



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة زيان عاشور-الجلفة

Université Ziane Achour – Djelfa

كلية علوم الطبيعة و الحياة

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

قسم البيولوجيا

Département de Biologie

Projet de fin d'étude

En vue de L'obtention du Diplôme de Master

Filière : Biologie

Spécialité : Biotechnologie végétale

Thème

La sélection du blé dur (*Triticum durum* Desf.) pour la tolérance aux stress abiotiques

Présenté par : LABGAA Nadjat

FAKROUN Nadjat

Soutenu le : 29 / 10 / 2018

Devant le jury composé de :

Président : ADLI Benziane.

MCB UZA Djelfa

Promoteur : DEHBI Faouzia

MAA UZA Djelfa

Examineur : TOUIL Souhila

MCB UZA Djelfa

Examineur : BOUGOUTAIA Youcef

MCB UZA Djelfa

Année Universitaire 2017/2018

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale	01
-----------------------------	----

Chapitre I : Synthèse Bibliographique

1-Etat des connaissances.....	04
1.1-Originé génétique et géographique du blé dur (<i>Triticum durum</i> , Desf).....	04
2-Importance et production du blé dur (<i>Triticum durum</i> Desf.).....	05
A .Dans le monde.....	05
B .En Algérie.....	05
2.2-Le cycle de développement de blé dur (<i>Triticum durum</i> Desf.)	05
2.2.1-La germination et la levée.....	05
2.2.2-Le tallage.....	06
2.2.3-La montaison-gonflement.....	06
2.2.4-L'épiaison –floraison.....	06
2.2.5-Le remplissage et la maturation du grain.....	06
3-Les stress abiotiques et leurs effets sur les plantes végétaux.....	08
3.1-Notion de stress	08
3.2-Stress abiotique	08
3.2.1-Stress thermique	09
3.2.2-Stress hydrique	09
3.2.3-Stresse salin	10
4-Mécanismes d'adaptation du blé au froid	10
4.1-Effet des basses températures.....	11
4.1.1-Perturbations métaboliques	12
4.1.2-Impact sur les membranes	12
4.1.3-Echelle macroscopique	13
4.2-Effet du gel	13

4.2.1-Congélation intracellulaire	13
5-Mécanismes d'adaptation aux basses températures	14
5.1-Mécanismes de résistance	14
5.1.1-Evitement du stress thermique	14
5.1.1.1- Par évitement de l'alea (production ou conservation de chaleur).	14
5.1.1.2- Par évitement de l'exposition (phénologie)	15
5.2- Résistance aux basses températures	15
5.2.1-Evitement de la contrainte due au froid	16
A/ adaptations contre le froid	16
5.3-Résistance aux températures gélives	17
5.3.1-Evitement de la formation de glace	17
5.3.2-Tolérance à la glace	17
5.4-L'Endurcissement (acclimatation) au froid	18

Chapitre II : Matériel et Méthodes

1-Objectif de l'essai	20
2-Matériel végétale	20
3-Conduite de l'essai	22
3.1-Préparation des pots	22
3.2-Le semis	22
3.3-Mise en stress froid	25
3.3.1- Test de la tolérance au froid	25
4- Méthodes, Analyses et mesures	25
4.1-La capacité au champ (CC)	25
4.2- Longueur et biomasse racinaires	26
4.3-Hauteur des plantes (cm)	26
4.4-La surface foliaire (cm ²)	26
4.5-Le poids spécifique foliaire (g/cm ²)	26
4.6- La biomasse aérienne (g)	27
4.7- Teneur en chlorophylle totale (mg/l)	27

4.8-Teneur de la proline (Extraction et dosage).....	27
4.9-Teneur en protéines totales (Extraction et dosage).....	28
5-Analyses statistiques.....	28

Chapitre III : Résultats et Discussions

Introduction	29
III.1-Effet du stress froid sur le blé dur (<i>Triticum durum</i> , Desf.)	30
1.1-Effet du gel sur la hauteur des plantes	30
1.2- Effet du gel sur la surface foliaire	31
1.3- Effet du gel sur le poids spécifique des feuilles	32
1.4- Effet du gel sur la biomasse aérienne	33
1.5- Effet du gel sur la croissance racinaire	35
1.6 - Effet du gel sur le volume racinaire	35
1.7- Effet du gel sur la matière sèche racinaire	36
1.8- Effet du gel sur la teneur en chlorophylle totale	37
1.9 - Effet du gel sur la teneur en proline	39
1.10- Effet de gel sur la teneur en protéines totale	40
Conclusion.....	42
Annexe	44
Références bibliographiques	48

Liste des tableaux

<i>N°Tableau</i>	<i>Titre</i>	<i>N°Page</i>
1	Caractéristiques des variétés de blé dur	19

Annexe

<i>N°Tableau</i>	<i>Titre</i>	<i>N°Page</i>
1	La hauteur des plantes	45
2	Surface foliaire	45
3	Poids spécifique foliaire	45
4	Biomasse aérienne	45
5	Longueur de l'axe racinaire principal	46
6	Volume des racines	46
7	Matière sèches racinaire	46
8	Chlorophylle totale	46
9	Teneur en proline	47
10	Protéines totales	47

Liste des figures

<i>N°figure</i>	<i>Titre</i>	<i>N°page</i>
1	Pertes agricoles dues aux facteurs biotiques et abiotiques au niveau planétaire (Athar et Ashraf, 2009).	2
2	Origine et diffusion de <i>Triticum turgidum</i> (Bonjean, 2001).	4
3	Stades repères du cycle de développement du blé (Ait Slimane et Ait Kaki 2008).	7
4	Les stress abiotiques.	9
5	Protection membranaire indispensable.	11
6	Les variétés de blé dur utilisées.	20
7	Plan expérimental.	21
8	Dispositif expérimental.	22
9	Dispositif expérimental : les blocs (R1 ; R2 ; R3).	23
10	Les quartes variétés de blé dur au stade début de tallage.	28
11	Variation de la hauteur des variétés témoins et stressées.	29
12	Variation de la surface foliaire des variétés témoins et stressées.	30
13	Variation du poids spécifique foliaire des variétés témoins et stressées.	31
14	Variation de biomasse aérienne des variétés témoins et stressées.	32
15	Variation de la longueur de l'axe racinaire principal des variétés témoins et stressées.	33
16	Variation du volume racinaire des variétés témoins et stressées.	34
17	Variation de matière sèche racinaire des variétés témoins et stressées.	35
18	Variation du taux de chlorophylle totale des variétés témoins et stressées.	36
19	Variation de la teneur en proline des variétés témoins et stressées.	37
20	Variation de la teneur en protéines des variétés témoins et stressées.	38

Résumé

Le blé dur est considéré comme une culture stratégique en Algérie mais se trouve confrontée à une multitude de stress abiotiques dont le stress froid.

La compréhension des mécanismes de tolérance au stress chez le blé, demeure primordiale afin de pallier aux effets néfastes du stress. Les stratégies adaptatives mises en place par cette céréale induisent des modifications dans les programmes de gènes conduisant à la synthèse de protéines dite protéines de stress et d'osmoprotecteurs. C'est pourquoi on a entrepris une étude de comportements de quatre variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf) qui sont Waha et Bousselem, Marton dur et Ofonto et qu'on a exposé, au stade début tallage, à une température de -12°C ; avec durcissement ($+2^{\circ}\text{C}/1\text{h}$) puis -12°C et sans durcissement (-12°C).

Les résultats obtenus ont montré que le stress de froid appliqué affecte les différents paramètres étudiés chez toutes les variétés testées. Ces dernières ont montré une réponse variétale variable. Mais, elles ont adopté les mêmes stratégies pour répondre à ce stress. L'endurcissement pendant 60 minutes à 2°C confère la tolérance au gel (-12°C) aux variétés testées. Waha est la variété la plus touchée par le froid (-12°C).

Mots clés : Blé dur (*Triticum durum* Desf), tolérance, gel, durcissement.

ملخص

يعتبر القمح الصلب (*Triticum durum* Desf.) محصولاً استراتيجياً في الجزائر لكنه يواجه العديد من الضغوط غير الحيوية بما في ذلك الإجهاد البارد.

يبقى فهم آليات تحمل الإجهاد في القمح أمراً ضرورياً للتخفيف من الآثار الضارة للإجهاد، فالاستراتيجيات التكيفية التي وضعتها هذه الحبوب تحفز تعديلات في برامج الجينات التي تؤدي إلى تخليق البروتينات المعروفة باسم بروتينات الإجهاد. وعوامل الحفاظ على النضج. ولذلك قمنا بإجراء دراسة السلوك لأربعة أصناف من القمح الصلب (*Triticum durum* Desf) الواحة، بوسلام، مارتون الصلب وأوفنتور. وعرضت خلال مرحلة التفريع، في درجة حرارة -12°C مع التأقلم والتكيف ($+2^{\circ}\text{C}$ / ساعة) ثم -12°C مئويّة وبدون تكيف (-12°C مئويّة).

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن الإجهاد البارد المطبق يؤثر على العوامل المختلفة التي تمت دراستها في جميع الأصناف المختبرة. كما أظهر الأخير استجابة مختلفة للأنواع. لكنهم اعتمدوا نفس الاستراتيجيات للرد على هذا الإجهاد. يعطي المعالجة لمدة 60 دقيقة عند 2°C مئويّة التكيف للتجميد (-12°C مئويّة) إلى الأصناف التي تم اختبارها. الصنف الواحة هو الأكثر تضرراً من البرد (-12°C مئويّة).

الكلمات الدالة : القمح الصلب (*Triticum durum* Desf.)، التكيف، التجميد، التصلب.

Abstract

Durum wheat is considered a strategic crop in Algeria but faces a multitude of abiotic stresses including cold stress.

The understanding of mechanisms of stress tolerance in wheat, remains primary to mitigate the harmful effects of stress. The adaptive strategies put in place by this cereal induce modifications in the gene programs leading to the synthesis of proteins called stress proteins and osmoprotectants. The variation in the behavior of four varieties of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) which are Waha, Bousselem, Marton dur and Ofonto is evaluated, at the early tillering stage, to a temperature of -12°C ; with hardening ($+2^{\circ}\text{C}/1\text{h}$) and without hardening directly exposed to -12°C .

The results obtained showed that the chilling stress applied affects the different parameters studied in all the varieties tested. The varieties showed a variable varietal response. But, they have adopted the same strategies to respond to this stress. Hardening for 60 minutes at 2°C gives to the varieties tested the tolerance to freezing (-12°C). Waha is the variety most affected by cold (-12°C).

Key words : Durum wheat (*Triticum durum* Desf), tolerance, freezing, hardening

Remerciements

Tout d'abord nous remercions **DIEU** notre créateur pour nous avoir la santé, la volonté, la force, le courage et les moyens d'accomplir ce modeste travail.

اللهم لك الحمد كما ينبغي لجلال وجهك وعظيم سلطانك

En suite nous tenons mes profonds remerciements à mon adorable et aimable directrice de ce travail Mme **DEHBI Faouzia** qui nous a honoré par son encadrement, sa patience, ses précieuses orientations et surtout sa disponibilité tout au long de l'élaboration de ce travail.

Nous remercions aussi les membres du jury : Monsieur **ADLI B.**, monsieur **BOUGOUTAIA** et Mme **TOUIL S.** qui ont accepté d'examiner, d'évaluer notre travail et de l'enrichir par leurs expériences scientifiques.

En fin un grand merci à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Merci à tous et à toutes



Dédicace



*Je dédie ce modeste
Travail à mon très cher Père
Mhammed à ma très chère mère
khadra À mes aimables frères Toufik
et Djamel et soeurs Wafa et Amel et "Souad
avec mari Djaloul et ses petits anges Wassim
et Mohamed Amine "*

*À mes chères amies FAKROUN Zohra et Nadjet,
Gourari Hadjer et Dahmni Amina*

Labgaa Nadjat

Introduction

Les céréales constituent une part importante des ressources alimentaires de l'homme et de l'animal (Karakas et *al.*, 2011) d'où leur importance économique (Bouzerzour et *al.*, 2000).

En Algérie, les céréales et particulièrement le blé, sont les cultures prédominantes et nécessitent une amélioration pour satisfaire une demande sans cesse croissante (Attab et Brinis, 2012.).

Selon les statistiques du Conseil International des Céréales, la production de blé en Algérie est inférieure à la consommation (Anonyme, 2016). Cette faiblesse de la production de blé en Algérie est souvent liée à des conditions environnementales défavorables qu'on peut dénommer « stress » (Chaise et *al.*, 2005).

Les stress abiotiques (températures extrêmes, salinité, sécheresse) ont un impact négatif sur la croissance et le développement végétal (Ouellet, 1996), et l'altération de sa qualité et constituent un défi agronomique majeur (Ashraf et Foolad, 2007).

La sécheresse, le pH, la salinité, le déséquilibre des nutriments (toxicité et déficience minérale) et les températures extrêmes constituent, souvent, les principales contraintes environnementales affectant la production agricole (Ashraf et Foolad, 2007).

Le stress abiotique est donc considéré comme le principal responsable des pertes associées aux cultures ; la sécheresse et la salinité sont responsables de 17 et 20% de pertes, respectivement, alors que la température élevée ou basse est responsable de 40 et 15% de pertes respectivement, 8% de pertes sont liées à d'autres facteurs (Athar et Ashraf, 2009) (figure 1).

Ouellet (1996) rapporte que la température et la disponibilité de l'eau sont les facteurs les plus importants du milieu naturel qui affectent la croissance et le développement des plantes. Des dommages importants affectant la végétation peuvent survenir suite à un stress de température, qui peut être causé par des températures inférieures ou supérieures à la température optimale de croissance. D'après Ouellet (1996), la plupart des espèces végétales d'importance économique sont sensibles à des températures avoisinant les 5 à 10°C. Par conséquent, des pertes agricoles importantes surviennent lors des chutes de température imprévisibles à l'automne ou lors de gels trop sévères en hiver.

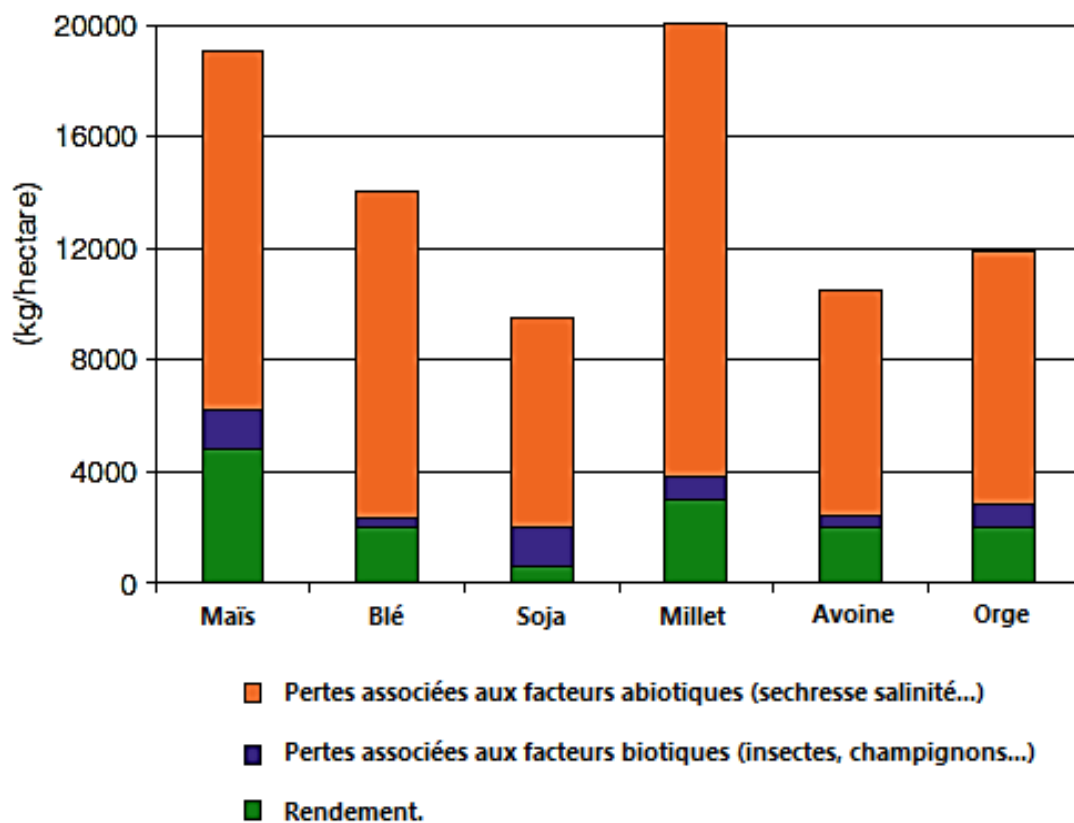


Figure 1 : pertes agricoles dues aux facteurs biotiques et abiotiques au niveau planétaire

(Athar et Ashraf, 2009)

Les températures extrêmes, la sécheresse et la salinisation des sols ont en commun d'affecter l'homéostasie hydrique et osmotique et constituent à l'heure actuelle les principaux facteurs de limitation de la productivité végétale (Lugan, 2008).

