

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

Présenté par :

AIT KACI Hanane
ET CHACHOURI Nacer

Thème :

Influence des stress hydrique simulés par le PEG6000 et salin par le NaCl sur la germination et le début de croissance de *Triticum durum*, variété Ciccio

Devant le jury d'examen composé de :

Mme. Daoudi H.	MCB	UMMTO	Présidente
Mr. Medjbeur D.	MCB	UMMTO	Examineur
Mme. Hannachi L.	MCA	UMMTO	Promotrice
Mme. Makhloufi H.	Doctorante	UMMTO	Co-promotrice

Année universitaire 2023/2024

Remerciements

En préambule à ce mémoire nous remercions Dieu qui nous a aidé et nous a donné la patience, le courage, la santé et les moyens afin de pouvoir accomplir ce modeste travail.

Nous tenons à remercier sincèrement notre promotrice Madame Hannachi L d'avoir accepté de nous encadrer. Elle a été à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Nous tenons à remercier vivement les membres du jury : Madame Daoudi H, présidente et Monsieur Medjebeur D qui ont accepté d'examiner notre travail.

Nos remerciements s'adressent aussi à notre Co-promotrice Madame Makhloufi H. doctorante dans notre laboratoire, pour sa présence et son aide.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à tous les enseignants qui nous ont soutenus, formés et contribué à notre réussite, tout au long de nos cursus universitaires.

Un grand merci à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail en témoignage de gratitude à :

Ma chère maman (*Kamila*), la lumière de ma vie, qui n'a jamais cessé de ménager ses efforts pour que j'atteigne ce niveau ; mon cher papa (*Ouali*), mon pilier dans ma vie, qui a su se montrer patient, compréhensif et encourageant.

Mes chères deux sœurs (*Yasmine et Leticia*) qui étaient toujours à mes côtés avec leurs conjoints (*Binor et Zinou*) et mon frère (*Ahmed*) qui m'a toujours encouragé et notre princesse *Nellycia*, pour leurs amours, leurs soutiens et leur stimulante fierté, je ne trouverais jamais les mots pour les remercier autant qu'il faut.

Aux personnes qui m'ont aidé durant toute cette période et qui m'ont soutenue jusqu'à la fin.

lyly

Dédicaces

À mes chers parents, dont l'amour inconditionnel et le soutien indéfectible ont été les fondations sur lesquelles j'ai construit mes rêves. Vous avez toujours cru en moi, même lorsque j'avais des doutes, et votre encouragement m'a permis de surmonter les obstacles. Chaque sacrifice que vous avez fait pour moi a contribué à cette réussite, et je vous en suis éternellement reconnaissant.

À mes deux petits frères, qui apportez tant de joie et de lumière dans ma vie. Votre curiosité et votre enthousiasme me rappellent chaque jour l'importance de la passion et de l'émerveillement. J'espère être un modèle pour vous, vous montrant qu'avec de la détermination et du travail, tout est possible. Votre soutien, même silencieux, a été une source de motivation précieuse.

À toute personne aillant contribuer de près ou de loin a la réalisation de ce travail
Cette étape importante de ma vie est également la vôtre. Merci d'être à mes côtés et de partager cette aventure.

CHACHOURI Nacer

1. Table des matières

Introduction	1
1. Introduction	2
Chapitre 1:	4
Synthèse bibliographique	4
1. Généralités sur le blé:	5
1.1 Présentation du blé dur:	5
1.2 Classification botanique du blé dur (<i>Triticum durum</i> Desf) :	7
1.3 Caractéristiques morphologiques et physiologiques :	7
1.4 Composition biochimique de la graine :	9
1.5 Présentation de la variété de blé dur Ciccio :	10
1.6 Les exigences culturales de blé dur :	10
1.7 Germination du blé:	11
1.7.1 Définition de la Germination:	11
1.7.2 Conditions de Germination :	11
1.7.3 Phases de la Germination du Blé :	12
2. Définition du stress:	12
2.1 Types de stress:	13
2.2 Stress hydrique par déficit hydrique :	14
2.3 Stress salin :	14
2.3.1 Effet des stress hydrique et ou salin sur les végétaux :	15
2.3.2 Effets des stress hydrique induit par le PEG6000 et salin provoqué par le NaCl sur la germination et la croissance du blé:	18
Chapitre 2:	20
Matériel et méthodes	20
1. Matériel vegetal:	21
2. Méthodes :	21

2.1	Préparation et désinfection des graines :	21
2.2	Application des stress hydrique et salin simulés respectivement par le PEG 6000 et le NaCl : 21	
2.3	Préparation des différents échantillons :.....	22
3.	Paramètres mesurés pour l'évaluation des effets des stress hydrique et salin sur la germination de Ciccio:	22
3.1	Le TG des graines de Ciccio :.....	22
3.2	Le TMG des graines Ciccio	23
3.3	Cinétique de germination :	23
4.	Paramètre mesuré pour évaluer les effets des stress hydrique et salin sur la croissance et l'état hydrique des plantules de Ciccio	24
4.1	Longueur des racines et hauteur des tiges principales :	24
4.2	Nombre de racines :.....	24
5.	Teneur en eau (TE):.....	24
6.	Analyses statistiques :.....	25
	Chapitre 3:.....	26
	Résultats et discussion	26
1.	Effets des stress hydrique simulé par le PEG ou du stress salin induit par le NaCl sur la germination des graines de la variété Ciccio :	27
1.1	Effets des différentes concentrations de PEG sur le TG des graines de Ciccio :.....	27
1.2	Effets des différentes concentrations de NaCl sur les TG des graines de Ciccio :	27
1.3	Effets des différentes concentrations de PEG sur les TMG des graines de Ciccio : ...	28
1.4	Effets des différentes concentrations de NaCl sur les TMG des graines de Ciccio : ..	29
1.5	Effets des différentes concentrations de PEG sur la cinétique de germination des graines de Ciccio :.....	30
1.6	Effets des différentes concentrations de NaCl sur la cinétique de germination des graines de Ciccio.....	30
2.	Effets du stress hydrique simulé par le PEG et du stress salin provoqué par le NaCl sur la croissance des plantules de la variété Ciccio :	32
2.1	Effets des différentes concentrations de PEG sur le PF des plantules de la variété Ciccio : 32	

2.2	Effets des différentes concentrations de NaCl sur le PF des plantules de la variété Ciccio	32
2.3	Effets des différentes concentrations de PEG sur le poids sec (PS) des plantules de la variété Ciccio	34
2.4	Effets des différentes concentrations de NaCl sur le poids sec (PS) des plantules de la variété Ciccio :	34
2.5	Effets des différentes concentrations de PEG sur la hauteur de la tige principale des plantules de la variété Ciccio :	35
2.6	Effets des différentes concentrations de NaCl sur la hauteur de la tige principale des plantules de la variété Ciccio :	36
2.7	Effets des différentes concentrations de PEG sur la longueur des racines des plantules de la variété Ciccio :	37
2.8	Effets des différentes concentrations de NaCl sur la longueur des racines des plantules de la variété Ciccio :	37
2.9	Effets des différentes concentrations de PEG sur le nombre de racines de Ciccio :	38
2.10	Effets des différentes concentrations de NaCl sur le nombre de racines de Ciccio :	39
3.	Effets du stress hydrique simulé par le PEG ou du stress salin induit par le NaCl sur la teneur en eau (TE) des plantules de la variété Ciccio :	40
3.1	Effets des différentes concentrations de PEG sur la TE des plantules de Ciccio :	40
3.2	Effets des différentes concentrations de NaCl sur la TE des plantules de Ciccio :	40
	Discussion des résultats:	42
	Chapitre 4	46
	Conclusion	46
	CONCLUSION :	47
	References Bibliographiques	48
	Résumé :	58

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 MORPHOLOGIE DES GRAMINEES « BLE » (SOLTNER, 1998).....	6
FIGURE 2: COUPE LONGITUDINALE D'UN GRAIN DE BLE (SURGET ET BARRON, 2005).....	9
FIGURE 3: TG DES GRAINES DE CICCIO APRES 18 JOURS DE GERMINATION, TRAITÉES AVEC DU PEG (FIGURE 2, A) OU DU NaCl (FIGURE 2, B).	28
FIGURE 4: TMG DES GRAINES DE CICCIO APRES 18 JOURS DE GERMINATION, TRAITÉES AVEC DU PEG (FIGURE 3, A) OU DU NaCl (FIGURE 3, B).....	29
FIGURE 5: CINÉTIQUE DE GERMINATION EN FONCTION DU TEMPS, DES GRAINES DE CICCIO, TRAITÉES AVEC DIFFÉRENTES DOSES DE PEG OU DE NaCl.....	31
FIGURE 6: POIDS FRAIS DES PLANTULES DE CICCIO AGÉES DE 18 JOURS TRAITÉES AVEC DIFFÉRENTES DOSES DE PEG6000 (FIGURE 5 A) OU NaCl (FIGURE 5 B)	33
FIGURE 7: POIDS SEC DES PLANTULES DE CICCIO AGÉES DE 18 JOURS TRAITÉES AVEC DIFFÉRENTES DOSES DE PEG6000 (FIGURE 6 A) OU NaCl (FIGURE 6 B)	35
FIGURE 8: HAUTEUR DES TIGES DES PLANTULES DE CICCIO AGÉES DE 18 JOURS TRAITÉES AVEC DIFFÉRENTES DOSES DE PEG6000 (FIGURE 7 A) OU DE NaCl (FIGURE 7 B).....	36
FIGURE 9: LONGUEUR DES RACINES DES PLANTULES AGÉES DE 18 JOURS DE LA VARIÉTÉ DE BLE DUR CICCIO, TRAITÉES AVEC DIFFÉRENTES DOSES DE PEG6000 (FIGURE 8 A), OU DE NaCl (FIGURE 8 B).....	38
FIGURE 10: NOMBRE DE RACINES DES PLANTULES AGÉES DE 18 JOURS DE LA VARIÉTÉ DE BLE DUR CICCIO, TRAITÉES AVEC DIFFÉRENTES DOSES DE PEG (FIGURE 9 A) OU DE NaCl (FIGURE 9 B)	39
FIGURE 11: TENEURS EAU DES PLANTULES DE CICCIO AGÉES DE 18 JOURS, TRAITÉES AVEC DIFFÉRENTES DOSES DE PEG6000 (FIGURE 10 A) OU DE NaCl (FIGURE 10 B).....	41

Liste des tables

TABEAU 1 CLASSIFICATION DU BLE DUR SELON BONJEAN ET PICARD (1990).....	7
--	---

Liste des abréviations

TG : Taux de Germination

TMG : Temps Moyen de Germination

PF : Poids Frais

PS : Poids Sec

TE : Teneur en Eau



Introduction

1. Introduction

Le blé *Triticum spp*, occupe une position cruciale parmi les cultures céréalières. Il incarne une importance historique dans la sécurité alimentaire mondiale (Singh *et al.*, 2022). Originaire du croissant fertile, sa culture a marqué l'histoire de l'agriculture il y a 10000 ans. Le blé est devenu une composante essentielle de l'alimentation humaine dans de nombreuses civilisations (Selmi, 2000). Il présente, avec ses différentes espèces *Triticum durum* (blé dur) et *Triticum aestivum* (blé tendre), une remarquable diversité génétique et une bonne adaptabilité phénotypique (Singh, 2021 ; Ceccarelli, 2020). Cette diversité se traduit par des variations significatives dans ses propriétés nutritionnelles, en tant que source de vitamine B et de minéraux (fer et magnésium) (Shewry, 2018; Kumar Rani, 2022). Il est cultivé dans de nombreuses régions du monde, des prairies d'Amérique du Nord aux Steppes de la Russie en passant par les plaines de l'inde (Davis, 2015 ; Ivanov, 2018 ; Sharma et Gupta, 2019)

Economiquement, le blé occupe une place cruciale en tant que culture commerciale internationale jouant un rôle vital dans de nombreuses économies agricoles. Cependant, sa production est confrontée à divers défis, notamment les effets du changement climatique où de nombreuses études ont abordé ces effets sur la croissance et le rendement des cultures (Kaiser *et al.*, 1993 ; Parry *et al.*, 2004 ; Xiao *et al.*, 2008 ; Tao et Zhang, 2011).

La sécheresse et la salinité du sol exercent une pression considérable sur la production du blé et la sécurité alimentaire de cette céréale, entraînant des répercussions négatives sur le tissu socio-économique de nombreux pays en développement. Les problèmes de pénurie d'eau, de dégradation de la qualité de l'eau d'irrigation et de salinité des sols deviennent de plus en plus préoccupants (Flowers, 2004). Le sel affecte 20% des terres cultivées et près de la moitié des terres irriguées, réduisant considérablement le rendement des cultures, bien en dessous de leur potentiel génétique. (Flowers, 2004 ; Munns, 2006 ; Jones, 2007).

Le réchauffement climatique entraîne à son tour un changement climatique drastique, qui se traduit par une augmentation de la fréquence et de l'intensité des sécheresses et des vagues de chaleur et les menaces de maladies et de ravageurs (Zandalias *et al.*, 2021).

En Algérie, le secteur agricole dépend essentiellement des précipitations (Schilling *et al.*, 2012) puisque les terres en sec représentent 98,6 % de la superficie agricole totale (Cline, 2007), avec 50% de cette superficie occupée par des céréales principalement du blé dur (Bensemmane *et al.*, 2011). Le blé dur *Triticum durum* Desf cultivé sur environ 47% de la surface agricole du pays, constitue la principale céréale à grain fins (Haddouche et Mekliche, 2008). Il est bien établi que la sécheresse est le principal facteur limitant du rendement du blé en Afrique du Nord, les pertes pouvant varier de 10 à 80% du rendement potentiel selon l'année (Nachit *et al.*, 1998)

Notre travail porte sur l'étude des effets d'un stress hydrique simulé par du PEG6000 et d'un stress salin provoqué par du NaCl sur la germination et le début de croissance des graines de *Triticum durum*, variété «Ciccio» cultivée dans des boîtes de Pétri.

Il est articulé autour de quatre chapitres :

-Un premier chapitre est consacré à une synthèse bibliographique portant sur le blé et aux effets des stress hydrique et salin sur la germination et la croissance du blé

-Un deuxième chapitre où sont décrits le matériel et les méthodes utilisés.

-Un troisième chapitre consacré aux résultats obtenus avec leurs interprétations suivies d'une discussion.

-Enfin, notre mémoire est clôturé par une conclusion générale et des perspectives.



Chapitre 1:
Synthèse bibliographique

1. Généralités sur le blé:

1.1 Présentation du blé dur:

Le blé dur (*Triticum turgidum* ssp. *durum*) est une graminée monocotylédone de la famille des Poacées, qui constitue la deuxième espèce la plus importante du genre *Triticum* après le blé tendre (*Triticum aestivum*) en termes de production et d'alimentation humaine (Soltner, 1998).

C'est une plante annuelle, adaptée aux climats méditerranéens et tempérés, avec une tige dressée, creuse et segmentée, et des feuilles à nervures parallèles, présentant une ligule (membrane fine et transparente) comportant deux petits appendices latéraux (oreillettes) à la base (point d'attache de la gaine de la feuille) (Bozzini, 1988).

