



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة محمد البشير الإبراهيمي برج بوعريريج
Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi- B.B.A.
كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الأرض والكون
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre
et de l'Univers
قسم العلوم الفلاحية
Département des Sciences agronomique



Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie
Filière : Sciences Agronomiques
Spécialité : Amélioration des plantes

Intitulé

Etude de la stabilité du rendement de quelques variétés de blé dur (*Triticum durum Desf*) en milieu semi-aride.

Présenté par : Mebarki Siham
Mouna Halla

Devant le jury :

Président : Mr. BAHLOULI Fayçal Pr. (université de BBA)
Examineur : Mr. OULD KIAR Redha M.A.A. (université de BBA)
Encadrant : Mr. MAAMRI Khelifa M.C.B. (université de BBA)

Année universitaire : 2019/2020

REMERCIEMENTS

En préambule à ce mémoire, nous tenons à remercier Allah le tout puissant et miséricordieux qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

Nous souhaitons adresser nos remerciements les plus sincères à notre respectueux Dr. MAAMRI Khelifa qui nous a permis de bénéficier de son encadrement, des conseils qu'il nous a prodigué, la patience, la confiance et l'orientation qui ont constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être mené au bon port.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce travail et pour toutes leurs remarques et critiques.

Nous tenons à remercier sincèrement M.OULD KIAR Redha pour l'organisation des sorties pédagogiques aussi pour ses conseils.

Enfin, on remercie tous nos proches et amis qui nous ont toujours encouragés au cours de l'exécution de ce modeste travail.

Dédicace

*Du profond de mon cœur, je dédie ce modeste travail en premier lieu :
Á mon père Abbes qui est toujours disponible pour nous et prêt à nous
aider, je lui confirme mon attachement et mon profond respect.
Á la source de tendresse, de patience et de générosité, ma mère qui m'a
encouragé durant toutes mes études, et qui sans elle, ma réussite n'aura
pas eu lieu.*

Que le bon dieu les préserve bonne santé et longue vie.

Je le dédie aussi :

Á mon grand frère Ammar, sa femme Nassima et le petit Walid.

Á ma chère sœur Iman, son époux Imad.

Á mes petits anges, le bonheur de ma famille Haydar et Youcef.

Á ma chère sœur Samah qui m'a toujours aider dès le début.

Une spéciale dédicace à ma grand-mère Zohra que je l'aime de tout mon cœur.

*Á mes chères tantes Fatoum, Fatiha, Ghalia et sa petite famille pour
leurs amours et tendresse qui n'ont finiras jamais.*

*Á mes chers oncles surtout Djamal et Hamza qui m'ont aidé toujours et que
j'aime beaucoup.*

*Á tous mes amis, en témoignage de l'amitié sincère et de bons moments passé
ensemble surtout ma très chère amie khawla.*

A mon amie Nor El Houda qui m'a toujours encouragé.

Á celle que j'ai partagé les jours de toute l'année : ma chère Halla.

*Enfinement je dédie ce travail à tous les gens qui ont cru en moi et qui me donnent
l'envi d'aller en avant.*

SIHAM

Dédicace

*Arrivé au terme de mes études par la grâce de dieu,
J'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail aux personnes qui me sont les plus
chères :*

*Ma très chère maman à qui je dois tous mes succès et que je ne remercierai jamais
assez ainsi qu'à Mon père exemple d'honnêteté, de sacrifice pour tout ce qu'il
m'adonne*

À mon très cher frère : Mohamed

À ma chère sœur : Zahra et son mari Rabeh

À mes chères amies surtout : Hanane

À mon Binôme : Siham

À Mes collègues de la spécialité Amélioration des plantes.

À tous ceux que j'aime et qui m'aiment.

À tous ceux qui connaissent Halla.

Halla

Sommaire

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction.....	01

Partie bibliographique

1. Généralités sur le blé.....	03
2. Culture de blé : Historique, origine et classification.....	03
2.1. Historique.....	03
2.2. L'origine de blé.....	03
2.2.1. Origine géographique.....	04
2.2.2. Origine génétique.....	05
2.3. Classification botanique.....	05
3. Cycle de développement.....	06
4. Importance de la culture de blé dur.....	08
4.1. Dans le monde.....	08
4.2. En Algérie.....	10
5. Contraintes de la production de blé en Algérie.....	11
5.1. Contraintes climatiques.....	11
5.2. Contraintes techniques.....	12
5.3. Contraintes foncières.....	12
5.4. Les contraintes économiques.....	12
6. Etat phytosanitaire de la culture du blé.....	13
6.1. Stress biotique.....	13
6.2. Stress abiotique.....	13
6.2.1. Stress thermique.....	13
6.2.2. Stress hydrique et les mécanismes d'adaptation.....	13
7. Stratégies de la réponse des plantes au stress hydrique.....	14
8. Stabilité du rendement.....	17

8.1. Généralités sur la stabilité.....	17
8.2. Les concepts de la stabilité.....	18

Partie expérimentale

Chapitre I : Matériel et méthodes

1. Matériel végétal	19
2. Conditions expérimentales.....	19
3. Paramètres étudiés.....	20
3.1. Analyse de la stabilité ou approche paramétrique.....	20
3.1.1. Paramètres basés sur la régression conjoint.....	20
3.1.2. Paramètres basés sur la variance.....	21
3.2. Les indices non paramétriques de stabilité.....	21
3.2.1. La moyenne des différences de rang absolu (si1) et la variance des rangs sur les environnements (si2).....	21
3.2.2. La déviation relative par rapport à la moyenne des rangs (si3) des génotypes et la somme des écarts absolus des rangs pour chaque génotype par rapport la moyenne des rangs (si6).....	22
3.2.3. Les indices non paramétriques de Thennarasu (1995).....	22
3.2.4. Somme des rangs de kang (Srank).....	22
4. Performance moyenne et analyse de la variance.....	22

Chapitre II : Résultats et discussions

1. Caractéristiques climatiques.....	23
2. Rendement en grain (RDT).....	24
3. Résultat et Discussion de stabilité	26
3.1. Les indices paramétriques de stabilité.....	26
3.2. Les indices non paramétriques de stabilité.....	28
Conclusion.....	35

Référence bibliographique

Annexe

Résumé

Liste des tableaux

Tableau I : Moyennes décennales (2006-2015) de la production (tonnes) et du rendement à l'hectare (tonne/ha) du blé dur des principaux pays producteurs	09
Tableau II : Production des céréales en Algérie.....	10
Tableau III : Evolution de la superficie récoltée, du rendement et de la production de la culture du blé en Algérie de 2010 à 2016.....	11
Tableau IV : Origine des sept variétés étudiées.....	19
Tableau V : Variation des précipitations mensuelles Durant les campagnes (2010-2016).....	23
Tableau VI : Variation mensuelles de température Durant les campagnes (2010-2016).....	24
Tableau VII : Valeurs moyennes du paramètre rendement en grain.....	25
Tableau VIII : Carré moyen de l'analyse de la variance du rendement en grain.....	25
Tableau IX : Rendement grain moyen (Qx/ha) et classement des sept génotypes sur cinq années.....	27
Tableau X : Résultat d'analyse des indices paramétriques de la stabilité de rendement.....	28
Tableau XI : Rang des Génotypes selon les Indices non-paramétriques de Huehn (1979), Nassar et Huehn (1987) et Thennarasu (1995).....	30
Tableau XII : Résultat d'analyse de la stabilité de rendement.....	31

Liste des figures

Figure n°1 : Représentation de la carte géographique du moyen orient.....	04
Figure n°2 : Origine génétique des blés.....	05
Figure n°3 : cycle de développement du blé.....	06
Figure n°4 : Evolution de la superficie récoltée (ha) et de la production du blé en Algérie.....	11
Figure n°5 : Variation des précipitations mensuelles et de température Durant les campagnes.....	24
Figure n°6 : Les coefficients de corrélation de rang de Spearman entre différents paramètres de stabilité paramétrique et non paramétrique pour le rendement en grains de six variétés de blé dur.....	34

Liste des figures

Liste des abréviations

ANOVA : Analyse of variance.

CIMMYT : The International Maize and Wheat Improvement Center.

CV : Coefficient de variation.

Ddl : le degré de liberté.

G*E : Interaction Génotype-Environnements.

ICARDA : International Center for Agricultural Research in the Dry Areas.

INRAA : L'Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie.

ITGC : Institut Technique des Grandes Cultures.

pH : Le potentiel hydrogène.

PPDS : la plus petite différence significative.

Qx/ha : quintal par hectare.

RDT : Rendement grain.

Srank : Somme des rangs de Kang (Rank sum of Kang).

Wi : Écovalence de Wricke (Wricke's Ecovalence).

Yi : Moyenne de rendement du génotype (Moyenne génotypique).

σ^2_i : Variance de Shukla (Shukla stability variance).

Introduction

Introduction

Les céréales constituent une part importante des ressources alimentaires de l'homme et de l'animal. Parmi ces céréales, le blé dur (*Triticum durum* Desf.) compte parmi les espèces les plus anciennes et constitue une grande partie de l'alimentation de l'humanité, d'où son importance économique (Bouzerzour *et al.*, 2000). Il présente un rôle social et politique dans la plupart des pays dans le monde (Ammar, 2015). Les grains de blé dur servent à la fabrication de semoule matière première de la fabrication des pains, pâtes alimentaires, des galettes et de couscous (Kellou, 2008).

Selon les statistiques du Conseil International des Céréales dans l'année 2014/2015, la production de blé dur en Algérie est inférieure à la consommation (Anonyme, 2016). Cette faible production est souvent expliquée par l'influence des mauvaises conditions climatiques associées notamment à la sécheresse, la désertification, l'érosion, et la salinisation des sols.

Les sélectionneurs de blé ont accompli des contributions uniques et d'excellents progrès pour l'augmentation de la production au cours des dernières décennies, principalement dans les pays moins développés. Cependant, il existe de nombreux défis qui leurs attendent encore pour rendre la nourriture plus accessible que jamais d'une manière durable et pour répondre aux besoins d'une population croissante (IWGSC, 2019).

La production algérienne, quoiqu'en augmentation, passant de 1,35 millions de tonnes, moyenne de la période en 2000-2008, à 2,1 millions de tonnes, moyenne de la période 2009-2015, est loin de couvrir les besoins du pays, estimés à 8 millions de tonnes par an (Benbelkacem, 2013).

Par ailleurs, le blé constitue l'une des cultures céréalières les plus importantes au monde, cultivée dans les régions arides et semi-arides du monde (Akbar *et al.*, 2001, Tunio *et al.*, 2006). Les estimations actuelles indiquent en effet, que 25% des terres agricoles du monde sont maintenant affectées par le stress hydrique qui représente l'un des stress environnementaux les plus dévastateurs réduisant la productivité du blé dans de nombreuses parties du monde (Ahmad *et al.*, 2003).

Au cours du cycle de la culture, le caractère intermittent des pluies, associé à une demande climatique élevée engendrent un stress hydrique qui a des conséquences négatives sur le niveau et la régularité des rendements (Haddad *et al.*, 2016). Le rendement grain national de cette culture est le plus faible du bassin méditerranéen à cause de la grande variabilité du climat qui se caractérise par l'augmentation de la température couplée à la baisse des précipitations, en plus la désertification et la sécheresse qui tuent les sols agricole (Mekhlouf *et al.*, 2012). Pour améliorer cette production et

Introduction

la rendre plus stable, plusieurs voies ont été suivies, dont la recherche des nouvelles variétés plus adaptées et plus résistantes à de telles conditions (Hayek *et al.*, 2000).