Une meilleure compréhension des mécanismes physiologiques impliqués dans la résistance à ces stress est de ce fait indispensable en vue de la sélection de cultivars résistants chez cette espèce. (*Triticum durum*), (Nachit *et al.*, 1998).

BenbelKacem (2009) rapporte que l'obtention de cultivars à hauts rendements et stables dans le temps, ayant de bons niveaux de résistance aux stress abiotique et biotiques et une bonne qualité technologique, est recherchée.

L'objectif de cette présente contribution consiste à analyser le comportement de quelques variétés de blé dur (*T. durum* Desf.) soumises à un stress abiotique thermique.

Le travail s'appuie sur une étude comparative de quelques mécanismes de la réponse de tolérance à ces stress. Différents paramètres, entre autre, matière sèche aérienne et racinaire, surface foliaire, teneur relatif en eau, intégrité cellulaire, concentrations en proline et en protéines totales ont été évalués après un stress induit par basses températures gélives.

Ce mémoire est structuré comme suit :

- Chapitre I comporte une revue de littérature
- Chapitre II résume les méthodes d'analyse utilisées et les mesures réalisées
- Chapitre III on exploite les résultats et leurs discussions.
- Et finalement une conclusion et perspectives

Chapitre I : Synthèse Bibliographique

1-Etat des connaissances

1.1-Origine génétique et géographique du blé dur (*Triticum durum*, Desf)

Le blé dur (*Triticum durum*,) est une plante monocotylédone de la famille des graminées. C'est une espèce de constitution génomique tétraploïde ($2n=28= AABB$). Cette plante est cultivée pour son intérêt alimentaire. Elle est appelée *Triticum durum* en raison de la dureté de son grain. Elle tire son origine, selon Konarev et Konarev (1993) du croisement entre les espèces sauvages diploïdes, ayant une garniture chromosomique $2n = 14$, *Triticum urartu* ou *Triticum boeoticum* porteurs du génome A^u et A^B et *Aegilops longissima* ou *Aegilops speltoides* porteurs du génome B^L et B^S .

L'aire de distribution de cette espèce est le sud ouest de l'Asie et les Balkans. Sa domestication, suite aux découvertes archéologiques, remonterait au VII^e millénaire avant JC. Il était cultivé comme mélange avec l'orge et l'engrain dans l'ancienne Egypte (Harlan, 1975). La culture du blé dur est actuellement concentrée dans les pays du bassin méditerranéen, les Dakotas des Etats-Unis, le Canada, et l'Argentine.

Bonjean et Picard, 1990, affirment que le monde Romain a largement contribué à la diffusion des céréales du bassin méditerranéen vers l'Europe centrale et l'Europe de l'Ouest (Figure 2)

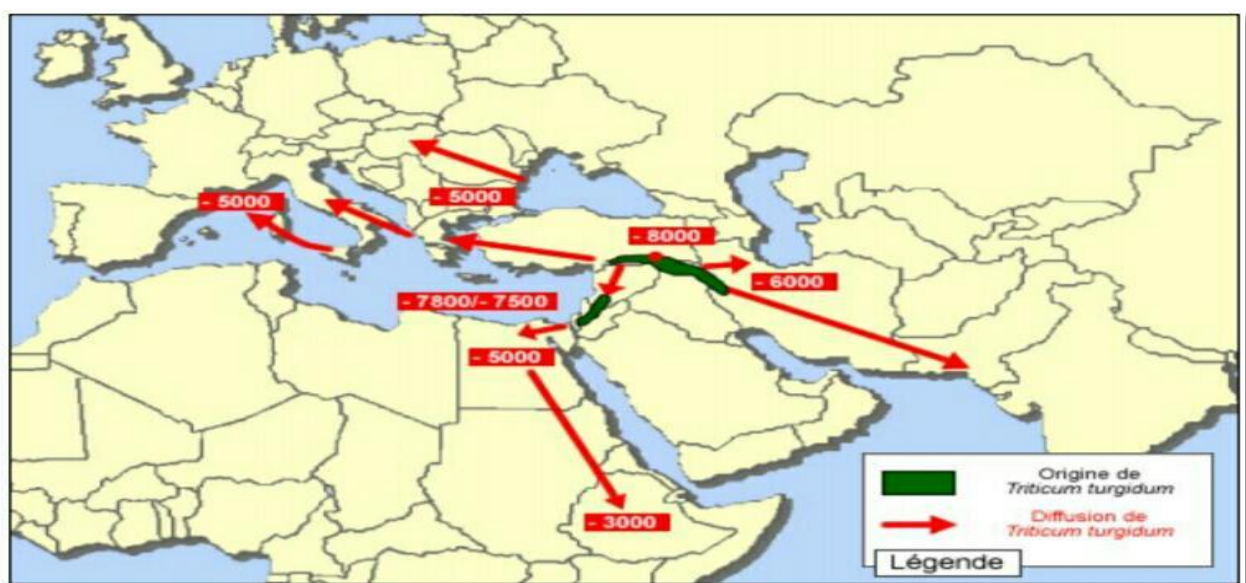


Figure 2 : Origine et diffusion de *Triticum turgidum* (Bonjean, 2001)

2-Importance et production du blé dur (*Triticum durum* Desf.)

A .Dans le monde

Le blé occupe la première place pour la production mondiale et la deuxième après le riz, comme source de nourriture pour les populations humaines, il assure 15% de ses besoins énergétiques (Bajji, 1999). Il représente 30% de la production mondiale des céréales et 20% de la ration alimentaire consommée par la population mondiale. La production mondiale de blé fut en croissance constante durant les cinquante dernières années et s'élève pour la campagne 2011-2012 à 691,5 millions de tonnes (Terrones et Burny, 2012).

B .En Algérie

En Algérie, le blé dur, est la première céréale cultivée dans le pays. Elle occupe annuellement une superficie d'environ 3,4 millions ha (Anonyme C, 2013), concentrée essentiellement dans la région des Hauts Plateaux dont on peut citer Oum Et. Bouaghi, Tiaret, Sétif. Souk Ahras, Tébessa, Constantine, Sidi Bel Abbes et Saida (Fritas S. 2012). Les besoins de l'Algérie en céréales sont estimés à environ 8 millions de tonnes par an (Anonyme D, 2013). L'Algérie est l'un des premiers importateurs de blé au monde, notamment le blé tendre, la demande locale reste importante (Anonyme D, 2013). La consommation Algérienne consacre une part importante de leur budget à l'alimentation 42% en moyenne en 2011. Les importations Algériennes de blé ont atteint 543,96 millions de dollars durant le premier trimestre 2014 (Anonyme E, 2014).

2.2-Le cycle de développement de blé dur (*Triticum durum* .)

Le cycle de développement de blé dur comporte les stades suivants :

2.2.1-La germination et la levée

La germination de la graine se caractérise par l'émergence du coléorhize donnant naissance à des racines séminales et du coléoptile qui protège la sortie de la première feuille fonctionnelle (Rorat, 2006). La levée est définie par l'apparition de la première feuille. Au sein d'un peuplement, la levée est atteinte lorsque la majorité des lignes de semis sont visibles (Gate, 1995).

En effet, les plus grosses graines lèvent les premières et donnent des plantules plus vigoureuses (Masle-Meynard, 1980). De plus la composition des réserves (teneur en

protéines) agit favorablement sur la vitesse de la germination-levée (Evans et Rawson, 1975) (figure 3)

2.2.2-Le tallage

La production de talles commence à l'issue du développement de la troisième feuille (Moule, 1971). La fin du tallage représente la fin de la période végétative, elle marque le début de la phase reproductive, conditionnée par la photopériode et la vernalisation qui autorisent l'élongation des entre-nœuds (Gate, 1995). (Figure 3)

2.2.3-La montaison-gonflement

La montaison débute à la fin du tallage, elle est caractérisée par l'allongement des entre-nœuds et la différenciation des pièces florales. A cette phase, un certain nombre de talles herbacées commence à régresser alors que, d'autres se trouvent couronnées par des épis (Clement-Grancourt et Prats, 1971). (Figure 3)

2.2.4-L'épiaison –floraison

Cette période commence dès que l'épi apparaît hors de sa gaine foliaire et se termine quand l'épi est complètement libéré (Bahlouli et *al.*, 2005). Cette phase est atteinte quand 50 % des épis sont à moitié sortis de la gaine de la dernière feuille (Gate, 1995). Une fois fécondée, l'ovaire grossit rapidement. Au bout de deux semaines après la fécondation, l'embryon est physiologiquement fonctionnel et peut produire une nouvelle plantule (Bozzini, 1988) (Figure 3).

2.2.5-Le remplissage et la maturation du grain

C'est la dernière phase du cycle végétatif et correspond à l'élaboration de la dernière composante constitutive du rendement qui est le poids du grain, suite à la migration des substances glucidiques produites par la feuille étendard et stockées dans le pédoncule de l'épi (Gate, 2003). Elle exige la chaleur et un temps sec, elle se fera sitôt en plusieurs étapes, la maturité laiteuse (le grain contient encore 50% d'humidité, Seulement 10% à 15% de l'amidon du grain peut provenir de réserves antérieures à la floraison (Boulelouah, 2002) (Figure 3).



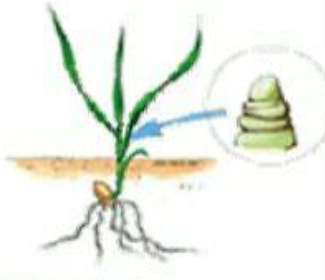









			
<p>1- La germination</p>	<p>2- La levée</p>	<p>3- Trois feuilles</p>	<p>4- Début tallage</p>
			
<p>5- Épi à 1 cm</p>	<p>6- Un nœud</p>	<p>7- Méiose pollinique</p>	<p>8- L'épiaison</p>
			
<p>9- La floraison</p>	<p>10- Bâillement</p>	<p>11- Grain formé</p>	<p>12- Épi à maturité</p>

Figure 3: Stades repères du cycle de développement du blé (Ait Slimane et Ait Kaki 2008)

3-Les stress abiotiques et leurs effets sur les plantes végétaux

3.1-Notion de stress

Le stress est l'ensemble des conditions qui provoquent des changements des processus physiologiques résultant éventuellement en dégâts, dommage blessures, inhibition de la croissance ou de développement (Hopkins, 2003).

Selon Laval-martin et Mazliak (1995) le stress est toute pression dominante exercée par un paramètre de l'environnement perturbant le fonctionnement habituel de la plante et tout facteur qui limite la production de la matière sèche au dessous de son potentiel génétique. Le stress perturbe les structures normales et la coordination des processus variés au niveau moléculaire, cellulaire, et de l'organisme entier (Larcher, 2001).

3.2-Stress abiotiques

Les facteurs abiotiques sont ceux liés à l'action du non-vivant sur le vivant. Ils sont dûs principalement à des facteurs environnementaux (Lezzar et Meziani, 2015)

D'après Laval-martin et Mazliak, (1995) ces contraintes abiotiques peuvent être dues à des conditions météorologiques défavorables (froid, chaleur excessive, sécheresse) ou à des compositions adverses du sol (salinité)

Les stress abiotiques sont généralement dus à la salinité (Luhua et al.,2008), la sécheresse (Giraud et al.,2008), les hautes ou les basses températures (Larkindale et Vierling,2007; Juan et al.,2008), la lumière (Giraud et al.,2008), l'excès ou le déficit en éléments (Zsigmond et al.,2008), les métaux lourds (Klein et al.,2008), les polluants (Chen et al.,2007) indépendamment ou en combinaison (figure 4)..

Les stress abiotiques peuvent imposer aux plantes des modifications métaboliques, physiologiques et phénologiques.(shilpi et Narendra, 2005 ; Less et Galili,2008). Et peuvent même entraîner la mort des plantes (Guo et David ho, 2008).

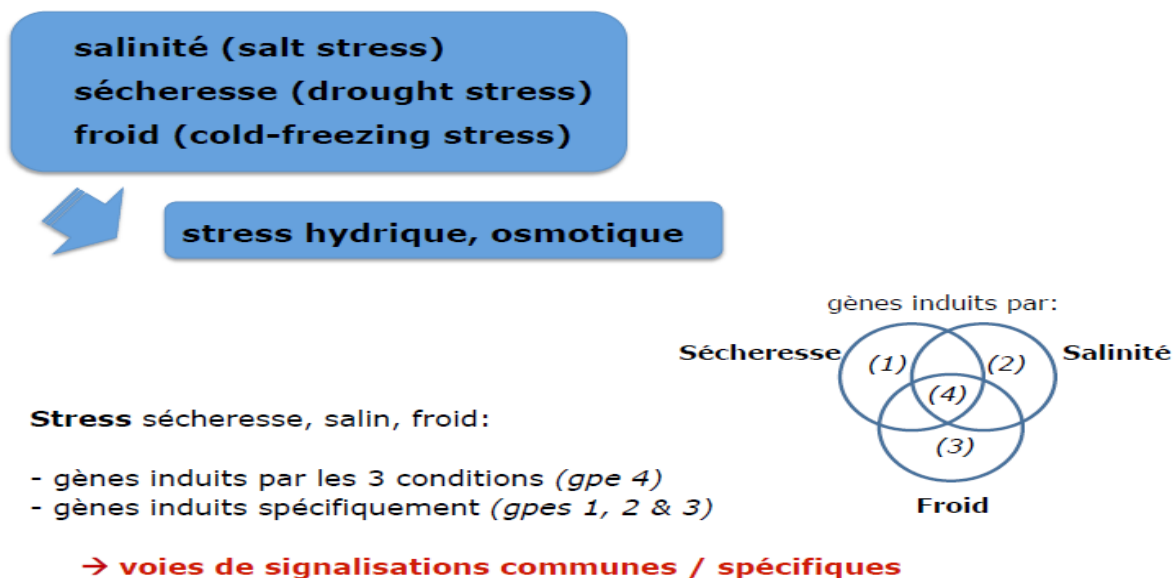


Figure 4 : Les stress abiotiques

3.2.1-Stress thermique

Le stress thermique est souvent défini quand les températures sont assez hautes ou basses pendant un temps suffisant pour qu'elles endommagent irréversiblement la fonction ou le développement des plantes (Oukarroum, 2007). L'effet des hautes températures peut modifier, non seulement le poids final de grain, mais aussi le nombre de grains par épi et par unité de surface (Wardlaw et *al.*, 1989 ; Calderini et *al.*, 1999). Les hautes températures sont particulièrement néfastes, parce qu'elles affectent indirectement les rendements et directement les processus physiologiques notamment le statut hydrique de la plante (Paulsen, 1994).

Le froid hivernal limite la croissance au moment où l'eau est disponible et allonge le cycle de la plante pour l'exposer à la sécheresse du début de l'été (Chenafi et *al.*, 2006).

3.2.2-Stress hydrique

Le stress hydrique est l'un des stress environnementaux les plus importants, affectant la productivité agricole autour du monde (Boyer, 1982). Il occupe et continuera d'occuper une très grande place dans les chroniques agro-économiques. C'est un problème sérieux dans beaucoup d'environnements arides et semi-arides, où les précipitations changent de déficit hydrique (Boyer, 1982). Il se traduit chez la plante par une série de modifications qui

touchent les caractères morpho-physiologiques, biochimiques, génétiques et même les niveaux d'expression des gènes associés à la sécheresse (Mefti et al., 2000).

3.2.3-Stresse salin

Le stress salin est une brusque augmentation de la concentration en sels qui conduit d'un part, un afflux plus élevé d'ions dans la cellule suite à la chute de la concentration du milieu externe, d'autre part, à une perte d'eau par voie osmotique. Une abondance de sels dissous s'observe bien sur en milieu marin, mais aussi dans beaucoup de milieux terrestres (Ben hebireche et Djafour, 2011). de ce fait, ainsi la salinité constitue un problème majeur des régions arides et semi- arides dans le monde où les précipitations sont insuffisantes pour lessivier les sels de la rhizosphère (François et Maas,1994). Les sols salins sont définis par Ponnampertuma (1984) comme ceux qui contiennent suffisamment de sels dans la zone racinaire des plantes dont leur croissance est altérée.

