germination du blé dur surtout pour la variété Wahbi. Cette méthode peut améliorer à la fois la germination et la tolérance au stress, y compris à la salinité, en renforçant la capacité des graines à absorber l'eau et à supporter des conditions environnementales défavorables. Toutefois, les effets précis de l'osmopriming sur la tolérance des graines de blé dur à la salinité au stade de la germination peuvent varier en fonction de divers facteurs, tels que les conditions spécifiques de l'expérience, la concentration de la solution osmotique utilisée et la variété de blé dur étudiée.

4.1.3. Longueur des racines et des épicotyles

Les résultats de l'évolution du système racinaire et foliaire, sous différents niveaux de stress salin, sont présentés dans les figures 6 et 7 .

4.1.3.1. Longueur des racines

La Figure 6 présente les résultats de l'étude de l'effet de l'osmopriming sur le développement de la longueur des racines des deux variétés de blé dur en conditions de stress salin.

De manière générale, nos résultats indiquent que le stress salin induit par le NaCl entraîne une diminution significative de la croissance des racines par rapport à celles issues des graines ayant germé dans des conditions normales ou n'ayant pas subi prétraitement.

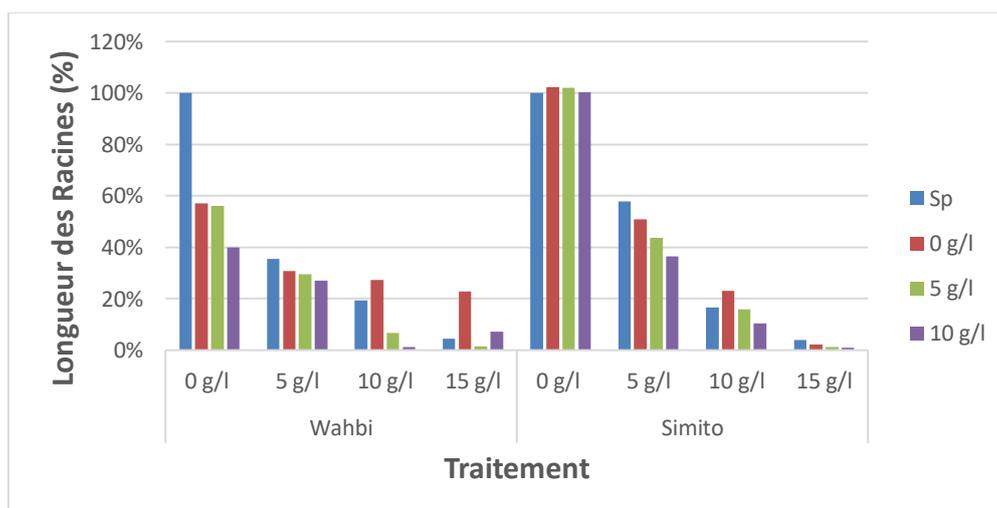


Figure 6 : Effet de l'osmopriming sur la longueur des racines des deux variétés de blé dur en fonction de l'intensité du stress salin.

Chez la variété Wahbi, la longueur des racines aux concentrations 0g/l et 5g/l sous différents prétraitements est affectée par rapport à celle du témoin représenté par les graines non amorçées avec des différences significatives entre ces deux niveaux de stress.. En revanche, l'effet du stress osmotique sévère correspondant aux concentrations 10g/l et 15g/l présentent les meilleurs résultats pour la longueur des racines des graines soumises préalablement à un traitement avec uniquement l'eau distillée. Ces valeurs sont respectivement 27,37% pour une valeur de 19% chez le témoin. D'autant plus que la concentration devient sévère et atteint 15 g/l, la longueur des racines chez la variété Wahbi des graines ayant subi un amorçage toujours à l'eau distillée est de 22,82% contre 4% chez le témoin (sans prétraitement) (Figure 6).

Chez Simito, dans l'eau distillée, les trois différents prétraitements (0g/l, 5g/l et 10g/l) révèlent des valeurs supérieures à celle du témoin avec respectivement 102,32%, 102,02% et 100,21%, relativisées par rapport au témoin qui est pris comme 100%.

Ces résultats restent les meilleurs et indiquent qu'un amorçage avec l'eau distillée permet d'augmenter la longueur des racines quelque soit le prétraitement appliqué.

Ce résultat est également observé pour la concentration 10g/l où les graines ayant été amorçées avec l'eau distillée ont données des racines plus longues que celles du témoin avec respectivement 23,16% et 17%.