La plupart des travaux effectués sur le blé dur dans le cadre de l'amélioration génétique de la tolérance au stress hydrique, se sont donnés pendant longtemps pour objectif primordial l'augmentation de la productivité, une approche basée sur les performances agronomiques. Actuellement, les programmes d'amélioration du blé s'intéressent de plus à l'amélioration génétique de la tolérance au stress hydrique (Mekhlouf *et al.*, 2012).

L'objectif de notre travail est l'étude de la stabilité du rendement en grain de quelques génotypes de blé dur cultivés en milieu semi-aride. Pour cela, on a traité les données de plusieurs campagnes agricoles, conduites dans la station INRAA Sétif, avec les différentes approches (paramétriques et non paramétriques) permettant d'estimer la stabilité.

Le travail sera présenté en trois grands chapitres : dans le premier chapitre de ce mémoire une revue bibliographique, le deuxième décrit le matériel végétal et l'ensemble des méthodes utilisées dans notre étude. Les étapes suivies dans l'exploitation de nos résultats ainsi que leur discussion sont présentées dans le dernier chapitre. Au début de ce travail présente une Introduction générale. Une Conclusion et des perspectives sont enfin données.

Partie bibliographique

1. Généralités sur le blé

Les céréales constituent 45% des apports énergétiques dans l'alimentation humaine et leur utilisation organisée est à l'origine des civilisations. Il existe trois groupes de céréales majeures qui correspondent à 75% de la consommation céréalière mondiale. Un premier grand groupe de céréales est formé par le blé, l'orge, le seigle et l'avoine. Il émerge dans le triangle fertile, berceau des civilisations occidentales qui ont donc leur point de départ au Moyen Orient et au Proche Orient. Un deuxième grand groupe est formé par le maïs et un troisième grand groupe est ordonné autour du riz. Avec une production annuelle mondiale d'environ 600 millions de tonnes, le blé est la céréale la plus cultivée dans le monde et la plus consommée par l'homme (Ricroch et *al.*, 2011).

Une des particularités du blé réside dans la forte teneur en amidon (70%) et en gluten (15%) de ses grains. De tous les types de blés, deux ont une importance économique majeure :

- ✓ Le blé dur (*Triticum durum*) est surtout cultivé dans les régions sèches et chaudes au sud de l'Europe et en Afrique du Nord. Riche en gluten, il est employé pour les semoules et pâtes alimentaires .
- ✓ Le blé tendre (*T.aestivum*), le plus cultivé, est produit dans les zones plus tempérées comme le nord de l'Europe et du continent américain pour la confection de la farine panifiable (Sabbagh, 2006).

2. la culture de blé : Historique, origine et classification

2.1. Historique

Le blé est l'une des premières espèces cueillies et cultivées par l'homme, depuis plus de 7000 à 10000 ans, dans le Croissant Fertile, zone couvrant la Palestine, la Syrie, l'Irak et une grande partie de l'Iran (Croston et Williams, 1981). Des restes de blés, diploïde et tétraploïdes, remontant au VII^{ème} millénaire avant J.C ont été découverts sur des sites archéologiques au Proche Orient (Harlan, 1975). Ces données archéologiques fournissent des preuves tangibles de la synchronie entre les débuts de la culture des blés et l'organisation de sociétés sédentaires, marquant ainsi la fin de la période nomade au cours de laquelle chasse et cueillette constituent les principaux moyens de subsistance (Diamond, 2002). En effet, l'histoire de l'homme est intimement liée à celle des céréales qu'il a très tôt appris à domestiquer, cultiver et sélectionner (Bonjean et Picard, 1991).

2.2. L'origine de blé

Il y a 10 000 ans, à la fin de la dernière glaciation, des blés proches de ceux que nous cultivons aujourd'hui poussaient sur de vastes surfaces au Moyen-Orient, qui remonte au néolithique (environ 5000 ans avant J.C.) (Anonyme, 2011). Et peut-être même au mésolithique (7000 avant J.C), (Erroux, 1961).

2.2.1. Origine géographique

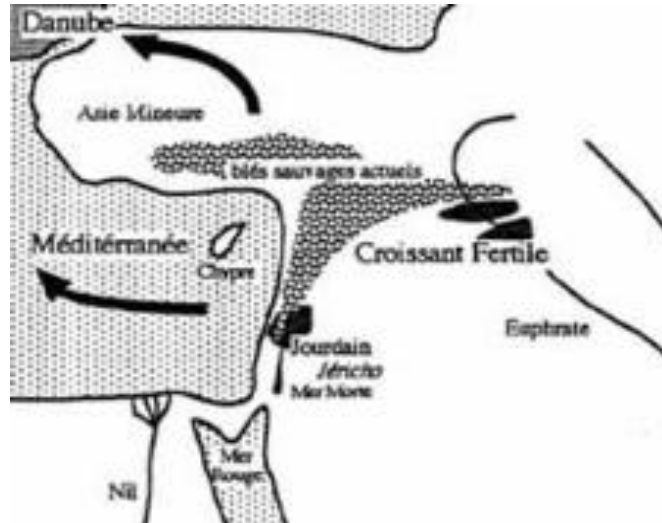


Figure n°1 : représentation de la carte géographique du moyen orient (Mosiniak et al., 2006).

L'origine géographique des blés est un des points les plus discutés ; à ce sujet plusieurs théories et hypothèses ont été émises (Valdeyron, 1961). En effet selon Laumont et Erroux (1961), les recherches effectuées depuis fort longtemps sur le centre d'origine des blés ; basées sur des arguments archéologiques et phylogénétiques, permettant d'admettre que les trois groupes d'espèces du genre *Triticum* aurait trois centres d'origine distincts.

Selon Vavilov, Auriau, 1967 et Moule, 1980) ces groupes sont reparties comme suit :

- Groupes des Diploïdes : dont le centre d'origine est le foyer SYRIEN et le nord PALISTINIEN.
- Groupes des Tétraploïdes : ayant comme centre d'origine l'ABYSSINIE.
- Groupes des Hexaploïdes : dont le centre d'origine est le foyer AFGHANO-INDIEN.

Pour (Grignac, 1978), le Moyen-Orient ou coexistent, les deux espèces parentales et où l'on a retrouvé de nombreuses formes de blé dur, serait le centre géographique (Figure 1).

A partir de cette zone d'origine, l'espèce s'est différenciée dans trois centres : le bassin occidental, la Méditerranée, le sud de l'ex URSS et le Proche-Orient.

L'Afrique du Nord est considérée comme un centre secondaire de diversification de l'espèce (Bensemra, 1990).

La diffusion des blés vers l'Afrique par la route la plus ancienne gagna l'Égypte vers 6 000 avant aujourd'hui et se poursuivit vers le Soudan et l'Éthiopie, au sud, et vers la Libye à l'est.

D'autres voies d'introduction furent maritimes : à partir de la Grèce et de la Crète, certains blés rejoignirent également la Libye ; d'autres, en provenance du Sud de la péninsule italienne et de la Sicile, parvinrent aux côtes de la Tunisie, du Maroc et de l'Algérie (Bonjean, 2001).

2.2.2. Origine génétique

Les espèces de blé tirent leur origine génétique de croisements naturels entre *Triticum monococcum*, *Triticum urartu* et des espèces sauvages apparentées appartenant à *Aegilops (Aegilops speltaoides)* (Figure 2). *Triticum monococcum* et *Triticum urartu* sont les premières formes de céréales cultivées, elles sont de constitution génomique $2n = 14$. (Feldman et Sears, 1981).

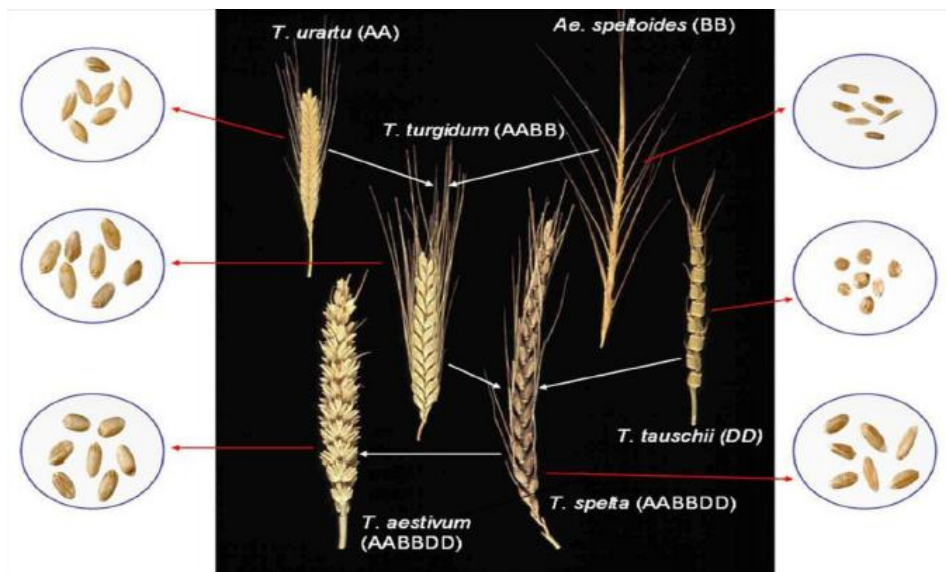


Figure n°2 : Origine génétique des blés (Feillet, 2007).

2.3. Classification botanique

Le blé est le nom commun utilisé pour l'ensemble des espèces des deux genres *Triticum* L. et *Aegilops* L. Le premier comprenant des formes cultivées domestiquées et apparentées et le deuxième regroupe seulement des espèces sauvages (Couplan, 2002).

Blé du latin médiéval "blada" : récolte, dérivé du francique "blad" : produit de la terre. En ancien français, le mot s'employait d'une façon générale à propos de diverses céréales dont le grain sert à l'alimentation. Selon Couplan (2002), Il est devenu en France et en Suisse synonyme de froment (blé tendre).

Le blé dur est une monocotylédone de la famille des graminées. La classification du genre *Tritium* a connu plusieurs controverses. Le nombre exact d'espèces du genre *Triticum* n'est pas définitivement déterminé puisqu'il existe de nombreuses propositions de classification dont les unes considèrent certains taxons comme des espèces, alors que les autres les considèrent comme des sous-espèces (Khalighi et al., 2008).