4-Mécanismes d'adaptation du blé au froid

Stress induit par le froid, le gel sur les plantes

En hiver, les plantes subissent un effet prolongé des basses températures (Chilling : températures positives et inférieures à cinq degrés) et plus transitoirement, un effet du gel (freezing : températures négatives) (Charrier, 2011). En réalité, ce que l'on définit comme stress dû au gel est une contrainte supplémentaire due à la formation de glace engendrée par le stress des basses températures. Lorsqu'il y a gel, au stress strictement thermique s'ajoute d'autres stress secondaires tels que stress osmotique, hydrique, mécanique. (Figure 5)

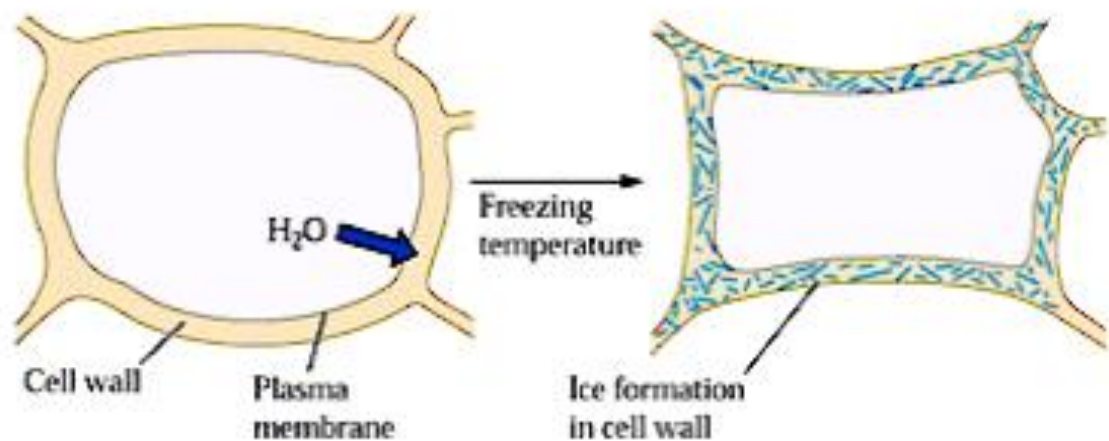


Figure 5: Protection membranaire indispensable

4.1-Effet des basses températures

La distribution géographique des espèces végétales dépend de façon directe de la variabilité de la température, observée entre autres au niveau de la latitude et de l'altitude terrestres (Ouellet, 1996). Ce même auteur écrit que la plupart des espèces végétales d'importance économique sont sensibles à des températures avoisinant les 5 à 10°C. Par conséquent, des pertes agricoles importantes surviennent lors des chutes de température imprévisibles à l'automne ou lors de gels trop sévères en hiver.

Le gel peut engendrer des effets sur les plantes à des échelles moléculaires, cellulaire, de la plante et de l'espèce (Ouellet, 1996).

Les blessures infligées par le gel sur les plantes peuvent être directes ou indirectes et la mort cellulaire n'est pas le résultat d'un seul mécanisme mais de la conjonction de plusieurs effets tels que les contraintes osmotique et mécanique (Steponkus, 1981). Les blessures directes engendrées par le gel ont lieu si la glace se forme à l'intérieur des cellules et aura notamment pour résultat de déstabiliser les membranes (membrane plasmique de la cellule et des organites), en influençant leur perméabilité et leur continuité (Ziegler et Kandler, 1980) (Figure 4). Mais d'autres stress sont créés si la glace est formée au niveau extracellulaire. La présence de glace peut interrompre les transferts d'eau ou d'oxygène (Pearce, 2001; Sakai et Larcher, 1987), via une déshydratation poussée, engendrer une contraction et une rupture de la membrane ou des stress mécaniques (Ruelland et *al.*, 2009).

4.1.1-Perturbations métaboliques

Le profil biochimique d'une plante soumise au stress thermique sera différent de celui d'une même plante n'ayant pas subi le stress (Bourdu, 1984). La température exerce une influence sur la vitesse des réactions chimiques (Côme et *al.*, 1992). Chez les plantes sensibles, un effet seuil existe, en deçà duquel, la constante catalytique chute rapidement. Ce seuil est différent selon les enzymes et espèces mais se situe généralement dans une gamme de températures comprises entre 5 et 12°C (Lyons et Raison, 1970).

La vie d'une cellule ou d'un organisme pluricellulaire repose sur une somme de processus métaboliques faisant intervenir des réactions chimiques et des échanges entre différents compartiments cellulaires ou tissulaires, ou entre organes. (Lance et Moreau in Côme., 1992).

Les basses températures engendrent également un déséquilibre au niveau de la photosynthèse (Ensminger et *al.*, 2006 ; Huner et *al.*, 1993). On observe un appauvrissement en phosphate inorganique qui n'est plus recyclé vers le chloroplaste (Furbank et *al.*, 1987; Hurry et *al.*, 1993, 2000). L'augmentation de la viscosité membranaire diminue la diffusion de la plastoquinone et la chaîne de transport d'électrons est ralentie (Griffith et *al.*, 1984a ; 1984b). Les réserves carbonées vont de ce fait progressivement diminuer car la perte engendrée par l'activité respiratoire ne sera plus compensée par la photosynthèse.

Pastore et *al.* (2007) ont montré que les basses températures pouvaient également engendrer la dénaturation de la structure quaternaire des protéines ou des complexes protéiques. Les ARN sont également influencés, et diminuer la traduction de différentes protéines (Ruelland et *al.*, 2009).

Entre 0 et -20°C l'abaissement de la température provoque une diminution régulière de l'intensité respiratoire (Aussenac., 1973).

4.1.2-Impact sur les membranes

Les températures froides augmentent la force des liaisons hydrogène inter et intra moléculaires et diminuent les liaisons hydrophiles. Conséquences: un durcissement et un état très rigoureusement ordonné des chaînes lipidiques et, physiquement, une structure de gel (Gallais, 1984). Une modification de la membrane passant d'un état fluide à un état de gel

provoque la rupture de l'intégrité des canaux membranaires, est donc, la décompartmentation et la fuite de solutés (Hopkins, 2003).

De plus l'assemblage des protéines qui constituent les systèmes respiratoires, les photosystèmes et les autres systèmes métaboliques localisés dans les membranes est déstructuré. Des perturbations dans le rendement en ATP n'apparaissent que lorsque les tissus sont exposés à des températures trop basses, provoquant des désorganisations des systèmes membranaires (Côme, 1992).

4.1.3-Echelle macroscopique

L'effet du gel se traduit à l'échelle macroscopique par l'intermédiaire des différents effets. Décoloration, blanchiment, pourrissement des tissus, gélivure, malformations ou hétérochronisme sont autant de symptômes (Sakai et Larcher, 1987).

4.2-Effet du gel

L'initiation de la congélation peut se localiser à la surface des tissus (à cause d'une humidité importante) chez la majorité des herbacées (Fuller et Wisniewski, 1998), par la neige (Pearce, 2004). Les bactéries actives pour la nucléation de la glace sont des agents particulièrement importants dans l'initiation de cristaux de glace (Gurian-Sherman et Lindow, 1993; Wolber, 1993). Elles peuvent induire la formation de cristaux de glace à partir de -2°C, mais ne sont souvent pas assez abondantes pour être biologiquement significatives (Lindow, 1990 ; Pearce et Ashworth, 1992). Ces bactéries ont adopté une stratégie pathogène visant à générer la formation de glace au sein des espaces intercellulaire afin d'augmenter les dommages dus au gel au sein des tissus (Nejad et al., 2004).

4.2.1-Congélation intracellulaire

La congélation intracellulaire constitue une blessure directe engendrée par le gel ; alors que la congélation extracellulaire n'engendre que des dommages indirects provoqués essentiellement par la déshydratation poussée des protoplastes. La congélation intracellulaire provoque toujours la mort cellulaire (Mazur, 1963 ; Wolfe & Bryant, 2001).

En fait, la congélation intracellulaire est générée lorsque la cellule n'est pas capable de maintenir l'équilibre avec l'extérieur. Par exemple, lors de congélation rapide, la formation de glace et donc la concentration en solutés extracellulaires se produisent plus rapidement que la capacité de réponse de la cellule par exosmose (phénomène de flux d'eau s'établissant de l'intérieur de la cellule vers l'extérieur visant à rééquilibrer les potentiels osmotiques du cytosol et de l'eau apoplasmique).

Les conditions exactes de la congélation intracellulaire ne sont pas encore totalement expliquées car la membrane constitue théoriquement une barrière efficace à la croissance de la glace (Mazur, 1965).

Néanmoins, la pression engendrée par l'augmentation de volume due à la glace formée provoque une rupture mécanique des tissus.

5-Mécanismes d'adaptation aux basses températures

5.1-Mécanismes de résistance

Pour se protéger des basses températures, les plantes ont développé deux principaux moyens de lutte : l'absence de cristallisation et la tolérance à la formation de la glace. Par le premier, la plante évite la formation de la glace interne. La tolérance à la formation de la glace est le mode de résistance au gel le plus répandu chez les végétaux. Il nécessite une adaptation particulière qui se développe uniquement pendant la période hivernale.

5.1.1-Evitement du stress thermique

5.1.1.1- Par évitement de l'alea (production ou conservation de chaleur)

Les plantes sont des organismes poïkilothermes, de la même température que leur environnement ; elles n'ont donc pas la possibilité d'éviter le stress dû aux basses températures. Certaines stratégies ont tout de même été développées par un métabolisme respiratoire fortement exothermique parviennent à élever leur température jusqu'à 15 à 30°C au dessus de la température ambiante même pour une température de l'air inférieure à -10°C (Knutson, 1974). Les métabolismes respiratoires résistant aux cyanides (Meeuse 1975; Lambers, 1982) et une forte activité catalytique de la PEP carboxylase (Rees et al, 1981) sont responsables de cette production de chaleur (Levitt, 1980).

Un autre évitement du stress dû aux basses températures consiste en une atténuation du refroidissement radiatif par isolation thermique des organes sensibles. Par exemple, les mouvements nyctinastiques des feuilles et des pétales permettent de minimiser la perte de chaleur au niveau des organes protégés (Levitt, 1980).

5.1.1.2- Par évitement de l'exposition (phénologie)

Pour éviter l'exposition aux températures froides, la phénologie synchronisée avec les périodes critiques d'exposition au gel permet de protéger les stades ontogénétiques sensibles. Ainsi, le risque est diminué pour les plantes plus tardives même si elles sont moins résistantes au même stade phénologique (Till, 1956).

On considère deux périodes critiques concernant l'impact du gel sur la survie des plantes, l'automne lorsque l'organisme n'est pas encore totalement endurci et le printemps alors qu'il n'est plus acclimaté. Durant leur période de croissance, en général, les plantes ne sont pas ou peu résistantes au gel car les conditions environnementales sont favorables (Fitter et Hay, 1987)

5.2- Resistance aux basses températures

Les dégâts de gel tardif sont très fréquents sur céréales, rendant l'adoption des variétés précoces trop risquée (Bouzerzour et Benmahammed, 1994). L'adoption de la stratégie de l'esquive comme moyen pour échapper au stress thermique de fin de cycle, est peu opérante dans le cas où les génotypes précoces sélectionnés ne sont pas génétiquement résistant au froid (Mekhlouf et *al.*, 2006).

Le déterminisme de la protection assurée par les produits synthétisés sous l'effet du froid est loin d'être compris. La différence de concentration en solutés entre l'eau extra et intracellulaire pourrait s'accroître ce qui favoriserait une congélation extracellulaire avec l'induction d'une sécheresse cellulaire qui lui est liée (Cornic, 2007).

L'abaissement brutal de la température, en dessous de 0°C, provoque de nombreuses perturbations au sein du végétal. Lorsque la température chute fortement, des cristaux de glace se forment dans les espaces intercellulaires déshydratant les cellules dont l'eau est appelée vers ces espaces. La membrane plasmique perd sa perméabilité spécifique et il y a

perturbation du fonctionnement cellulaire (Levitt, 1982). Les basses températures réduisent la croissance durant l'hiver alors que les plantes peuvent utiliser plus efficacement l'eau stockée dans le sol suite à la faible demande climatique qui caractérise cette période.

5.2.1-Evitement de la contrainte due au froid

A/ adaptations contre le froid

Dans les régions tempérées, la mauvaise saison correspond à l'hiver, saison caractérisée par une baisse des températures, une diminution de la photopériode et une diminution de l'accessibilité de l'eau si elle est gelée (Charrier, 2011).

- ❖ Les cellules végétales sont capables de s'acclimater au froid : elles produisent des protéines limitant les effets du froid et du gel. Cette production est possible lorsque les plantes subissent une diminution progressive de température.
- ❖ Les plantes herbacées présentent des formes d'évitement des conditions défavorables (tubercules, graines, rhizomes ...).

L'acclimatation (endurcissement) au froid est assurée par l'exposition des plantes pendant une certaine durée de temps à de basses températures non gélives (Thomashow, 1999). Dans les conditions en champs, ce phénomène a naturellement lieu en automne lorsque les températures commencent à baisser autour de 10 °C (Fellah et al, 2002).

Ceci permet aux plantes d'adapter progressivement leur métabolisme au froid de l'hiver et de tolérer le gel (Thomashow, 1999). Toutefois les plantes ne répondent pas toutes de la même façon aux basses températures Sharma et al. (2005) les ont subdivisé en trois catégories les plantes sensibles au froid endommagées par des températures inférieure à 10 C°, les plantes sensibles au gel et enfin les plantes tolérantes au gel. La majorité des plantes dont les céréales d'hiver (blé, orge, seigle) sont capable de tolérer les basses températures et le gel (Thomashow, 1999).

Ainsi l'acclimatation appelée aussi endurcissement au froid conduit à un ensemble de modification biochimique et moléculaires qui permet le fonctionnement normales des cellules sans dommage physiologique (Thomashow, 1999).

5.3-Resistance aux températures gélives

Les basses températures négatives comptent parmi les paramètres les plus importants limitant l'extension des plantes vers certaines régions défavorisées. Pour remédier à cette contrainte thermique, les plantes ont développé des mécanismes physiologiques leur permettant de résister au froid et de « s'endurcir » aux basses températures.

5.3.1-Evitement de la formation de glace

Chez les végétaux, l'augmentation des concentrations en solutés exerce un effet protecteur par l'intermédiaire de trois mécanismes différents (Cavender-Barès, 2005) :

Effet osmotique : l'augmentation du contenu en solutés diminue la température de congélation et limite la déshydratation engendrée par la glace,

Effet métabolique : ces solutés sont potentiellement une source de substrats pour différentes voies métaboliques dans des conditions où la photosynthèse est fortement réduite.

Effet cryoprotectant stricto sensu : protection des cellules, organites, membranes et macromolécules par maintien ou remplacement de la couche de solvation (Heber et al., 1979; Krause et al., 1982 ; Santarius, 1982). Ceci semble être engendré par des composés variés : sucres solubles, acides organiques, aminés, lipides ou protéines (Sauter et van Cleve, 1991 ; Sauter et Wellenkamp, 1998 ; Hoch et al., 2002)

5.3.2-Tolérance à la glace

La réponse des plantes aux basses températures dépend des caractéristiques du stress et de la plante. Le nombre d'exposition ainsi que par son association à d'autres stress. Les espèces sont divisées en trois catégories selon leur tolérance au gel (Pearce, 1999 in Touchard, 2006):

- ❖ Les plantes **tolérantes au gel** qui sont capables de s'acclimater pour survivre à des températures inférieures à 0°C.
- ❖ Les plantes **tolérantes au froid mais sensibles au gel** qui sont capable de s'acclimater à des températures inférieures à 12°C mais ne survivent pas au gel :

- ❖ Les plantes *sensibles au froid* pour lesquelles des températures inférieures à 12°C entraînent des dommages.

5.4-L'Endurcissement (acclimatation) au froid

L'acclimatation au froid est le processus par lequel les plantes tolérantes acquièrent une tolérance au gel leur permettant de survivre aux conditions rigoureuses de l'hiver. C'est un caractère multi génique complexe qui implique un processus intégré et programmé génétiquement (Guy, 1990; Thomashow, 1990). Selon Deswarte (2018), l'endurcissement détermine la tolérance au gel des céréales.