4.1.3.2. Longueur des épicotyles

La figure 7, présente les résultats de l'effet de l'osmoprimum sur le développement de la longueur des épicotyles des deux variétés de blé dur, en conditions de stress salin.

Nos résultats démontrent que le stress salin provoqué par le NaCl entraîne une réduction significative de la croissance des épicotyles par rapport à ceux issus de graines ayant germé dans l'eau distillée quelque soit le prétraitement appliqué..

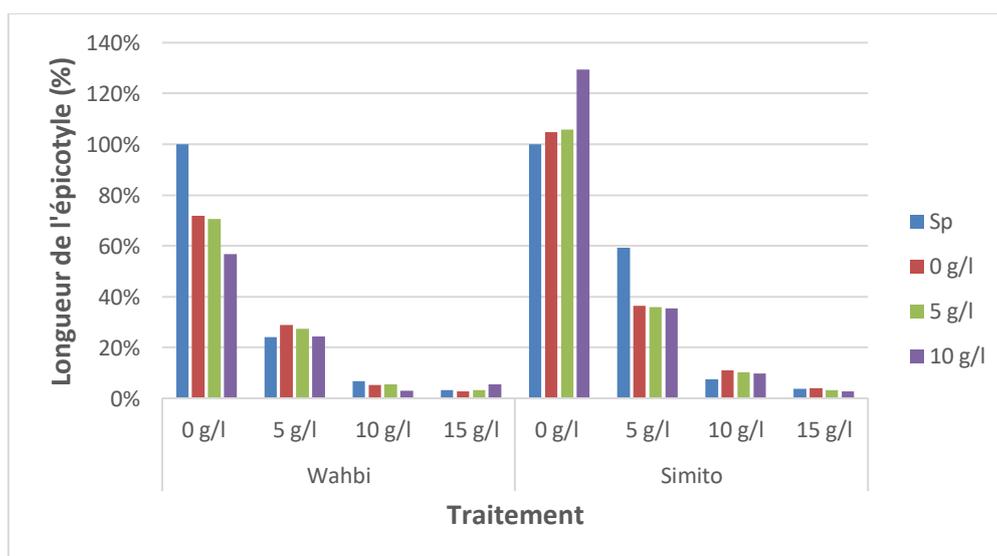


Figure 7 : Effet de l'osmoprimum sur la longueur des épicotyles des deux variétés de blé dur en fonction de l'intensité du stress salin.

Chez la variété Wahbi dans l'eau distillée, la longueur de l'épicotyle est affectée négativement quelque soit le prétraitement appliqué. Cependant dans la concentration 5g/l, les longueurs obtenues sous les trois prétraitements (0g/l, 5g/l et 10g/l), dépassent celles du témoin avec respectivement 28,92%, 27,44% et 24,40% contre 24% pour le témoin.

Ces observations ont été également enregistrées dans la concentration 15g/l, où la longueur des épicotyles des graines préalablement amorçées à 5g/l et 10g/l, dépassent également celle du témoin (sans prétraitement).

Chez Simito, les prétraitements les plus efficaces, sont ceux appliqués aux graines mises à germer dans l'eau distillée, notamment celui de 10g/l qui enregistre une longueur de l'épicotyle relativisée par rapport au témoin de 129,54%, suivie de la longueur relative aux prétraitements 5g/l et 0g/l avec respectivement, 105,91% et 104,89%.

La concentration 10g/l, présente également des longueurs qui dépassent celle du témoin, quelque soit le prétraitement appliqué. Les longueurs observées sont 11,04% pour le prétraitement à l'eau distillée, 10,31% pour le prétraitement 5g/l et 9,74% pour le dernier prétraitement.

4.2. Discussion

L'importance de la germination des semences dans la production végétale et agricole est indéniable, étant une étape fondamentale dans le cycle de vie des plantes supérieures (Cheng et *al.*, 1999). Cependant, la germination peut être sujette à des variations, car toutes les graines ne germent pas de la même manière ni au même moment. Pour pallier ces variations et améliorer le développement ainsi que le rendement des cultures, différentes approches ont été explorées au fil des années (Basra et *al.*, 2003).