Le blé dur est classé selon Prats (1960), Crête (1965) et Feillet (2000) comme suit :

- **Embranchement :** *Angiospermes*
- **Sous embranchement :** *Spermaphytes*
- **Classe :** *Monocotylédones*
- **Ordre :** *Glumiflorales*
- **Super ordre :** *Comméliniflorales*
- **Famille :** *Gramineae (Poaceae)*
- **Tribu :** *Triticeae*
- **Sous tribu :** *Triticinae*
- **Genre :** *Triticum*
- **Espèce :** *Triticum durum Desf.*

3. Cycle de développement

Selon Robert (1993), le cycle de la céréale comporte les stades suivants (Figure 3) :

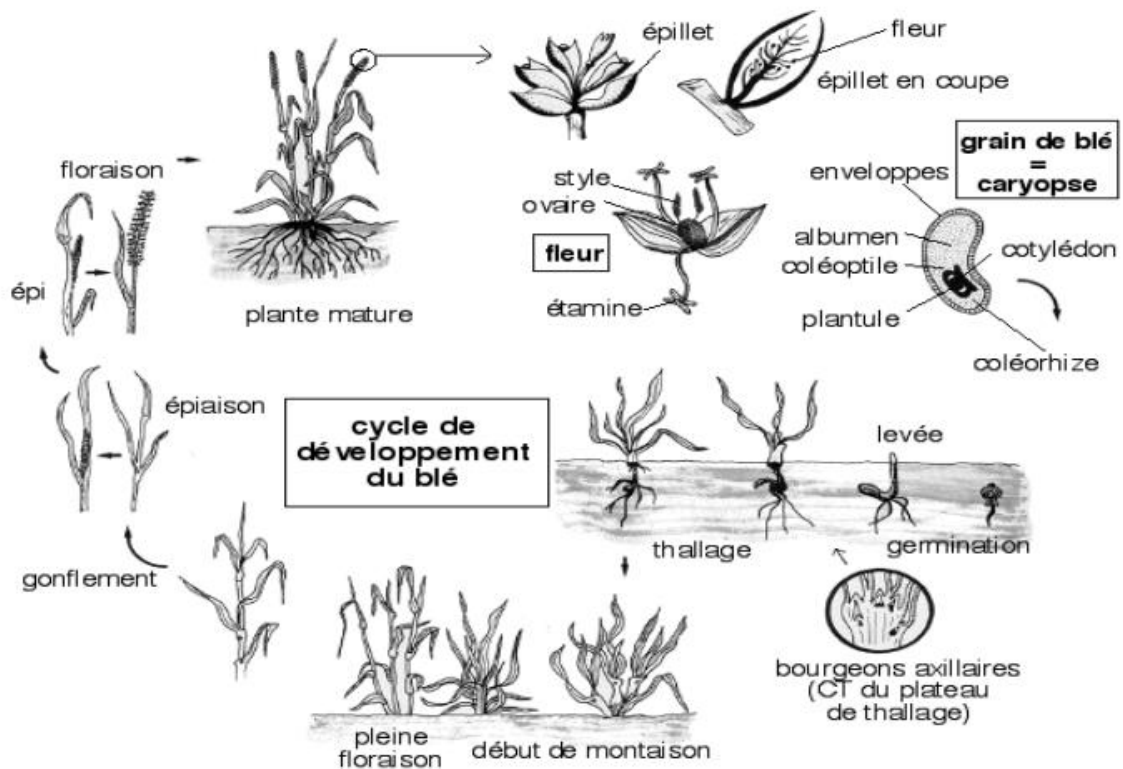


Figure n°3 : cycle de développement du blé (Henry et al., 2000).

❖ Période végétative

➤ Semis-levée

- ✓ Cette période correspond à la mise en place du nombre de pieds/m². La plante forme des ébauches des futures feuilles, Robert (1993).

- ✓ **Levée** : apparition de la première feuille qui traversent le coléoptile (qui est une gaine enveloppant la première feuille), Robert (1993).
- ✓ **2-3 feuilles** : ce stade est caractérisé par le nombre de feuilles de la plantule, Robert (1993).

➤ Le tallage

- ✓ **Stade début tallage** : lorsque la plante possède quatre feuilles, une nouvelle tige (la talle primaire) apparaît à l'aisselle de la feuille la plus âgée. C'est le stade appelé également (double ride) dans lequel le bourgeon végétatif évolue en bourgeon floral. Aussi les ébauches des futurs épillets apparaissent à l'aisselle des ébauches de feuilles constituant une succession verticale en double ride, Robert (1993),
- ✓ **Stade plein tallage** : les talles apparaissent successivement ; talles primaires des deuxièmes et troisièmes feuilles et puis talles secondaires à l'aisselle des feuilles des talles primaires. Des ébauches d'épillets se forment pendant le tallage, alors que les ébauches de feuilles régressent, Robert (1993).

❖ Période reproductrice

➤ La montaison

- ✓ **Stade épi 1 cm** : c'est la fin du tallage herbacé, marqué par l'élongation des entrenœuds de la tige principale. Au niveau des futurs épillets, on peut observer la formation des ébauches de glumes, Robert (1993).
- ✓ **Stade 1 à 2 nœuds** : le premier, puis le second entre- nœud de la tige principale s'allonge. Au cours de cette période, se succèdent deux stades au niveau de l'épi. Le premier stade, correspondant à la formation des glumelles et le deuxième correspondant à la différenciation de l'épillet terminal. Ce dernier indique que le nombre d'épillets est définitif, et alors s'initie la phase de formation des fleurs, Robert (1993).
- ✓ **Stade méiose mâle** : à ce stade, l'épi gonfle et la gaine de la dernière feuille ainsi que les grains de pollen se différencient dans les anthères. C'est une période particulièrement importante dans l'élaboration du nombre de grains, Robert (1993).

➤ L'épiaison

Ce stade recouvre la période des épis, depuis l'apparition des premiers épis jusqu'à la sortie complète de tous les épis hors de la gaine de la dernière feuille, Robert (1993).

➤ La floraison

C'est l'apparition des étamines hors des épillets. A ce stade, la croissance des tiges est terminée, la fécondation a déjà eu lieu et le nombre de grains maximum est donc fixé, Robert (1993).

➤ Le remplissage du grain

- ✓ **Stade grain laiteux** : les enveloppes du grain sont formées. La taille potentielle du grain est déterminée, Robert (1993).
- ✓ **Stade grain pâteux** : le poids de 1000 grains est acquis par suite du remplissage des enveloppes, Robert (1993).
- ✓ **Grain mûr** : Obtenu après la dessiccation du grain entre stade laiteux et pâteux. La quantité d'eau continue dans le grain est stable (BOURRAS, 2001), Robert (1993).

4. Importance de la culture de blé dur

4.1. Dans le monde

A travers le monde, le blé est cultivé dans de différentes conditions climatiques, des latitudes Nord du Canada et de la Chine aux régions Sud de l'Amérique du Sud et de l'Australie. Le blé est adapté à une large gamme de conditions climatiques et pédologique et il est cultivé principalement en conditions pluviales. Il est surtout adapté aux régions tempérées dont les précipitations se situent entre 250 et 1750 mm (Curtis *et al.*, 2002).

Le blé dur est relativement peu produit dans le monde. Ainsi, la production mondiale de blé dur ne constitue en moyenne que quelques 5% de la production totale mondiale, qui a dépassé les 700 millions de tonnes au cours des dernières années ; 20% de la production de blé dur est essentiellement échangée dans le monde (Faostat, 2015).

Historiquement, la principale zone de culture du blé tétraploïde (*Triticum turgidum*, var. *durum* L.) est la région du pourtour de la méditerranée qui détient près de 80 % des superficies emblavées (Royo *et al.*, 2009). La production du bassin méditerranéen varie considérablement car elle est dépendante de la pluie (Tableau 2). L'Italie est le principal producteur de blé dur avec une moyenne de 4,0 millions de tonnes. La Turquie, la France et l'Algérie suivent avec des moyennes, respectives, de 3,0, 2,0 et 2,0 millions de tonnes (Hannachi, 2013).

Tableau I : Moyennes décennales (2006-2015) de la production (tonnes) et du rendement à l'hectare (tonne/ha) du blé dur des principaux pays producteurs (Ammar, 2015).

Pays	Production	Rendement	Pays	Production	Rendement
Canada	4 493 000	2.30	Chine	1 245 000	4.10
Italie	4 281 000	3.04	Inde	1 060 000	1.55
Turque	3 030 000	1.82	Grèce	991 000	2.03
Kazakhstan	2 400 000	1.04	Australie	470 000	1.82
Etats Unies	2 305 000	2.47	Afghanistan	386 000	1.99
France	2 045 000	4.83	Iran	339 000	1.93
Algérie	2 045 000	1.59	Pakistan	331 000	2.63
Syrie	1 962 000	2.15	Ethiopie	321 000	1.38
Mexique	1 772 000	5.67	Egypte	280 000	5.69
Maroc	1 452 000	1.46	Arabie saoudite	277 000	4.16
Russie	1 315 000	2.16	Irak	222 000	2.35
Espagne	1 287 000	2.03	Argentine	210 000	2.37
Tunisie	1 259 000	1.87	Chili	56 000	4.50

La deuxième grande zone de production est celle des plaines intérieures du nord de l'Amérique du Nord (USA et Canada). Vaste territoire de culture du blé dur qui comprend les Dakotas, le Montana, le Saskatchewan et l'Alberta. La production totale de blé dur, cycle de printemps, de ce territoire se situe chaque année entre 6.5 à 8.0 millions de tonnes. Le Canada est le plus gros producteur mondial de blé dur et la production annuelle varie entre 4,5 à 6 millions de tonnes (Ranieri, 2015).

La demande mondiale de blé devient de plus en plus concurrentielle avec l'augmentation des importations en volume, ainsi que du nombre de pays importateurs. En effet, la carte de la demande mondiale se compose actuellement de trois pôles d'importations qui sont :

- L'Afrique du Nord.

- Le Proche Orient.
- L'Asie méridionale et l'Asie orientale. (Ranieri, 2015).

4.2. En Algérie

Selon les données de Faostat (2017), la production céréalière de 2017 a été estimée par le gouvernement à environ 3,5 millions de tonnes, soit 5 pour cent de plus que la récolte de 2016 et 17 pour cent de moins que la moyenne quinquennale précédente (2012-2016). Quelque 2,35 millions d'hectares ont été plantés avec des céréales d'hiver qui ont été récoltées en 2017, contre 2,2 millions d'hectares plantés la saison précédente (Tableau 03).

Tableau II : Production des céréales en Algérie (Faostat, 2017)

	Moyenne	2016	2017	Variation
	2012-2016	(000 tonnes)		2017/2016
Blé	2 833	2 200	2 400	+9
Orge	1 246	1 000	968	-3
Avoine	104	118	104	-10
Autres	3	2	2	0
Total	4 186	3 320	3 474	+5

La production est marquée par une forte irrégularité, elle-même conditionnée par les aléas climatiques (Figure 04). Le blé dur est semé sur 1,2 millions d'hectares avec une production moyenne qui oscille entre 1.5 à 2.0 millions de tonnes (Tableau 04). La production nationale couvre 40% des besoins du pays, et représente 45% de la production totale des céréales alors que la production de l'orge représente plus de 28% suivi par 24% pour le blé tendre (Benbelkacem, 2013). Bien que la sole, emblavée en blé dur, soit relativement importante, au regard des superficies réservées à la céréaliculture et malgré d'indéniables progrès, les rendements demeurent faibles et très irréguliers comparativement à ceux réalisés par les pays méditerranéens de l'Europe. Afin de combler le déficit en produits céréaliers, l'Algérie recourt à des fournisseurs (Rastoin et Benabderrazik, 2014).