Ouellet (1996) écrit qu'une plante doit posséder les mécanismes nécessaires à la mise en place des modifications physiologiques, biochimiques et moléculaires permettant l'adaptation requise pour contrer le stress.

L'endurcissement au froid est sous contrôle d'un système génétique très complexe. C'est un processus physiologique long et progressif (Deswarte, 2018). Pour les plantes ligneuses, cet endurcissement commence en automne avec l'entrée en dormance des bourgeons. Chez quelques espèces, comme le blé, que seules les plantes qui se sont développées au froid sont plus tolérantes (Cornic, 2007). Pendant la levée, le seuil de résistance au froid des céréales ne dépasse pas - 8°C dans le meilleur des cas (avec des différences entre espèces notables). A partir du début du tallage (stades 3 à 4 feuilles), la résistance peut être très élevée si les conditions d'endurcissement ont été remplies (Deswarte, 2018).

Quand les plantes ne sont pas endurcies, ce auteur considère que le seuil de température minimale à partir duquel des dégâts peuvent apparaître est de - 6°C, sans différence variétale notable. L'endurcissement est donc essentiel pour que la résistance au froid s'exprime.

L'endurcissement est aussi sous le contrôle de facteurs externes (température et lumière) et internes qui résultent de rythmes caractéristiques du développement. Des fluctuations fortes de températures s'accompagnent donc d'une diminution progressive, plus ou moins marquée selon les variétés, de l'aptitude à exprimer un haut degré de résistance au

froid. La résistance maximale au froid est une caractéristique variétale, qui peut être modulée en fonction des conditions d'apparition du froid.

Les variétés qui s'endurcissent vite peuvent exprimer leur résistance maximale (Deswarte, 2018).

Chapitre II : Matériel et Méthodes

1-Objectif de l'essai

Le présent travail a porté sur quatre variétés de blé dur (*Triticum durum*), et a pour objectif de caractériser les modifications morphologiques, physiologiques et biochimiques en réponse aux basses températures gélives et analyser la tolérance de ces variétés vis à vis de ce stress.

2-Matériel végétale

Le matériel génétique utilisé est constitué de 4 variétés de blé dur (*Triticum durum*) ces variétés sont Boussellam, Waha, Marton dur et Ofanto) est formé par ITGC de sétif (Figure 6).

Les variétés ont été choisies sur la base de leur diversité géographique, phénologique et morphologique. Elles représentent les variétés anciennes et celles récemment sélectionnées (tableau 1). La description de certaines de ces variétés a été rapportée par plusieurs auteurs Bouzerzour et al. (1995) ; Fellah et al (2002) ; Boufenar et Zeghouane (2006) et Mekhlouf et al(2006)

Tableau 1 : Caractéristiques des variétés de blé dur

Variétés	Origine	Caractéristiques
BOUSSELAM	ICARDA-CIMMYT	Alternativité: hiver mi –tardif bonne résistance au froid et à la sécheresse
WAHA	ICARDA, Syrie	Alternativité: hiver ; demi naine et précoce sensible aux gelées après le stade début-montaison tolérante au froid ; sensible à la sécheresse
MARTON DUR	Italie	résistante au froid
OFANTO	Italie	résistante au froid

(Boufenar et Zeghouane, 2006)



V1- *Boussellam*



V2- *Waha*

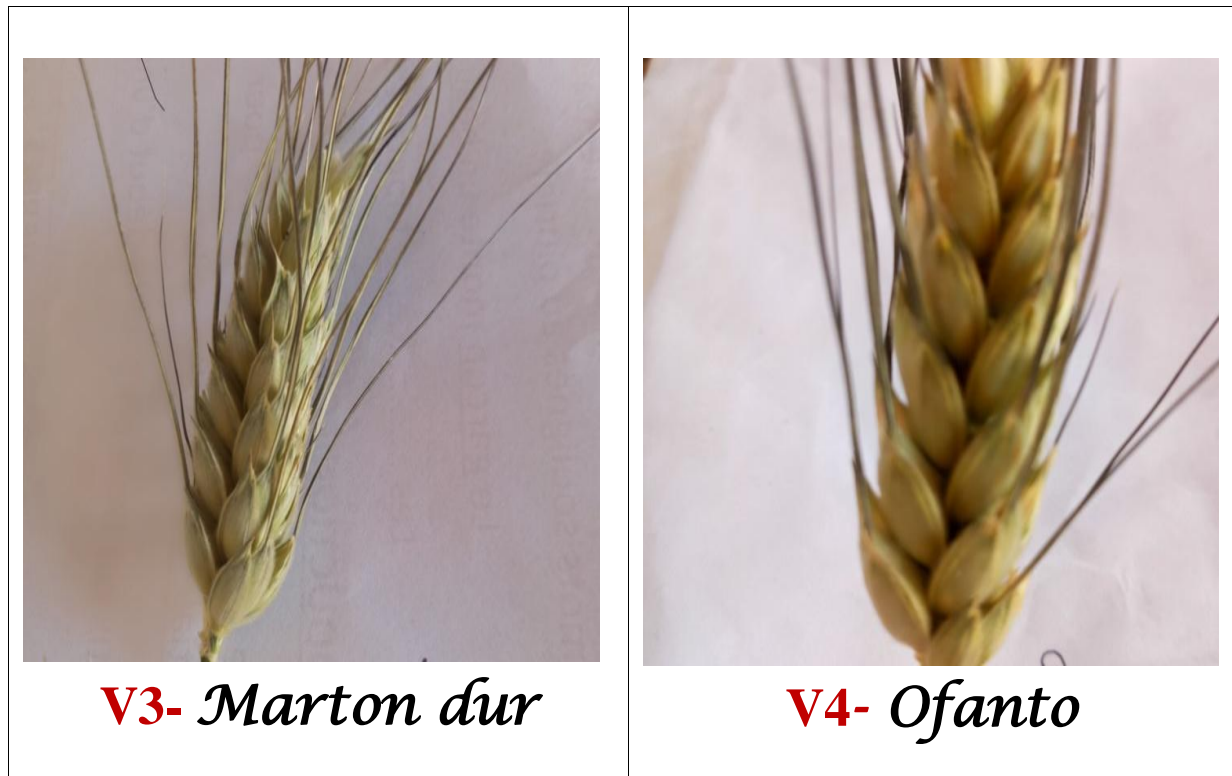


Figure 6 : Les variétés de blé dur utilisées

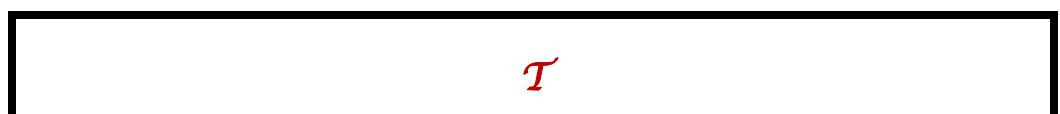
3-Conduite de l'essai

3.1-Préparation des pots

Le semis est réalisé dans des pots en plastique. Les pots sont tapissés d'une couche de gravier afin d'assurer le drainage. Ils sont remplis d'un mélange sol - sable - terreau (1/1/1),

3.2-Le semis

12 a 15 graines/ pot, de chaque variété ont été imbibées dans l'eau pendant 24 heures puis semées, l'espace entre les graines est 2 cm (figure 7, 8 et 9)



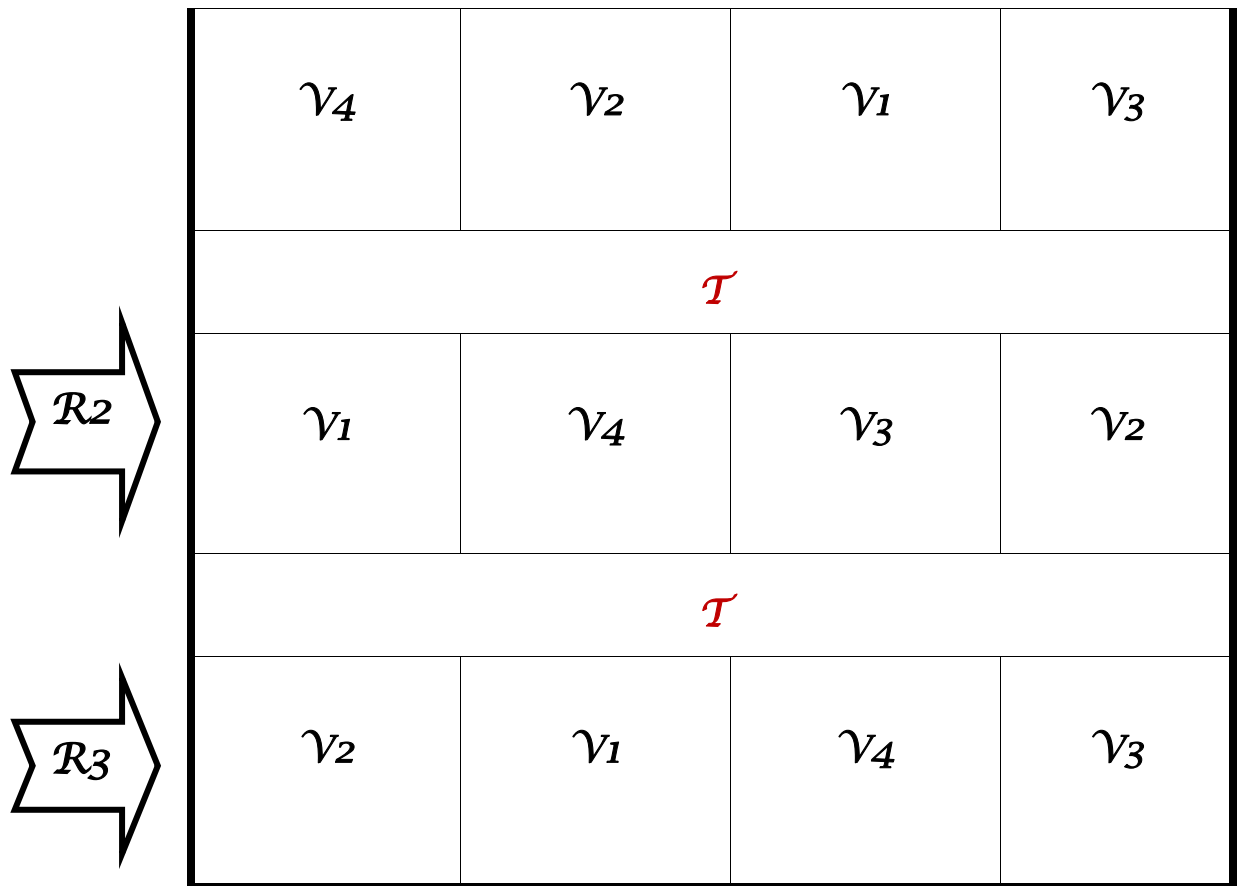


Figure7: Plan expérimental



Figure 8 : Dispositif expérimental

waha (carte Verte) ; Marton dur (Rose) ; Ofonto (orange) ; Bussellam (Rose clair)



Figure 9 : Dispositif expérimental : les blocs (R1 ; R2 ; R3)

3.3-Mise en stress froid

3.3.1- Test de la tolérance au froid

Le test de la tolérance au froid est réalisé selon la méthode décrite par Marshall et Kolb (1982). Les plantules échantillonnées aux stades tallage sont transportées au laboratoire, lavé à l'eau courante et mises dans des sacs en plastique.

Les sacs sont ensuite introduits dans une étuve réfrigérée type LMS qui est programmé pour atteindre la température d'évaluation de -12°C Une fois la température seuil est atteinte, les plantules y séjournent pendant une durée de 60 minutes. Ce sont les variétés non endurcies. Une partie des plantules sont placées à une température de 2°C pendant 60 minutes puis à -12°C pendant 60 minutes ; ce sont les variétés endurcies.

4- Méthodes, Analyses et mesures

Pour évaluer et caractériser les variétés étudiées, les notations sont faites aux stades tallage Toutes les variables sont mesurées avec 3 répétitions pour chaque variété et chaque traitement concernant les deux stress abiotiques étudiées

4.1-La capacité au champ (CC)

Les pots contenant le mélange préparé (P1) sont pesé puis irrigués jusqu'à saturation, ils sont ensuite couvert d'un plastique noir pour éviter l'évaporation de l'eau. Après 48 heures de ressuyage, les pots sont pesés de nouveau (P2). La différence entre P2 et P1 est la quantité d'eau retenue par le sol est calculée. La capacité au champ (CC) est déduite selon l'équation suivante:

$$CC \% = [(P2 - P1) / P1] \times 100$$

(PUARD *et al*, 1980)

Où : P1 : poids sec

P2 : poids à saturation

4.2- Longueur et biomasse racinaires

L'étude des racines est entamée en vue de rechercher une variabilité génétique au niveau des caractéristiques de l'enracinement des différents variétés. La terre adhérente aux racines est séparée par un jet modéré d'eau du robinet. Les racines sont ensuite lavées dans un bac avant de procéder aux mesures suivantes:

- ❖ la longueur de l'axe principal des racines mesurée en cm.
- ❖ la masse de matière sèche racinaire exprimée en gramme (g) a été déterminée après séchage à l'étuve à 85°C pendant 48 heures.
- ❖ Le volume racinaire a été déterminé selon la méthode de Musick *et al.* (1965) par comparaison des niveaux d'eau, avant et après immersion de la totalité des racines dans un volume d'eau connu. Il est mesuré en cm³,

4.3-Hauteur des plantes (cm)

La hauteur des plantes en cm est mesurée depuis le collet jusqu'au sommet de la plante.

4.4-La surface foliaire (cm²)

Les mesures sont effectuées sur la 2eme feuille après la feuille étendard. La surface foliaire (SF) est obtenue par le produit :

$$SF \text{ (cm}^2\text{)} = L \times l \times 0.75$$

(Li *et al.*, 2004)

Avec : L : longueur ; l : largeur

4.5-Le poids spécifique foliaire (g/cm²)

Le poids spécifique foliaire (PSF) est déterminé par la formule suivante:

$$PSF \text{ (mg/cm}^2\text{)} = PF/SF$$

(Qariani *et al.*, 2000)

Où PF: Poids foliaire SF: surface foliaire

4.6- La biomasse aérienne (g)

La masse de la matière sèche foliaire exprimée en gramme (g) a été déterminée après séchage à l'étuve à 85°C pendant 48 heures, des plantes découpées à la base au plateau du tallage.

4.7- Teneur en chlorophylle totale (mg/l)

La teneur en chlorophylle a été déterminée sur un prélèvement de 100 mg de matière fraîche du tiers médian de la dernière feuille bien développée. Les échantillons foliaires sont broyés dans 10 ml d'acétone à 80%. Après filtration, sur du papier Whatman N°1, l'absorbance de l'extrait est mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre, modèle Sontarys Techtron 635, aux longueurs d'ondes 663 et 645 nm, utilisant une cuvette en plastique de 1 ml de volume et de 1cm d'épaisseur. La concentration en chlorophylle totale, exprimée en mg l^{-1} , est déduite par la formule suivante, attribuée à Arnon (1949) par Richardson *et al*, (2002):

$$\text{Chlorophylle totale (mg l}^{-1}\text{)} = 20,2 A_{645} - 8,02 A_{663}$$

(Arnon, 1949)

4.8-Teneur de la proline (Extraction et dosage)

La teneur en proline (PROL) à été déterminée selon la méthode décrite par TROLL et LINDSLEY (1955) et reprise et simplifiée par DREIER et GORING (1974).

100 mg de matière fraîche de la 2eme feuille sont placés dans un tube à essai aux quels sont ajoutés 3ml de méthanol à 40%. L'ensemble est chauffé au bain marie à 85° C pendant une heure. Les tubes à essai sont recouverts avec du papier aluminium pour minimiser les pertes du méthanol par évaporation. Après refroidissement 1ml de l'extrait est prélevé au quel est ajouté 1ml d'acide acétique, 25mg de Ninhydrine et 1ml d'un mélange fait de 120 ml d'eau distillée plus 300 ml d'acide acétique et 80 ml d'acide ortho phosphorique (H_3PO_4 , d=1,7).