L'amorçage, également connu sous le nom de « priming », est la technique la plus courante et largement utilisée. Cette méthode physiologique améliore la production végétale en régulant les activités métaboliques de la germination avant l'émergence de la radicule (Taylor et *al.*, 1990), durant la phase réversible de la germination. Pendant cette période, la graine peut être partiellement réhydratée tout en maintenant sa capacité à germer (Mazliak, 1998). L'amorçage partiel consiste à hydrater les graines jusqu'à un niveau d'humidité adéquat

pour permettre les processus métaboliques pré-germinatifs, mais pas suffisamment pour provoquer la germination complète de la racicule. (Ghassemi-Golezani *et al.*, 2010).

L'osmopriming est la forme d'amorçage des semences la plus répandue. Elle implique un prétraitement osmotique des graines seul ou suivi d'une redéshydratation contrôlée. Cette technique utilise des agents osmotiques tels que le polyéthylène glycol (PEG), les sels (KNO₃, NaCl, KCl) ou les polyols (mannitol) (Yari *et al.*, 2010). Plusieurs études ont démontré que les plantes issues de graines soumises à l'osmopriming présentaient une germination accélérée, ce qui se traduisait par un taux final d'implantation plus élevé. De plus, des effets bénéfiques sur le rendement des cultures ont également été observés (Bradford, 1986).

Notre étude semble indiquer que l'effet de l'amorçage dépend à la fois du type du prétraitement et de la variété. Ceci est cohérent avec les suggestions antérieures de (Ghassemi-Golezani *et al.*, 2008).

De plus, l'osmopriming semble avoir un effet très significatif sur le taux de germination des graines de simito mises à germer dans l'eau distillée quel que soit le prétraitement appliqué. Cette observation peut s'expliquer par le fait que le stress osmotique induit par des concentrations de NaCl préalablement appliqué a eu un impact plus important sur les graines. Cette acclimatation semble avoir permis aux graines de déclencher certains mécanismes de défense face au stress., tels que l'augmentation de l'expression des protéines de stress (Gao *et al.*, 1999) et la stimulation de la synthèse des osmolytes (Gelormini, 1995), ce qui pourrait expliquer les effets bénéfiques observés avec les graines prétraitées à le NaCl qui à mesure que la concentration augmente les prétraitements paraissent plus efficaces et accélèrent la germination chez les deux variétés . Ces résultats sont en accord avec ceux de (Dezfuli *et al.*, 2008), qui ont également montré que l'amorçage est influencé par la concentration de la solution osmotique ainsi que par d'autres facteurs.Plusieurs explications ont été avancées pour expliquer cette germination rapide et synchronisée. Il semble que le prétraitement induise des modifications biochimiques quantitatives et qualitatives au niveau de la semence (Maroufi *et al.*, 2011), notamment la réparation des membranes, une augmentation significative de la synthèse et de l'activation des enzymes impliquées dans la dégradation et la mobilisation des réserves (Wattanakulpakin *et al.*, 2012), ainsi qu'une activation de l'endo- β -mannase, enzyme responsable de la synthèse de l'éthylène, une hormone qui permet la levée de la dormance (Varier *et al.*, 2010). De plus, l'amélioration de la germination chez les semences traitées de

cette manière pourrait être attribuée en partie à une augmentation des activités des enzymes antioxydantes (De Castro et *al.*, 2000).

L'application de prétraitements tels que l'osmopriming semble entraîner des effets positifs notables non seulement pendant la germination et l'émergence, mais également sur la croissance des racines, et celle des épicotyles. En effet, chez Simito qui a données longueurs de racines et d'épicotyles dépassant celles du témoins quelque soit le prétraitement appliqué. Ces constatations sont en accord avec les résultats d'autres chercheurs qui ont également observé une amélioration de la croissance et du rendement des plantules issues de semences ayant subi un traitement similaire (Zarei et *al.*, 2011).

Par ailleurs, des études ont montré que l'osmopriming améliore et synchronise la réplication de l'ADN dans toutes les cellules de l'embryon. Ce mécanisme, régulé par l'activation de protéines du cycle cellulaire, contribue à une meilleure performance de la germination et celle de la croissance.

Enfin, la croissance rapide des plantules a été expliquée par une accélération de la réplication nucléaire au niveau des racines et des feuilles, favorisant ainsi un développement plus rapide et plus vigoureux des plantules (Varier et *al.*, 2010). Ceci corrobore avec les résultats trouvés par (Hamidi, 2020) qui suggère que l'endurcissement des graines permet d'améliorer à la fois les performances germinatives et la croissance des racines en conditions osmotiques.

Des études antérieures ont rapporté que les graines soumises à des contraintes de stress osmotique important ne peuvent pas absorber suffisamment d'eau et d'oxygène pour soutenir la croissance de l'embryon (Demir et *al.*, 2006).