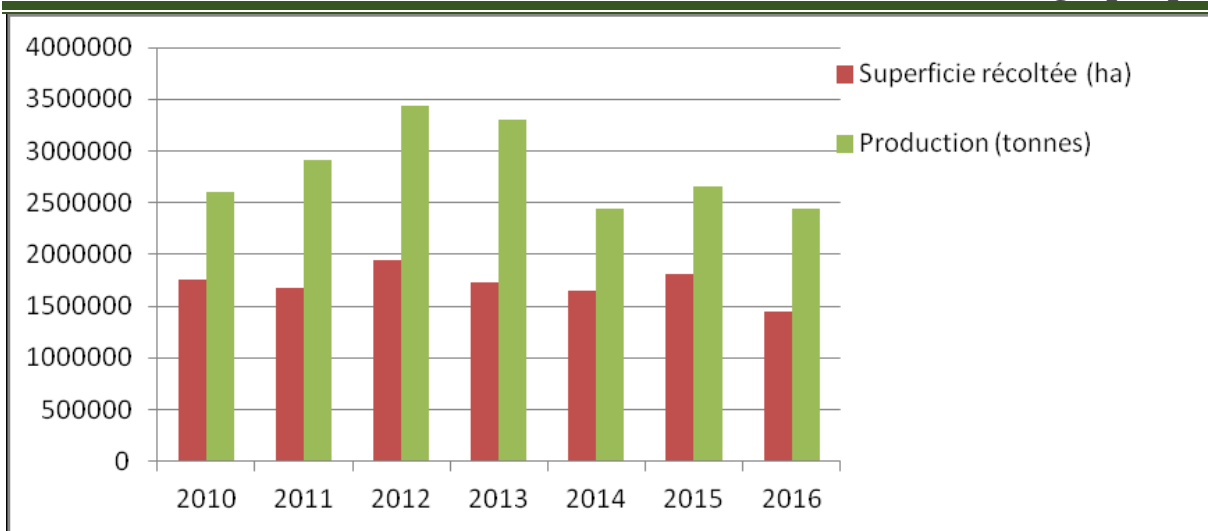


Figure n°4 : Evolution de la superficie récoltée (ha) et de la production du blé en Algérie (faostat 2017).

Tableau III : Evolution de la superficie récoltée, du rendement et de la production de la culture du blé en Algérie de 2010 à 2016 (faostat, 2017).

Année	Superficie récoltée (ha)	Rendement (qx/ha)	Production (tonnes)
2010	1 755 728	14,838	2 605 178
2011	1 672 431	17,405	2 910 890
2012	1 945 776	17,639	3 432 231
2013	1 727 242	19,100	3 299 049
2014	1 651 311	14,753	2 436 197
2015	1 814 722	14,640	2 656 731
2016	1 442 846	16,912	2 440 097
Moyenne	1 698 915, 25	16,47	2 728 425,75

5. Contraintes de la production de blé en Algérie

5.1. Contraintes climatiques

Les variations interannuelles de la production de blé sont dues principalement aux conditions climatiques qui varient chaque année et qui jouent un rôle dominant sur les fonctions de croissance et de développement (Gate, 1995).

5.1.1. Pluviométrie

En Algérie quel que soit la zone cultivée, la pluviométrie est un facteur prédominant qui conditionne fortement les récoltes (Feliachi, 2000). La pluviométrie est globalement déficitaire, puisque dans les zones les plus emblavées en céréales, elle varie de 350 mm à 550 mm (Hachemi et *al.*,1979).

5.1.2. Température

D'après Gate (1995), le froid constitue un des facteurs limitant de la production du blé dur, il précise qu'une seule journée avec une température minimale inférieure à - 4 °C entre le stade épi à 1cm et un nœud pénalise le nombre de grains par épi. Les gelées printanières, dans les hautes plaines et même dans les plaines d'intérieurs à basse altitude causent des pertes importantes par gels des épis au stade floraison (Hachemi et *al.*,1979).

Les hautes températures sont aussi parmi les facteurs intervenant dans la limitation du rendement. En effet, si une hausse de température survient au stade remplissage du grain, elle peut faire chuter le rendement de 50 % par l'échaudage (Chaker et Brinis, 2004).

5.2. Contraintes techniques

Un faible taux d'utilisation des engrais, mauvais suivi des techniques culturales, utilisation des outils inadaptés et à un étalement des semis au-delà des délais techniques requis, rendant ainsi les céréales vulnérables à tout éventuel stress hydrique, notamment en fin de cycle (MADR, 2008).

5.3. Contraintes foncières

Le statut de la terre d'une part, le morcellement et la dimension des exploitations, d'autre part, constituent des entraves aux tentatives d'amélioration de la production céréalière (ITGC, 1999). D'après Rachedi (2003), 60 % des superficies se trouvant situées sur des terres peu productives et les efforts d'intensification et de mécanisation deviennent difficiles.

5.4. Les contraintes économiques

Elles sont liées aux coûts de production élevés résultant de la cherté des facteurs de production et de matériel agricole, mais aussi à la disponibilité insuffisante des intrants en qualité et quantité dans les délais recommandés (Lounes et Guerfi, 2010).

6. Etat phytosanitaire de la culture du blé

6.1. Stress biotique

Les principaux agents biotiques qui constituent des risques primaires pour la production du blé sont les micro-organismes pathogènes, telles que les virus, les bactéries, les champignons et les nématodes. Les plantes souffrent également d'une concurrence avec d'autres plantes indésirables (plantes adventices) et naturellement, elles sont souvent endommagées par les attaques des insectes (Agrios, 2005 ; Haggag, 2013). Les maladies fongiques affectant le blé peuvent être regroupées selon les symptômes qu'elles induisent et les parties de la plante affectées. Parmi les principales maladies fongiques, la fusariose de l'épi constituent une vraie menace pour la culture du blé.

6.2. stress abiotique

Les facteurs abiotiques qui affectent le rendement et la qualité des grains de blé sont principalement les facteurs climatiques (la température et l'amplitude de variations, l'eau et sa disponibilité relative, le vent et la lumière).

6.2.1. Le stress thermique

Dans les zones arides et semi-arides d'altitude, le stress thermique peut intervenir même en début du cycle. L'effet des hautes températures au semis se manifeste par une réduction de la longueur de la coléoptile (Hazmoune, 2000). Wardlaw et *al.*, (1989) montrent que la température optimale pour le développement et le remplissage du grain, varie de 12 à 15°C pour de nombreux génotypes de céréale à paille. Ils observent une diminution de 3 à 5 % du poids du grain pour chaque degré d'augmentation de la température à partir de la base des 12 à 15°C. Dans l'écart des moyennes de températures de 12 à 15°C, une réduction de la durée de remplissage est compensée par une augmentation du taux de remplissage, avec pour effet peu de variation du poids moyen du grain.

L'altitude et le climat de type méditerranéen imposent un hiver très froid et pluvieux, 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 (Chenaffi et *al.*, 2006).

6.2.2. Le stress hydrique et les mécanismes d'adaptation

Le manque d'eau, déficit hydrique ou la sécheresse représente le stress abiotique le plus sévère, (Chenaffi et *al.*, 2006).

Le stress hydrique peut se définir comme le rapport entre la quantité d'eau nécessaire à la croissance de la plante et la quantité d'eau disponible dans son environnement, sachant que la

réserve d'eau utile pour la plante est la quantité d'eau du sol accessible par son système racinaire (Laberche, 2004). La demande en eau de la plante est quant à elle déterminée par le niveau de transpiration ou évapotranspiration, ce qui inclut les pertes d'eau tant au niveau des feuilles qu'au niveau du sol (Laberche, 2004). L'adaptation est un mécanisme nécessaire pour les variétés à adopter dans les régions arides et semi- arides, pour tolérer la sécheresse (Slama et *al.*, 2005).

7. Stratégies de la réponse des plantes au stress hydrique

A. La stratégie d'esquive

Cette stratégie consiste à éviter de subir le déficit hydrique en effectuant le cycle de développement pendant des périodes pluvieuses. On réduit alors le risque de perte de rendement, en échange d'une réduction du rendement maximum atteignable (Jean-pierre et *al.*, 2006). Le décalage du cycle cultural depuis des périodes à forte demande climatique vers des périodes à plus faible risque est la stratégie des cultures d'hiver, qui réalisent leur cycle sur une période à faible risque de déficit hydrique et compensent une croissance à une saison où le rayonnement incident est réduit par une durée plus longue du cycle (Folkert et *al.*, 2001).

B. La stratégie d'évitement

Cette stratégie consiste à empêcher que la plante soumise à des conditions hydriques défavorables ne subisse un stress hydrique trop important. Ces adaptations réduisent le risque de perte de rendement, mais ont le plus souvent un coût en terme de rendement maximum (Jean-Pierre et *al.*, 2006). Les mécanismes d'évitement sont de type morphologique et physiologique.

B.1. Mécanismes morphologiques

a- Longueur des barbes

La longueur des barbes est un paramètre morphologique qui semble être étroitement lié à la tolérance au déficit hydrique terminal, tout au moins chez le blé dur (Hadjichristodoulou, 1985). Slama (2002) mentionne que la variété ayant la barbe la plus développée, sous contrainte hydrique présente le meilleur rendement. En plus, la présence des barbes augmente l'efficacité d'utilisation de l'eau et l'élaboration de la matière sèche lors de la phase de maturation du grain (Nemmar, 1980).

Lors de la phase du remplissage des grains, La photosynthèse est moins sensible à l'action inhibitrice des hautes températures chez les génotypes barbus comparativement aux génotypes glabres (Fokar et *al.*, 1998).

b- Réduction de la croissance foliaire

Une réduction de la croissance foliaire est bénéfique aux plantes soumises à un stress hydrique, la surface des feuilles est diminuée et la transpiration réduite par l'enroulement des feuilles. Habituellement, l'effet exercé par un potentiel hydrique faible est attribué à une perte de turgescence des cellules des zones en croissance (Nabors, 2008). Chez le blé, l'enroulement des feuilles chez certaines variétés peut être considéré comme un indicateur de perte de turgescence en même temps qu'un caractère d'évitement de la déshydratation, il entraîne une diminution de 40 à 60 % de la transpiration (Amokrane et *al.*, 2002).

c- Développement racinaire accru

L'efficacité de l'extraction de l'eau du sol par les racines figure parmi les types d'adaptation permettant à la plante d'éviter ou, plus exactement, de retarder la déshydratation de ses tissus (Turner et *al.*, 2001). L'augmentation de l'absorption peut être due à l'extension de l'absorption en profondeur et en surface, à la vitesse de croissance et de ramification des racines (Laurent et Sané, 2007). L'absorption d'eau est maximisée par un ajustement autrement dit, un investissement élevé au niveau des racines (Jackson et *al.*, 2000).

B.2. Mécanismes physiologiques

Les paramètres physiologiques d'adaptation permettent de rendre compte des phénomènes de tolérance avec le potentiel hydrique élevé qui est liée à la réduction des pertes d'eau par la régulation stomatique (Monneveux, 1991), de tolérance avec un abaissement de potentiel hydrique qui s'exprime par un maintien de la turgescence, rendu possible grâce à l'ajustement osmotique (Monneveux et This, 1997).

B.2.1. Régulation stomatique

La surface des feuilles est percée de pores microscopiques et nombreux (environ 10.000 par cm²) : les stomates, qui jouent un rôle fondamental dans la régulation des pertes en eau de l'appareil foliaire. La régulation de l'ouverture-fermeture des stomates dépend, du potentiel hydrique foliaire et de l'humidité de l'air au champ (Turner, 1997) Le degré de fermeture des stomates est déterminé par la mesure de la conductance stomatique (Grieu et *al.*, 2008). Une faible conductance conduit à une fermeture des stomates rapide en conditions de déficit hydrique. Les génotypes à faible conductance sont plus sensibles au déficit de vapeur et à la baisse du potentiel hydrique foliaire que les génotypes à forte conductance. Une faible conductance est généralement proposée comme un trait favorable à l'adaptation à la sécheresse (Jones et Rawson, 1979).