Le blé dur appartient au groupe tétraploïde du genre *Triticum* qui comprend de nombreuses espèces en particulier *Triticum turgidum* (blé poulard) et *Triticum dicoccum* (blé amidonnier), très voisines et souvent groupées dans une même espèce avec *Triticum durum* (blé dur). (Grignac, 1982 ; Sims et Lepage, 1968 ; Boyacioglu et D'Appolonia, 1994).

Le Moyen-Orient, où les deux espèces parentales coexistent, est considéré comme le berceau géographique du blé dur. A partir de cette région (Grignac, 1978), l'espèce s'est différenciée en trois centres distincts : le bassin occidental de la méditerranée, le sud de l'union des républiques socialistes soviétiques (URSS) et le Proche-Orient (Vavilov Erroux, 1961). Chacun de ces centres produit des groupes de variétés présentant des caractéristiques morphologique et physiologique spécifiques.

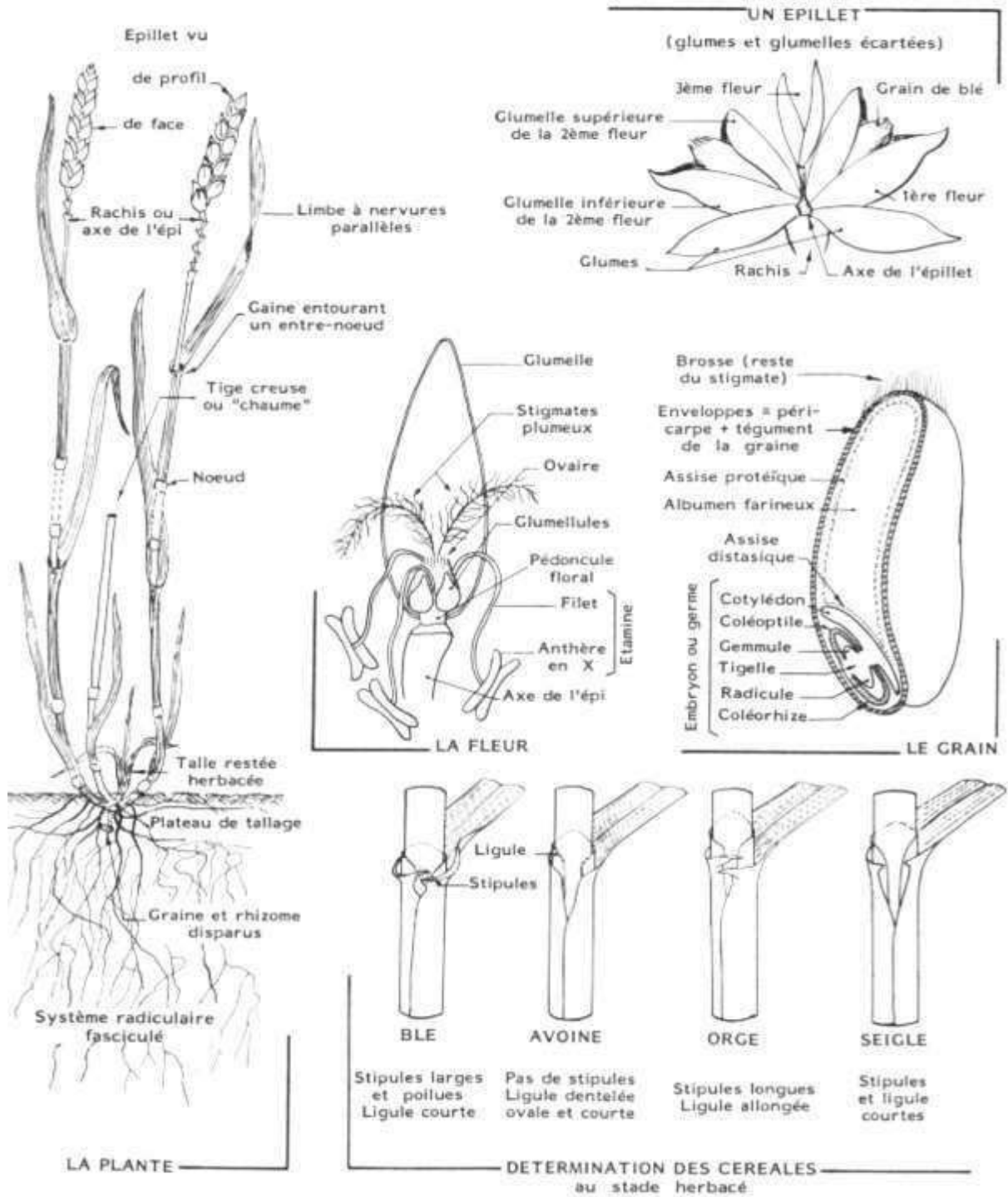


Figure 1: Morphologie des graminées « blé » (Soltner, 1998).

1.2 Classification botanique du blé dur (*Triticum durum* Desf) :

Tableau 1 Classification du blé dur selon Bonjean et Picard (1990)

Embranchement	Spermaphyte
Sous-embranchement	angiosperme
Classe	Monocotylédone
Super ordre	Commeliniflorales
Ordre	Poales
Famille	Graminacées
Genre	<i>Triticum</i> Sp
Espèce	<i>Triticum Durum</i> Desf

1.3 Caractéristiques morphologiques et physiologiques :

D'un point de vue morphologique, le blé dur se distingue par ses feuilles longues et étroites, sans pilosité, d'un vert clair, ses tiges longues et minces, ses épis compacts et barbus, ses glumes longues, fortement carénées, ainsi que ses grains allongés à embryon proéminent et à brosse peu développée (Grignac, 1982). La graine est caractérisée par sa forme allongée, son embryon proéminent et sa brossure peu développée. (Gegas *et al.*, 2010). Cependant, les progrès en sélection variétale ont conduit à l'émergence de variétés qui, sur le plan morphologique, ressemblent d'avantage aux variétés actuelles de blé tendre (Grignac, 1982).

Sur le plan physiologique, le blé dur se caractérise par un faible tallage en épis, un développement printanier, une période de maturation prolongée, une faible résistance aux conditions hivernales rigoureuses, froid et humidité élevée (Gegas *et al.*, 2010 ; Grignac, 1982). En revanche, il se distingue par sa capacité à résister aux hautes températures et au déficit hydrique, ce qui lui permet de prospérer au Moyen-Orient où il est traditionnellement cultivé (Grignac, 1982 ; Munns Tester, 2008 ; Arous Blum, 2001; Nielsen, 2011; Blum, 2017).

Le blé dur est largement utilisé dans la production de semoule, de farine et de pâtes alimentaires, des ingrédients de base dans de nombreuses cuisines mondiales (Lafiandra *et al.*, 2014). Les produits dérivés du blé dur, comme les pâtes, sont exportés dans de nombreux pays, principalement par l'Italie, le Canada, les États-Unis et l'Australie contribuant ainsi de manière significative aux revenus des producteurs et des industries alimentaires (Kucek *et al.*, 2016). La diversité génétique du blé dur permet le développement de variétés adaptées à différentes conditions de croissance et aux préférences des consommateurs, contribuant ainsi à la durabilité de la production agricole (Macca ferri *et al.*, 2019).

1.4 Composition biochimique de la graine :

Les grains de céréales sont déshydratés, avec une teneur en eau d'environ 14%. Le cotylédon, constituant majeur du grain de blé, représente de 82 à 85% de sa masse et renferme toutes les substances nutritives nécessaires : glucides (70 à 80% principalement de l'amidon, du gluten lié à l'amidon, des hémicelluloses, des sucres solubles), des protéines (9 à 15%), lipides (1 à 2%), des minéraux, des vitamines, ce qui les rend une culture essentielle pour la sécurité alimentaire (Campion, 1995 ; Samson et Morel, 1995 ; Cherdouh, 1999, Cretois *et al.*, 1985 ; Abed et Belabelouhad, 1998 ; Pontieri *et al.*, 2015). Pendant la maturation du grain, les réserves sont stockées soit dans le cotylédon, soit dans le péricarpe. Ces réserves sont principalement des métabolites destinés à nourrir la plantule lors de la germination.

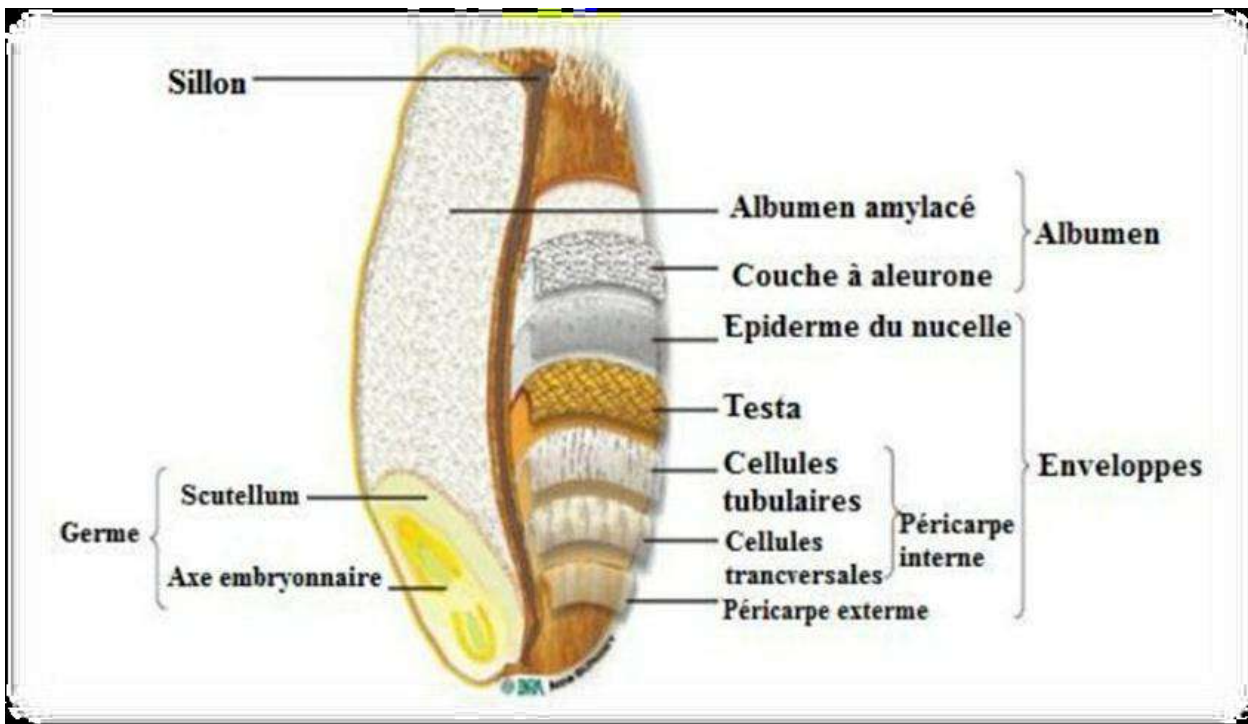


Figure 2: Coupe longitudinale d'un grain de blé (Surget et Barron, 2005).

1.5 Présentation de la variété de blé dur Ciccio :

Ciccio est une variété de blé dur, originaire d'Italie, de la région de Rieti. Cette variété est caractérisée par ses grains de taille moyenne à grande, présentant une haute qualité de farine, particulièrement adaptée à la production de pâtes (Gegas *et al.*, 2010). *Ciccio* se distingue par son adaptation aux conditions climatiques méditerranéennes, offrant une bonne résistance à la sécheresse (Grignac, 1982). Le rendement de cette variété est généralement stable même dans des conditions de culture défavorable. Sa qualité élevée, estimée par un bon taux de protéines, la rend précieuse pour les produits dérivés du blé dur, tels que les pâtes et les semoules.

1.6 Les exigences culturales de blé dur :

Les exigences culturales du blé comprennent plusieurs aspects essentiels : le sol doit être bien ameubli et posséder une bonne structure pour maintenir l'humidité pendant la phase finale du cycle de croissance. De plus, une bonne fourniture en calcium et une richesse en matière organique, sont nécessaires pour favoriser la croissance optimale des plantes de blé dur. (Ouanzar, 2012). Au début de la croissance, une intensité lumineuse relativement faible entre 500 et 1000 lux, associée à des périodes de photopériode de 12 à 16 heures, est généralement bénéfique pour le blé dur (Clément, 1981). Concernant la pluviométrie, une pluviométrie annuelle comprise entre 400 et 600mm est recommandée pour répondre aux besoins en eau du blé dur (Ranjan, 2023). Pour un développement optimal, le blé dur prospère dans des conditions de température oscillant entre 22° et 25°C (Clément, 1981 ; Royo Martos, 2012 ; Brassard, 1985 ; Slafer Savin, 2006). Tous ces paramètres sont cruciaux pour assurer la croissance et la production optimale de blé dur.

1.7 Germination du blé:

1.7.1 Définition de la Germination:

La germination est le processus par lequel une graine, exposée à des conditions adéquates, se transforme en une jeune plantule capable de se développer en une plante adulte. Ce processus débute avec l'absorption d'eau par la graine et se termine lorsque la radicule perce la graine et commence à croître (Bewley et Black, 1994).

1.7.2 Conditions de Germination :

- **Humidité:** L'eau est essentielle pour déclencher la germination. Elle active les enzymes nécessaires et permet la réhydratation des cellules. Sans une humidité suffisante, la graine ne pourra pas amorcer le processus de germination (Bradford, 1995).
- **Température :** La température idéale pour la germination du blé se situe entre 10°C et 25°C. Les températures en dehors de cette plage peuvent retarder ou inhiber la germination. Des températures trop basses ralentissent les processus enzymatiques, tandis que des températures trop élevées peuvent les détruire (Copeland et Mc Donald, 2001).
- **Oxygène :** L'oxygène est nécessaire pour la respiration cellulaire, qui fournit l'énergie requise pour la germination. Un sol bien aéré assure un apport suffisant en oxygène, essentiel pour le métabolisme de la graine (Bewley et Black, 1994).
- **Lumière :** Bien que certaines graines nécessitent de la lumière pour germer, les graines de blé n'ont pas besoin de lumière directe pour initier la germination. Toutefois, une lumière faible peut influencer positivement la croissance des plantules après germination (Bradford, 1995).
- **pH du Sol :** Un pH du sol optimal pour la germination du blé se situe entre 6 et 7. Des conditions de sol trop acides ou trop alcalines peuvent affecter la disponibilité des nutriments et la santé des plantules (Copeland et Mc Donald, 2001).

1.7.3 Phases de la Germination du Blé :

- **Phase d'Imbibition** : Lors de cette phase initiale, la graine absorbe l'eau, entraînant son gonflement. Cette absorption active les enzymes nécessaires pour démarrer les réactions métaboliques qui préparent la graine à germer (Bewley et Black, 1994).
- **Phase de Germination** : Les processus enzymatiques décomposent les réserves nutritives stockées dans la graine, permettant aux cellules de commencer à se diviser et à se différencier, formant ainsi les premières structures de la plantule (Copeland et Mc Donald, 2001).
- **Phase de l'émergence de la radicule** : La radicule (racine embryonnaire) émerge du grain, s'enfonce dans le sol pour absorber l'eau et les nutriments, tandis que l'épicotyle (partie supérieure de la graine) perce le sol, donnant naissance à la tige et aux premières feuilles (Bewley et Black, 1994).