Par conséquent, il semble que les effets bénéfiques de l'amorçage par des solutions salines sont plus prononcés dans des conditions favorables que dans des conditions défavorables. Cela souligne l'importance de cette technique comme une stratégie efficace pour améliorer la germination des graines, et pour favoriser leur croissance et leur développement quelque soit les conditions environnementales (Bradford, 1995).

Conclusion

Conclusion

Cette étude met en lumière l'efficacité de l'osmopriming pour favoriser la germination et la croissance des variétés de blé dur, même en présence de stress salin. Les résultats révèlent que le traitement des graines par l'osmopriming entraîne une augmentation significative du taux de germination, une croissance accélérée des racines et des épicotyles, ainsi qu'une meilleure tolérance au stress salin par rapport aux graines non traitées et ce, selon la variété.

Le taux de germination, indicateur crucial de la vitalité des graines, est notablement influencé par l'osmopriming, favorisant une augmentation même en présence de stress salin. Cependant, cette amélioration varie selon la variété de blé dur étudiée. Les résultats de notre étude révèlent que l'amélioration de la germination du blé dur sous stress salin, notamment en favorisant un taux de germination plus élevé, est tributaire de la variété, du prétraitement et du stress appliqué. En effet, les meilleurs résultats sont accordés à Simito dans la concentration 10g/l, quelque soit le prétraitement appliqué. De plus, à mesure que la concentration augmente, les prétraitements paraissent plus efficaces et accélèrent la germination. L'analyse de la cinétique de germination révèle une vitesse accrue chez les graines prétraitées, même en présence de stress salin, soulignant ainsi l'efficacité de l'osmopriming pour renforcer la capacité germinative des graines.

Chez Simito, malgré une réduction de la croissance des racines et des épicotyles en raison du stress salin, les graines prétraitées montrent une meilleure croissance par rapport aux graines non traitées quelque soit le prétraitement appliqué. L'osmopriming renforce la tolérance du blé dur au stress salin, bien que son efficacité puisse varier en fonction de la variété et des conditions expérimentales. Des prétraitements, adaptés à chaque espèce, peuvent significativement améliorer la germination des semences et la croissance des différentes espèces cultivées, ainsi que leur tolérance à la salinité.

Plus spécifiquement, la variété Simito, semble bénéficier davantage de l'osmopriming, avec des performances supérieures en termes de taux de germination et de croissance racinaire et foliaire par rapport à la variété Wahbi.

En conclusion, l'osmopriming représente une solution prometteuse pour améliorer les cultures de blé dur dans des conditions stressantes comme la salinité, renforçant ainsi la résilience des plantes face à des environnements hostiles. Toutefois, des recherches supplémentaires sont nécessaires pour optimiser les protocoles d'osmopriming et leur application sur le terrain. Ainsi, des études plus approfondies sont nécessaires pour comprendre pleinement les mécanismes sous-jacents de cette amélioration de la tolérance et pour adapter les protocoles d'osmopriming aux besoins spécifiques des différentes variétés de blé dur. En outre, des essais sur le terrain à grande échelle sont nécessaires pour évaluer l'efficacité de cette technique dans des conditions réelles de production agricole.

Références

Bibliographiques

- Anzala F.J. (2006). Contrôle de la vitesse de germination chez le maïs (*Zea mays*): étude de la voie de biosynthèse des acides aminés issus de l'aspartate et recherche de QTLs. Thèse de Doctorat, Université d'Angers, Angers, France, 149 p.
- Baskin CC, Zackrisson O, Baskin JM (2002) Role of warm stratification in promoting germination of seeds of *Empetrum hermaphroditum* (Empetraceae), a circumboreal species with a stony endocarp. *Am J Bot* 89:486–493
- Basra S. M. A., Pannu I. A., Afzal I. (2003). Evaluation of seedling vigor of hydro and matriprimed wheat (*Triticum aestivum* L.) seeds. *Int. J. Agric. Biol.*, 5(2): 121-123.
- basis of seed priming. *Curr. Sci.*, 99, 450-456.
- Bewley D., Black M. (1994). Seeds development and maturation. In: Bewley D.J.B. M eds. *Physiology of development and germination*. New York: Plenum, 35-117.
- Bradford K. J. (1986). Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress conditions. *Hort Science* 21: 1105-1112.
- Bradford K.J., (1995). Water relations in seed germination. In: Kigel J. & Galili G., eds. *Seed development and germination*. New York, USA: Marcel Dekker Inc., 351-396.
- Camara B., Sanogo S., Cherif M., Kone D. (2018). Effet du stress salin sur la germination des graines de trois légumineuses (*Phaseolus vulgaris*, *Glycine max* et *Vigna unguiculata*). *J. Appl. Biosci.* 124: 12424-12432.
- Côme, D. (1970). Les obstacles à la germination. In *Bulletin mensuel de la Société linnéenne de Lyon* (Ed.). (pp. 162). Paris : Masson et Cie.
- Corbinene F., Ozbingol N., Vineland D., Come D., (2000). Improvement of tomato seed germination by osmopriming as related to energy metabolism. In black M, Bradford KJ, Vasquez-Ramos J (Eds), *Seed biology Advances and Applications*