La fermeture stomatique s'accompagne d'une réduction de l'assimilation de CO₂ dans les feuilles (par diminution de diffusion) et d'une augmentation de la température des feuilles (le flux transpiratoire contribue à une dissipation de l'énergie radiative incidente) qui peut entraîner une altération des processus photochimiques de la photosynthèse (Grieu et *al.*, 2008).

En situation de stress hydrique, au niveau des racines, l'hormone végétale naturelle ; ABA (acide abscissique) est synthétisée en réponse à la dessiccation du sol. L'émission de cette hormone bloque la croissance des organes et ferme les stomates (Hamon, 2007), mais la forte accumulation de l'acide abscissique ou la réactivité élevée vis-à-vis de cette hormone en présence de stress hydrique semblent affecter négativement la croissance et l'activité photosynthétique de la plante en conditions de sécheresse (Sarda et *al.*, 1992).

B.2.2. Ajustement osmotique

De nombreuses plantes réagissent au stress hydrique par une diminution du potentiel osmotique, provoqué par l'accumulation de soluté. Ce processus est appelé ajustement osmotique (William et Hopkins, 2003). Cette réponse permet éventuellement de maintenir la turgescence foliaire à une valeur positive, en dépit d'un abaissement du potentiel hydrique du milieu (Winkel et Do, 1992). L'ajustement osmotique est réalisé grâce à une accumulation des solutés principalement vacuolaire conduisant à un maintien du potentiel de turgescence (Blum, 1989).

L'accumulation des solutés dans le cytoplasme permet à la plante de maintenir sa turgescence et d'éviter la déshydratation (Morgan et *al.*, 1986). Les solutés responsables de l'osmo-régulation sont essentiellement des acides organiques, des acides aminés et des sucres. Certains constituants inorganiques peuvent être présentes tel que : les nitrates et le potassium. Parmi les acides aminés : la proline, qui accumulée pourrait jouer un rôle d'osmoticum (Kauss, 1977). Elle pourrait, également, intervenir dans la régulation du pH cytoplasmique (Pesci et Deffagna, 1984) ou constituer une réserve d'azote utilisée par la plante postérieurement à la période du stress (Tal et Rosenthal, 1979).

L'ajustement osmotique apparaît donc comme un mécanisme majeur d'adaptation à la sécheresse : il permet le maintien de nombreuses fonctions physiologiques (photosynthèse, transpiration, croissance...) ; il peut intervenir à tous les stades du développement et son caractère inductible suggère qu'il n'a pas (ou peu) d'incidence sur le rendement potentiel (Belhassen et *al.*, 1995).

B.2.3. Efficacité de l'utilisation de l'eau

La tolérance à la sécheresse d'une plante cultivée est le résultat de l'expression de nombreux caractères d'adaptation dont l'efficacité d'utilisation de l'eau (Hafsi, 2001). Généralement

l'efficacité d'utilisation de l'eau exprime le rapport de la matière sèche totale produite à l'évapotranspiration pendant une période donnée (Richards et *al.*, 2002). Si cette période est spécifique au cycle cultural, on parle d'efficacité d'utilisation nette ; si elle s'étale durant toute l'année, on parle d'efficacité d'utilisation brute (Bos, 1985). Lorsque la production considérée n'est pas la biomasse totale, mais une partie de celle-ci, telles que les grains ou les fruits, on parle alors d'efficacité d'utilisation de l'eau pour le rendement. D'un point de vue économique, l'efficacité de l'eau est définie comme le rapport du rendement économique à la quantité d'eau utilisée (Gardner et *al.*, 1985).

Certains auteurs ont montré que l'amélioration de cette efficacité dépend de la photosynthèse et de la production de matière sèche de la partie aérienne. En effet dans les zones arides et semi-arides où les quantités d'eau stockées dans les horizons profonds du sol sont faibles ou nulles, la stratégie à adopter est d'orienter plus assimilât carbonés vers la production de matière sèche de la partie aérienne que vers celle des racines. La sélection de variétés ayant la capacité d'avoir un ratio matière sèche de la partie aérienne/matière sèche de la partie souterraine élevé et des feuilles érigées est donc à privilégier. La position érigée des feuilles peut favoriser l'interception de plus d'eau de pluies et réduire la lumière incidente et donc la quantité d'eau perdue par transpiration (Karrou, 2000). L'irrigation d'appoint est considérée comme une technique potentielle qui améliore l'efficacité d'utilisation de l'eau (Boutfirass et *al.*, 1994).

8. Stabilité du rendement

8.1. Généralités sur la stabilité du rendement :

Sur les hauts plateaux algériens, les performances de rendement de la culture du blé dur (*Triticum durum Desf.*) sont limitées par l'action des stress de nature abiotique. La variation des rendements, d'une année à l'autre et d'un lieu à l'autre, a pour origine la sensibilité du matériel végétal à l'effet combiné des basses températures hivernales, du gel printanier, du stress hydrique et des hautes températures de fin de cycle de la culture (Bahlouli et *al.*, 2005).

Dans ce contexte les notions de stabilité de rendement ont été largement étudiées pour interpréter l'interaction génotype * environnement. En effet, la stabilité est une notion plus large que la notion d'interaction : elle caractérise l'importance des fluctuations d'un caractère observé (par exemple le rendement), pour une même variété cultivée dans différents milieux ou à différentes conditions climatiques. Plus une variété est stable, moindre est sa variation phénotypique (Brancourt-Hulmel et *al.*, 1997). Dans le cas contraire, l'interaction G*E pourrait empêcher la réponse à la sélection variétale et ainsi à son amélioration (Cooper et Delacy, 1994). Cette interaction une fois identifiée, doit être soigneusement évaluée afin d'orienter le programme de sélection et identifier les cultivars adaptés aux différents environnements.

8.2. Les concepts de la stabilité

Selon Freeman (1973) une des principales raisons de la conduite des génotypes dans des environnements distincts est d'estimer leur stabilité (Lin et *al.*, 1986 ; Becker et Léon, 1988).

- Premier concept : Si la variation d'un génotype au sein d'un environnement est faible. Becker & Léon (1988) ont appelé cette stabilité le concept statique ou biologique de stabilité. Un génotype stable possède une performance constante sans être influencé par les variations des conditions culturales.
- Deuxième concept : Si la réponse d'un génotype aux environnements est semblable à la réponse moyenne de tous les génotypes de l'essai ; aussi appelé le concept dynamique ou agronomique de stabilité. Un génotype stable n'a aucune déviation de la réponse générale aux environnements et permet ainsi une réponse prévisible aux environnements. Le coefficient de régression (b_i) (Finlay & Wilkinson, 1963) et la variance de la stabilité de Shukla (1972) (s^2_{i}) peuvent être utilisés pour mesurer ce type stabilité.
- Troisième concept : Becker & Léon (1988) ont rapporté que toutes les procédures de stabilité basées sur des effets de mesure de l'interaction G*E appartiennent au concept dynamique. Ceci inclut les procédures de l'éco valence de Wricke (1962) et les équivalences de Shukla, les procédures utilisant l'approche de régression telle que proposée par Finlay & Wilkinson (1963), Eberhart & Russell (1966) et Perkins & Jinks (1968) et les analyses non paramétriques de stabilité.

Partie expérimentale

Chapitre I

Matériel et méthodes

1. Le matériel végétal

Le matériel végétal utilisé durant toute l'expérimentation (Tableau II) est constitué d'une collection de sept génotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.). Trois génotypes ont été obtenus à partir d'une sélection CIMMYT/ICARDA et les quatre autres, à partir de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC).

Tableau IV : Origine des sept variétés étudiées (Chaib et *al.*, 2015).

Variétés	Origine
Waha	Syrie ICARDA/CIMMYT
Bousselem	ICARDA/CIMMYT
Mexicali75	Arizona
Oued Zenati	Algérie
Polonicum	Algérie
Hoggar	ICARDA/CIMMYT
Altar 84	ICARDA/CIMMYT

2. Les conditions expérimentales

L'expérimentation a été conduite sur le site expérimental (36°15' N, 5°37' E, 981 m) de l'unité de recherche INRAA de Sétif au cours de cinq campagnes agricoles (2010/16).

La zone appartient à l'étage bioclimatique semi-aride caractérisé par un climat de type méditerranéen, continental, semi-aride, caractérisé par un été chaud et sec, un hiver froid, une pluviométrie irrégulière, des gelées printanières très fréquentes et des vents chauds et desséchants en fin de cycle des céréales.

Le sol a une texture argileuse ; le taux de matière organique est faible. Le calcaire total est de 35 % et le pH est basique prenant une valeur moyenne de 8.2 (Chennafi *et al.*, 2006). Les génotypes sont semés dans un dispositif randomisés en blocs avec trois répétitions, sur des parcelles élémentaires constituées de trois rangs de 1.5 m de long et 0.20 m espacement entre rangs.

3. Paramètres étudiés

3.1. Analyse de la stabilité ou approche paramétrique

Pour réduire la part d'incertitude liée à l'interaction génotype * environnement, l'analyse de la régression a été développée à travers les environnements et les années. Il s'agit d'une régression à plusieurs variables pour exprimer la performance des génotypes comme une fonction linéaire d'un indice environnemental.

3.1.1. Paramètres basés sur la régression conjointe

- **Coefficient de régression (bi) et déviation de régression (S²di)**

La performance du génotype est généralement exprimée par trois paramètres, le rendement moyen (Rdt moy), le coefficient de régression (bi) et la déviation (s²di) de la régression. Ils ont prouvé qu'un coefficient de régression avoisinant la valeur de l'unité indique une adaptation large, et lorsqu'on l'associe avec un rendement élevé, le génotype serait adapté ainsi aux conditions de culture favorables.

$$S^2di = (1/E-2) [\sum_i (\bar{X}_{ij} - \bar{X}_i - \bar{X}_j + \bar{X} \dots)^2 - (b_i - 1)^2 \sum_i (\bar{X}_j - \bar{X} \dots)^2].$$

$$b_i = 1 + [\sum_i (X_{ij} - \bar{X}_i - \bar{X}_j + \bar{X} \dots) (\bar{X}_j - \bar{X})] / [\sum_i (\bar{X}_j - \bar{X} \dots)^2].$$

En revanche, les valeurs de coefficient de régression supérieures à la valeur de 1 décrivent l'augmentation de la sensibilité des génotypes lorsque les conditions environnementales varient. Les génotypes bien adaptés auront des coefficients positifs, les génotypes mal adaptés auront des coefficients négatives (Denis, 1980 ; Denis & Vincourt, 1982).

Eberhart & Russell (1966) ont ajouté la déviation de la régression comme mesure de la stabilité. Ainsi, un génotype serait considéré comme étant stable lorsque la déviation se rapproche de 0.