2. Définition du stress:

On peut considérer la notion du stress comme étant une déviation plus ou moins brusque par rapport aux conditions normales de la plante, ce qui induit une réaction de l'individu soit par adaptation aux nouvelles conditions, soit à la limite, dégradation menant à une issue fatale (Zhu, 2016). Deux aspects sont à prendre en considération dans la notion (ou type) de stress : la contrainte extérieure, et l'état de stress ou la réponse de stress. (Leclerc, 1999 ; Seki *et al.*, 2003 ; Farooq *et al.*, 2009).

2.1 Types de stress:

Les stress regroupent les stress biotiques et stress abiotiques.

Le stress biotique est engendré par des organismes vivants qui peuvent nuire aux plantes, tels que : Les pathogènes : champignons, bactéries, virus, nématodes (Hu *et al.*, 2008 ; Atkinson et Urwin, 2012). Les herbivores comme les insectes, les acariens, les rongeurs, et autres animaux sont aussi source de stress car se nourrissent des plantes. (Howe et Jander, 2008). Il existe par ailleurs, des plantes parasites comme les cuscutes et les orobanches (Parker, 2009), qui peuvent engendrer un stress biotique aux plantes hôtes. Enfin, la compétition avec d'autres plantes, pour la lumière, l'eau et les nutriments peut aussi engendrer des stress considérés comme biotiques (Brooker *et al.*, 2008).

Le stress abiotique est provoqué par des conditions environnementales non vivantes (Fitter et Hay, 2001). Les principaux facteurs à l'origine de ce type de stress sont : la température élevée ou basse qui peuvent causer des dommages cellulaires comme la déshydratation et le gel des tissus et des dommages physiologiques (Yamaguchi-Shinozaki, 2006 ; Hirel *et al.*, 2007 ; Bailey-Serres Voesenek, 2008), les polluants environnementaux tels que les pesticides, les métaux lourds représentent une menace significative pour les écosystèmes et la santé des plantes (Prasad, 2004). Enfin la disponibilité en eau et la salinité sont considérées comme les facteurs abiotiques les plus impactant pour le développement des plantes (Farooq *et al.*, 2012 ; Tardieu, 2012 ; Munns *et al.*, 2008 ; Zhu , 2002).

2.2 Stress hydrique par déficit hydrique :

Le déficit hydrique peut être dû aux faibles précipitations et leur irrégularité, le mauvais stockage de l'eau dans le sol, à un déséquilibre entre la transpiration et l'absorption d'eau ou encore à l'excès de sel. (Madhava *et al.*, 1999).

2.3 Stress salin :

Le stress salin représente l'un des principaux obstacles à la croissance et à la production des cultures. L'impact néfaste des minéraux en excès, tels que Na^+ et/ou Cl^- , engendre des perturbations sur les plantes (Munns, 2005). Il existe deux types de salinité. La salinité primaire qui résulte de l'accumulation de sels sur de longues périodes par des processus naturels dans le sol ou les eaux souterraines. Elle est due soit à l'altération des matériaux parentaux contenant des sels, ou à la déposition de sels océaniques (principalement du chlorure de sodium), transportés par le vent et la pluie vers l'intérieur des terres (Parihar *et al.*, 2014). La salinité secondaire Selon Garg et Manchanda (2008), est due aux actions humaines qui altèrent l'équilibre hydrologique du sol. Le défrichage des terres, le remplacement de la végétation pérenne par des cultures annuelles et l'irrigation avec de l'eau riche en sel ou un drainage insuffisant sont des pratiques agricoles qui entraînent la dégradation des sols. Ces actions diminuent la fertilité, augmentent l'érosion et peuvent conduire à la salinisation des sols, compromettant ainsi la durabilité des cultures. (Zhu, 2001).

2.3.1 Effet des stress hydrique et ou salin sur les végétaux :

Les effets du stress dépendent de son intensité, sa durée, du stade de développement de la plante, de la capacité génétique de l'espèce et des interactions environnementales. (Madhava *et al.*, 1999)

2.3.1.1 Effets physiologiques et moléculaires :

Le déficit hydrique et le stress salin ont des répercussions importantes sur les cellules végétales, entraînant divers effets physiologiques et moléculaires.

- **Déshydratation cellulaire :**
 - Sous stress hydrique ou salin, les cellules des plantes perdent de l'eau, entraînant une concentration accrue de solutés dans le cytoplasme. Cela perturbe l'équilibre osmotique et les fonctions cellulaires, ce qui peut causer des toxicités et affecter la croissance (El-Mansouri *et al.*, 2006 ; Hasegawa *et al.*, 2000).
- **Perte de turgescence :**
 - La diminution de la pression interne due à la perte d'eau réduit la turgescence des cellules, provoquant le flétrissement des tissus végétaux et compromettant leur structure et leur fonction (Munns, 2002).
- **Changements de volume cellulaire :**
 - Pour conserver l'eau, les cellules peuvent réduire leur volume, ce qui affecte leur croissance et leur division, perturbant ainsi le développement global de la plante (Zhu, 2002).
- **Perturbation des gradients de potentiel hydrique :**
 - Les stress hydrique et salin altèrent les gradients de potentiel hydrique, compromettant le transport de l'eau et des nutriments, ce qui affecte l'homéostasie hydrique des plantes (Munns, 2002).
- **Intégrité membranaire et transport ionique :**
 - Le stress modifie la fluidité et la perméabilité des membranes cellulaires, influençant les échanges ioniques et la fonction des protéines membranaires. Une

concentration élevée de sels peut interférer avec l'absorption des nutriments, provoquant des carences essentielles (Flowers Colmer, 2008).

- **Dénaturation des protéines :**

- La déshydratation peut entraîner la dénaturation des protéines, altérant leur structure et leur fonctionnalité, ce qui perturbe divers processus enzymatiques et métaboliques au sein de la cellule (Madhava et al., 1999).

Ces effets cumulés soulignent l'impact sérieux du déficit hydrique et du stress salin sur la santé et le développement des plantes, nécessitant des mécanismes d'adaptation pour survivre dans ces conditions difficiles.

2.3.1.2 Adaptations morphologiques :

Le stress hydrique ou salin, conduisant à une insuffisance d'eau dans les tissus, induit plusieurs changements morphologiques chez les plantes qui sont cruciaux pour leur survie dans des environnements arides. Ces adaptations visent à optimiser l'utilisation de l'eau et à réduire les pertes hydriques.

- **Réduction de la taille des feuilles et des tiges :** Pour réduire la perte d'eau, les plantes adaptent leur architecture foliaire en modifiant la disposition et l'orientation des feuilles. Cela peut inclure la réduction de la surface foliaire, l'orientation des feuilles pour limiter l'exposition directe au soleil, et l'augmentation de la densité des poils foliaires pour réduire l'évaporation (Munns et Tester, 2008). Les feuilles deviennent souvent plus petites et plus épaisses, et les tiges peuvent également se réduire, ce qui aide à minimiser les pertes d'eau (Munns et Tester, 2008). De plus, l'introduction d'excès de sel dans la plante par le flux de transpiration peut causer des dommages aux feuilles en transpiration, pouvant entraîner des baisses de croissance. Il s'agit d'effet spécifique du sel ou d'excès d'ions de la salinité selon Greenway et Munns (1980). La salinité diminue la vitesse de la photosynthèse en réduisant la conduction stomatique de CO₂, en raison de divers facteurs tels que la déshydratation des membranes cellulaires diminuant leur capacité à absorber le CO₂ en raison de la fermeture des stomates, la toxicité du sel, une entrée en sénescence et un changement dans l'activité des enzymes causé par le changement de la structure cytoplasmique (Santiago *et al.*, 2000 ; Iyengar et Reddy ,1996 *in* Parida et Das, 2005).

Chez plusieurs espèces plus ou moins robustes au stress, comme le blé tendre et le blé dur, il y a une augmentation des sucres totaux suite à un blocage de la glycolyse ou du saccharose issu d'une hydrolyse importante de l'amidon (Asloum, 1990)

- **Formation de structures de résistance** : Les plantes développent également des structures de résistance pour mieux supporter les conditions de sécheresse. Cela inclut la formation de cuticules plus épaisses et la réduction du nombre ou de la taille des stomates, ce qui aide à diminuer la transpiration et à protéger les tissus contre les dommages causés par la perte d'eau (Hasegawa *et al.*, 2000).
- **Ralentissement de la croissance racinaire** : Les stress hydrique ou salin ralentissent également la croissance des racines. Ce ralentissement peut limiter la capacité d'absorption de l'eau et des nutriments par la plante. Cependant, certaines espèces développent des racines plus profondes ou plus ramifiées pour accéder à l'eau stockée plus profondément dans le sol (Zhu, 2002).
- **Modifications dans la répartition des ressources** : En réponse à un stress hydrique, les plantes ajustent la répartition de leurs ressources internes. Elles tendent à concentrer les ressources dans des structures essentielles telles que les racines, tout en réduisant les allocations aux parties non vitales comme les feuilles. Cette répartition optimisée aide à améliorer la survie en période de stress (Madhava *et al.*, 1999). Ces adaptations morphologiques sont essentielles pour la survie des plantes en milieu aride, car elles leur permettent de conserver l'eau et de maintenir leurs fonctions vitales malgré les conditions de stress hydrique.

2.3.2 Effets des stress hydrique induit par le PEG6000 et salin provoqué par le NaCl sur la germination et la croissance du blé:

Le polyéthylène glycol 6000 est souvent utilisé, pour simuler des conditions de sécheresse dans les milieux de culture, car il réduit la disponibilité de l'eau. Par ailleurs, des solutions salines comme le NaCl, sont utilisées afin de simuler les effets d'un stress salin. Plusieurs études au sein de notre laboratoire (Medjebeur *et al.*, 2018 ; Makhloufi *et al.*, 2023) et plusieurs auteurs se sont aussi intéressés au effet du stress hydrique induit par le PEG et du stress salin provoqué par le NaCl sur la germination et la croissance des plantes.

Les graines de blé dur Ciccio exposées à des solutions de PEG6000 présentent une réduction significative du TG, proportionnelle à la concentration de PEG6000 dans le milieu (Kramer *et al.*, 1995).

L'exposition au PEG des graines de Ciccio allonge le délai nécessaire de germination car, sous stress hydrique, les graines mettent plus de temps à absorber l'eau et à mobiliser les réserves nutritives nécessaires ce qui peut compromettre l'uniformité de la germination et la croissance initiale des plantules (Hasegawa *et al.*, 2000 ; Yuanyuan *et al.*, 2023 ; Copeland, 2001).

Le PEG affecte non seulement le taux et le délai de germination, mais aussi la taille des germes. Les plantules issues de graines germées dans des conditions de stress hydrique présentent une taille réduite comparativement aux témoins. Cette réduction de la taille des germes serait liée à la diminution des réserves énergétiques et à un développement racinaire limité (Munns Tester, 2008).

Abido et Zsombik, (2018) ont obtenu une diminution graduelle et significative de TG sur du blé traitées dès 10% de PEG. C'est le cas aussi sur blé dur dès 15% de PEG (Bousba *et al.*, 2021). En revanche ces auteurs n'ont pas observé de variation de TG à 5 et 10% de PEG appliqué. Makhloufi *et al.*, (2023), ont montré que le PEG à 10 et 15% ne présente aucun effet sur le TG du blé dur, maintenu à une valeur de TG élevée (90%), cependant un effet négatif sur la croissance a été observé. Alors que Bekka, (2005) a signalé une réduction de TG avec 30% de PEG.

D'autres auteurs (Khayatnezha et Gholamin, 2011 ; Bekka, 2021) ont également observé des réductions des poids frais et sec des feuilles, des racines et des longueurs des plantules après applications de PEG.

La teneur en eau (TE) est aussi affectée par le stress hydrique induit par le PEG (Abido et Zsombik, 2018). Avec 30% de PEG, une diminution de 30% de la TE a été signalée (Bekka, 2021).

En ce qui concerne le stress salin, Ghoulam et Fares, (2001) ont indiqué que les céréales, y compris le blé, sont sensibles à une salinité élevée lors de la germination. Bouda et Haddioui (2011) ont précisé que la salinité peut même inhiber totalement la germination à des concentrations supérieures à 15g/L de NaCl. Selon Debez *et al.*, (2001), la salinité à partir de 10‰ peut avoir un impact sur le TG des grains et entraîne un retard dans le début du processus de germination des plantes. Jassi *et al.*, (2021) ont évalué les effets de la salinité sur la germination et la croissance du blé dur et ont constaté une baisse de plus de 40% sous stress salin, ainsi qu'une réduction significative de la longueur des racines et des coléoptiles.

D'autres études faites par Sayar *et al.*, (2009) ; Gholamin et Khayatnezha (2011) ; Bendersadji *et al.*, (2016) et Ayed *et al.*, (2014) sur blé dur ont montré que le NaCl, à 3, 6, 9 et 12g/L retardait la germination dès 3g/L et provoque une diminution importante de l'ensemble des caractères morpho-physiologiques comme les longueurs des racines, des feuilles et leurs poids frais et sec. Enfin, ils ont montré que la teneur en eau des feuilles de blé dur diminue également sous l'effet du stress salin.



Chapitre 2:
Matériel et méthodes

1. Matériel végétal:

Ciccio, est une variété de blé dur d'origine italienne. Les graines de Ciccio utilisées ont été récoltées en 2021. Elles ont été gracieusement fournies par la station expérimentale de l'ITGC de Beraki (Alger). Elles n'ont subi aucun traitement phytosanitaire préalable, et elles proviennent d'un milieu semi-aride. Elles ont été stockées dans un endroit sec à température ambiante du laboratoire jusqu'à leur utilisation.

2. Méthodes :

2.1 Préparation et désinfection des graines :

Nous avons dans un premier temps trié les graines de Ciccio et retiré celles qui étaient endommagées. Nous avons ensuite, réalisé un traitement de toutes les graines sélectionnées, dans de l'hypochlorite de sodium à 13% pendant 5 minutes afin de les désinfecter. Les graines ainsi traitées ont subi trois rinçages successifs de 5 minutes à l'eau distillée pour éliminer toute trace d'eau de Javel avant la mise en culture. Les graines ont été séchées avec du papier absorbant puis disposées dans les boîtes de Pétri correspondant aux différents traitements.

2.2 Application des stress hydrique et salin simulés respectivement par le PEG 6000 et le NaCl :

Nous avons préparé des solutions de PEG 6000 à 0, 10, 15, 20, 25 et 30%. Le PEG a été dissous dans de l'eau distillée. Chaque dose de PEG a été appliquées à 4 boîtes de Pétri (4 répétitions) à raison de 20 graines de la variété Ciccio par boîte de Pétri. Parallèlement, nous avons préparé des solutions de NaCl à 0, 3, 6, 9, 12, 15g/L, le NaCl a été dissous dans de l'eau distillée. Chaque dose de NaCl a été appliquées à 4 répétitions (4 boîtes) et à 20 graines par boîte de Pétri. Les boîtes ont été arrosées avec 10ml des solutions de NaCl ou PEG puis mise à l'étuve à 22°C pendant 7 jours jusqu'à germination des graines. Comme pour les graines traitées avec le PEG, nous avons aussi ajusté les solutions des boîtes lorsque ces dernières en maquaient.