Le mélange ainsi réalisé est porté à l'ébullition au bain marie durant 30 minutes. La solution vire progressivement au rouge. Après refroidissement, 5ml de benzène sont ajoutés pour séparer deux phases. Après agitation au vortex, la phase supérieure est récupérée et asséché grâce à l'adjonction d'une spatule de sulfate de sodium anhydre (Na_2SO_4). La lecture est effectuée à l'aide d'un spectrophotomètre, modèle Sontarys Techtron 635, à la longueur d'onde de 528 nm.

Les valeurs de la lecture au spectrophotomètre sont reportées sur le courbe étalon obtenu à partir d'échantillon contenant des quantités de proline à concentration connue.

4.9-Teneur en protéines totales (Extraction et dosage)

La concentration totale en protéines des différentes fractions est déterminée par la technique mise au point par Bradford (Bradford, 1976). Cette technique utilise le bleu de Coomassie qui a la propriété de s'absorber sur les protéines de manière non spécifique et indépendamment de leur séquence. Cette absorption s'accompagne d'une modification du spectre d'absorption de la molécule qui est décalé vers le bleu. On réalise en double une gamme étalon de 0 à 10 μg d'albumine de sérum bovin (BSA) dans un volume final de 100 μl à partir d'une solution mère de BSA à 0,1mg/ml. 15 μl de chaque échantillon est préparé en triple. Toutes les 30 secondes, 1 ml de réactif Bradford est ajouté dans les échantillons (en plaçant les gammes de part et d'autre des échantillons) dont on mesure l'absorption à 590 nm au bout de 10 min. La concentration en protéines étant une fonction linéaire de la densité optique (DO), on obtient, grâce à la mesure de la gamme, une équation de droite de type $y = ax+b$ (annexe). La mesure de l'absorption des échantillons permet de déterminer la concentration en protéines totales.

5-Analyses statistiques

Les analyses statistiques des données sont effectuées à l'aide du logiciel CoStat version 6.4. Les résultats sont soumis à une analyse de la variance (ANOVA) à deux facteurs et les moyennes ont été comparées par le test de la plus petite différence significative au seuil de 5 %.

Chapitre III : Résultats et Discussions**Introduction**

Dans ce chapitre sont portés les résultats et discussions du comportement de quatre variétés de blé dur (*Triticum durum.*) vis-à-vis du stress froid (gel) (figure 10). Les paramètres analysés sont d'ordre morphologique, physiologique et biochimique.

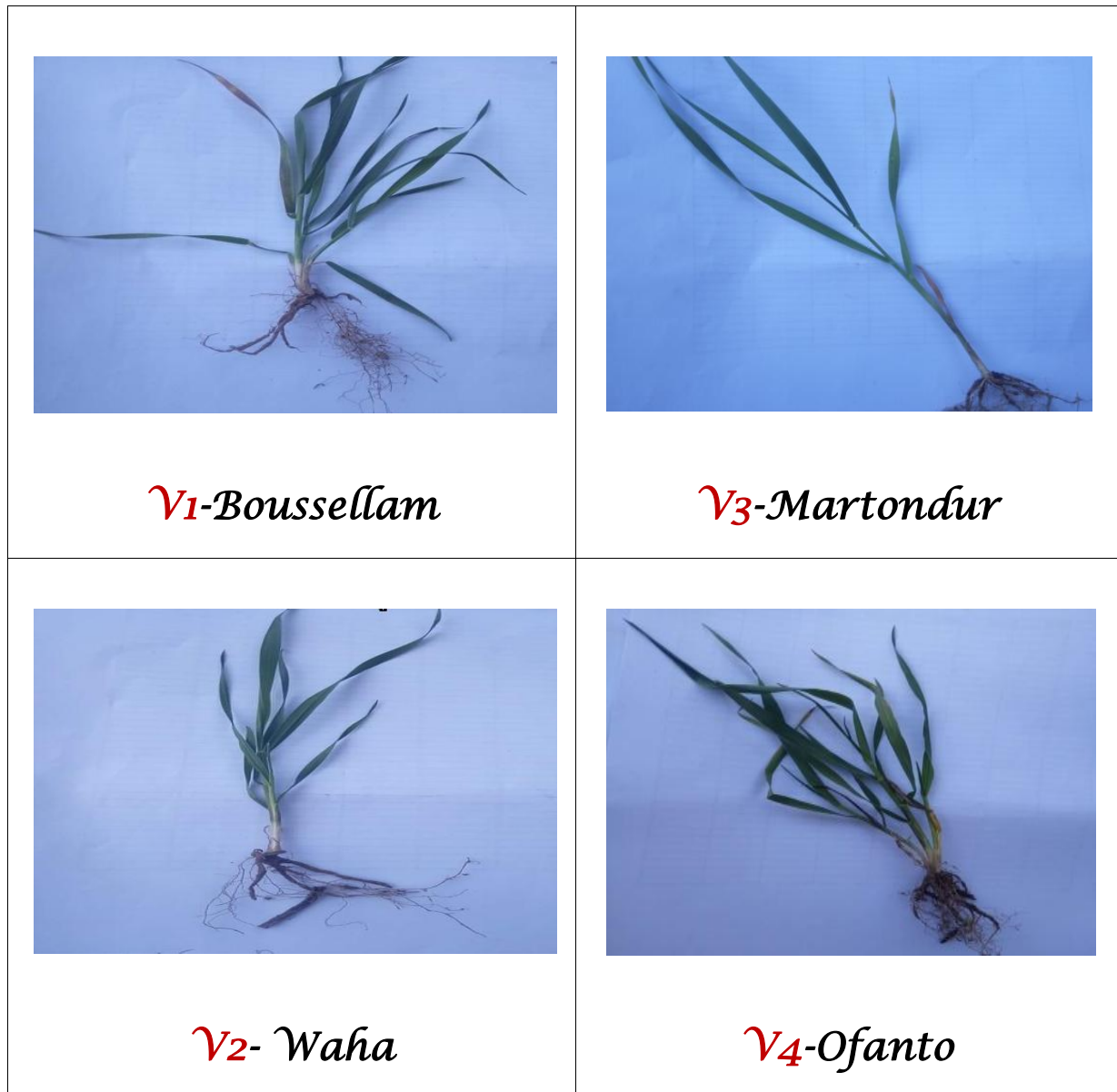


Figure 10 : Les quatre variétés de blé dur au stade début tallage

III.1-Effet du stress froid sur le blé dur (*Triticum durum*,)

1.1-Effet du gel sur la hauteur des plantes

Les moyennes des hauteurs obtenues des quatre variétés de blé dur (*Triticum durum*,) étudiées sont portées sur la figure 11. La hauteur des plantes stressées est très affectée par le stress froid par rapport aux témoins. Les plantes endurcies sont moins affectées par le gel que les plantes non endurcies.

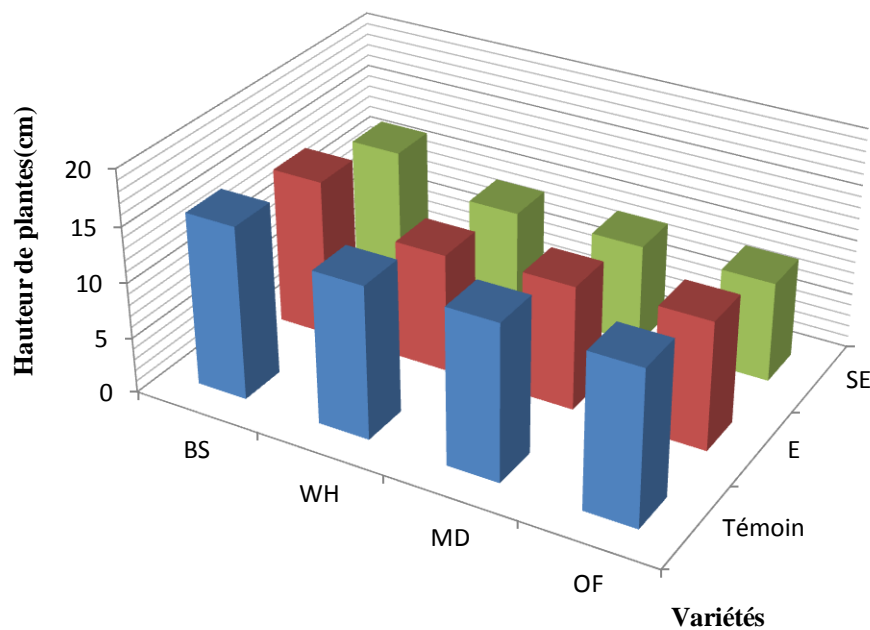


Figure 11: Variation de la hauteur des variétés témoins et stressées

Avec SE : sans endurcissement (-12°C) ; E: avec endurcissement (+2 puis -12°C) ; BS : Boussemam ; WA : Waha MD : Marton dur ; OF : Ofonto

Les analyses statistiques (tableau 1, annexe,) montrent un effet significatif de l'effet froid. On remarque que plus le froid est sévère plus la hauteur des plantes est réduite. Par ailleurs l'effet variétés ainsi que l'interaction variétés x températures ne sont pas significatifs (Tableau1, annexe).

Selon Gates (1995), le blé dur présente de la résistance au froid qui est variable selon le stade végétatif, le degré d'endurcissement, l'intensité du stress et la vitesse de dégel des organes touchés. Selon le même auteur, le blé dur présente son maximum de résistance à l'état de graine (Gates, 1995). Cette résistance diminue au stade coléoptile, augmente au cours de la

période allant du stade 4 feuilles à la fin du tallage, pour chuter dès le stade épi-1 cm jusqu'au stade méiose.

Charrier (2001) rapporte qu'à l'échelle individuelle, l'influence des basses températures se traduit essentiellement à travers l'effet sur la vitesse de réactions catalytiques, en un ralentissement de la croissance des plantes et un retard de leur phénologie ce qui concorde avec nos résultats. Généralement, les stress abiotiques ont un impact négatif sur la croissance et le développement végétal (Ouellet, 1996),

1.2- Effet du gel sur la surface foliaire

D'après la figure 12, le développement des feuilles est très affecté par le gel. En effet, les résultats enregistrés montrent une diminution importante des surfaces foliaires des quatre variétés étudiées (figure 12). On remarque que les réductions des surfaces foliaires des différentes variétés sont dépendantes de l'intensité du stress appliqué. Plus ce dernier est sévère plus la surface foliaire est réduite (figure 12 ; tableau 2, annexe).

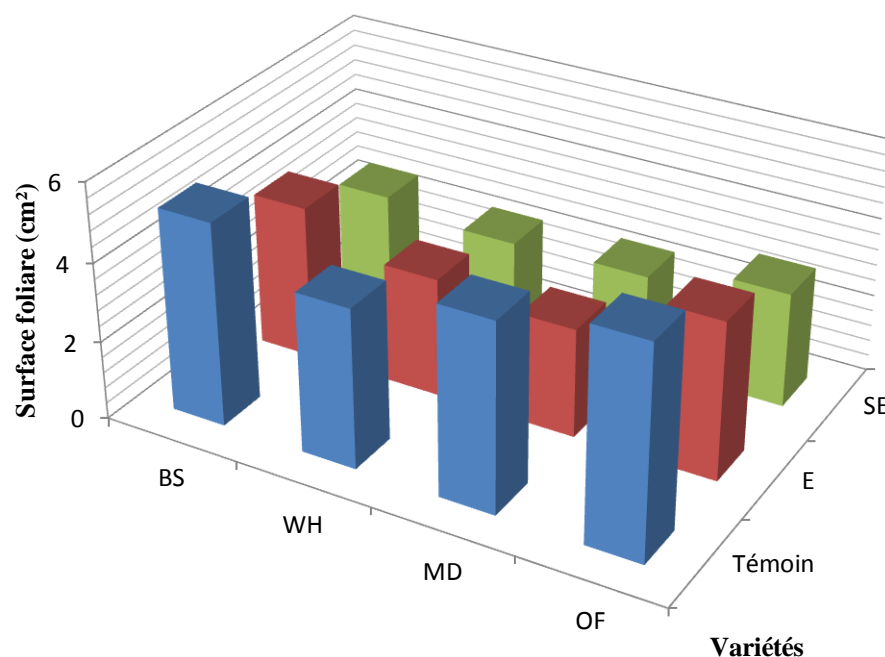


Figure 12 : Variation de la surface foliaire des variétés témoins et stressées

Avec SE : sans endurcissement (-12°C) ; E: avec endurcissement (+2 puis -12°C) ; BS : Bousselam ; WA : Waha MD : Marton dur ; OF : Ofonto

L'endurcissement à +2°C pendant 60 minutes a permis de différencier les variétés évaluées sur la base de leur capacité à tolérer les basses températures. En effet, les surfaces foliaires des variétés non endurcies sont plus affectées que celles des variétés endurcies (figure 12) (tableau 2, annexe). Ceci indique que les plantes endurcies développent une tolérance au gel ce qui est en concordance avec la littérature (Rizza et al. 1994; Fowler et al. 1996; Kosner et Pankova, 2002).

La non-signification de l'interaction variété x température indique que les variétés évaluées réagissent pareillement aux températures testées (tableau 2, annexe).

L'analyse de la variance a montré un effet variété non significatif ($p > 0.05$) (tableau 2, annexe). Cependant, on note que les variétés Ofonto et Boussem sont moins affectées par le froid que la variété Waha qui s'est montrée la plus sensible (figure 12).

Selon Charrier, (2011) les parties aériennes sont plus exposées aux variations de températures.

1.3- Effet du gel sur le poids spécifique des feuilles

Les moyennes des poids spécifiques foliaires sont illustrées par la figure 13. Les valeurs oscillent entre 0.017 à 0.038 g/cm². L'analyse de la variance indique un effet variété, température ainsi que leur interaction, non significatif (tableau 3, annexe). Toutes les variétés testées ont répondu identiquement au stress appliqué. Les différences notées observées sur la figure 12 ne sont pas statistiquement significatives (tableau 3, annexe).

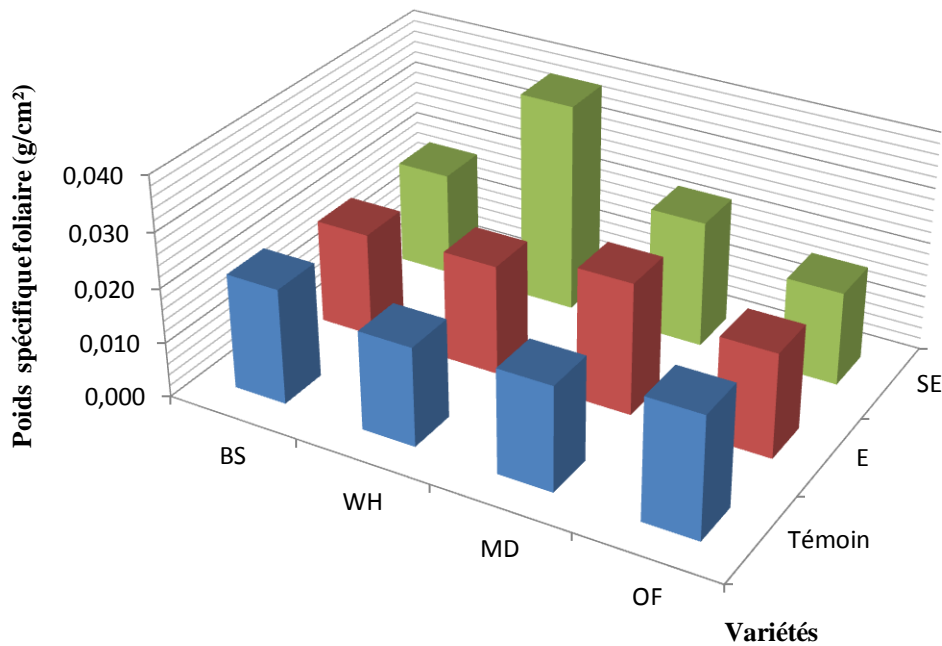


Figure13: Variation du poids spécifique foliaire des variétés témoins et stressées

Avec SE : sans endurcissement (-12°C); E: avec endurcissement (+2 puis -12°C) ; BS : Bousselam ; WA : Waha MD : Marton dur ; OF : Ofonto.

Kramer (1969) écrit que le gel peut engendrer un épaissement de la feuille (Rouabhi, 2010).

Un poids spécifique foliaire élevé est un indicateur d'une meilleure capacité photosynthétique, d'une moindre sensibilité à la photo-inhibition et de la consistance de l'appareil photosynthétique (Araus et *al.*, 1998). L'augmentation du poids spécifique foliaire chez les plantes stressées est due au rétrécissement des cellules qui provoque une diminution du volume et même du suc intracellulaire ce qui le rend plus concentré (Dubey, 1994).