- proceeding of the sixth international Workshop on seeds, Merida Mexico, (1999). New York, NY :cabi 467-474.
- Cheng Z., Bradford K. J. (1999). Hydrothermal time analysis of tomato seed germination responses to priming treatments. *J. Exp. Bot.* 33 :89-99
- Côme D., (1992). *Les végétaux et le froid*. Hermann. Édi.Des sci.Et des arts, Paris, pp 406-409.
- Corbineau F, Come D (2003) Involvement of energy metabolism and ABA in primary and secondary dormancies in oat (*Avena sativa* L.) seeds—a physiological approach. In:
- Côme D., (1982). *Germination dans croissance et développement physiologie végétal II*, Mazliak P., Collection méthodes, Harman, Paris, pp129-225.
- De Castro R.D. et al., (2000). Cell division and subsequent radicle protrusion in tomato seeds are inhibited by osmotic stress but DNA synthesis and formation of microtubular cytoskeleton are not. *Plant Physiol.*, 122, 327-335.
- De Diego N., Spíchal L. (2020). “Use of plant metabolites to mitigate stress effects in crops,” in *The Chemical Biology of Plant Biostimulants*, eds Geelen D., Xu L. (Hoboken, NJ: Wiley;), 261–300. 10.1002/9781119357254.ch11
- Demir Kaya M., Atak M., Çikili Y. & Kolsarici Ö., (2006). Seed treatment to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Eur. J. Agron.*, 24, 291-295.
- Dezfuli P.M., Sharif-Zadeh F. & Janmohammadi M., 2008. Influence of priming techniques on seed germination behavior of maize inbred lines (*Zea mays* L.). *J. Agric. Biol. Sci.*, 3(3), 22-25.
- Evenari M. (1957). *Les problèmes physiologiques de la germination*. Soc. France, *Physiologie végétale.*, (3), 2451-2494.
- Gao Y.P., Young L., Bonham-Smith P. & Gusta L.V., (1999). Characterization and expression of plasma and tonoplast membrane aquaporins in primed seed of *Brassica napus* during germination under stress conditions. *Plant Mol. Biol.*, 40, 635-64.

- Gelormini G., (1995). Optimisation des propriétés germinatives des graines de colza par initialisation : aspects méthodologiques et fondamentaux. Thèse de doctorat : Université de Rennes (France).
- Gendreau E, Romaniello S, Barad S, Leymarie J, Benech-Arnold R, Corbineau F (2008) Regulation of cell cycle activity in the embryo of barley seeds during germination as related to grain hydration. *J Exp Bot* 59:203–212
- Ghassemi-Golezani K., Sheikhzadeh-Mosaddegh P. & Valizadeh M., (2008). Effects of hydropriming duration and limited irrigation on field performance of chickpea. *Res. J. Seed Sci.*, 1, 34-40.
- Ghassemi-Golezani K., Chadordooz-Jeddi A., Nasrullahzadeh S., Moghaddam M. (2010).
- Ghassemi-Golezani K., Chadordooz-Jeddi A., Nasrullahzadeh S. and Moghaddam M., (2010). Influence of hydro-priming duration on field performance of pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. *Afr. J. Agric. Res.*, 5(9), 893-897.
- Grahl A (1965) Lichteinfluss auf die keimung des getreides in abh angigkeit von der keimruhe. *Landbauforschung Volkenrode* 2:97–106. (in Russian)
- Habdas H., Szafrowska A., Sokolowska A. (2000). Cytological and physiological effects of matricconditioning on low viable cucumber seed germination. *Acta Horticulturae.*, 517: 113-120.
- Hamidi H., (2000). Experiment on alfalfa to measure its tolerance to drought using texture culture technique. M.A. Agriculture thesis: Agriculture University, Tarbiat Moddares University, Tehran (Iran).
- Harris D, Pathan AK, Gothkar P, Joshi A, Chivasa W, Nyamudeza P. On-farm seed priming: using participatory methods to revive and refine a key technology. *Agric Syst.* (2001);69:151–164.
- Heller R., Esnault R., Lance C. (1995). *Physiologie végétale: developpement*. Ed. Masson,315p.