2.3 Préparation des différents échantillons :

Les boîtes de Pétri de 9 cm de diamètre ont été tapissées de papier filtre. Dans chaque boîte, 20 graines ont été soigneusement disposées de façon à occuper toute la surface de la boîte pour avoir une répartition uniforme des graines en veillant à maintenir une distance adéquate entre elles. Les boîtes ont été arrosées avec 10ml des différentes solutions de PEG6000 ou de NaCl, puis mises à l'étuve à 22 °C pendant 7 jours jusqu'à germination des graines. Un comptage du nombre de graines germées a été réalisé quotidiennement pendant 7 jours. Tous les 2 ou 3 jours, nous avons complété les boîtes de Pétri avec les solutions adéquates afin de maintenir l'hydratation des boîtes.

3. Paramètres mesurés pour l'évaluation des effets des stress hydrique et salin sur la germination de Ciccio:

3.1 Le TG des graines de Ciccio :

Le comptage des graines est réalisé quotidiennement chez tous les lots témoins et stressés au PEG6000 (10, 15, 20, 25 et 30%), et au NaCl (3, 6, 9, 12 et 15g/L), de la variété étudiée Ciccio. Nous considérons que la graine est germée dès que la radicule a percé le tégument suivant la définition physiologique (Ista, 2009).

Le taux de germination ou TG est calculé selon la formule suivante : (Mazaliak, 1982)

$$\text{TG (\%)} = \frac{n}{N}(100)$$

n : Nombre de graines germées et **N** : Nombre total de graine

Le taux de réduction de TG est calculé selon la formule suivante :

$$\text{Le taux de réduction} = 100 - (\text{TG de l'échantillon à mesurer} \times 100 / \text{TGt})$$

TGt : TG du témoin

3.2 Le TMG des graines Ciccio

Le temps moyen de germination (TMG), exprime l'énergie de la germination responsable de l'épuisement des réserves de la graine. Il correspond au temps (exprimé en jours) mis par la graine pour germer (come, 1970)

$$\text{TMG} = \frac{N_1T_1 + N_2T_2 + \dots + N_nT_n}{N_1 + N_2 + \dots + N_n}$$

N₁ : nombre de graines germées au temps T₁

N_n : nombre de graines germées entre le temps T_{n-1} et le temps T_n

T : nombre total de jours d'observation

Le taux de réduction de TMG est calculé selon la formule suivante :

$$\text{Le taux de réduction du TMG} = 100 - (\text{TMG de l'échantillon} \times 100 / \text{TMGt})$$

TMGt : TMG du témoin

3.3 Cinétique de germination :

La cinétique de germination est l'étude quantitative de la vitesse à laquelle les graines germent. Elle implique généralement l'évaluation du temps nécessaire pour que les graines commencent à germer et le suivi de la progression de la germination au fil du temps (Hajlaoui *et al.*, 2007). La formule généralement utilisée pour calculer la cinétique de germination est le pourcentage de germination par unité de temps.

4. Paramètre mesuré pour évaluer les effets des stress hydrique et salin sur la croissance et l'état hydrique des plantules de Ciccio

4.1 Longueur des racines et hauteur des tiges principales :

Les longueurs des racines et la hauteur des tiges des plantules de Ciccio âgées de 18 jours ont été mesurées à l'aide d'une règle graduée, pour tous les traitements, à raison de cinq échantillons par lot pour les quatre répétitions.

Le taux de réduction de la longueur des racines ou tiges est calculé selon la formule suivante :

Taux de réduction = 100 - (Longueur des racines ou tiges x 100 / longueur des racines du témoin)

4.2 Nombre de racines :

Le nombre de racines est estimé sur cinq échantillons pour chaque lot pour 4 répétitions. Les racines ont été imbibées dans de l'eau pour les extraire facilement et délicatement des boîtes de Pétri et du papier filtre, puis disposées sur une surface plane afin de séparer les racines secondaires de la racine primaire sans les détacher ou couper ce qui a faciliter le comptage.

Le taux de réduction du nombre de racines a été calculé selon la formule suivante :

Taux de réduction = 100 - (Nombre racine échantillon x 100) / Nombre racine du témoin.

5. Teneur en eau (TE):

Deux semaines après la germination, les plantules ont été pesées à l'état frais (PF) puis à l'état sec (PS) après passage à l'étuve à 60°C jusqu'à obtention d'un poids sec constant. La teneur en eau des plantules des différents traitements a été calculée selon la formule suivante :

$$\text{TE (\%)} = [(\text{PF} - \text{PS}) / \text{PS}] \times 100$$

Le taux de réduction de la TE est calculé selon la formule suivante :

Taux de réduction = 100 - (TE de l'échantillon x 100) / TE du témoin

6. Analyses statistiques :

Tous les résultats obtenus ont été analysés statistiquement à l'aide du logiciel R. lorsqu'il y a une conformité des résultats à la loi normale, une analyse de la variance ANOVA à un facteur, suivi d'un test post-hoc de Newman-Keuls, si les différences sont significatives. Sinon, une analyse par le test de Kruskal-Wallis est réalisée, suivie par un test post-hoc de Newman-Keuls pour le classement des groupes.



Chapitre 3:
Résultats et discussion

1. Effets des stress hydrique simulé par le PEG ou du stress salin induit par le NaCl sur la germination des graines de la variété Ciccio :**1.1 Effets des différentes concentrations de PEG sur le TG des graines de Ciccio :**

Les TG des graines obtenues après 18 jours de germination sous différents traitements de PEG (figure 2 a)

L'analyse statistique par le test ANOVA montre que le stress n'influence pas d'une manière significative sur le TG des graines de Ciccio traitées avec du PEG.

1.2 Effets des différentes concentrations de NaCl sur les TG des graines de Ciccio :

L'analyse statistique par le test ANOVA montre que le stress provoqué par le NaCl, influence significativement sur le TG des graines de Ciccio, et le test POST-HOC a identifié 2 groupes : un groupe a regroupant le lot témoin et un groupe b contenant les lots 3, 6, 9, 12 et 15g/L.

Les résultats de la figure 2b, ci-dessous montrent les TG de Ciccio en fonction de la dose de NaCl reçue. Nous constatons que les valeurs du TG des graines de Ciccio témoins est de 60%, elle est identique à celle du témoin PEG. Dès 3g/L de NaCl, il y a une diminution importante des TG. En effet, une réduction du TG de 29% est enregistrée dès 3 et 6g/L de NaCl, pour atteindre 33% à 9 et 12g/L. La réduction du TG par rapport au témoin la plus élevée est obtenue avec 15g/L de NaCl soit 46%.

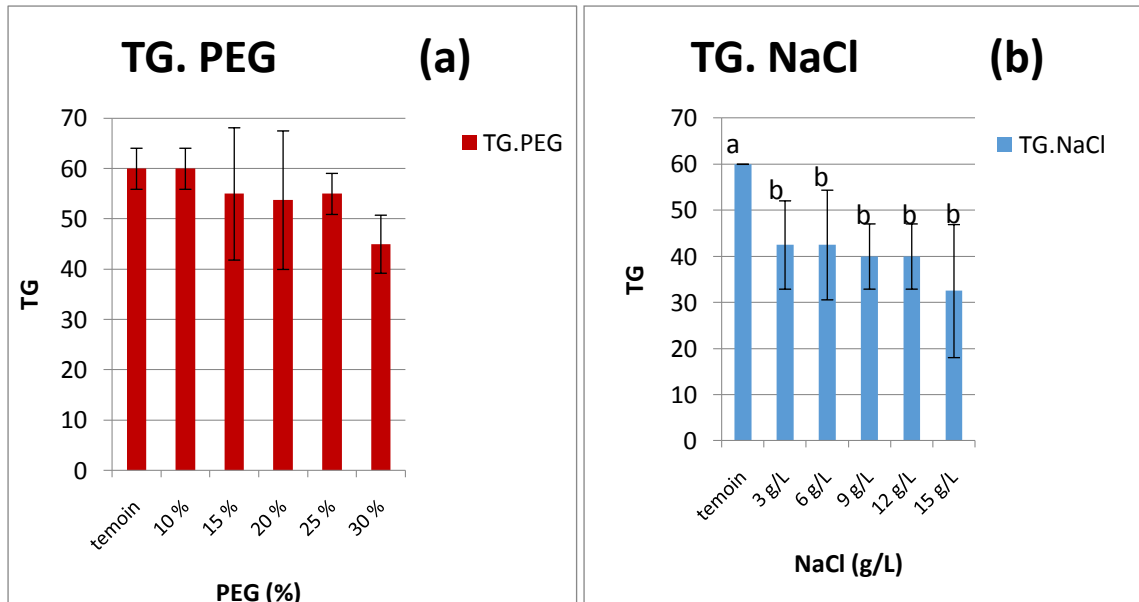


Figure 3: TG des graines de Ciccio après 18 jours de germination, traitées avec du PEG (Figure 2, a) ou du NaCl (Figure 2, b).

1.3 Effets des différentes concentrations de PEG sur les TMG des graines de Ciccio :

L'analyse statistique par le test KRUSKAL-WALLIS montre que le stress induit par le PEG, influence d'une manière très hautement significative le TMG des graines de Ciccio, et le test POST-HOC a identifié quatre groupes :

- ◇ Groupe a qui regroupe les valeurs de TMG obtenues avec 20, 25 et 30% de PEG
- ◇ Groupe ab des TMG obtenus avec 15% de PEG
- ◇ Groupe bc : contenant les TMG des graines traitées avec 10% de PEG
- ◇ Groupe c : contenant le lot témoin.

On constate d'après les résultats obtenus sur la figure 3a que le TMG des graines de Ciccio, augmente proportionnellement à l'augmentation de la concentration du PEG. Cette augmentation atteint 64% du TMG témoin avec le traitement à 30% de PEG.

1.4 Effets des différentes concentrations de NaCl sur les TMG des graines de Ciccio :

Les TMG des graines de Ciccio obtenus après 18 jours de mise en germination et traitées avec du NaCl, sont représentés sur la figure 3b.

L'analyse statistique par le test KRUSKAL-WALLIS montre que le stress salin induit par les différentes concentrations de NaCl, influence significativement le TMG des graines de Ciccio et le test POST-HOC a identifié 2 groupes : le groupe a: représentant les TMG des graines traitées avec 15g/L de NaCl et le groupe b, représentant les TMG des graines témoins et ceux des graines traitées 3, 6, 9 et 12g/L de NaCl.

Nous constatons que les TMG du groupe statistique b varie entre 3 et 3.5 jour en fonction des doses avec le TMG du témoin à 3 jours et une augmentation de 45% qui représente 1.6 jour a été enregistré a 15g/L de NaCl.

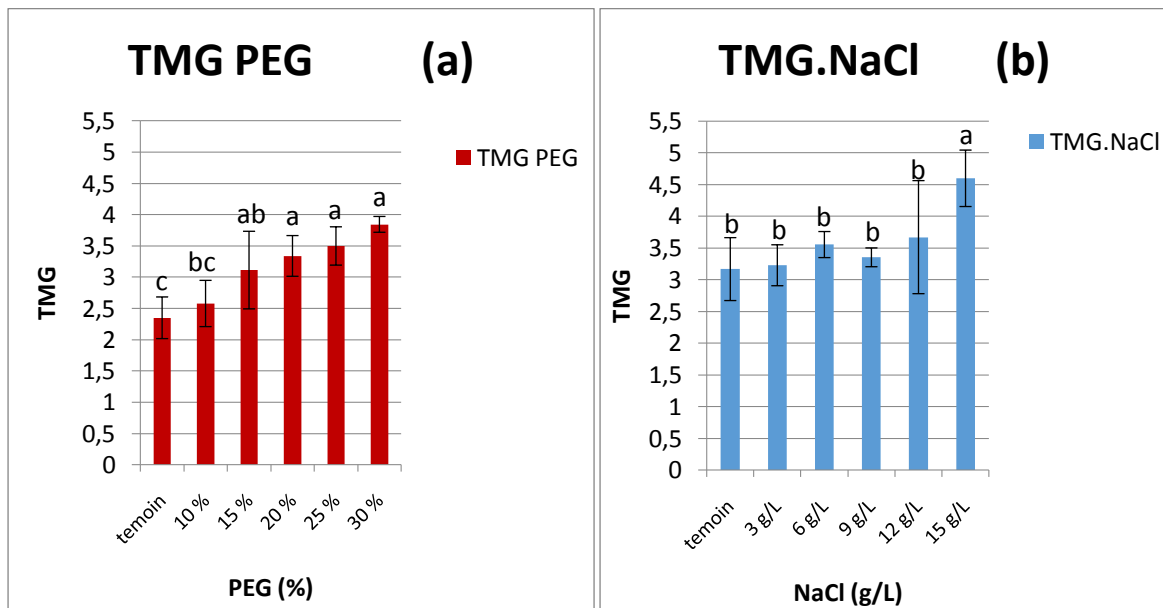


Figure 4: TMG des graines de Ciccio après 18 jours de germination, traitées avec du PEG (Figure 3, a) ou du NaCl (Figure 3, b).

1.5 Effets des différentes concentrations de PEG sur la cinétique de germination des graines de Ciccio :

L'évolution des TG des graines de Ciccio traitées avec différentes concentrations de PEG en fonction du temps (jours), montre l'existence de trois phases au niveau du graphe (figure 4 a) :

- La première phase ou phase de latence de 1 jour pour les graines témoins et celles traitées avec 10 et 15% de PEG, alors qu'elle est de 2 jours pour les graines ayant reçues 20, 25 et 30% de PEG.
- La deuxième ou phase exponentielle caractérisée par des TG qui augmentent avec le temps. La durée de cette phase est variable en fonction de l'intensité du stress. Cette phase dure deux jours pour le témoin, 10% et 15% de PEG et trois jours pour 20, 25 et 30% de PEG 6000
- La troisième phase ou phase stationnaire, est caractérisée par des TG stables qui varient selon les doses avec les valeurs les plus élevées pour les graines témoins et les valeurs les plus basses pour les graines traitées avec 30% de PEG.

1.6 Effets des différentes concentrations de NaCl sur la cinétique de germination des graines de Ciccio

L'évolution de la cinétique de germination des graines de Ciccio, traitées avec différentes solutions de NaCl, en fonction du temps met en évidence trois phases différentes (Figure 4 b) :

- La première phase de latence est d'une durée d'un jour pour l'ensemble des graines témoins et traitées avec du NaCl
- La deuxième phase exponentielle où les TG augmentent avec le temps : la durée de cette phase est de 2 à 3 jours chez les lots traités avec 3 à 12g/L de NaCl. Cette phase est la plus longue 6 jours environ pour le lot de graines traitées avec la solution la plus concentrée de NaCl soit 15g/L
- La troisième phase, c'est la phase stationnaire caractérisée par des TG stables.