- **Moyenne des performances de rendement (yi)**

La moyenne des performances d'un génotype dans un ensemble d'environnements peut être utilisée comme indicateur de la stabilité et de la performance. Ceci n'est vrai que si la meilleure moyenne des performances indique la supériorité du génotype considéré au niveau de tous les environnements tests.

$$Y_{ii} = \sum Y_{ij}/n.$$

3.1.2. Paramètres basés sur la variance

- **L'écovalence de Wricke (W1)**

C'est une mesure de la stabilité relative du génotype (Becker, 1981 ; Becker & Léon, 1988). Il s'agit de la contribution du génotype g à la somme totale des carrés des écarts de l'interaction. La stabilité du génotype n'est plus jugée dans l'absolu, mais relativement à celle des autres génotypes testés avec lui. Les génotypes avec la plus basse éco valence contribuent moins à l'interaction G*E et sont donc plus stables.

$$W_i^2 = \sum (X_{ij} - \bar{X}_{i.} - \bar{X}_{.j} + \bar{X} \dots)^2.$$

- **Variance de Shukla ($\sigma^2 i$)**

La stabilité de la variance de Shukla est une mesure relative selon les génotypes utilisés dans l'essai et les résultats doivent être limités ainsi seulement aux génotypes de l'essai et ne devraient pas être généralisés. Un génotype est donc seulement considéré comme stable lorsqu'il réagit parallèlement à la réponse de tous les génotypes testés. Il s'agit de la contribution du génotype à la somme totale des carrés des écarts de l'interaction. La stabilité de la variance est une combinaison linéaire de l'éco valence (Wricke & Weber, 1980).

- **Coefficient de variation (CV %)**

Le coefficient de variation représente l'écart type exprimée en % de la moyenne des rendements des environnements tests pour un génotype donné. Les valeurs élevées de ce paramètre sont donc indicatrices d'une variabilité inter environnements des rendements élevée. Plus la valeur du CV(%) est élevée plus la variété est instable.

3.2. Les indices non paramétriques de stabilité

La stabilité des génotypes a été approchée également par des méthodes non paramétriques, basée sur l'ordre de classement des génotypes par environnement, elles sont moins exigeantes en termes d'hypothèses restrictives notamment l'homogénéité des variances, la normalité de la distribution et l'additivité des effets.

3.2.1. La moyenne des différences de rang absolu (si1) et la variance des rangs sur les m environnements (si2) :

Les statistiques (Si1) et (Si2) proposées par Huehn (1979) sont basées sur le classement des génotypes dans les divers environnements et donnent un poids égal pour chaque environnement. Les génotypes avec moins de changement de leurs rangs sont considérés plus stables.

3.2.2. La déviation relative par rapport à la moyenne des rangs (si3) des génotypes et la somme des écarts absolus des rangs pour chaque génotype par rapport la moyenne des rangs (si6)

Les indices (si3) et (si6) sont deux autres statistiques non paramétriques qui intègrent simultanément l'estimation de la performance et la stabilité en se basant sur les rangs des génotypes pour le rendement dans chaque environnement (Nassar et Huehn, 1987).

3.2.3. Les indices non paramétriques de Thennarasu (1995)

Les indices non paramétriques proposés par Thennarasu (1995) $N_{Pi}(1)$, $N_{Pi}(2)$, $N_{Pi}(3)$, $N_{Pi}(4)$, sont basées sur les rangs des moyennes ajustées des génotypes.

3.2.4. Somme des rangs de kang (Srank)

Les valeurs élevées sont suggestives de l'instabilité des performances alors que celles qui sont faibles sont indicatrices de la stabilité. Cet indice ne donne aucune idée sur les performances de rendement en tant que tel.

4. Performance moyenne et analyse de la variance

Les analyses statistiques présentées ont été effectuées à l'aide du logiciel GENES (Cruz, 2013) pour l'analyse des indices paramétrique, Microsoft Excel pour les analyses non paramétriques (Thennarasu, 1995).

Chapitre II

Résultats et discussions

1. Caractéristiques climatiques

• La pluviométrie

L'eau est une ressource indispensable pour les végétaux, la présence de ce dernier est une condition très importante pour que toute plante continue leur développement et aussi assurer leur fonctions vitales.

La quantité moyenne de pluies enregistrées par les cinq campagnes agricoles est variable, la valeur la plus élevée était durant la campagne 2010 /2011 avec 312,19 mm, la plus basse au cours de la campagne 2015/2016 avec 216,66 mm. Durant les campagnes expérimentales, la quantité de pluie tombée était irrégulière d'un mois à un autre. Le tableau VI nous montre les fluctuations des quantités de précipitations variables selon le mois.

Tableau V : Variation des précipitations mensuelles Durant les campagnes (2010-2016).

Mois Année	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
2010/2011	22.35	13.22	97.54	36.58	81.04	43.18	18.28
2011/2012	26.17	48.01	64.25	14.22	79.5	6.1	14.98
2012/2013	5.84	77.21	51.83	29.22	38.09	58.42	2.03
2014/2015	61.97	68.84	60.95	52.82	5.08	25.91	26.15
2015/2016	0	17.27	35.31	73.66	42.42	37.84	10.16

• La température

Les basses températures printanières (gel tardif) et les hautes températures terminales, parmi les différents stress environnementaux qui causent certainement des catastrophes sur les productions agricoles. La température moyenne mensuelle présente une distribution bimodale, qu'il était basse au cours des stades végétatifs (tallage, montaison et gonflement) et élevée au cours de la floraison, remplissage du grain et la phase d'installation de la culture (semis - début tallage) (tableau VII).

En effet, la température moyenne enregistre une diminution à partir du mois de décembre (environ 5,68°C) jusqu'au mois de février (environ 4,14°C), puis elle remonte progressivement, vers le mois de mars jusqu'au mois de juin (environ 21,96°C).

Tableau VI : Variation mensuelles de température Durant les campagnes (2010-2016).

Mois Année	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
2010/2011	5.5	5.2	4.7	8.2	13.4	15.8	20.6
2011/2012	5.8	4.2	1.6	9.1	11.1	17.5	25.5
2012/2013	5.6	4.9	3.5	9.1	12.4	14.6	20
2014/2015	5	3.7	4	8.3	13.8	18.3	21.3
2015/2016	6.5	6.7	6.9	7.7	13.7	17.1	22.4

On observe d’après le diagramme ombrothermique (Figure 5), réalisé à partir des moyennes des températures et des précipitations de nos cinq campagnes (de 2010 à 2016) - que la période humide s’étend de décembre jusqu’au mois de mai, et que la période de sécheresse commence au début du mois de mai jusqu’à la fin du cycle de la plante.

Il est à souligner que cette variation de la température limite la croissance de la végétation au cours de la période où généralement le sol est humide et accélère la croissance à un moment où la contrainte hydrique est plus présente.

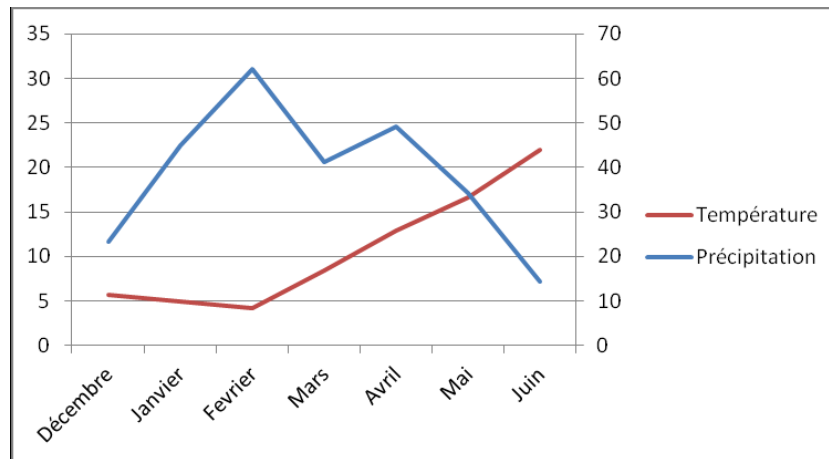


Figure n°5 : Variation des précipitations mensuelles et de température Durant les campagnes.

2. Rendement en grain (RDT)

Hoggar c’est la variété qui enregistrés les taux les plus élevés avec 46,46 Qx/ha alors que les génotypes Polonicum, Oued Zenati et Mexicali 75 présenté les valeurs les moins importantes de rendement en grain sont 37,37, 39,60 et 39,69 Qx/ha respectivement La moyenne générale est égale à 42,12 Qx/ha (Tableau VIII).

Tableau VII : Valeurs moyennes du paramètre rendement en grain

Génotypes	RDT (Qx/ha)
Altar 84	45,01 b
Mexicali 75	39,69 e
Hoggar	46,46 a
Bousselem	42,47 d
Waha	44,23 c
Polonicum	37,37 f
Oued Zenati	39,60 e
Moyenne	42,12
PPDS 5%	0,63

RDT : Rendement en grain. Les moyennes suivies par la ou les même(s) lettre (s) ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5%.

L'analyse de la variance combinée est présentée sur le tableau IX. Cette analyse de variance combinée a été effectuée pour déterminer les effets de l'environnement, du génotype et leurs interactions sur le rendement grains des sept génotypes. Les résultats de cette analyse ont montré des différences très hautement significatives entre les environnements et l'interaction génotype-environnement pour le rendement grain qui reflète une réponse différentielle des génotypes dans différents environnements. Le coefficient de variation est égal à 2,05%.

Tableau VIII : Carré moyen de l'analyse de la variance du rendement en grain.

Source de variation	Carré moyen	
	Ddl	RDT (Qx/ha)
Campagne	4	7493,67***
Génotype	6	166,55***
Campagne X génotype	24	282,92***
CV (%)		2,05

RDT : Rendement en grain. *** : significatif au seuil de 0.1%

La comparaison des moyennes de l'effet génotype du rendement en grain, par le test PPDS à 5%, illustre l'existence de six groupes homogènes (tableau VII).

Les résultats de Semchedine (2015), indique que chaque génotype est caractérisé par une meilleure performance pour une des composantes du rendement ; et que les meilleurs génotypes en termes de rendement en grains sont Bousselem et Mexicali.

3. Résultat et discussion de stabilité

3.1. Les indices paramétriques de stabilité

- **l'analyse de la régression conjointe**

La régression conjointe est l'une des techniques les plus employées pour analyser l'interaction génotype-milieu du rendement chez de nombreuses espèces et aussi pour aborder les problèmes de stabilité (Brancourt-Hulmel et al., 1997). Plusieurs auteurs ont décrit et élaboré cette méthode : Yates et Cochran (1938), Finlay et Wilkinson (1963), Eberhart et Russell (1966) et Perkins et Jinks (1968).

Les coefficients de régression se situent entre 0.69 et 1.30 (Tableau XI). Les génotypes qui ont un coefficient supérieurs à l'unité ($b_i > 1$) sont : Altar 84, Hoggar et Bousselem alors que le restes des génotypes (Waha, Polonicum, Oued zenati et Mexicali75) enregistrent des coefficients de régression inférieur à l'unité ($b_i < 1$).

La régression conjointe de la performance génotypique moyenne sur l'indice l'environnemental montre que les résultats des deux paramètres de stabilité (b_i) et (s^2_{di}) ne sont pas consistants pour l'évaluation de la réaction des génotypes face à la variation des conditions environnementales.

Le génotype est considéré stable selon Eberhart et Russell (1966) lorsque le coefficient de régression est égal à l'unité ($b_i = 1$) avec une déviation moyenne de la régression nulle ($s^2_{di} = 0$).