1.4- Effet du gel sur la biomasse aérienne

Les moyennes des biomasses aériennes sont mentionnées sur la figure 14. Elles varient pour les quatre variétés de blé dur (*Triticum durum* .) étudiées. Ces moyennes varient de 0,040 au 0,061g pour les variétés témoins ; de 0.03 à 0.04g pour les variétés endurcies et de 0.02 à 0.04g pour les variétés non endurcies (figure, 14)

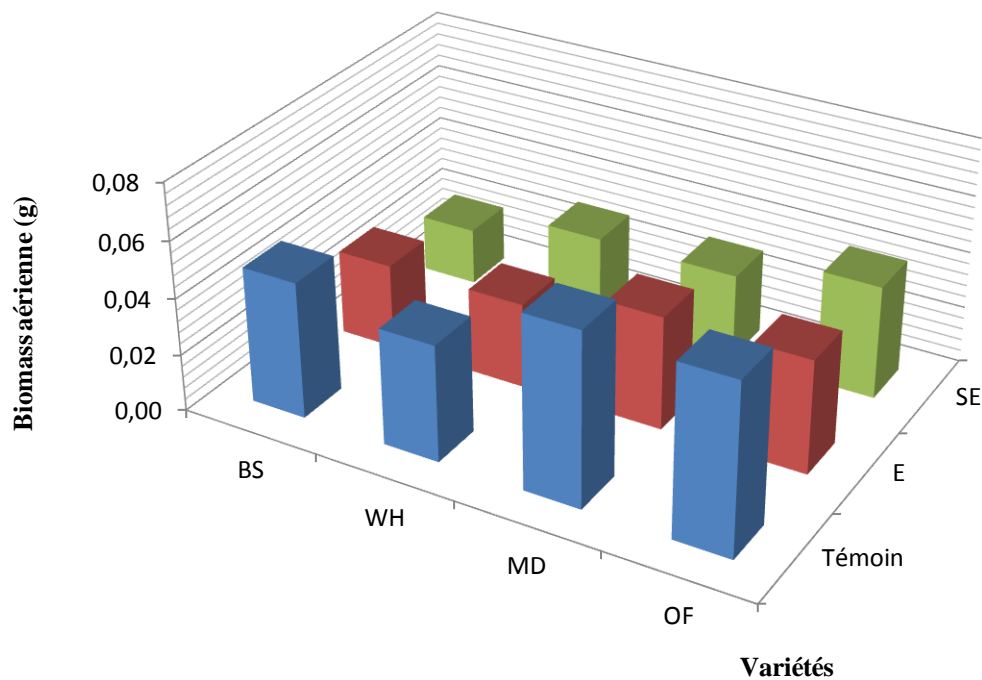


Figure 14 : Variation de biomasse aérienne des variétés témoins et stressées
 Avec SE : sans endurcissement (-12°C) ; E: avec endurcissement (+2 puis -12°C) ; BS : Boussemam ; WA : Waha MD : Marton dur ; OF : Ofonto

On enregistre une réduction significative de la matière sèche ce qui confirme l'effet du stress ainsi que son intensité sur la production de la biomasse aérienne (tableau 4, annexe). Les variétés endurcies sont plus tolérantes au froid que les variétés non endurcies (tableau 4, annexe ; figure 14). L'endurcissement confère aux variétés une meilleure tolérance au gel que le traitement sans endurcissement. Ces résultats suggèrent que la tolérance est dépendante de l'intensité du stress et des variétés. Des résultats identiques ont été signalés par Gacem et Hassani, 2017).

Les variétés Waha et Boussemam sont les plus affectées par le froid, leurs biomasses aériennes ont significativement diminué par rapport aux témoins (tableau 4, annexe). On déduit que sous stress froid la croissance du blé dur diminue. Kramer (1969) et Rouabhi (2010) rapportent une diminution importante de la biomasse des plantules de blé sous l'effet d'un gel prolongé. Pour Baldy (1986) cette diminution serait attribuée à une forme particulière d'adaptation morphologique. Passioura (1996) écrit que les basses températures réduisent la croissance des plantes durant l'hiver.

1.5- Effet du gel sur la croissance racinaire

Toutes les variétés de blé dur testé ont des croissances racinaires proches (figure 15). Les analyses statistiques n'ont pas montré de différences significatives de l'effet du gel ni effet variétés ainsi que l'effet interaction variété x température (tableau 5, annexe). C'est pourquoi on n'observe pas de différence entre les variétés (figure ,15). Visiblement, le gel n'a pas d'effet sur la croissance du système racinaire des variétés. Selon Kreutz (1942), les parties souterraines resteront relativement protégées par l'effet isolant et l'inertie thermique au sein du sol et ce d'autant plus que son humidité est important.

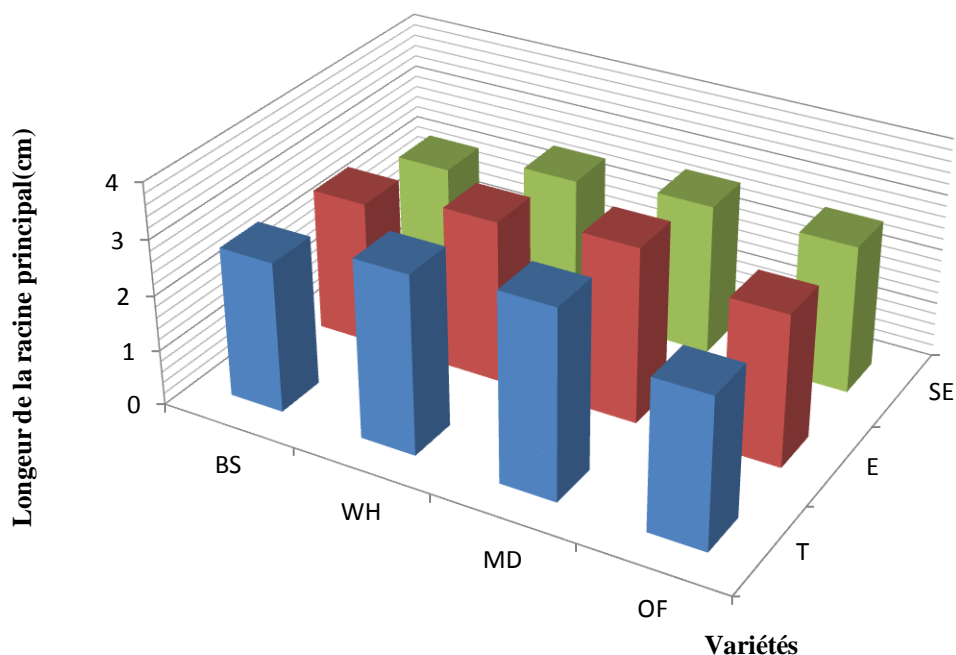


Figure 15: Variation de la longueur de l'axe racinaire principal des variétés témoins et stressées

Avec SE : sans endurcissement (-12°C) ; E: avec endurcissement (+2 puis -12°C) ; BS : Bousselam ; WA : Waha MD : Marton dur ; OF : Ofonto

1.6 - Effet du gel sur le volume racinaire

Les moyennes des volumes racinaires sont illustrées sur la figure 16. Une différence entre les variétés très hautement significative est enregistrée (tableau 6, annexe). On note que les volumes des racines de ces dernières sont significativement affectés par le gel et son intensité (tableau 6, annexe). Les volumes racinaires des plantes non endurcies sont moins

importants que ceux des espèces endurcies. on note que Ofonto est la variété la plus sensible et Waha est la plus tolérante. Ceci explique que l'endurcissement confère aux plantes une meilleure tolérance au froid. Dans la littérature, le même constat est fait (Thomashow, 1999 ; Diallo, 2006). (figure16; tableau 6, annexe).

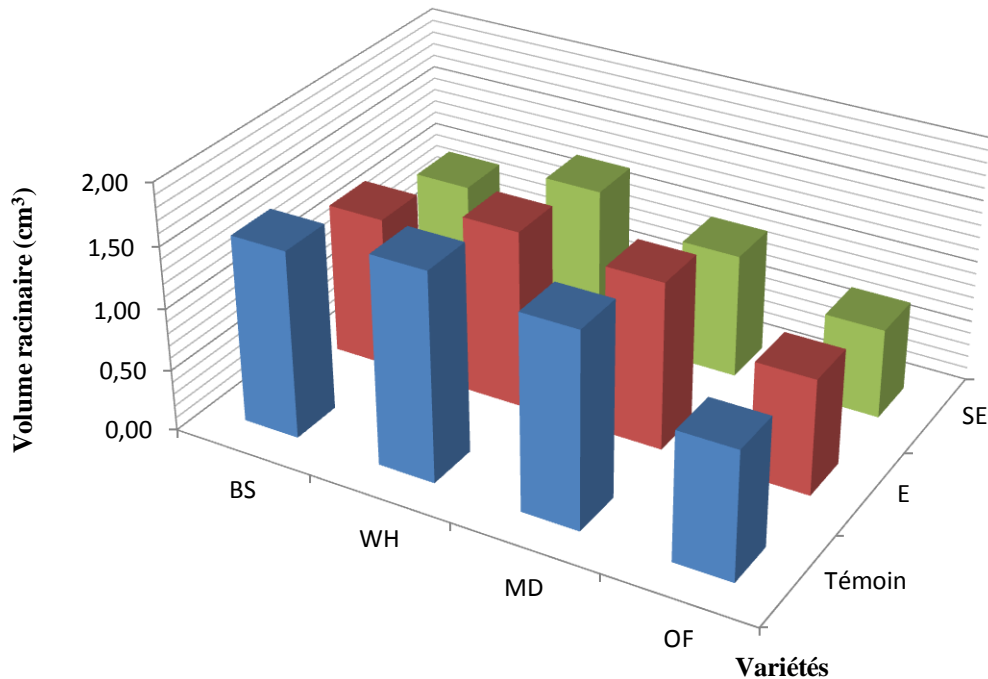


Figure 16: Variation du volume racinaire des variétés témoins et stressées

Avec SE : sans endurcissement (-12°C) ; E: avec endurcissement (+2 puis -12°C) ; BS : Bousselam ; WA : Waha MD : Marton dur ; OF : Ofonto

Benlaribi et *al.* (1990) rapportent que le volume du système racinaire reflète l'extension et/ou la ramification du système racinaire qui favorise la colonisation d'un plus grand volume de sol, rendant plus accessibles à la plante les réserves en eau du sol.

1.7- Effet du gel sur la matière sèche racinaire

Pour la matière sèche racinaire accumulée, l'analyse de la variance, montre clairement qu'il existe des différences très significatives, entre les variétés seulement (figure 17 ; tableau 7, annexe). L'effet du stress froid et celui de l'interaction variétés x températures n'est pas significatif (tableau 7, annexe 2). C'est pourquoi on remarque un effet pareil du stress quelque soit son intensité. Les valeurs de la matière sèche racinaire dans les deux cas de stress (avec ou sans endurcissement) sont pareils. Néanmoins, on note d'après la figure 16 que la

variété Bousselam se distingue des autres variétés, elle a accumulé plus de matière sèche racinaire traduisant son aptitude à développer un système racinaire plus important (figure 17).

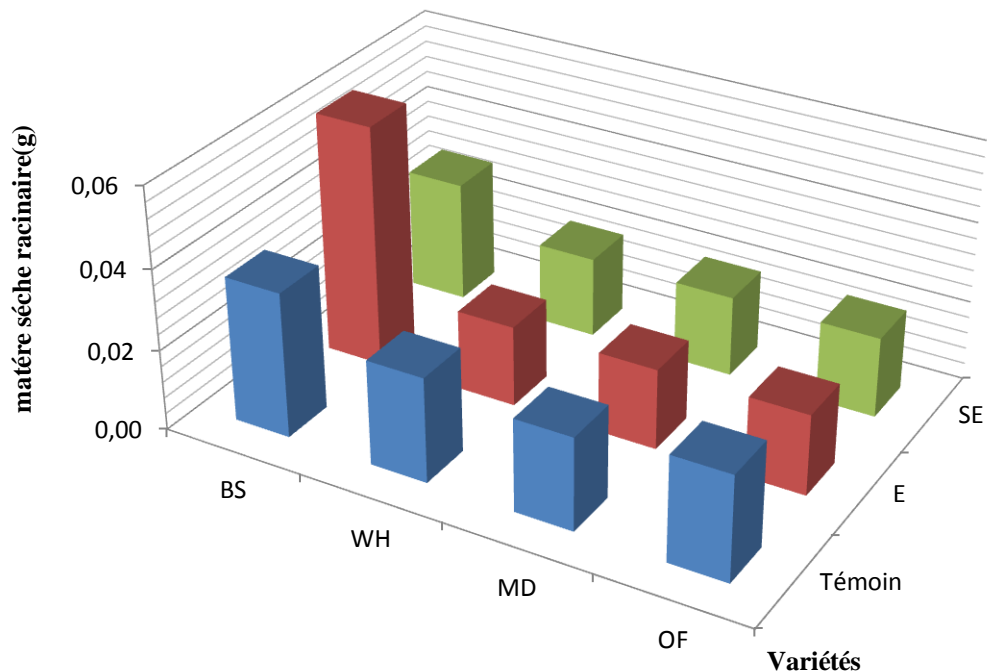


Figure 17: Variation de matière sèche racinaire des variétés témoins et stressées Avec SE : sans endurcissement (-12°C) ; E: avec endurcissement (+2 puis -12°C) ; BS : Bousselam ; WA : Waha MD : Marton dur ; OF : Ofonto

En raison de la non signification de l'effet froid sur le système racinaire excepté pour le volume racinaire on conclut que les parties souterraines sont à l'abri de l'effet des températures froides. Ceci concorde avec les résultats de Charrier (2011). Par contre, Gacem et Hassani (2017) ont trouvé le même résultat au stade tallage, par contre au stade épiaison, l'effet froid était significatif sur les racines de leurs variétés de blé dur testées.

1.8- Effet du gel sur la teneur en chlorophylle totale

La figure 18 montre une diminution importante du taux de chlorophylle totale des feuilles des différentes variétés étudiées. Cette différence entre les variétés est statistiquement significative (tableau 8, annexe). La variété Waha a accumulé la plus importante quantité de chlorophylle soit 18,86 mg/gmf pour le témoin et en moyenne 10,76 mg/gmf pour le stressé.

Le stress froid appliqué montre aussi un effet significatif sur la teneur totale en chlorophylle des variétés (tableau 8, annexe). Les teneurs en chlorophylle totale des variétés stressées ont diminué significativement par rapport aux témoins (tableau 8, annexe). Cependant, on remarque que cette influence du froid n'est pas dépendant de son intensité (tableau 8, annexe).

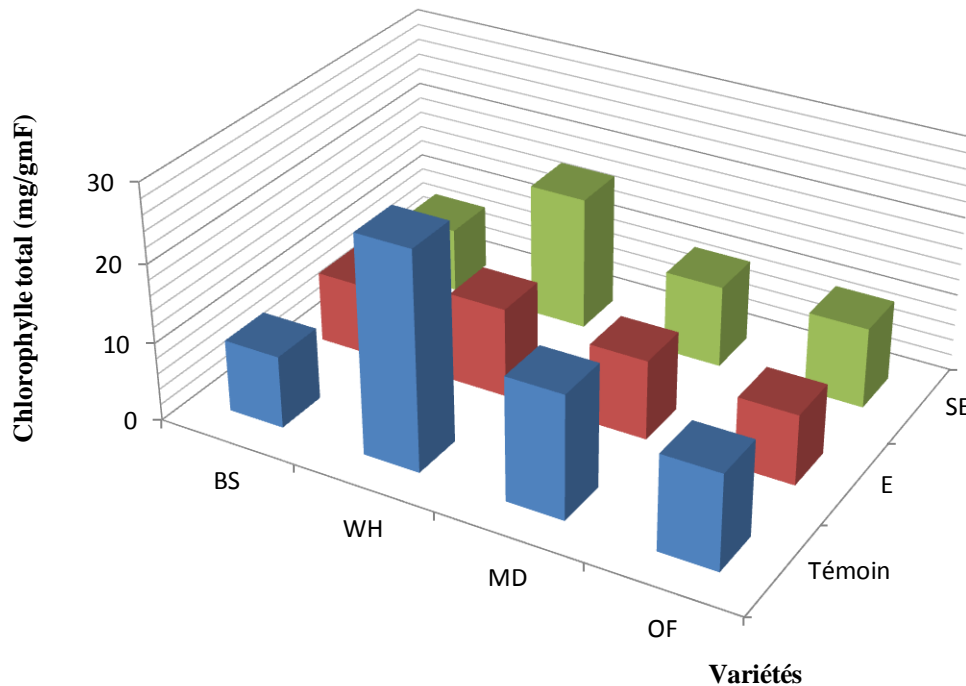


Figure 18 : Variation du taux de chlorophylle totale des variétés témoins et stressées

Avec SE : sans endurcissement (-12°C) ; E: avec endurcissement (+2 puis -12°C) ; BS : Bousselam ; WA : Waha MD : Marton dur ; OF : Ofonto

Ces résultats concordent avec ceux trouvés par Wu et al. (1997) qui montrent que le contenu en chlorophylle diminue après exposition à des basses températures (Dumont, 2008). Cet auteur rapporte également que la photosynthèse est un des processus le plus touché par le stress froid. Ensminger *et al.* (2006) rapportent que les basses températures engendrent un déséquilibre au niveau de la photosynthèse (Charrier, 2011). Selon Dumont (2008) le chloroplaste est peut-être un des lieux de la perception du signal froid.