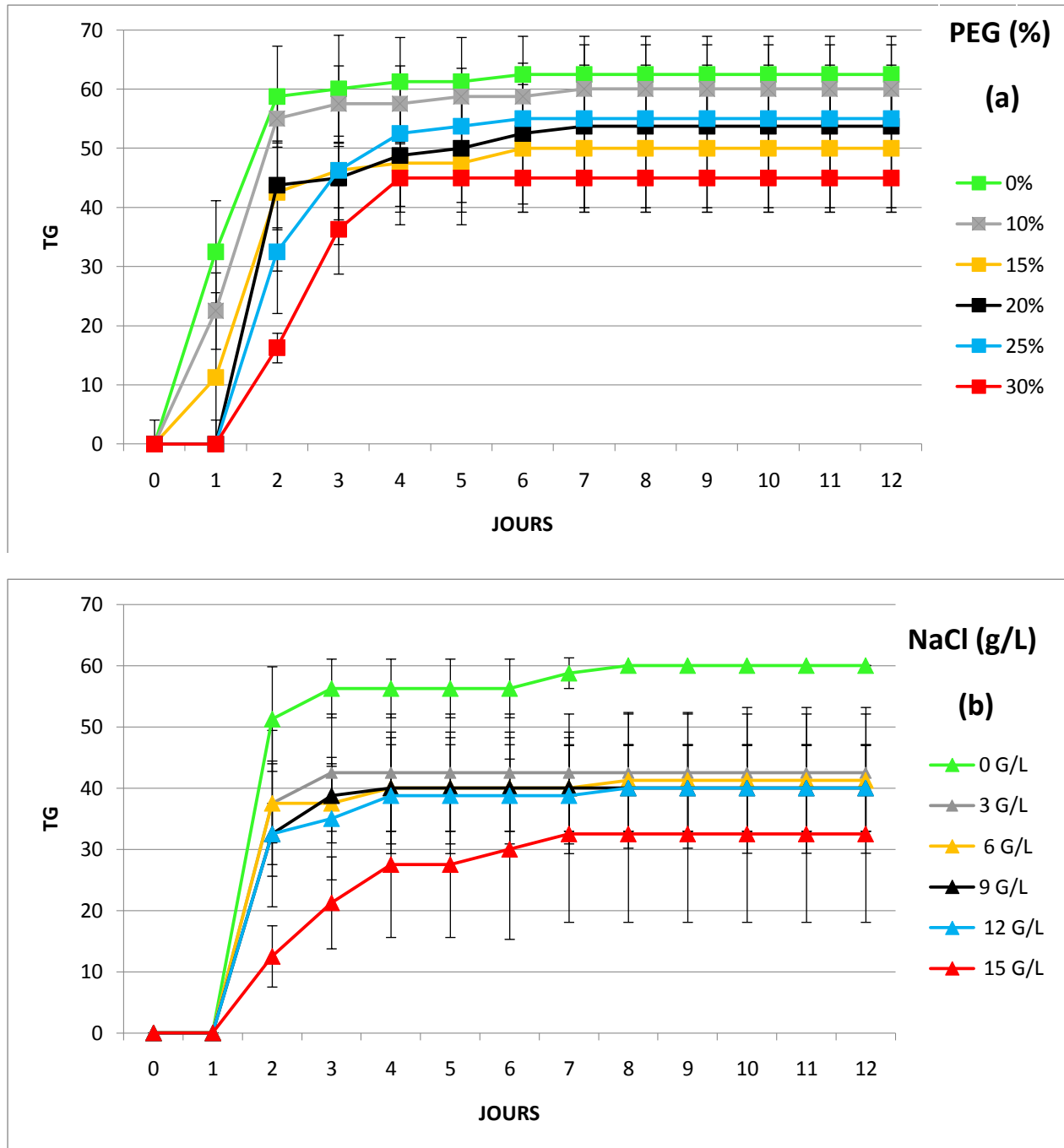


Figure 5: Cinétique de germination en fonction du temps, des graines de Ciccio, traitées avec différentes doses de PEG ou de NaCl

2. Effets du stress hydrique simulé par le PEG et du stress salin provoqué par le NaCl sur la croissance des plantules de la variété Ciccio :

2.1 Effets des différentes concentrations de PEG sur le PF des plantules de la variété Ciccio :

Les poids frais des plantules de Ciccio, âgées de 18 jours ont été pesés et les résultats obtenus sont représentés sur la figure 5 (a) pour le traitement PEG

L'analyse statistique par le test KRUSKAL-WALLIS montre que le PF est influencé d'une manière très hautement significative par le stress hydrique simulé par le PEG, et le test POST-HOC a identifié 2 groupes : le groupe a représentant le lot témoin et un groupe b des lots traités au PEG.

Nous constatons, d'après la figure (a) que le poids frais des plantules témoins est le plus élevé (0.73g), puis il diminue à mesure que la concentration de PEG augmente. On remarque en effet, que dès 10% de PEG appliqué, une diminution de PF de 40% environ est observée, elle augmente à plus de 50% à 15% de PEG pour atteindre une réduction maximale d'environ 80% à 25% de PEG6000.

2.2 Effets des différentes concentrations de NaCl sur le PF des plantules de la variété Ciccio

Les valeurs de PF des plantules de la variété Ciccio témoins et traitées avec différentes doses de NaCl, sont représentées sur la figure 5 (b) :

L'analyse statistique par le test KRUSKAL-WALLIS montre que le PF des plantules de Ciccio, traités avec différentes concentrations de NaCl, est influencé d'une manière très hautement significative par le stress salin, et le test POST-HOC a identifié 4 groupes :

- ◇ Groupe a : représentant le lot témoin.
- ◇ Groupe b : les plantes traitées avec 3g/L et 6g/L de NaCl.
- ◇ Groupe bc : regroupe les plantes traitées avec 9g/L.
- ◇ Groupe c : regroupe les plantes traitées avec 12g/L.

D'après les résultats de la figure 5 (b), nous remarquons que dès la première concentration de NaCl appliquée aux plantules (3g/L), les PF accusent une diminution très importante de 64%. A 12g/L de NaCl, ils enregistrent 84% de réduction comparativement aux témoins. Les résultats des PF des plantules traitées avec 15g/L de NaCl n'ont pas pu être pris en considération en raison de contaminations.

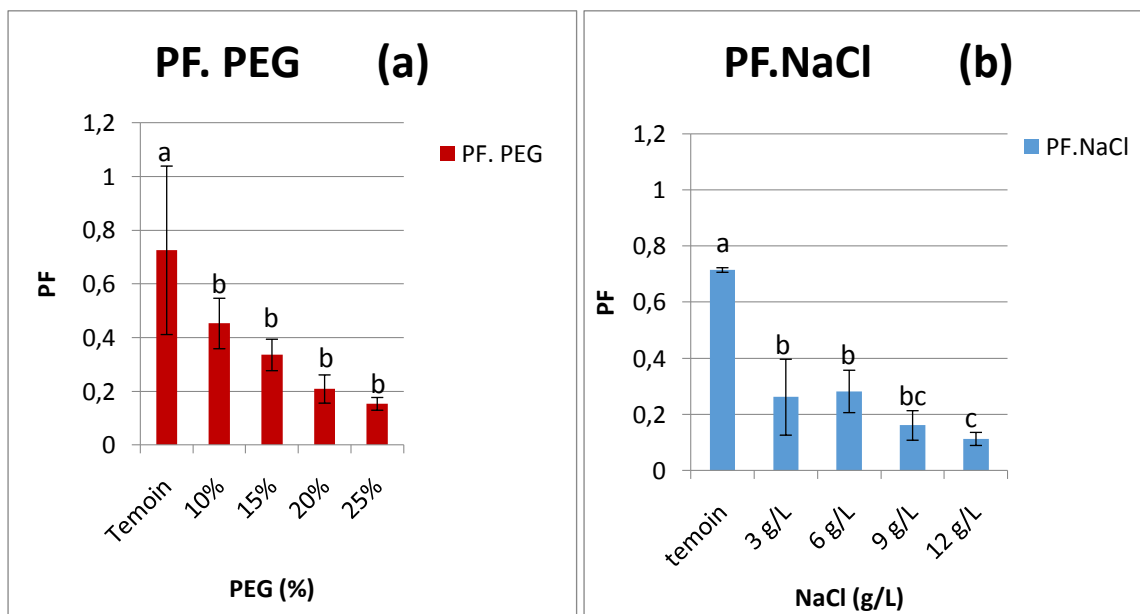


Figure 6: Poids frais des plantules de Ciccio âgées de 18 jours traitées avec différentes doses de PEG6000 (figure 5 a) ou NaCl (figure 5 b)

2.3 Effets des différentes concentrations de PEG sur le poids sec (PS) des plantules de la variété Ciccio

Les poids secs des plantules de la variété Ciccio, soumises au stress induit par le PEG (figure 6, a)

L'analyse statistique par le test ANOVA montre que le PS est influencé d'une manière hautement significative par le stress induit par le PEG, et le test POST-HOC a identifié cinq groupes : le groupe a, qui comprend les PS des plantules traitées avec 10% de PEG; le groupe ab pour les PS des plantules avec 15% de PEG, le groupe abc pour les PS témoins, le groupe bc pour les PS du traitement avec 20% de PEG et enfin le groupe c, qui comprend les PS des plantules traitées avec 25% de PEG

D'après la figure 6 (a), nous constatons que le PS des plantules de Ciccio, âgées de 18 jours a baissé avec l'effet du PEG. La valeur du PS du témoin est inattendue puisqu'elle est plus faible par rapport aux autres valeurs mais présente cependant des écart-types élevés. Cette diminution sous l'effet du PEG, atteint 43% chez les plantules ayant reçu 25% de PEG.

2.4 Effets des différentes concentrations de NaCl sur le poids sec (PS) des plantules de la variété Ciccio :

L'analyse statistique par le test de KRUSKAL-WALLIS montre que le poids sec des plantules de Ciccio est influencé de manière très hautement significativement par le stress salin, et le test POST-HOC a identifié deux groupes : le groupe a contenant le lot témoin et le groupe b contenant les lots 3g/L, 6g/L, 9g/L et 12g/L.

Les résultats des PS des plantules de Ciccio, âgées de 18 jours, sous contrainte saline, représentés sur la figure 6 (b) ci-dessous, montrent que dès 3g/L de NaCl, les valeurs diminuent et subissent une réduction de 47% pour atteindre 76% de réduction par rapport aux plantules témoins avec 12g/L de NaCl.

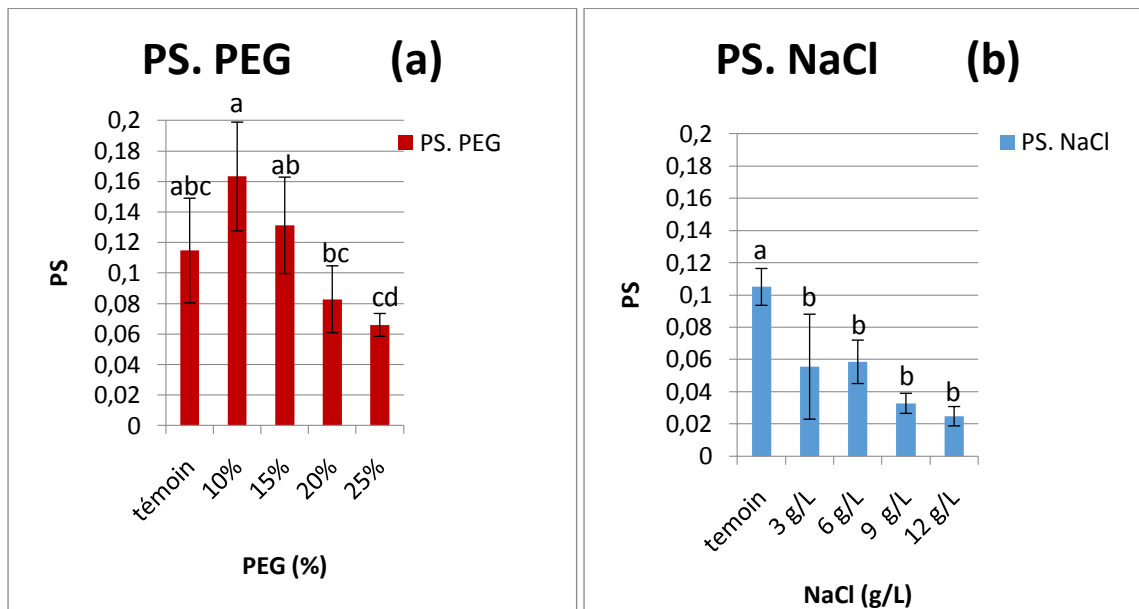


Figure 7: Poids sec des plantules de Ciccio âgées de 18 jours traitées avec différentes doses de PEG6000 (figure 6 a) ou NaCl (figure 6 b)

2.5 Effets des différentes concentrations de PEG sur la hauteur de la tige principale des plantules de la variété Ciccio :

L'analyse statistique par le test ANOVA montre que le stress influence d'une manière hautement significative la longueur de la tige, et le test POST-HOC a identifié quatre groupe : le groupe a qui représente les témoins et les traités avec 10% de PEG, le groupe b, les plantes traitées avec 15% de PEG, le groupe bc, les plantes ayant reçu 20% de PEG et enfin le groupe c représentant les plantes traitées avec 25% de PEG.

Les longueurs des tiges des plantules de Ciccio, âgées de 18 jours et traitées avec différentes doses de PEG sont représentées sur la figure 7 (a). Les résultats montrent que la taille des tiges des plantules a diminué au fur et à mesure que la dose de PEG appliquée est élevée. Le taux de diminution est de 18% avec le traitement à 10% de PEG et atteint 79% avec 25% de PEG6000.

2.6 Effets des différentes concentrations de NaCl sur la hauteur de la tige principale des plantules de la variété Ciccio :

L'analyse statistique par le test KRUSKAL-WALLIS montre que la longueur de la tige est influencée significativement par le stress induit par le NaCl, et le test POST-HOC a identifié deux groupes : le groupe a représentant le lot témoin et le groupe b qui comprend les lots des plantules traitées avec 3, 6, 9 et 12g/L.

Les longueurs des parties aériennes des plantules de Ciccio traitées avec les doses de NaCl, varient selon le degré de stress subit. D'après la figure 7 (b) on remarque en effet que le NaCl provoque diminution de la taille des tiges des plantules de Ciccio. Cette réduction va de 52% à 3g/L de NaCl pour atteindre 90% pour 12g/L de NaCl comparativement à la longueur de la tige témoin.

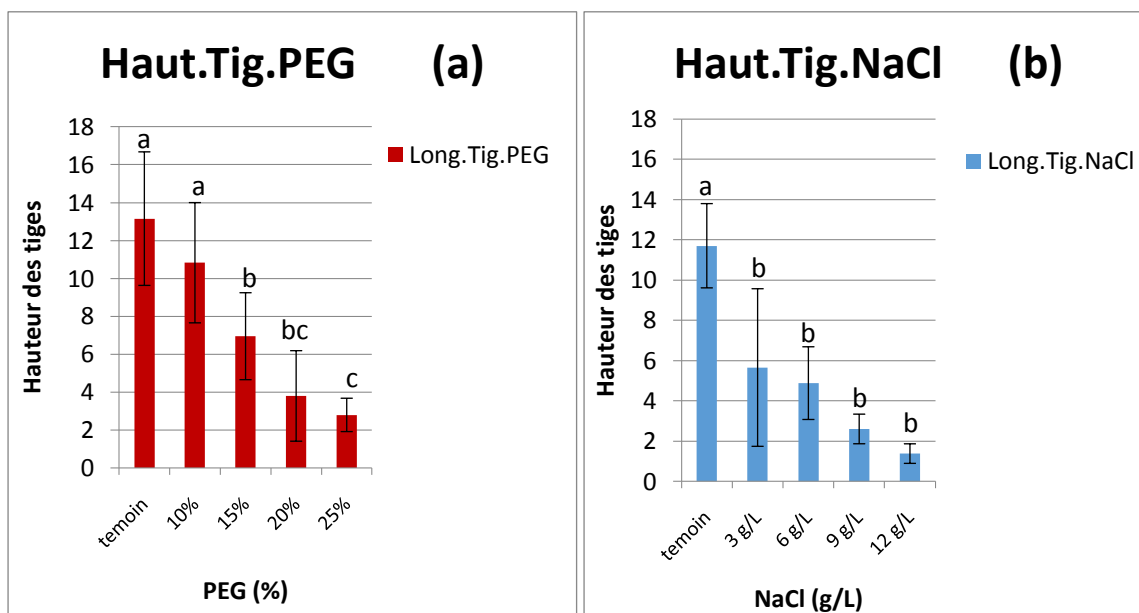


Figure 8: Hauteur des tiges des plantules de Ciccio âgées de 18 jours traitées avec différentes doses de PEG6000 (Figure 7 a) ou de NaCl (Figure 7 b).