Les génotypes Hoggar, Altr84, Waha enregistrent des performances de rendement grain supérieures à la moyenne générale, des valeurs de coefficient de régression qui ne dévient pas significativement de l'unité (1.30, 1.049, 0.95) en ordre, et des valeurs de la déviation moyenne de la régression (S^2_{di}) non significativement différent de zéro (39.40, 41.70, 30.47) en ordre.

- **Moyenne de la performance de rendement (y_i)**

La moyenne des performances d'un génotype dans un ensemble d'environnements peut être utilisée comme indicateur de la stabilité et de la performance. Ceci n'est vrai que si la meilleure moyenne des performances indique la supériorité du génotype considéré au niveau de tous les environnements tests.

Le génotype Hoggar présente la meilleure moyenne des performances avec 46,46Qx/ha, mais l'étude des moyennes des performances indique ce génotype n'est pas le plus performant au niveau de tous les environnements tests, donc moins régulier ou instable.

En effet, ce génotype doit cette performance moyenne à son bon comportement en E4 où il réalise un rendement supérieur à 81,13 Qx/ha. Cette performance élevée masque les faibles rendements réalisés par ce génotype en E1, E3, E2 et E5.

Les résultats indiquent que la moyenne des performances n'est pas toujours un critère d'appréciation de la stabilité, mais il l'est pour la performance moyenne du génotype considéré.

Tableau IX : Rendement grain moyen (Qx/ha) et classement des sept génotypes sur cinq années.

N°	Génotype	Rendement grain moyen	Rang
1	Altar 84	45,018	2
2	Mexicali 75	39,694	5
3	Hoggar	46,462	1
4	Bousselem	42,478	4
5	Waha	44,236	3
6	Polonicum	37,37	7
7	Oued Zenati	39,606	6

• Stabilité basée sur l'analyse de la variance

1. Ecovalence (w_i) le model de wricke

Le calcul de l'écovalence est basé sur les valeurs de l'interaction G x E du génotype considéré. Ce paramètre mesure la stabilité de type 2 (stabilité de type dynamique) selon Lin et *al.*, (1986). Sur la base de ce paramètre, les génotypes les plus stables sont Oued Zenati, Mexicali 75 et Waha (Tableau XI). Ces génotypes, mis à part oued zenati, n'étaient pas les mieux classés pour le rendement moyen, étant 6ème, 5ème et 3ème respectivement. D'une autre part les génotypes instables étaient Hoggar, Bousselem, Polonicum et Altar 84, ces génotypes étaient classés pour le rendement moyen 1er, 4ème, 2ème et 7ème respectivement.

2. Variance de shukla ($\sigma^2 i$)

La variance de Shukla est déduite à partir des résidus du modèle additif, elle est donc assez similaire à l'écovalence dont le calcul est basée sur l'interaction GxE. Ce paramètre est une mesure de la stabilité. Selon Becker et Leon (1988), $\sigma^2 i$ est l'équivalente de W_i et de ce fait ces deux paramètres classent de manière similaire les performances génotypiques. Sur la base de ce

paramètre Polonicum, Hoggar, Bousselem et Altar 84 sont les moins stables et les autres génotypes sont relativement plus stables, notamment Oued Zenati Waha et Mexicali 75. (Tableau XI).

3. Coefficient de variation (CV %)

Le coefficient de variation représente l'écart type exprimée en % de la moyenne des rendements des environnements tests pour un génotype donné. Les valeurs élevées de ce paramètre sont donc indicatrices d'une variabilité inter environnements des rendements élevée. Plus la valeur du CV(%) est élevée plus la variété est instable.

Dans le cadre de la présente étude, les valeurs de ce paramètre variant de 43,91% pour Waha à 56,14% pour Hoggar (Tableau XI). Ainsi Waha, Oued Zenati, Altar 84 présentent des CV relativement plus faibles, comparativement aux valeurs de ce paramètre notées chez les variétés, Mexicali 75 Hoggar, Bousselem, Polonicum entre autres, qui se montrent moins régulières dans le temps.

Tableau X : Résultat d'analyse des indices paramétriques de la stabilité de rendement.

Génotype	W_i^2	Y	σ_i^2	s^2d_i	b_i	CVi
Altar 84	295.51	45.018	84.56	41.70	1.049	47.96
Mexicali 75	138.41	39.694	29.85	19.75	0.99	49.41
Hoggar	412.24	46.462	125.42	39.40	1.30	56.14
Bousselem	322.11	42.478	93.88	45.25	1.06	51.62
Waha	216.4	44.236	56.9	30.47	0.95	43.91
Polonicum	788.66	37.37	257.17	93.92	0.69	49.16
Oued Zenati	89.83	39.606	12.58	12.088	0.93	46.28

3.2. Les indices non paramétriques de stabilité

La stabilité des génotypes a été approchée également par des méthodes non paramétriques, basée sur le l'ordre de classement des génotypes par environnement.

- **La moyenne des différences de rang absolu (Si1) et la variance des rangs sur les m environnements (Si2)**

Selon Huehn (1979), Les statistiques (Si_1) et (Si_2) sont basés sur le classement des génotypes dans les divers environnements et donnent un poids égal pour chaque environnement. Les génotypes avec moins de changement de leurs rangs sont considérés plus stables.

D'après les indices (Si_1) et (Si_2), les génotypes, Polonicum (G6), Oued Zenati(G7) et Hoggar (G5) ont eu les plus petits changements dans les rangs et sont ainsi considérés les génotypes les plus stables. Le génotype Polonicum (G6) se distingue par la performance et la stabilité étant classé deuxième pour la performance de rendement et la stabilité. En revanche Oued Zenati (G7) est le moins performant pour le rendement grain mais considéré le plus stable. L'indice (Si_1) peut perdre de l'efficacité lorsque les génotypes sont similaires dans leurs interactions avec les environnements (Rasoli et *al.*, 2015).

- **La déviation relative par rapport à la moyenne des rangs (si_3) des génotypes et la somme des écarts absolus des rangs pour chaque génotype par rapport la moyenne des rangs (si_6)**

Les indices (si_3) et (si_6) sont deux autres statistiques non paramétriques qui intègrent simultanément l'estimation de la performance et la stabilité en se basant sur les rangs des génotypes pour le rendement dans chaque environnement (Nassar et Huehn, 1987).

Une valeur plus basse pour chacune de ces statistiques montre une stabilité maximale pour le génotype. Les valeurs sont présentées sur le tableau XIII et les rangs des génotypes sont présentés sur le tableau XII.

Les résultats de (SI_3) et (SI_6) ont indiqué que les génotypes Hoggar (G3), Waha (G5) et polonicum(G6) sont révélés stable et adaptés à tous les environnements.

- **Les indices non paramétriques de Thennarasu (1995)**

Les indices non paramétriques de Thennarasu (1995) $NPi(1)$, $NPi(2)$, $NPi(3)$, $NPi(4)$, sont basées sur les rangs des moyennes ajustées des génotypes.

Les résultats des statistiques non paramétriques de la stabilité de Thennarasu (1995) qui ont été calculés à partir des rangs des rendements ajustés sont présentés sur les tableaux X. Selon les paramètres $NPi(2)$, $NPi(3)$ et $NPi(4)$ et Sauf le $NPi(1)$ les génotypes Waha et Hoggar ont été considérés stable, Waha : 1, 1, 1 et Hoggar : 2, 2, 2.

Tableau XI : Rang des Géotypes selon les Indices non-paramétriques de Huehn (1979), Nassar et Huehn (1987) et Thennarasu (1995).

Géotype	Rdt et rang	Rang pour les Indices non-paramétriques (Huehn, 1979, Nassar et Huehn, 1987)				Rang pour les Indices non-paramétriques (Thennarasu, 1995)			
		SI(1)	SI(2)	SI(3)	SI(6)	NP(1)	NP(2)	NP(3)	NP(4)
Altar 84	45,01 (2)	6	5	4	4	6	3	4	3
Mexicali 75	39,69 (5)	1	4	5	5	2	4	3	4
Hoggar	46,46 (1)	1	2	1	2	5	2	2	2
Bousselem	42,47 (4)	7	7	7	7	7	6	5	7
Waha	44,23 (3)	5	5	2	1	2	1	1	1
Polonicum	37,37 (7)	1	2	3	3	2	7	6	4
Oued Zenati	39,60 (6)	1	1	6	6	1	5	7	6

- **Somme des rangs de kang (Srank)**

Les valeurs de la somme des rangs des rendements en grains des différentes variétés dans les différents environnements se rangent entre 6 (Altr84) et 14 (Polonicum) (Tableau XIII). Les valeurs élevées sont suggestives de l'instabilité des performances alors que celles qui sont faibles sont indicatrices de la stabilité. Les variétés qui sont relativement plus stables sont Altra74 avec : 2.6, 4.3, 3.9, 1.9, Waha avec 2.4 , 4.3 , 3.18, 1.4, Mexicali 75 avec 2.2, 3.8, 4.22, 2.33, Hoggar avec 2.2, 3.3, 2.86, 1.65 et Oued Zenati avec 2.2, 3.2, 4.57, 2.5. Alors que celles qui sont instables sont Bousselem et Polonicum. Cet indice ne donne aucune idée sur les performances de rendement en tant que tel.

- **La variance θ_i**

Plaisted et Peterson (1959) ont proposé la composante de variance des interactions environnement-géotype pour les interactions entre chacun des couples de géotypes possibles et ont considéré la moyenne de l'estimation pour toutes les combinaisons avec un géotype commun

comme une mesure de la stabilité. Le génotype présente une valeur inférieure, considéré comme le plus stables.

La variété Oued Zenati a exprimé une faible valeur avec 69,68 suivis par Mexicali75 et Waha avec 76,76 et 88,15 respectivement. Ces résultats présentent les génotypes les plus stables.

- **Composante de variance GE**

Cette statistique est une mesure modifiée du paramètre de stabilité, le génotype est supprimé de l'ensemble des données et la variance GE de ce sous-ensemble est l'indice de stabilité du génotype. Dans cette approche les génotypes qui présentent des valeurs plus élevées pour le θ (i) sont considérés comme plus stables.

On remarque la valeur la plus élevé est marquée par le génotype Oued Zenati avec 107,2 suivi par Mexicali75 avec 105.09 et Waha avec 100.53 donc sont les plus stable par contre les variétés Hoggar, Altar84 avec 95.92, Bousselem 94.37 et Polonicum 67.15 qui sont les moins stables.

Tableau XII : Résultat d'analyse de la stabilité de rendement.

Génotype	SI (1)	SI (2)	SI (3)	SI (6)	NP (1)	NP (2)	NP (3)	NP (4)
Altar 84	2.6	4.3	3.90	1.90	2	0.26	0.50	0.59
Mexicali 75	2.2	3.8	4.22	2.33	1.4	0.28	0.46	0.61
Hoggar	2.2	3.3	2.86	1.65	1.6	0.23	0.42	0.47
Bousselem	3.2	7.3	8.11	3.22	2.2	0.46	0.50	0.88
Waha	2.4	4.3	3.18	1.40	1.4	0.22	0.36	0.44
Polonicum	A	3.3	3.66	1.77	1.4	0.6	0.58	0.61
Oued Zenati	2.2	3.2	4.57	2.5	1.2	0.4	0.59	0.78

Suit :

$\theta(i)$	θ_i	KR
95.92	99.67	6
105.09	76.76	7
89.11	116.70	7
94.37	103.55	9
100.53	88.17	6
67.15	171.59	14
107.92	69.683	7

Discussion

Les résultats du coefficient de corrélation de rang de Spearman ainsi que les 19 statistiques de stabilité paramétriques et non paramétriques et le rendement moyen en grains sont présentés dans la figure 6.