1.9 - Effet du gel sur la teneur en proline

La destruction des membranes cellulaires par le gel peut être totalement empêchée si des substances telles que des sucres, des acides organiques, des protéines ou certains acides aminés en particulier, la proline, sont présents dans leur environnement pendant le gel (Tunova, 1963).

Les résultats de la variation de la proline chez les génotypes du blé dur étudiés sont très marqués (figure 19).

L'analyse de la variance conduit à l'existence d'un effet variété significatif (figure 19) et un effet stress très hautement significatif (tableau 9, annexe).

Sous stress froid les variétés stressées enregistrent une accumulation jusqu'à 3 fois supérieure à celle des témoins (figure, 19).

Les variétés non endurcies accumulent des quantités en proline plus élevées par rapport aux variétés endurcies et les variétés témoins (figure 19). On observe plus le stress froid est sévère plus l'accumulation de la proline est importante et mieux les variétés tolèrent le froid (tableau 9, annexe). C'est pourquoi on a enregistré chez les variétés non endurcies les plus fortes teneurs en proline (figure 18). À titre d'exemple la variété Marton dur stressée non endurcie accumule $0.75\mu\text{g}/\text{mg}$ de proline, celle endurcie accumule $0.47\mu\text{g}/\text{mg}$ alors qu'avec le témoin a une teneur de $0.39\mu\text{g}/\text{mg}$. (Figure, 19)

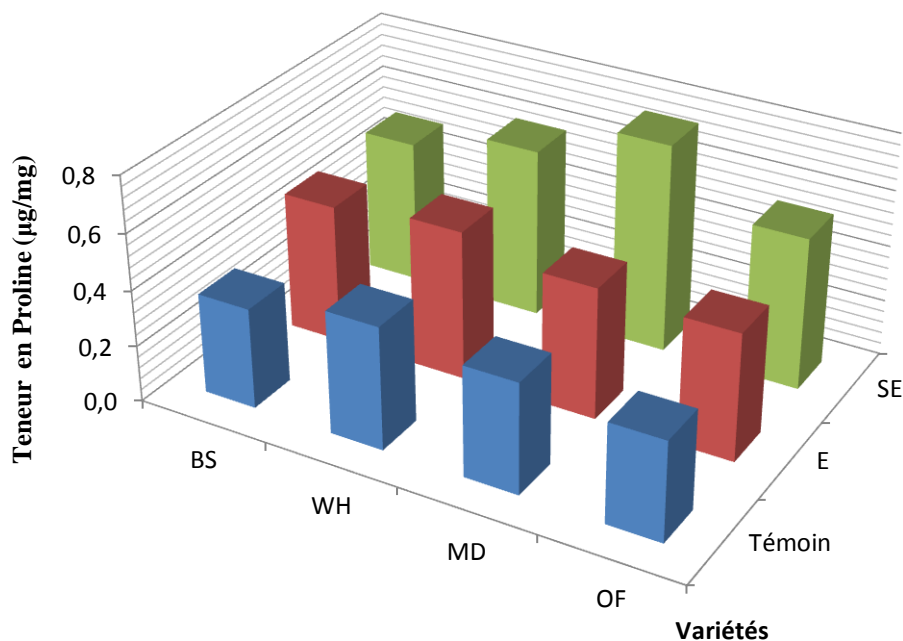


Figure 19 : Variation de la teneur en proline des variétés témoins et stressées
Avec SE : sans endurcissement (-12°C) ; E : avec endurcissement ($+2$ puis -12°C) ; BS : Bousselam ; WA : Waha MD : Marton dur ; OF : Ofonto

L'accumulation de la proline a plusieurs fonctions durant le stress telle que l'ajustement osmotique (Voetberg et Sharp, 1991), l'osmoprotection (Kishor et *al.*, 1995, 2005), la protection des macromolécules de la dénaturation (Vanrensburg et *al.*, 1993), régulation de l'acidité cytosolique (Sivakumar et *al.*, 2000) ainsi que les réserves de carbone et de l'azote après le stress (Dí'az et *al.*, 1999).

1.10- Effet de gel sur la teneur en protéines totales

L'analyse de la variance des protéines solubles montre des effets stress froid, interaction stress x températures non significatifs, mais un effet variétés significatif (Tableau 10, Annexe; figure 20). Les résultats portés sur la figure 20 montrent que le gel entraîne une accumulation des protéines solubles des plantes stressées par rapport aux témoins mais qui n'est pas statistiquement significative. La variété Bousselam se distingue des autres variétés. Elle a accumulé peu de protéines

Mekhlouf (2008) trouve que les variétés endurcies activent l'accumulation des protéines solubles.

De nombreuses études ont montré un accroissement marqué de la teneur en protéines pendant l'acclimatation au froid chez plusieurs espèces possédant la capacité de développer une tolérance au gel (Guy, 1990; Hughes et Dunn, 1996). Ces protéines s'accumulaient à des niveaux plus élevés chez les variétés tolérantes que chez les variétés sensibles au gel. Ghasempour et *al.* (2007) ont trouvé qu'au cours d'un stress froid, les feuilles de blé dur augmentent leurs teneurs en protéines solubles à faible poids moléculaire ainsi que les protéines à fort poids moléculaire (Farshadfar et *al.*, 2008).

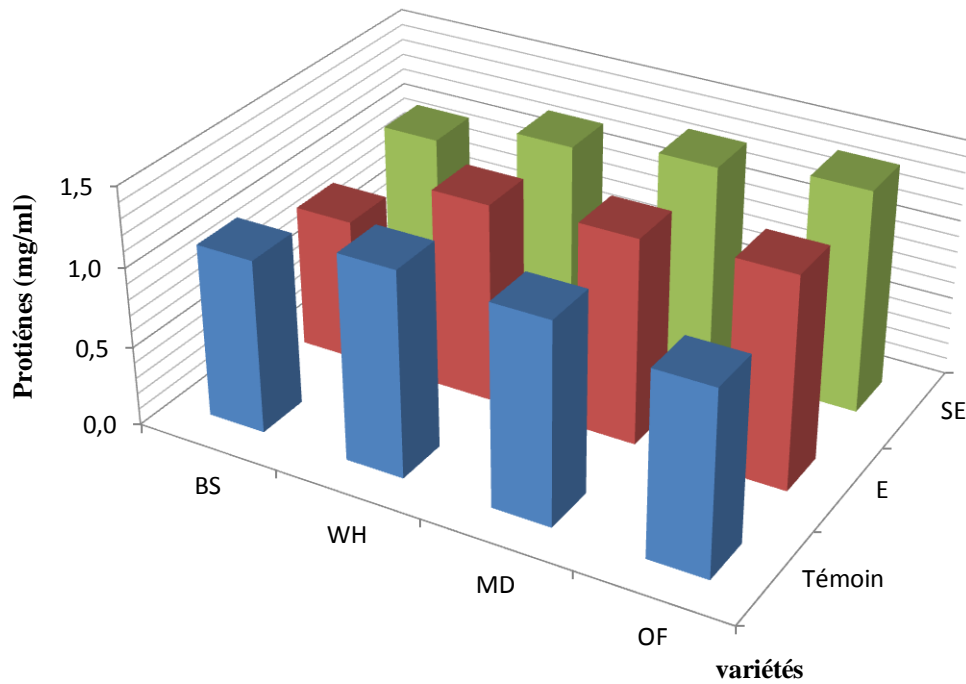


Figure 20 : Variation de la teneur en protéines des variétés témoins et stressées Avec SE : sans endurcissement (-12°C) ; E: avec endurcissement (+2 puis -12°C) ; BS : Bousselam ; WA : Waha MD : Marton dur ; OF : Ofonto

L'accumulation de nouvelles protéines lors de l'acclimatation au froid résulte d'une expression génétique différentielle et implique un contrôle étroit de la transcription et/ou de la traduction des gènes inductibles par les basses températures

La stabilité et la solubilité des protéines globulaires peuvent être directement affectées par les basses températures (Siddiqui & Caviocchioli, 2006). Il a été montré que ces dernières pouvaient également engendrer la dénaturation de la structure quaternaire des protéines ou des complexes protéiques (Pastore *et al.*, 2007). Charrier (2011) écrit que plusieurs protéines spécifiques sont induites lors de l'endurcissement au froid et que l'accumulation de ces protéines est corrélée avec le degré de tolérance au gel.

Conclusion

La culture de blé est souvent confrontée à plusieurs contraintes abiotiques qui sont les causes principales de la faiblesse de rendements et l'irrégularité de la production. Parmi ces contraintes le froid (gel) engendre des dégâts importants et peut avoir lieu à n'importe quel stade de la culture (Chenafi et al, 2006 ; Mekhlouf, 2008).

La plante de son côté doit disposer des mécanismes d'adaptation qui lui permettent de tolérer ces stress abiotiques. Les principaux mécanismes de la tolérance à ces contraintes demeurent la résultante de plusieurs actions dont l'expression de différents gènes de résistance et l'accumulation d'osmoprotecteurs (proline, sucres...).

La présente étude analyse les comportements de quatre variétés de blé dur (*Triticum durum*.) Bousselem (locale), Waha (sélectionnée), Ofonto, et Marton dur (européennes) au froid (-12°C). Les mesures sont basées sur l'utilisation des paramètres physiologiques, morphologiques et biochimiques afin d'étudier l'adaptation de ces quatre variétés au stress appliqué. Les variétés sont aussi testées à une période d'endurcissement de 60 minutes à 2°C

Les résultats obtenus nous ont permis de déceler les différences génotypiques. En effet, au stade début tallage, on enregistre une différence génotypique pour tous les paramètres étudiés. Le froid a réduit la hauteur, la biomasse aérienne, la surface foliaire, le poids spécifique foliaire. Par contre on a constaté que le système racinaire est à l'abri de l'effet froid seul le volume racinaire est affecté. Ceci est en accord avec la littérature (Charrier, 2011)

Sur le plan physiologique, le froid a entraîné une réduction de la teneur chlorophylle chez toutes les variétés, Cependant, les teneurs en proline et protéines totales ont connu une augmentation chez les quatre variétés. Toutefois, on a noté que les quatre variétés de blé dur utilisent les mêmes stratégies pour tolérer le stress froid (gel).

On observe aussi comme l'a été signalé dans plusieurs travaux (Deswarte, 2018, Charrier, 2011 ; Diallo, 2006 ; Thomashow, 1999) que l'endurcissement pendant 60 minutes à 2°C confère la tolérance au gel (-12°C) aux variétés testées. Et montre que ces dernières

sont capables d'ajuster leur métabolisme pour faire face au gel grâce à ce processus "l'endurcissement". La résistance au froid est donc une caractéristique variétale. Les variétés sans endurcissement sont moins tolérantes au froid (gel)

D'après les résultats des différents paramètres étudiés déduit que leur réponse au froid appliquée des quatre variétés est sous un contrôle génétique. Et que les seuils de résistance maximale au froid sont estimés à - 12°C pour les variétés les plus résistantes et endurcies. Ceci nous amène à préconiser de tester d'autres seuils de température pour les variétés les moins résistantes. On conseille de varier le temps d'endurcissement pour voir si le stade de développement de la plante est suffisant et si les conditions d'endurcissement ont été remplies

Enfin, on conclut que Waha a été la plus affectée par rapport aux variétés européennes (Ofonto et Martondur) et la variété locale sélectionnée (Bousselam).

Les résultats obtenus laissent entrevoir de nombreuses perspectives qui nécessitent des études plus approfondies à savoir :

Elargir l'étude à d'autres variétés de blé dur ;

Tester d'autres seuils de températures gélives ;

Tester d'autres durées d'endurcissement ;

et enfin appliquer ces tests à d'autres stades de développement de blé dur.

ANNEXE

Les courbes d'étalonnages

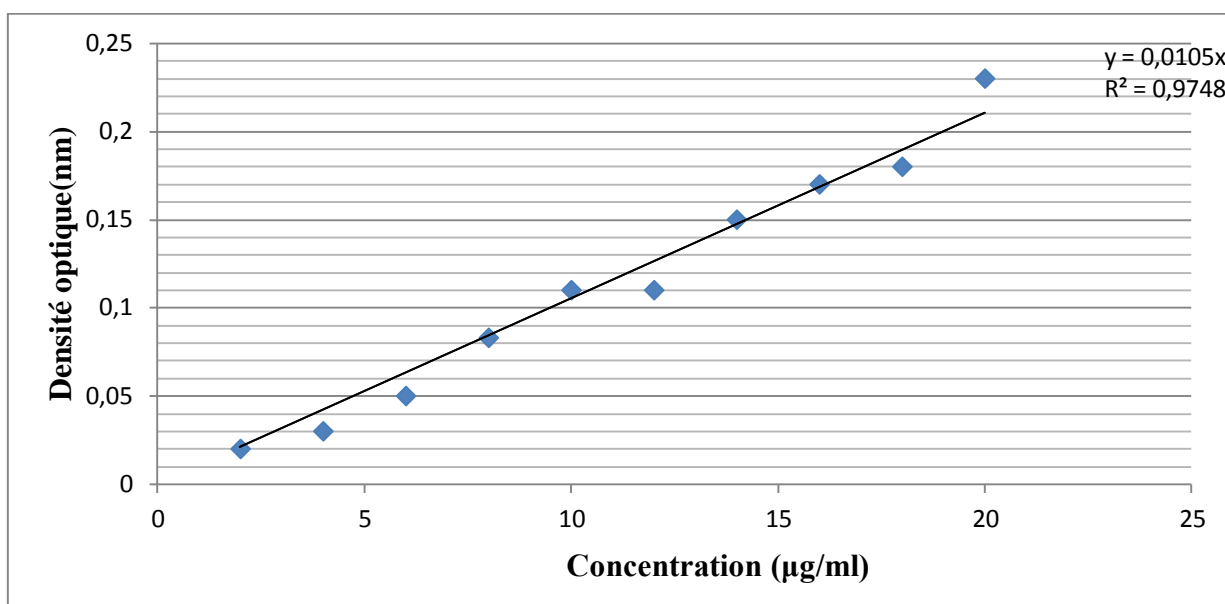


Figure 1 : Courbe étalonnage du dosage de la proline.