2.7 Effets des différentes concentrations de PEG sur la longueur des racines des plantules de la variété Ciccio :

L'analyse statistique par le test ANOVA montre que le stress induit par le PEG influence d'une manière hautement significative la longueur racinaire, et le test POST-HOC a identifié trois groupes : le groupe a des lots témoin et ceux traités avec 10% de PEG, le groupe ab des plantes traitées avec 15%, le groupe b des plantes traitées avec 20 et 25% de PEG.

Les valeurs obtenues des longueurs des racines des plantules de Ciccio traitées avec du PEG, après 18 jours de germination sont représentées dans la figure 8 (a) ci-dessous.

Nous constatons d'après la figure que la taille moyenne des racines à 10% de PEG est identique à celles des plantules témoins. Mais une réduction de 30% de cette longueur est enregistrée dès 15% de PEG et cette dernière atteint 60% à 25% de PEG6000.

2.8 Effets des différentes concentrations de NaCl sur la longueur des racines des plantules de la variété Ciccio :

L'analyse statistique par le test ANOVA montre que la taille des racines est influencée significativement par le stress salin, et le test POST-HOC a identifié 3 groupes : le groupe a pour les plantes témoins et 3g/L de NaCl, le groupe ab pour les plantes traitées avec à 6g/L et le groupe b pour les plantes ayant reçu 9 et 12g/L de NaCl.

Les longueurs des racines des plantules de Ciccio sont représentées dans l'histogramme ci-dessous 18 jours après la germination.

Les longueurs des racines des plantules traitées avec 3g/L de NaCl sont proches de celles des plantules témoins. A partir de 6g/L de NaCl, nous observons une diminution de 30%, puis de 53% à 9g/L et 57% à 12g/L de NaCl.

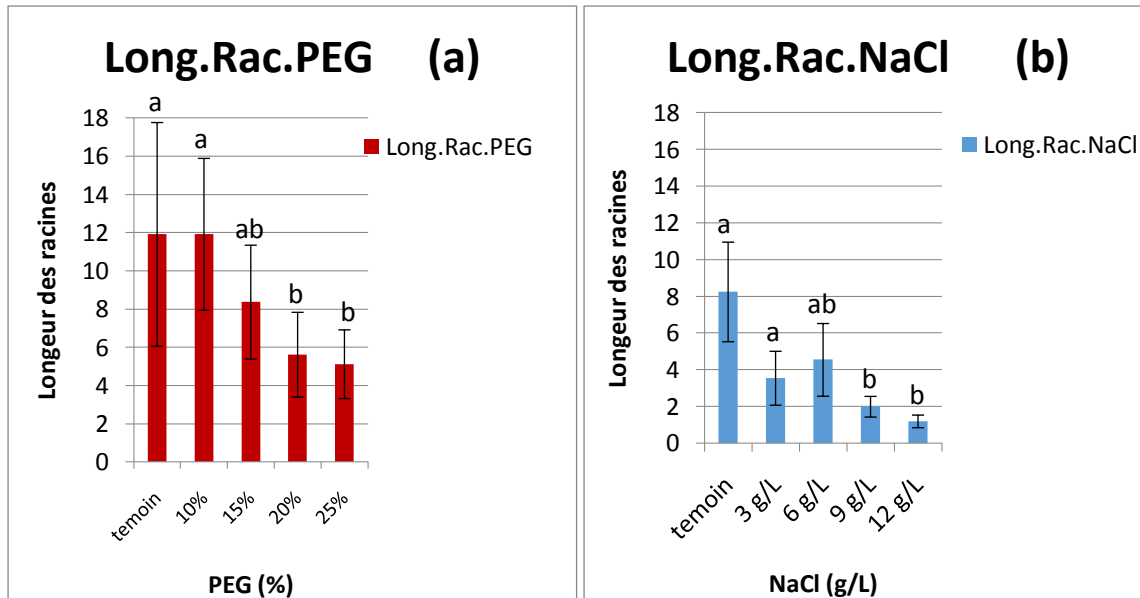


Figure 9: Longeur des racines des plantules âgées de 18 jours de la variété de blé dur Ciccio, traitées avec différentes doses de PEG6000 (figure 8 a), ou de NaCl (Figure 8 b).

2.9 Effets des différentes concentrations de PEG sur le nombre de racines de Ciccio :

L'analyse statistique par le test ANOVA montre que le nombre des racines est influencé significativement par le PEG, et le test POST-HOC a identifié trois groupes : le groupe a représentant les plantes témoin, le groupe ab les plantes traitées avec 10% de PEG et le groupe b les plantes traitées avec 15, 20, et 25% de PEG6000.

Après 18 jours de croissance, nous avons comptabilisé le nombre de racines des plantules de Ciccio, sous contraintes hydrique simulé par le PEG. La figure 9, (a), que le nombre de racines diminue graduellement à mesure que la dose de PEG est augmentée. Une faible diminution (12%), est obtenue avec 10% de PEG. Elle atteint 21% seulement chez les plantes traitées avec 25% de PEG.

2.10 Effets des différentes concentrations de NaCl sur le nombre de racines de Ciccio :

Le test ANOVA montre que le nombre de racines est influencé significativement par le stress salin et le test POST-HOC a identifié trois groupes : le groupe a, représentant les plantes témoins, le groupe bc les plantes traitées avec 3g/L de NaCl, le groupe b les plantes traitées avec 6g /L, et le groupe c regroupent les plante traitée avec 9 et 12g/L de NaCl.

La figure 9 (b) montrent que le nombre de racines des plantules stressées par le NaCl, diminue comparativement à celui des plantes témoins. Cette diminution est de 12% chez les plantes ayant reçu 3g/L de NaCl et atteint 21% chez les plantes ayant reçu la plus forte dose de NaCl (12g/L).

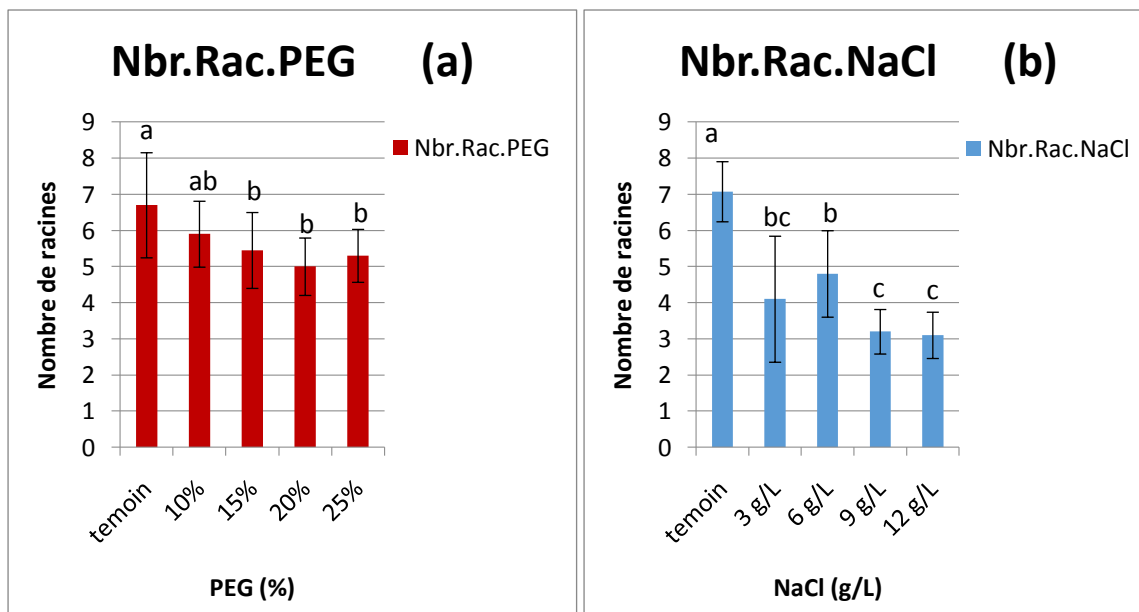


Figure 10: Nombre de racines des plantules âgées de 18 jours de la variété de blé dur Ciccio, traitées avec différentes doses de PEG (figure 9 a) ou de NaCl (figure 9 b)

3. Effets du stress hydrique simulé par le PEG ou du stress salin induit par le NaCl sur la teneur en eau (TE) des plantules de la variété Ciccio :

3.1 Effets des différentes concentrations de PEG sur la TE des plantules de Ciccio :

L'analyse statistique par le test de KRUSKAL-WALLIS montre que le stress par le PEG a une influence très hautement significative sur la TE des plantules de Ciccio, et le test POST-HOC a identifié deux groupes : le groupe a représentant les TE des plantules témoins et le groupe b regroupant les TE des plantules traitées avec 10, 15, 20 ou 25% de PEG.

Nous avons mesuré la teneur en eau des plantules de Ciccio âgées de 18 jours traitées avec du PEG. Nous constatons, d'après la figure 10 (a) que la TE chez les plantules témoins avoisine les 90%, mais dès 10% de PEG appliqué, nous observons une diminution de celle-ci, estimée à 23% et qui atteint 32% pour les plantes traitées avec 25% de PEG.

3.2 Effets des différentes concentrations de NaCl sur la TE des plantules de Ciccio :

L'analyse statistique par le test ANOVA montre que la teneur en eau est influencée significativement par le stress salin, et le test POST-HOC a identifié deux groupes : le groupe a représentant les plantes témoins et le groupe b regroupant les plantes traitées avec 3, 6, 9 et 12g/L de NaCl.

Les résultats de la figure 10 (b), montrent que la teneur en eau des plantules enregistre une réduction de 8% chez les plantes traitées avec 3g/L de NaCl. Cette réduction atteint 9% à 12g/L de NaCl par rapport à la TE du témoin, (les plantes traitées avec 15g/L de NaCl ont été éliminées en raison de contaminations).

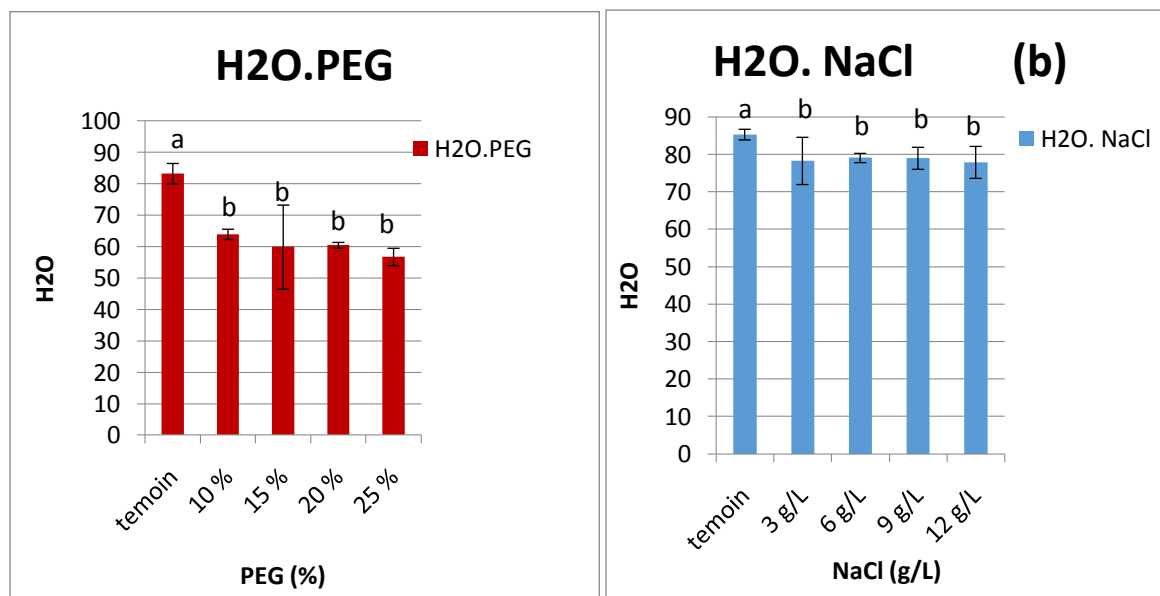


Figure 11: Teneurs eau des plantules de Ciccio âgées de 18 jours, traitées avec différentes doses de PEG6000 (Figure 10 a) ou de NaCl (Figure 10 b)

Discussion des résultats:

Notre étude a permis de mettre en évidence l'effet des stress hydrique simulé par le PEG 6000 et salin induit par le NaCl, sur la germination et le début de croissance, de la variété de blé dur Ciccio, dans des boîtes de Pétri.

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Stress	Dose	TG	TMG	LONG.TIG	LONG.RAC	NBR.RAC	PF	PS	TE
PEG 6000	10%	=T	+	-	= T	-	-	-	-
	15%	-	+	--	-	-	--	-	-
	20%	-	++	---	--	-	--	--	-
	25%	-	++	---	--	-	---	--	-
	30%	-	+++	/	/	/	/	/	/
NaCl	3 g/L	-	=T	--	--	--	--	--	-
	6 g/L	-	+	--	--	--	--	--	-
	9 g/L	-	+	---	---	--	---	---	-
	12 g/L	-	+	---	---	--	---	---	-
	15 g/L	-	++	/	/	/	/	/	/

Nous remarquons que le PEG 6000 et le NaCl présentent d'une manière globale, des effets négatifs aux doses testées sur la germination et la croissance de Ciccio. Cependant, le TG de Ciccio traité avec 10% de PEG n'a pas été affecté par le PEG, sa valeur étant proche de celle du témoin. Ce résultat est conforme à ceux signalés par Bousbaa *et al.*, (2021), Makhloufi *et al.*, (2023) et Benderradji *et al.*, (2016) et vont dans le sens d'une tolérance de Ciccio à la sécheresse comme signalé par Grignac *et al.*, (1982). A partir de 15% de PEG, une réduction du TG est notée. Abido et Zsombik, (2018) ont aussi obtenu une réduction des paramètres de germination, alors que Makhloufi *et al.*, 2023 n'a pas obtenu d'effets à ces mêmes concentrations. Avec 25 et 30% de PEG, nous avons eu une plus forte diminution du TG. Le PEG à différentes concentrations a en revanche, provoqué la réduction de tous les autres paramètres de croissance ainsi que la teneur en eau (TE) qui a subi une diminution importante, comme signalé par Abido et Zsombik, (2018) et Bikka, (2021). Ces résultats montrent que la présence de PEG dans le milieu de germination et d'émergence réduit l'absorption de l'eau pour les semis, en raison de la baisse du potentiel hydrique du milieu ce qui entraîne une limitation de l'absorption de l'eau. Ce ci inhibe alors la mobilisation des réserves des graines vers l'axe embryonnaire en croissance, inhibant les activités enzymatiques (Barley et Black, 1994 ; Munns et Tester, 2008) induisant ainsi la diminution des paramètres de croissance (Farroq *et al.*, 2012 ; Tardieu, 2012). Même si Ciccio montre une tolérance aux faibles concentrations de PEG en maintenant son TG, le stress hydrique s'il est maintenu a des répercussions négatives sur le TMG qui s'allonge comme décrit par Hasegawa *et al.*, (2000) et Munns et Tester (2008). Les paramètres de croissance mesurés de Ciccio ont été réduits par les doses de PEG appliquées allant dans le sens des résultats de Kayatnezha et Gholamin (2011). Yuanyuan *et al.*, (2023) et Copeland et Mc Donald (2001) qui expliquent que lors d'un stress hydrique ou salin, la capacité des végétaux à transporter les nutriments en particulier l'azote des racines aux pousses est affectée, menaçant ainsi la division et la différenciation des cellules et la croissance des plantes et donc les rendements des cultures.