- Hilhorst H.W.M., Karssen C.M.,(1992). Seed dormancy and germination, The role of abscisic acid and gibberellins and the Importance of hormone mutants, Plant-Growth regulation,11 , pp 225-238.
- Hoang HH, Sotta B, Gendreau E, Bailly C, Leymarie J, Corbineau F (2012) Water content: a keyfactor of the induction of secondary dormancy in barley grains as related to ABA metabolism.Physiol Plant 148:284.
- Hoang HH, Sechet J, Bailly C, Leymarie J, Corbineau F (2014) Inhibition of germination of dormant barley (*Hordeum vulgare* L.) grains by blue light as related to oxygen and hormonal regulation. Plant Cell Environ 37:1393–1403.
- Hopkins W. G. (1999). Introduction to Plant Physiology. 2nd Edition. John Wiley and Sons Ed., 512 p.
- Hopkins W.G., (1999) . Physiologie végétal ; All rights reserved authorized translation from the English, Language edition published,442 p.
- Jean –pierre A., Philippe D., Bernard I., Bernard S., François T., Alban T., (2006) :sècheresse et agriculture .Réduire la vulnérabilité de l’agriculture a un risque accru de manque d’eau .expertise scientifique collective ,synthèse du rapport ,INRA. France.72 pp.
- Jowkar M., Ghanbaria., Moradfi F., Heidari M., (2012). Alterations in seed vigor and antioxidant enzymes activities in
- Keeley JE, Fotheringham CJ (2000) Role of fire in regeneration from seeds. In: Plant Communities,Fenner M (eds) Seeds: the ecology of regeneration. CAB International, Wallingford, pp311–330
- Lang A.G., Early J. D., Martin G.C., Darnell R.L.,(1987). Endo-, Para-, And Ecodormancy : Physiological terminology and classification for dormancy research, Hort , sie 22, pp371-377.

- Lei C, Bagavathiannan M, Wang H, Sharpe SM, Meng W, Yu J. Osmopriming with polyethylene glycol (PEG) for abiotic stress tolerance in germinating crop seeds: a review. *Agronomy*. (2021);11:2194.
- Leymarie J, Robayo-Romero ME, Gendreau E, Benech Arnold RL, Corbineau F (2008) Involvement of ABA in induction of secondary dormancy in barley (*Hordeum vulgare* L.) seeds. *PlantCell Physiol* 49:1830–1838
- Marouf A.,Reynaud J.,(2007). *la botanique*, Dunod, Paris, pp 86-87.
- Maroufi K., Farahani H.A. & Moradi O., 2011. Increasing of seedling vigor by hydro priming method in cowpea (*Vigna sinensis* L.). *Adv. Environ. Biol.*, 5(11), 3668-3671.
- Mazliak P. (1982). *Croissance et développement. Physiologie végétale II*. Hermann éd., Paris, Collection Méthodes, 465p.
- Mazliak P(1998).*Physiologie végétal II*, Hermann éditeurs des science et des arts, Paris, pp 216-239.
- Mazliak P., (1998). *Physiologie végétale. 2. Croissance et développement*. Paris : Hermann éditeurs.
- Nicolas G, Bradford KJ, Come D, Pritchard H (eds) *The biology of seeds: recent research advances*. CAB International, Oxon, pp 113–120.
- Oukara F. Z., Salem K., Chaouch F. Z., Chaouia C., Benrebaha F. Z. (2017). Effet des pretraitements sur la germination des graines du pistachier de l'Atlas *Pistacia Atlantica* Desf. *Alg. J. Arid enviro.*, vol.7, n°2: 49-57.
- Rjeibi W., Kahlaoui B., Hachicha M. (2015). Effet de l'irrigation avec des eaux salées sur une culture de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) en Tunisie: Réponses du quinoa aux contraintes hydriques et salées, Editions universitaires européennes, pp.24.