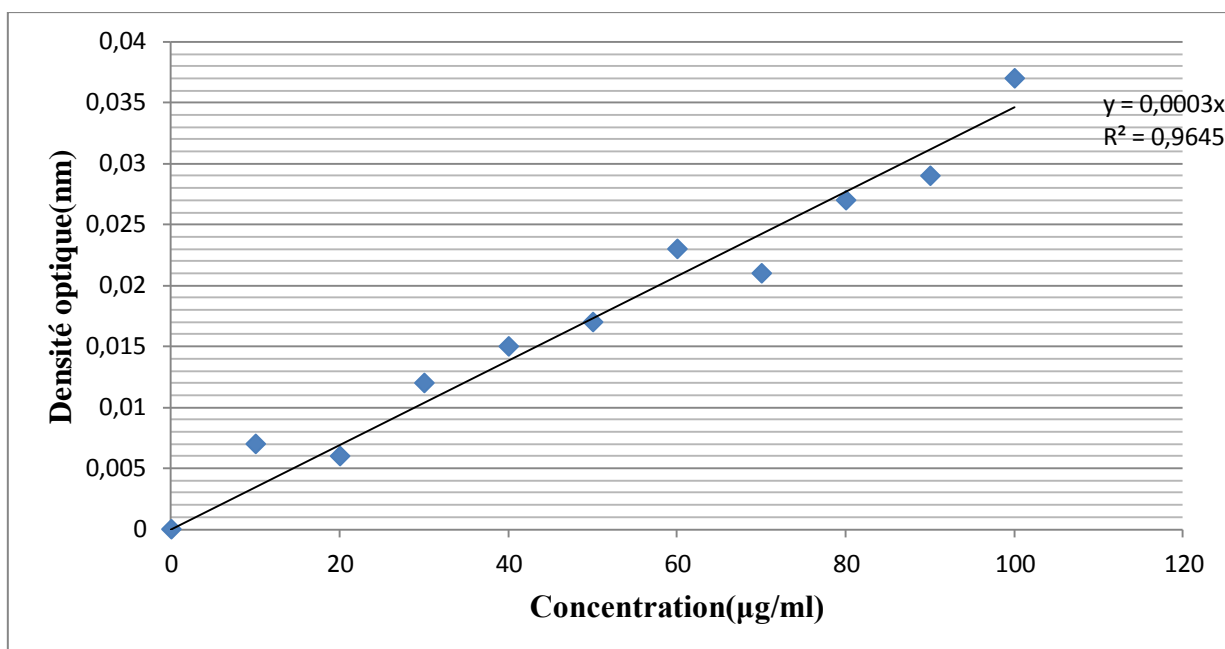


Figure 2: La courbe d'étalonnage des protéines

Tableaux des analyses des variances

Tableaux des Comparaisons des moyennes des différentes mesures obtenues sous stress froid chez les quatre variétés du blé dur. Résultats du test d'analyse de la variance à deux facteurs.

Tableau 1 : La hauteur des plantes

Source	df	SS	MS	F	Prob
Var	3	42.26236389	14.087455	1.6810883	.1976 ns
Trait	2	123.8231167	61.911558	7.3880484	0032 **
Interaction Var * Trait	6	2.982127778	0.4970213	0.0593107	.9990 ns
Error	24	201.1190667	8.3799611<-		
Total	35	370.186675			

ns= effet non significatif ; ** = effet significatif au seuil 1 %

Tableau 2 : Surface foliaire

Source	df	SS	MS	F	Prob
Var	3	5.780888889	1.926963	1.0511153	.3881 ns
Trait	2	31.80490556	15.902453	8.6744332	.0015**
Interaction Var * Trait	6	1.402694444	0.2337824	0.1275231	.9917ns
Error	24	43.99813333	1.8332556<-		
Total	35	82.98662222			

ns= effet non significatif ; ** = effet significatif au seuil 1 %

Tableau 3 : Poids spécifique foliaire

Source	df	SS	MS	F	Prob
Main Effects					
Var	3	2.406667e-4	8.0222e-5	0.6126432	.6134 ns
Trait	2	1.450556e-4	7.2528e-5	0.5538821	.5819 ns
Interaction Var * Trait	6	7.565e-4	1.2608e-4	0.9628765	.4707 ns
Error	24	0.003142667	1.3094e-4<-		
Total	35	0.004284889			

ns= effet non significatif .

Tableau 4 : Biomasse aérienne

Source	df	SS	MS	F	Prob
Main Effects					
Var	3	0.002052778	6.8426e-4	9.474359	.0003 ***
Trait	2	0.002916667	0.0014583	20.192308	.0000 ***
Interaction Var * Trait	6	1.722222e-4	2.8704e-5	0.3974359	.8733 ns
Error	24	0.001733333	7.2222e-5<-		
Total	35	0.006875			

ns= effet non significatif ; *** = effet très hautement significatif au seuil de 1 %

Tableau 5 : Longueur de l'axe racinaire principal

Source	df	SS	MS	F	Prob
Main Effects					
Var	3	1.794433333	0.5981444	1.2234842	.3228 ns
Trait	2	2.176516667	1.0882583	2.2259956	.1298 ns
Interaction Var * Trait	6	0.176483333	0.0294139	0.0601651	.9990 ns
Error	24	11.73326667	0.4888861<-		
Total	35	15.8807			

ns= effet non significatif

Tableau 6 : Volume des racines

Source	df	SS	MS	F	Prob
Main Effects					
Var	3	1.470455556	0.4901519	11.783283	.0001 ***
Trait	2	1.301105556	0.6505528	15.639332	.0000 ***
Interaction Var * Trait	6	0.076361111	0.0127269	0.3059544	.9276 ns
Error	24	0.998333333	0.0415972<-		
Total	35	3.846255556			

ns= effet non significatif ; * ** = effet très hautement significatif au seuil de 1 ‰

Tableau 7 : Matière sèches racinaire

Source	df	SS	MS	F	Prob
Main Effects					
Var	3	0.001652778	5.5093e-4	< 3.6060606	.0279 *
Trait	2	5.055556e-4	2.5278e-4	1.6545455	.2123 ns
Interaction Var * Trait	6	8.055556e-4	1.3426e-4	0.8787879	.5251 ns
Error	24	0.003666667	1.5278e-4<-		
Total	35	0.006630556			

ns= effet non significatif ; ** = effet significatif au seuil 5 %

Tableau 8 : Chlorophylle totale

Source	df	SS	MS	F	Prob
Main Effects					
Var	3	528.2247639	176.07492	12.030162	.0001 ***
Trait	2	249.3797389	124.68987	8.5193241	.0016 **
Interaction Var * Trait	6	217.7885944	36.298099	2.4800353	.0521 ns
Error	24	351.2669333	14.636122<-		
Total	35	1346.660031			

ns= effet non significatif ; ** ;*** = effet significatif au seuil 1 % et 1 ‰ respectivement.

Tableau 9 : Teneur en proline

Source	df	SS	MS	F	Prob
Main Effects					
Var	3	0.056075	0.0186917	0.5884565	.6285 ns
Trait	2	0.279738889	0.1398694	4.4034106	0235 *
Interaction Var * Trait	6	0.064616667	0.0107694	0.3390468	9093 ns
Error	24	0.762333333	0.0317639<-		
Total	35	1.162763889			

ns= effet non significatif ; ** = effet significatif au seuil 5% .

Tableau 10 : Protéines totales

Source	df	SS	MS	F	Prob
Main Effects					
Var	3	0.493722222	0.1645741	6.3169492	.0026 **
Trait	2	0.01865	0.009325	0.3579273	.7028 ns
Interaction Var * Trait	6	0.140661111	0.0234435	0.8998472	.5111 ns
Error	24	0.625266667	0.0260528<-		
Total	35	1.2783			

ns= effet non significatif ; ** = effet significatif au seuil 1% .

Références Bibliographiques

1. **ABBASSENNE, F., BOUZERZOUR H., Hachemi L. (1998).** Phénologie et production de blé dur (*Triticum durum, Desf*) en zone semi-aride d'altitude. Annales de l'INA ; 18 : 24-36.
2. **ANONYME, C ., 2013.** Note de conjoncture. www.Oaic-offre.com. Sidi Bel Abbas et Saida (Fritas S. 2012)
3. **ANONYME, D., 2013.** Céréales : hausse de 5% de la facture des importations les dix premiers mois de 2013. www.mincommerce.gov.dz/fiches13/stat021213fr.
4. **ANONYME E., 2014.** Algérie : hausse de 17,6% de la facture des importations de blé durant le 1er trimestre 2014. www.djazairss.com/fr/lqo/5197550.
5. **BAJJI, M., 1999.** Étude des mécanismes de résistance au stress hydrique chez le blé dur : caractérisation de cultivars différant par leurs niveaux de résistance à la sécheresse et de variantes somaclonales sélectionnés In vitro. Thèse de doctorat. Université Louva.
6. **BAUCH, J., P. KLEIN, A., FRUHWALD and H. BRILL 1979.** Alterations of Wood Characteristics in Abies-Alba Mill Due to Fir-Dying and Considerations Concerning Its Origin. European Journal of Forest Pathology. 9:321-331.
7. **BELAID, D., 1996.** Aspects de la céréaliculture Algérienne. Ed. Office des publications universitaires, Ben-Aknoun (Alger)), 206 p.
8. **BLOUET, A., Gaillard B. et Masse J. 1984.** Le gel et les céréales. Perspectives Agricoles) 85 : 20-25.
9. **BONJEAN, A., et PICARD, E. 1990.** Les céréales à paille origine, historique, économie et sélection. Eds Nathan, 235 p.
10. **BONJEAN, A., 2001.** Histoire de la culture des céréales et en particulier celle de blé tendre (*Triticumaestivum L.*). Dossier de l'environnement de l'INRA.
11. **BOUZERZOUR H. et Benmahammed A. 1994.** Environmental factors limiting barley grain yield in the high plateaux of eastern Algeria. Rachis, 12 : 11-14.
12. **BOUSNANE I., (2012).** Approches génomiques de l'amélioration du blé dur pour la tolérance aux stress abiotiques. Mémoire master, Université des frères Mentouri Constantine 1/Biologie et Ecologie Végétale). P :3-46-47.
13. **CAVENDER-BARES, J. 2005.** Impacts of Freezing on Long-Distance Transport in Woody Plants, pp. 401-423.

14. **COE D. 1992.** Les végétaux et le froid Ed. D. Côme, Paris. 600 p. Constantinescu, E. 1933. Weitere Beiträge zur Physiologie der Kälteresistenz bei Wintergetreide. *Planta*. 21:304-323.
15. **ChENAFI H., BOUZERZOUR H., AIDAOUI,A. et SACI , A., 2006.** Yield response of durum wheat (*Triticum durum*, Desf) cultivar Waha to deficit irrigation under semi arid growth conditions. *Asian Journal plant Science.*, 5: 854-860.
16. **CLEMENT G. et Prats J., 1970-** les céréales. Collection d'enseignement agricole. 2ème Ed. 351p.
17. **DEBITON, C,2010.** Identification des critères du grain de blé (*Triticumaestivum*L.) favorables à la production de bioéthanol par l'étude d'un ensemble de cultivars et par l'analyse protéomique de lignées isogéniqueswaxy. Thèse.Doct. Univ, Blaise) Pascal.
18. **ENSMINGER, I., F. BUSCH AND N.P.A. HUNER 2006.** Photostasis and cold acclimation: sensing low temperature through photosynthesis. *Physiologia Plantarum*. 126:28-44.
19. **FITTER, A.H. AND R.K.M. HAY. 1987.** Environmental physiology of plants. Academic Press, London, p. 423 pp.
20. **FURBANK, R.T., C.H. FOYER and D.A. WALKER, 1987.** Regulation of Photosynthesis in Isolated Spinach-Chloroplasts During Ortho-Phosphate Limitation. *Biochimica Et Biophysica Acta*. 894:552-56
21. **GATE, PH., 1995.** Ecophysiologie du blé. Technique et documentation. Lavoisier, Paris, 351p.
22. **GATE, P., ET GIBAN, M.2003.** Stades du blé. Ed. Paris, ITCF. 68p.
23. **GRIFFITH, M., B.ELFMAN AND E.L. CAMM. 1984.** Accumulation of Plastoquinone-a During Low-Temperature Growth of Winter Rye. *Plant Physiology*. 74:727-729.
24. **GRIFFITH, M., N.P.A. HUNER AND D.J. KYLE 1984.** Fluorescence Properties Indicate That Photosystem-Ii Reaction Centers and Light-Harvesting Complex Are Modified by Low-Temperature Growth in Winter Rye. *Plant Physiology*. 76:381-385.
25. **HARLAN, J. R. 1975.** Crops and Man. ASA and CSSA, Eds. Madison, Wisconsin, 325 pages. .selon Konarev et Konarev (1993)
26. **HAZMOUNE, T., 2000.** Etude comparée de l'appareil racinaire de quelques variétés de blé dur (*Triticum durum*Desf.). 1er Symposium International sur la filière blé. Enjeux et Stratégie du 07 au 09 fev. Alger. P 181-185.

27. **HOPKINS, W.G. (2003).** Physiologie végétale. Traduction de la 2e édition américaine par Serge Rambour. Révision scientifique de Charles-Marie Evrard (eds. De Boeck Université, Bruxelles) p.514.
28. **HUNER, N.P.A., G. OQUIST, V.M. HURRY, M. KROL, S. FALK AND M. GRIFFITH 1993.** Photosynthesis, photoinhibition and low temperature acclimation in cold tolerant plants. *Photosynthesis Research*. 37:19-39.
29. **KARAKAŞ, A., 2011.** Motivational Attitudes of ELT Students towards Using Computers for Writing and Communication. *The Journal of Teaching English WIF technology*. 11 (3), 37-53, (2011).
30. **KNUTSON, R.M. 1974.** Heat Production and Temperature Regulation in Eastern Skunk Cabbage. *Science*. 186:746-747
31. **LARCHER, W, 2001.** Physiologie plant ecologie. 4 the edition .Ed. Based on the translation of the third edition. 350.
32. **LARCHER, W., U. HEBER AND K.A. SANTARIUS, 1973.** Limiting Temperatures for Life Functions. In *Temperature and Life* Eds. H. Precht, J. Christopherson, H. Hensel and W. Larcher. Springer-Verlag, Berlin, pp. 195-263.
33. **LEVITT, J. 1980.** Responses of plants to environmental stresses. Vol. 1. Chilling, freezing, and high temperature stress. In *Physiological Ecology series*. Academic Press, New York, p. 497 pp.
34. **LEVITT, J. 1982.** Responses of plants to environmental stresses. Academic Press. New York San Francisco – London: 607p.
35. **LEZZAR, H., et MEZIANI, A.,(2015).** Recherche in silico et conception d'amorce des gènes de tolérance au stress abiotique chez le blé. Mémoire .Université des Frères Mentouri Constantine 1. P :3-10
36. **MAZUR, P. 1963.** Kinetics of Water Loss from Cells at Subzero Temperatures and the Likelihood of Intracellular Freezing. *The Journal of General Physiology*. 47:347-369.
37. **MAZUR, P. 1965.** The role of cell membranes in the freezing of yeast and other single cells. *Annals of New York Academy of Science*. 125:658-676.
38. **MEEUSE, B.J.D. 1975.** Thermogenic Respiration in Aroids. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 26:117-126
39. **MEKHLouF, A., Bouzerzour H., Bemahammed A., Hadj Sahraoui A. et Harkati N. 2006.** Adaptation des variétés de blé dur (*Triticum durum*, Desf.) au climat semi-aride. *Sécheresse* 17 (4) :507-513.

- 40. NEJAD, P., M. RAMSTEDT AND U. GRANHALL, 2004.** Pathogenic ice-nucleation active bacteria in willows for short rotation forestry. *Forest Pathology*. 34:369-381
- 41. OUANZAR, S., 2012.** Etude comparative de l'effet du semis direct et du labour conventionnel sur le comportement du blé dur (*Triticum durum* Desf.). Mémoire de magistère. Université .Farhat Abbes Sétif.
- 42. PEARCE, R.S. 2001.** Plant freezing and damage. *Annals of Botany*. 87:417-424.
- 43. PEARCE, R.S. 2004.** Adaptation of Higher Plants to Freezing. In *Life in the Frozen State* Eds. B.J. Fuller, N. Lane and E.E. Benson. CRC Press, Boca Raton, London, New York, Washington D.C., pp. 171-203.
- 44. SAKAI, A. AND W. LARCHER, 1987.** Frost survival of plants. Responses and adaptation to freezing stress. In *Ecological studies*. Springer Verlag, Berlin, p. 321 pp.
- 45. SAUTER, J.J. AND B. VAN CLEVE, 1991.** Biochemical and ultrastructural results during starch-sugar conversion in ray parenchyma cells of *Populus* during cold adaptation. *Journal of Plant Physiology*. 139:19-26.
- 46. SAUTER, J.J. AND S. WELLENKAMP 1998.** Seasonal changes in content of starch, protein and sugars in the twig wood of *Salix caprea* L. *Holzforschung*. 52:255-262.
- 47. TILL, O., 1956.** Über die frosthärte von pflanzen sommergrüner laubwälder. . *Flora*. 143:499-542.

A decorative wreath made of golden wheat stalks, with a central banner in shades of orange and yellow. The banner has a white border and a slight shadow, giving it a three-dimensional appearance. The wheat stalks are arranged in a circular pattern, with some stalks extending outwards.

Introduction

CHAPITRE I
Synthèse bibliographique

CHAPITRE II
Matériels et Méthodes

CHAPITRE III
Résultats et Discussion



Conclusion

Annexes

Références
Bibliographiques

Résumé