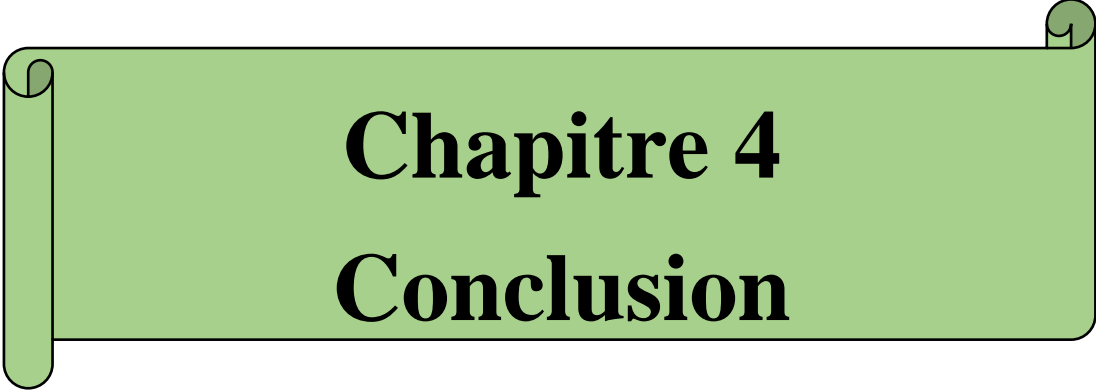
Concernant le comportement de Ciccio face aux différentes doses de NaCl qui permettent d'induire un stress salin chez cette variété, nous avons obtenu une réponse plus marquée en ce qui concerne les paramètres de germination et de croissance, résultats qui vont le sens de ceux obtenus par Ayed *et al.*, (2014), Munns et Tester , (2008), et Zhu (2002). En effet, dès 3g/L de NaCl appliqué aux graines de Ciccio, une baisse importante des valeurs de tous les paramètres de germination mesurés avec un allongement du temps de germination est obtenue allant dans le sens des résultats de nombreux auteurs (Debez *et al.*, 2001 ; Jlassi *et al.*, 2021 ; Benderradji *et al.*, 2016 et Ayed *et al.*, 2014). Ce qui indique que Ciccio est sensible au NaCl même à des concentrations faibles de 3g/L. Les résultats des teneurs en eau des plantules traitées avec PEG6000 ou du NaCl sont différents. Les deux traitements (PEG et NaCl) ont fait baisser les teneurs en eau des plantules de Ciccio, mais les plantes traitées avec le PEG ont davantage été pénalisées (réduction par rapport au témoin plus importante) comparativement à celles traitées avec NaCl alors qu'il a été moins pénalisé pour les autres paramètres que sous stress salin.

Les stress hydriques et salins pourraient affecter les plantes de manière distincte pendant la germination. Le PEG 6000 comme le NaCl, simulent le stress hydrique en réduisant la disponibilité d'eau en raison d'un potentiel hydrique bas, ce qui limite l'absorption d'eau affectant ainsi tous les mécanismes de germination et de croissance. Le NaCl induit un stress salin soit par une baisse du potentiel hydrique conduisant à une diminution de l'absorption de l'eau ou par la toxicité des ions (El Mansouri *et al.*, 2006), entraînant des effets néfastes sur la germination et la croissance en perturbant les mécanismes physiologiques, l'absorption et la distribution des nutriments comme l'azote (Flowers et Colmer, 2008 ; Yuanyuan *et al.*, 2023).

Si on compare par exemple les effets sur les TG de Ciccio traités avec 10% de PEG aux TG obtenus avec 6g/L de NaCl ce qui est équivalent à -0.4MPa (Sosa *et al.*, 2005), nous remarquons que le NaCl provoque une réduction plus importante par rapport au PEG alors que les valeurs des potentiels hydriques sont très proches (-0.4MPa). Nos résultats des paramètres de croissance également sont plus pénalisés par le stress salin induit par le NaCl comparativement au PEG. Il serait probable que Ciccio soit plus sensible au stress salin par rapport au stress hydrique. Nos résultats rejoignent ceux de Gholamin *et al.*, (2010) qui ont obtenu, à des concentrations proches, des effets de NaCl plus préjudiciables par rapport à ceux du PEG sur les paramètres de

germination et de croissance de variétés de blé. Mais ce qui serait en revanche en opposition avec les résultats de Sayar *et al.*, (2010) et Majid *et al.*, (2011) qui ont montré sur le blé dur, que l'effet du NaCl était moindre que l'effet du PEG aux valeurs équivalents de potentiels hydriques, sur la germination de graines et qu'il s'agissait d'effets osmotiques plutôt que toxiques.

Bien que nous ne pouvons pas comparer les deux stress entre eux, mais une équivalence par exemple entre les valeurs des paramètres de germination et de croissance obtenues avec 10% de PEG à celles obtenues avec 6g/L de NaCl (équivalent -0.4MPa), d'une part, et les faibles valeurs de tous les paramètres mesurés sous stress salin dès 3g/L de NaCl, nous permet de suggérer que Ciccio est plus sensible au stress salin comparativement au stress hydrique.



Chapitre 4
Conclusion

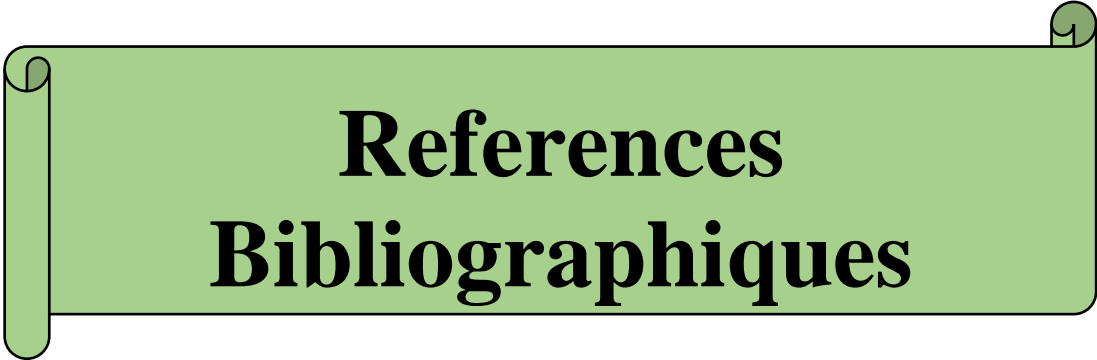
CONCLUSION :

Notre travail a porté sur l'étude de l'effet des stress hydrique simulé par le PEG 6000 et salin induit par le NaCl à différentes doses sur la germination et le début de croissance de variété de blé dur «Ciccio» en boîtes de Pétri.

Nous nous sommes intéressés à la variété de blé dur Ciccio, d'origine d'Italie, utilisée en Algérie car ayant un bon comportement vis-à-vis du stress hydrique. Nous avons simulé les stress hydrique par l'application du PEG6000 et salin par le NaCl sur les graines de Ciccio. Nos résultats ont montré que Ciccio était sensible au stress simulé par le PEG6000 ou NaCl aux doses testées. En effet, tous les paramètres de germination et de croissance ont été tous réduits suite à ces stress. Nous avons relevé en revanche que le traitement de 10% de PEG n'a pas affecté le taux de germination de Ciccio, alors que les paramètres de croissance ont été pénalisés. Parallèlement, il y a eu une baisse des teneurs en eau de Ciccio avec les doses de PEG appliquées plus importantes comparativement au traitement NaCl où les teneurs en eau des plantules n'ont subi qu'une faible réduction par rapport au témoin.

Nos résultats sur la variété Ciccio, mériteraient d'être approfondies et complétés par :

- D'autres expériences en utilisant des semences de l'année afin d'éviter toutes interactions avec des semences à faible pouvoir germinatif
- Un nombre d'échantillon plus élevé afin de s'affranchir des valeurs accidentelles
- Une comparaison avec d'autres variétés de blé dur si possible locales afin de permettre la sélection de la variété la plus tolérante aux deux stress
- Un élargissement de cette étude à d'autres facteurs abiotiques en particulier les températures qui est avec l'eau et le sel, les facteurs les plus préoccupants pour l'agriculture dans notre pays et dans le monde à l'heure des changements climatiques.



References
Bibliographiques

- **Abed, S., Belabdelouhad, S. (1998).** Propriétés biochimiques du grain de blé dur et leur impact sur la qualité de la farine. *Food Chemistry*, 63(2), 221-228
- **Abido, M., Zsombik, L. (2018).** Germination and seedling growth of durum wheat under polyethylene glycol stress. *International Journal of Plant Sciences*, 179(4), 376-387.
- **Araus, J. L., Blum, A. (2001).** Characterization of drought resistance in cereals. **Field Crops Research*, 69*(2-3), 203-217.
- **Asloun, S. (1990).** Effect of salinity on sugar metabolism in plants. *Plant Physiology*, 92(4), 991-996.
- **Atkinson, H. J., Urwin, P. E. (2012).** The interaction between plants and soil pathogens. *Plant Pathology*, 61(1), 2-15.
- **Ayed, A., Sanaa, N., Ahmed, A. (2014).** Effects of saline stress on germination and growth parameters of wheat. *Agricultural and Biological Sciences Journal*, 18(3), 321-332.
- **Bailey-Serres, J., Voeselek, L. A. C. J. (2008).** Flooding stress: Acclimations and responses. *Current Opinion in Plant Biology*, 11(5), 469-474.
- **Bekka, M. (2005).** Effects of polyethylene glycol on germination and growth of wheat. *Agricultural Science*, 93(6), 743-749.
- **Bekka, M. (2021).** Polyethylene glycol induced stress in durum wheat: Germination and growth responses. *Journal of Plant Research*, 134(3), 245-257.
- **Benderaadji, N., Boudjema, M., Amira, R. (2016).** Effect of NaCl on germination and early growth of durum wheat. *Acta Botanica Hungarica*, 58(4), 301-313.
- **Bensemmane, L., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., Mimouni, H. (2011).** Assessment of the phenotypic variation within two- and six-rowed barley (**Hordeum vulgare* L.*) breeding lines under semiarid condition. **Advances in Environmental Biology*, 5*, 1454–1460.
- **Bewley, J. D., Black, M. (1994).** *Seeds: Physiology of development and germination* (2nd ed.). Plenum Press. pp 444
- **Blum, A. (2017).** Drought resilience in wheat: Genetic and physiological approaches. **Crop Science*, 57*(1), 65-74.

- **Bonjean, A. P., Picard, J. (1990).** Les grandes cultures: Classification et caractérisation des espèces. In: D. G. Hall (Ed.), Classification des plantes cultivées. 123-145. Éditions Techniques et Scientifiques.
- **Bouda, M., Haddioui, A. (2011).** Salinity effects on the germination and growth of wheat varieties. *Environmental and Experimental Botany*, 74(1), 56-65.
- **Bousba, S., Mounir, A., Hammouda, M. (2021).** Impact of polyethylene glycol on germination and growth of durum wheat. *Journal of Experimental Botany*, 72(5), 1156-1168.
- **Boyacioglu, M. H., D'apponia, B. L. (1994).** Characterization and utilization of durum wheat for breadmaking. I. Comparison of chemical, rheological, and baking properties between bread wheat flours and durum wheat flours. *Cereal Chemistry*, 71*(6), 635-641.
- **Bozzini, A. 1988.** Origin, distribution and production of durum wheat in the world. In Fabiani G. Lintas C. (éd). *Durum: Chemistry and Technology*. AACCC (Minnesota). États-Unis : 1-16 p. Brochure, 8 p.
- **Bradford, K. J. (1995).** Water relations in seed germination. In J. J. Kigel G. Galili (Eds.), *Seed development and germination* (351-396). Marcel Dekker.
- **Brassard, G. (1985).** Température et croissance du blé dur: Études expérimentales et recommandations. *Agricultural Systems*, 17(2), 137-149
- **Brooker, R. W., Bennett, A. E., Kong, C. H. (2008).** Competition and facilitation in plant communities: A review. *Journal of Ecology*, 96(1), 10-25.
- **Campion, C., Campion, J. (1995).** Composition et qualité des grains de blé: Contenu en nutriments et propriétés fonctionnelles. *Journal of Cereal Science*, 21(3), 245-259.
- **Ceccarelli, S. (2020).** Wheat breeding for genetic diversity and adaptability. *Euphytica*, 216*(3), 38.
- **Cherdouh, S. (1999).** Évaluation des réserves nutritives dans le grain de blé: Implications pour la nutrition et la transformation. *Annales des Sciences Agronomiques*, 56(2), 91-104.
- **Clément, J. (1981).** Effets de l'intensité lumineuse et de la photopériode sur la croissance du blé dur. *Journal of Plant Growth Regulation*, 30(4), 279-290.
- **Cline, W. R. (2007).** *Global warming and agriculture – impact estimates by country*. Center for Global Development, 35-161.

- **Côme, D. (1970).** Les obstacles à la germination. In Bulletin mensuel de la Société linnéenne de Lyon (Ed.). (pp.162). Paris: Masson et Cie.
- **Copeland, L. O., McDonald, M. B. (2001).** Principles of seed science and technology (4th ed.). Kluwer Academic Publishers, 72-123.
- **Cretois, J., Dupont, M., Charpentier, G. (1985).** Composants du blé dur: Structure et fonction des réserves dans le grain. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 33(6), 978-983.
- **Davis, P. (2015).** Wheat production in the United States: A historical review. *Agricultural History Review, 63*(1), 35-52.
- **Debez, A., Boukhris, M., Grignon, C. (2001).** Effects of salinity on germination and growth in wheat. Plant Growth Regulation, 33(3), 223-229.
- **El-Mansouri, B., al., S. (2006).** Cellular dehydration and osmotic effects. Journal of Plant Physiology, 163(4), 349-359.
- **Farooq, M., Hussain, M., Wakeel, A. (2009).** Drought stress in plants: Causes, consequences, and tolerance. Journal of Plant Growth Regulation, 28(2), 329-345.
- **Farooq, M., Wahid, A., Lee, D. J. (2012).** Plant drought stress: Causes, consequences, and adaptation. Environmental and Experimental Botany, 77, 6-18.
- **Fitter, A. H., Hay, R. K. M. (2001).** *Environmental Physiology of Plants* (3rd ed.). Academic Press, 8-17.
- **Flowers, T. J. (2004).** Improving crop salt tolerance. *Journal of Experimental Botany, 55*(396), 307-319.
- **Flowers, T. J., Colmer, T. D. (2008).** Salinity tolerance in halophytes. New Phytologist, 179(4), 945-963.
- **Garg, N., Manchanda, G. (2008).** Salinity and plant responses. Journal of Plant Physiology, 165(9), 945-958.
- **Gegas, V. C., et al. (2010).** Genetic and morphological characteristics of durum wheat seeds. *Journal of Cereal Science, 51*(3), 330-335.
- **Ghoulam, C., Fares, K. (2001).** Effect of salinity on germination and early seedling growth of wheat varieties. Journal of Agronomy, 28(2), 301-310.