- Rouag K., (1990). Cinétique de la germination et croissance chez quelques espèces de céréales ,Exemple Le blé. Polinicum-Anza-Aseret, Mémoire D.E.S. Biologie végétale I.S.N.U. Constantine, 52P.
- Shafii, B., Price, W.J., (2001). Estimation of cardinal temperatures in germination data analysis. *Journal of Agricultural Biological and Environmental Statistics*, 6(3): 356-366.
- Siriwitayawan G. Dutt M., Kester S... Downie B. Genever R., (2003) Ageing in tomato reduces the capacity of seed to produce ethylene, while priming increases ethylene evolution during germination the biology of seeds Recent Research Advances. CAB International. pp.441-446.
- Siriwitayawan G., Dutt M., Kester S., Downie B., Geneve R. (2003). Ageing in tomato reduces the capacity of seeds to produce ethylene, while priming increases ethylene evolution during germination. *The biology of seeds: Recent Research Advances.*, CAB International. pp. 441- 446.
- Sosa L., Llanes A., Reinoso H., Reginato M., Luna V. (2005). Osmotic and specific ions effects on the germination of *Prosopis strombulifera*. *Annals of botany*. 96 : 261-267.
- Still D.W., Bradford K.J. (1997). Endo-mannanase activity from individual tomato endosperm caps and radicle tips in relation to germination rates. *Plant Physiology.*, 113: 21-29.
- Taylor A.G. and Harman G.E., (1990). Concepts and technologies of selected seed treatments. *Ann. Rev. Phytopathol.*, 28, 321-339.
- Toorop P.E., Van-Aelst A.C., Hilhorst H.W.M. (1998). Endosperm cap weakening and endo-p-mannanase activity during priming of tomato (*Lycopersicon esculentum* cv. Moneymaker) seeds are initiated upon crossing threshold water potential. *Seed Science Research.*, 8: 483-491.
- Varier A., Vari A.K., Dadlani M. (2010). The subcellular basis of seed priming. The authors are in the Indian Agricultural Research Institute. *Current Science.*, 99(4-25): 450-456.

- VENNETIER M., RIPERT C., BROCHIERO F., RATHGEBER C., Wattanakulpakin P., Photchanachai S., Ratanakhanokchai K., Kyu K.L., Ritthichai P., Miyagawa S.,(2012).hydropriming effects on carbohydrate metabolism antioxidant enzyme activity and seed vigor of maize (*Zeamays L.*).Afr. J. Biotechnol., 11(15):3537-3547.
- Vertucci, C. W. (1989). The effects of low water contents on physiological activities of seeds. *Physiologia Plantarum*, 77(1): 172-176.
- Wattanakulpakin P. et al., (2012). Hydropriming effects on carbohydrate metabolism, antioxidant enzyme activity and seed vigor of maize (*Zea mays L.*). Afr. J. Biotechnol., 11(15), 3537-3547.
- Yari L., Aghaalikani M. & Khazaei F., (2010). Effect of seed priming duration and temperature on seed germination behavior of bread wheat (*Triticum aestivum L.*). *J. Agric. Biol. Sci.*, 5(1), 1-6.
- Zarei I. et al., (2011). Effect of different hydropriming times on the quantitative and qualitative characteristics of chickpea (*Cicer arietinum L.*). Afr. J. Biotechnol., 10(66), 14844-14850.
- Zerrouki A., (1990).Cinétique de la germination et croissance chez trois variétés de blé . MémoireD.J;.:S.Biologie végétale I.S.1'J".U.Constantine, 50p.

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم تأثير المعالجة الأسموبريمية على تحمل بذور القمح القاسي للملوحة "مرحلة الإنبات". تمت دراسة صنفين من القمح القاسي (وهي وسيميتو). في هذه الدراسة، تم إخضاع بذور القمح لمعاملات مختلفة بكلوريد الصوديوم (0 جم/لتر، 5 جم/لتر، 10 جم/لتر) لمدة 16 ساعة ثم تجفيفها حتى عادت إلى وزنها الأولي. تم بعد ذلك وضع هذه البذور تحت ظروف إنبات مناسبة وتعريضها لضغوط تناضحية مختلفة (0 جم/لتر، 5 جم/لتر، 10 جم/لتر، 15 جم/لتر). كانت التجربة عشوائية تمامًا، مع ثلاث تكرارات لكل مجموعة معالجة مسبقة/مجموعة معالجة. تكشف نتائج دراستنا أن إنبات القمح القاسي يتحسن تحت ضغط الملوحة، ولا سيما من خلال تعزيز معدل إنبات أعلى. يعتمد ذلك على التنوع والمعالجة المسبقة والإجهاد المطبق، وفي الواقع يتم إعطاء أفضل النتائج لسيميتو بتركيز 10 جم/لتر، مهما كانت المعالجة المسبقة المطبقة. بالإضافة إلى ذلك، مع زيادة التركيز، تظهر المعالجات المسبقة أكثر فعالية وتسرع الإنبات. في سيميتو، على الرغم من انخفاض نمو الجذور واللبوتيلات بسبب الإجهاد الملحي، أظهرت البذور المعالجة مسبقًا نموًا أفضل مقارنة بالبذور غير المعالجة بغض النظر عن المعالجة المسبقة المطبقة. تعمل التقنية الأسموبريمية على تحسين قدرة القمح القاسي على تحمل الإجهاد الملحي، على الرغم من أن فعاليته قد تختلف اعتمادًا على التنوع والظروف التجريبية، ويمكن للمعالجة المسبقة، التي تتكيف مع كل نوع، أن تحسن بشكل كبير إنبات البذور ونمو الأنواع المختلفة، فضلاً عن قدرتها على التحمل الملوحة.