- **Greenway, H., Munns, R. (1980).** Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. Annual Review of Plant Physiology, 31, 149-190.
- **Grignac, P. (1978).** Origins and spread of durum wheat: A review. Agricultural History Review, 26(1), 47-56
- **Grignac, P. (1982).** La génétique du blé dur: Origines et caractéristiques génomiques. Annales de l'Amélioration des Plantes, 32(1), 15-25.
- **Haddouche, L., Mekliche, L. (2008).** Etude comparative de quelques populations de blé dur (*Triticum durum* Desf) et leur parents. *Céréaliculture-ITGC Algérie, 50*, 10-15.
- **Hajlaoui, H., Denden, M., Bouslama, M. (2007).** Etude de la variabilité interspécifique de tolérance au stress salin du pois chiche (*Cicer arietinum* L.) au stade germination. Tropicultura, 25(3), 168-173.
- **Hasegawa, P. M., Bressan, R. A., Zhu, J. K. (2000).** Plant cellular and molecular responses to high salinity. Annual Review of Plant Biology, 51, 463-499.
- **Hasegawa, P. M., Bressan, R. A., Zhu, J.-K., Horie, T. (2000).** Plant cellular and molecular responses to high salinity. Annual Review of Plant Biology, 51, 463-499.
- **Hirel, B., Tardieu, F., Lee, M. (2007).** Physiological and molecular responses to abiotic stress in plants. Journal of Experimental Botany, 58(11), 3189-3199.
- **Howe, G. A., Jander, G. (2008).** Plant immunity: The role of herbivory-induced signaling. Annual Review of Plant Biology, 59, 41-66.
- **Hu, X., Yang, W., Wang, X. (2008).** Pathogen-induced stress in plants: A review. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 56(20), 9486-9493.
- **Institut Technique des Grandes Cultures (2011).** Guide des pratiques culturales pour le blé dur: Pluviométrie et besoins en eau. Bulletin Technique de l'Institut, 39(1), 50-65. ITGC
- **International Seed Testing Association. (2009).** International rules for seed testing. ISTA.
- **Ivanov, A. (2018).** Wheat production and distribution in Russia: A historical perspective. *Russian Agricultural Journal, 12*(4), 22-30.
- **Iyengar, S., Reddy, M. V. (1996).** Effects of salinity on photosynthesis and water relations in plants. In S. Parida A. Das (Eds.), Physiological and biochemical responses to saline environments (pp. 23-35).

- **Jassi, A., Ahmed, S., Hanif, M. (2021).**Effect of sodium chloride on the germination and early growth of durum wheat. *Journal of Plant Biology*, 52(1), 45-58.
- **Jones, H. G. (2007).** Monitoring plant and soil water status: Established and novel methods revisited and their relevance to studies of drought tolerance. **Journal of Experimental Botany*, 58*(2), 119-131.
- **Kaiser, H. M., Riha, S. J., Wilks, D. S., Rossiter, D. G., Sampath, R. (1993).** A farm-level analysis of economic and agronomic impacts of gradual climate warming. **American Journal of Agricultural Economics*, 75*(2), 387–398.
- **Khayatnezha, A., Gholamin, R. (2011).**Effects of polyethylene glycol on growth and physiological parameters of durum wheat. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 13(2), 245-256.
- **Kramer, P. J., Boyer, J. S., Morton, J. (1995).**Water relations of plants and soils. Academic Press. pp 495
- **Kucek, L., Baenziger, P. S., Prasanna, B. M. (2016).** The global durum wheat market: Challenges and opportunities. *Journal of Agricultural Economics*, 67(2), 280-292.
- **Kumar, S., Rani, S. (2022).** Wheat and its nutritional quality: Impact of processing on nutrient content. **Food Chemistry*, 380*, 132207.
- **Lafiandra, D., et al. (2014).** Durum wheat: From genetic diversity to end-use quality. **Food Chemistry*, 165*, 189-199.
- **Leclerc, C. (1999).**La notion de stress en biologie végétale. *Journal of Experimental Botany*, 50(334), 117-127.
- **Maccaferri, M., Sanguineti, M. C., Tuberosa, R. (2019).** Genetic diversity and adaptation in durum wheat: Current state and future perspectives. *Journal of Experimental Botany*, 70(21), 5943-5961.
- **Madhava, M. R., Soni, P. (1999).**Drought stress in plants and its effects. *Journal of Plant Physiology*, 156(1), 15-25.
- **Madhava, S., Soni, P., Reddy, K. R. (1999).**Drought stress in plants: Effects on growth, development, and productivity. *Journal of Plant Physiology*, 156(1), 15-25.

- **Makhloufi, H. (2023).** L'étude de l'influence d'un fongicide, le mancozébe, et du stress hydrique sur la germination et la croissance de quelques variétés de Triticum Durum Desf. Et de Vicia sativa l. Agropastoralis Scientia Journal (2023) v.0: 001-072.
- **Mazliak P. (1982).** Physiologie végétale. Croissance et développement. Ed: Hermann. Paris. Tome 2.465p.
- **Medjebeur, D., Hannachi, L., Ali-Ahmed, S., Metna, B., & Abdelguerfi, A. (2018).** Effets de la salinité et du stress hydrique sur la germination des graines de Hedysarum flexuosum (Fabaceae). Revue d'Écologie, 73(3), 318-329.
- **Munns, R. (2002).** Comparative physiology of salt and water stress. Plant, CellEnvironment, 25(2), 239-250.
- **Munns, R. (2005).** Genes and mechanisms that regulate plant water usage. Plant, CellEnvironment, 28(1), 76-91.
- **Munns, R. (2005).** Genes and salt tolerance: Bringing them together. *New Phytologist, 167*, 645-663.
- **Munns, R., Tester, M. (2008).** Mechanisms of salinity tolerance. Annual Review of Plant Biology, 59, 651-681.
- **Munns, R., James, R. A., Lauchli, A. (2008).** Approaches to increasing the salt tolerance of plants. In M. A. Jenks P. M. Hasegawa (Eds.), Plant salt tolerance (pp. 35-56). CRC Press.
- **Nachit, M. M., Elouafi, I., Wang, S. (1998).** Drought resistance and yield stability of durum wheat in North Africa. Field Crops Research, 58(2), 129-139.
- **Nielsen, K. L. (2011).** Temperature stress and drought resistance in durum wheat. *Journal of Agricultural Science, 149*(6), 763-775.
- **Ouanzar, M. (2012).** Exigences culturales du blé dur: Sol, nutrition et conditions de croissance. Revue de l'Agriculture, 48(2), 112-124.
- **Parihar, P., Irshad, A., Saha, P. (2014).** Soil salinity and its impact on plant growth. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 14(1), 103-114.
- **Parker, C. (2009).** Management of parasitic weeds in crops. Annual Review of Phytopathology, 47(1), 31-49.

- **Parry, M., Rosenzweig, C., Iglesias, A., Fischer, G., Livermore, M. (2004).** Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios. *Global Environmental Change*, 14(1), 53-67.
- **Pontieri, P., Costa, A., Mariani, M. (2015).** Impact des conditions de croissance sur la composition nutritive des grains de blé. *Field Crops Research*, 181, 55-62.
- **Prasard, A. (2004).** Effects of environmental pollutants on plant health. *Environmental Science Technology*, 38(15), 4047-4053.
- **Ranjan, A., Denis, D. M., Sherring, A., Kumar, M., Singh, V., Masih, S. (2023).** Water requirements of wheat crops in a small watershed by using CROPWAT. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13(2), 126–133.
- **Royo, C., Martos, V. (2012).** Conditions de température optimales pour le développement du blé dur. *Field Crops Research*, 133, 113-123.
- **Samson, M., Morel, M. (1995).** Les constituants du grain de blé: Analyse et applications. *Cereal Chemistry*, 72(4), 323-329.
- **Santiago, J., Rodrigues, A., Carmo-Silva, E. (2000).** The role of stomata in the control of photosynthesis. *Journal of Experimental Botany*, 51(345), 679-689.
- **Sayar, R., Asrar, M., Soudani, R. (2009).** Impact of sodium chloride on germination and early growth in durum wheat. *Journal of Soil Science*, 40(2), 115-125.
- **Schilling, J., Rojas, C., Gill, B. (2012).** Climate change and precipitation patterns in Algeria: Implications for agriculture. *Agricultural and Forest Meteorology*, 164, 63-74.
- **Seki, M., Umezawa, T., Urano, K. (2003).** Molecular responses to drought, salinity, and frost: Common and different responses. *Current Opinion in Plant Biology*, 6(5), 501-507.
- **Selmi, B., Marion, D., Perrier Cornet, J. M., Douzals, J. P., Gervais, P. (2000).** Amyloglucosidase hydrolysis of high-pressure and thermally gelatinized corn and wheat starches. *Journal of Cereal Science*, 31(2), 159-166
- **Sharma, P., Gupta, S. (2019).** Wheat cultivation in the Indian subcontinent: Historical and modern practices. **Indian Journal of Agricultural Sciences*, 89*(7), 1023-1032.
- **Shewry, P. R. (2018).** Nutritional quality of wheat: Impact of genetic and environmental factors. **Journal of Cereal Science*, 77*, 233-245.

- **Shewry, P. R., Hey, S. J. (2015).** The contribution of wheat to human diet and health. *Food and Energy Security*, 4(3), 178–202.
- **Sims, J. J., Lepage, M. (1968).** Genomic studies in Triticum: The evolution of durum wheat. *Cereal Chemistry*, 45(3), 225-233
- **Singh, R. P., Singh, S. (2021).** Genetic diversity in wheat varieties: Implications for adaptability and yield. **Field Crops Research*, 257*, 107928.
- **Singh, R. P., Qidwai, S., Singh, O., Reddy, B. R., Saharan, S., Kataria, S. K., Tiwari, H., Naresh, R. K., Kumar, L. (2022).** Millets for food and nutritional security in the context of climate resilient agriculture: A review. *International Journal of Plant Soil Science*, 34(5), 939-953.
- **Slafer, G. A., Savin, R. (2006).** Temperature effects on the development and yield of durum wheat. *Journal of Agricultural Science*, 144(3), 321-334.
- **Soltner, D. 1998.** Les grandes productions végétales :céréales, plantes sarclées, prairies. **Sainte-Gemme-sur-Loire, Sciences et Techniques Agricoles. Sols, Eaux Continentales et Marines** », Université de Rouen. 31 p.
- **Sosa, L., Llanes, A., Reinoso, H., Reginato, M., Luna, V. (2005).** Osmotic and specific ion effects on the germination of *Prosopis strombulifera*. *Annals of Botany*, 96(2), 261–267.
- **Surget, A., Barron, C. (2005).** Coupe longitudinale d'un grain de blé: Structure et composition. *Journal of Cereal Science*, 42(3), 255-263.
- **Tao, F., Zhang, Z. (2011).** Climate change and its impacts on wheat production in China. **Agricultural Systems*, 104*(6), 325-335.
- **Tardieu, F. (2012).** Plant responses to water stress: Mechanisms and adaptations. *Journal of Experimental Botany*, 63(11), 4473-4485.
- **Vavilov, N. I., Erroux, F. (1961).** Centers of origin of cultivated plants. **Science*, 134*(3474), 37-41.
- **Xiao, H., Zhang, Q., Yao, Y., Zhao, H., Wang, R., Bai, H., Zhang, F. (2008).** Impact of recent climatic change on the yield of winter wheat at low and high altitudes in semi-arid north western China. **Agricultural Ecosystems Environment*, 127*(1-2), 37-42.
- **Yamaguchi-Shinozaki, K. (2006).** Molecular responses to cold and drought stress in plants. *Science*, 311(5760), 1120-1123.

Reference bibliographique

- **Yuanyuan, X., Zhang, H., Li, Y. (2023).** Effects of polyethylene glycol on germination and seedling growth in wheat. *Plant Science*, 315, 111233.
- **Zandalias, J., Smith, A., Brown, C. (2021).** Impact du réchauffement climatique sur les sécheresses et les vagues de chaleur. *Journal of Climate Studies*, 35*(4), 123-145.
- **Zhu, J. K. (2002).** Salt and drought stress signal transduction in plants. *Annual Review of Plant Biology*, 53, 247-273.

Résumé :

Dans le cadre d'étudier l'influence des stress hydrique et salin sur Ciccio une variété de blé dur (*Triticum Durum* Desf), nous avons simulé ces stress par le PEG6000 (0, 10, 15, 20, 25 et 30%) et le NaCl (0, 3, 6, 9, 12 et 15g/L), sur les graines en boîte de Pétri. Les paramètres étudiés sont pour la germination : TG, TMG et cinétique de germination et pour le début de croissance des plantules : la longueur des tiges et racines, le nombre de racine, le PF et le PS des plantules. Nos résultats ont montré que Ciccio était sensible aux deux stress aux doses testées. En effet, tous les paramètres de germination et de croissance ont été tous réduits suite à ces stress, avec cependant un effet moindre des premières doses de PEG (10%) sur le TG, alors que les paramètres de croissance ont été pénalisés. Le PEG induit une diminution de la teneur en eau des plantules plus importante par rapport au NaCl. Ces résultats nous permettent de suggérer une plus grande sensibilité de Ciccio au stress salin induit par le NaCl aux doses testées.

Mots clés : Ciccio, *Triticum Durum* Desf, stress hydrique, PEG, stress salin, NaCl, germination, croissance.

Abstract:

As part of studying the influence of water and salt stress on Ciccio, a variety of durum wheat (*Triticum Durum* Desf), we simulated these stresses using PEG6000 (0, 10, 15, 20, 25, and 30%) and NaCl (0, 3, 6, 9, 12, and 15g/L) on the seeds in Petri dishes. The parameters studied for germination are TG, TMG, and germination kinetics, and for the onset of seedling growth: the length of stems and roots, the number of roots, the FW, and the DW of the seedlings. Our results showed that Ciccio was sensitive to both stresses at the tested doses. Indeed, all the germination and growth parameters were reduced due to these stresses, although the initial doses of PEG (10%) had a lesser effect on the TG, while the growth parameters were negatively impacted. The PEG induces a greater reduction in the water content of seedlings compared to NaCl. These results allow us to suggest a greater sensitivity of Ciccio to salt stress induced by NaCl at the tested doses.

Key words: Ciccio, *Triticum Durum* Desf, water stress, PEG, salt stress, NaCl, germination, growth.