الكلمات المفتاحية: المعالجة الأسموبريمية، القمح القاسي، الإنبات، معالجة مسبقة، مجموعة معالجة

Résumé

cette étude vise à évaluer l'effet de l'osmopriming sur la tolérance des graines de blé dur (*Triticum durum* Desf.) à la salinité "stade germination". Deux variétés de blé dur ont été étudiées (Wahbi et Simito). Dans cette étude, des graines de blé ont été soumises à différents prétraitements avec du chlorure de sodium (0g/L, 5g/L, 10g/L) pendant 16 heures, puis séchées jusqu'à ce qu'elles retrouvent leur poids initial. Ces graines ont ensuite été placées dans des conditions de germination appropriées et exposées à diverses pressions osmotiques (0 g/L, 5 g/L, 10 g/L, 15 g/L). L'expérience a été entièrement randomisée, avec trois répétitions pour chaque groupe de combinaison prétraitement/traitement. Les résultats de notre étude révèlent que l'amélioration de la germination du blé dur sous stress salin, notamment en favorisant un taux de germination plus élevé, est tributaire de la variété, du prétraitement et du stress appliqué. En effet les meilleurs résultats sont accordés à Simito dans la concentration 10g/l, quelque soit le prétraitement appliqué. De plus, à mesure que la concentration augmente, les prétraitements paraissent plus efficaces et accélèrent la germination. Chez Simito, malgré une réduction de la croissance des racines et des épicotyles en raison du stress salin, les graines prétraitées montrent une meilleure croissance par rapport aux graines non traitées quelque soit le prétraitement appliqué. L'osmopriming renforce la tolérance du blé dur au stress salin, bien que son efficacité puisse varier en fonction de la variété et des conditions expérimentales. Des prétraitements, adaptés à chaque espèce, peuvent significativement améliorer la germination des semences et la croissance des différentes espèces cultivées, ainsi que leur tolérance à la salinité.

Mots clés : Osmopriming , Blé dur , Germination , Prétraitement , Traitement .

Abstract

This study aims to evaluate the effect of osmopriming on the tolerance of durum wheat seeds (*Triticum durum* Desf.) to salinity "germination stage". Two varieties of durum wheat were studied (Wahbi and Simito). In this study, wheat seeds were subjected to different pretreatments with sodium chloride (0g/L, 5g/L, 10g/L) for 16 hours and then dried until they returned to their initial weight. These seeds were then placed under appropriate germination conditions and exposed to various osmotic pressures (0 g/L, 5 g/L, 10 g/L, 15 g/L). The experiment was completely randomized, with three replications for each pretreatment/treatment combination group. The results of our study reveal that the germination of durum wheat improves under salinity stress, in particular by promoting a higher germination rate, is dependent on the variety, the pretreatment and the stress applied. Indeed the best results are given to Simito in the concentration 10g/l, whatever the pretreatment applied. Additionally, as concentration increases, pretreatments appear more effective and accelerate germination. At Simito, despite a reduction in root and epicotyl growth due to salt stress, pretreated seeds showed better growth compared to untreated seeds regardless of the pretreatment applied. Osmopriming enhances the tolerance of durum wheat to salt stress, although its effectiveness may vary depending on the variety and experimental conditions. Pretreatments, adapted to each species, can significantly improve seed germination and growth of different species cultivated, as well as their tolerance to salinity.

Key words : Osmopriming , Durum wheat , Germination , Pretreatment , Treatment .