Dans les environnements la performance moyenne du rendement a été hautement significativement et positivement corrélée avec les paramètres du coefficient de régression (b_i), significative et faiblement positive avec NP(1) et négative avec NP(2), NP(3), NP(4) et Kr. Des corrélations négative mais non significatives entre le rendement grains et les paramètres θ_i et W_i .

La variance de Shukla ($r=1$), Sdi2 ($r=0,98$), Kr ($r=0,86$), θ_i ($r=1$) sont hautement corrélé significativement positive avec l'indice d'éco-valence de Wricke, et ils sont corrélé négativement de façon significative avec avec $\theta_{(i)}$ ($r= -1$). La variance de Shukla est aussi corrélés d'une manière positive et hautement significative avec les indices kR ($r=0,86$), Sdi2 ($r=0,98$) et $\theta_i(r=1)$.

La variance θ_i est corrélée positivement et de façon hautement significative avec l'indice Kr ($r=0,86$). L'indice non paramétrique $Si(1)$ est fortement corrélé avec les autres indices non paramétriques $Si(2)$, $Si(3)$, $Si(6)$, $NPi(1)$, $NPi(4)$.

La déviation moyenne de la régression d'Eberhart et Russell (S^2_{di}) est corrélée positivement et significativement avec le coefficient de déviation ; ce dernier a montré une corrélation positive et significative avec le cv ($r=0,62$) et il est corrélé négativement avec Kr ($r=-0,65$).

L'indice $Si(2)$ est corrélé positivement et hautement significatif avec $Si(3)$ et NP(1) , significativement positif avec $Si(6)$ et $NPi(4)$. L'indice $Si(3)$ est lié aux indices $Si(6)$, $NPi(4)$ et $NPi(1)$. L'indice $Si(6)$ est fortement corrélé avec $NPi(4)$. Les indices non paramétriques de Thennarasu (1995) sont fortement corrélés entre eux.

La performance de rendement en grains n'est pas liée significativement avec les valeurs de l'écovalence de Wricke (W_i), la variance de Shukla (σ^2_i) et le coefficient de variation (Cv%). Donc, la performance de rendement en grains de ces indices. Par contre l'écovalence de Wricke (W_i), la variance de Shukla (σ^2_i) et le coefficient de variation (Cv%) informent uniquement sur le degré de stabilité indépendamment de la performance.

Ces résultats indiquent que les indices sont séparables en deux groupes, selon le type de stabilité recherchée, dynamique ou statique. Les premiers associent, plus ou moins, la performance de rendement au degré de stabilité de type dynamique, alors que les seconds révèlent la stabilité, de type statique, indépendamment de la performance.

Les résultats de cette étude corroborent partiellement ceux rapportés par Changizi *et al.*, (2014). Ces derniers comparent divers indices de stabilité chez le maïs, ils observent que ces indices se regroupent globalement selon le type de stabilité, statique vs dynamique, avec une subdivision

selon le degré d'association avec la performance. Ces auteurs mentionnent que les indices étudiés montrent une étroite liaison avec la capacité de rendement et de ce fait ils sont conseillés pour la sélection de génotypes performants et à large adaptation.

Nos résultats sont en accord avec ceux de Mohammadi *et al.*, (2012) et ceux de Karimzadeh *et al.*, (2012) qui mentionnent que les indices, σ^2 Shukla, CV%, et W_i sont suggérés pour la sélection de génotypes stables indépendamment de la performance de rendement.

Temesgen *et al.*, (2015) suggèrent que les indices CV%, W_i et la σ^2 Shukla doivent être utilisés en complémentarité pour identifier les génotypes stables, sans perdre de vue l'information sur la performance de rendement des génotypes sélectionnés.

Dans cette étude, les résultats de la matrice de corrélation du rendement grain et les indices de stabilité paramétrique et non paramétriques ont montré que plusieurs indices statistiques peuvent être recommandés pour l'évaluation de la stabilité du rendement grain des variétés de blé dur dans différents environnement.

Des résultats similaires et en accord avec notre étude sont rapportés dans les travaux de Hannachi (2017) (travaillant sur six génotypes durant cinq campagnes successives), Hadded (2017) (a étudié quinze variétés au cours de trois année et aussi Pourdad et Ghaffari (2009), étudiant la stabilité du rendement en utilisant des mesures paramétriques et non paramétriques,

Conclusion

Conclusion

La présente étude s'est fixé comme objectif l'étude de la stabilité du rendement de sept variétés de blé dur d'origines différentes (locales et introduites).

L'analyse des données durant les cinq campagnes d'expérimentation, révèle que la variété Hoggar est la plus performante pour le rendement et que la variété Polonicum est la moins productive.

Le processus de sélection des génotypes performants et stables est particulièrement compliqué par le phénomène de l'interaction génotype-environnement ($G \times E$). Cette interaction est une expression génotypique différente dans les environnements. L'analyse de la variance combinée (ANOVA) pour l'interaction $G \times E$ montrer un effet hautement significatif ; de plus les effets de l'environnement étaient hautement significatifs.

D'après ces résultats il a été conclu que le principal facteur qui influence les rendements du blé dur est l'environnement. Et qu'il existe une variabilité génétique plus importante chez les populations locales de blé dur.

Plusieurs indices paramétriques (basés sur la conjointe de régression et la variance), et non paramétriques (Si1, Si2, Si3, Si6, NP1, NP2, NP3, NP4), sont employées dans cette étude pour estimer la stabilité du rendement des génotypes. Relativement les différents indices de stabilité calculés sont séparables en deux groupes, selon le type de stabilité recherchée, dynamique ou statique indépendamment de la performance.

Les indices étudiés montrent une étroite liaison avec la capacité de rendement et de ce fait ils sont conseillés pour la sélection de génotypes performants et à large adaptation. Les variétés Oued zenati, Waha et Hoggar sont les plus stables dans les différentes conditions d'environnement.

Comme Perspectives, nous pouvons suggérer d'approfondir l'étude et continuer à suivre les lignées qui ont montré des performances et des potentialités. Elargir l'investigation à d'autres caractères d'importance économique notamment les caractères de qualité et de tolérance et /ou de résistance aux maladies.

Références

bibliographique

Liste des Références bibliographique

-A-

1. **Ahmad, R., Qadir, S., Ahmad, N. & Shah, KH. (2003).** Yield potential and stability of nine wheat varieties under water stress conditions. *Int J Agric Bio*, 5,7–9.
2. **Agrios, G.N. (2005).** Plant Pathology. *Fifth edition, Elsevier Academic Press, San Diego, CA* 962 p.
3. **Aidani H. (2015)** Effet des attaques de Capucin des grains (*Rhizopertha dominica*) sur les céréales stockées, Estimation sur la perte pondérale et le pouvoir germinatif Cas de blé dur dans la région de Tlemcen. *thèse de magister* 82,13, 15.
4. **Akbar, M., Muhammad, T., Tayyab, J. & Muhammad, A. (2001).** Evaluation of exotic wheat germplasm for seed yield and its components under rainfed conditions. *Sarhad J Agric*, 17, 511-513.
5. **Ammar, K. (2015).** Enhancing the Sustainability of Global Durum Wheat Production.
6. **Amokrane A. Bouzerzour H. Benmahammed A. Djekoun A. (2002).** Caractérisation des variétés locales, Syriennes et européennes de blé dur évaluées Constantine, numéro spécial. 33 –38p.
7. **Anonyme, 1999.** ITGC, Analyse des contraintes liées à la céréaliculture. *Programme de développement de la filière céréale* 8-10.
8. **ministère de l'agriculture.** la filière céréales en Algérie, ministère de l'agriculture. (*contraintes*) .25p.
9. **Aouali, S. et Douici-Khalfi A. (2009).** Recueil des principales maladies fongiques des céréales en Algérie. *ITGC*. 10–25.
10. **Auriau, P. (1967).** Amélioration de blé dur. *Annales de l'INA de Tunisie*. 40. 5. 344.

-B-

11. **Bahlouli F., Bouzerzour H .Benmahammed A. (2005).** Selection of stable and high yielding cultivar of durum wheat under semi –arid condition .*Pakistan Journal of Agronomy* 360-365.
12. **Becker H.C. & Léon J., (1988).** Stability analysis in plant breeding. *Plant Breeding* 101 : 1-23.
13. **Belhassen, E., This, D., Monneveux, P. (1995).** L'adaptation génétique face aux contraintes de sécheresse. *Cahiers Agricultures*. 4, 251 – 61.
14. **Benbelkacem, A. (2013).** Rapport des résultats du projet “Enhancing Food Security in Arab Countries” *ICARDA-INRAA*. 35 pages.

Liste des Références bibliographique

15. **Ben semra N., (1990).** effet de la fertilisation azotée et de la densité du semis sur le rendement de la variété de blé dur « Waha » cultivée en zone sub humide. Thèse. ing. *INA. EL HARRACH.* 77p.
16. **Bonjean, A. & Picard, E. (1991).** Les céréales à paille. Origine-histoire économie-sélection. *Ligugé, Poitiers, Aubin imprimeur.*
17. **Bos, M.G. (1985).** Summary of ICID definitions on irrigation efficiencies. In : Les besoins en eau des cultures. *Conférence internationale, Paris, 11-14 septembre 1984. Paris : Institut national de la recherche agronomique,* 889-99.
18. **Boutfirass, M., Karrou, M., El-Mourid, M. (1994).** Irrigation supplémentaire et variétés de blé dans les zones semi-arides du Maroc. Dans : Actes de la Conférence sur les Acquis et Perspectives de la Recherche Agronomique dans les Zones Arides et Semi-arides du Maroc, (éds), Rabat, 24-27 mai 1994.
19. **Brancourt-Hulmel M. & Lecomte C. (1994).** Sélection et stabilité du rendement chez le blé tendre d'hiver. *Agronomie* 14, 611-625.

-C-

20. Chaker A. et Brinis L., (2004). Effet d'un stress thermique à la chaleur sur quelques traits biochimiques de quelques génotypes de blé dur (*Triticum drums* Desf.). *Céréaliculture*, N° 42, pp 21-28.
21. **Cooper M., DeLacy I. H. (1994).** Relationships among analytical methods used to study genotypic variation and genotype-by-environment interaction in plant breeding.
22. **Couplan F., 2002.** Dictionnaire, étymologie de botanique. *2ème édition : Masson & Cie Editeurs* : pp 97-223.
23. **Curtis, B.C., Rajaram, S. & Gómez Macpherson, H. (2002).** Bread wheat. Improvement and production. *FAO Plant Production and Protection Series No. 30. FAO, Rome.*

-D-

24. **Diamond, J. (2002).** Evolution, consequences and future of plant and animal domestication. *Nature*, 418(6898) 700–707.

-E-

25. **Eberhart S.A. & Russell W.A. (1966).** Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.* 6, 36-40.
26. **Erroux J., (1960) :** Introduction au catalogue de blé dur cultivé en Algérie. 35p.

-F-

Liste des Références bibliographique

27. **Faostat. (2015).** Statistical database of the food and agriculture organization of the United Nations. <http://faostat.fao.org>.
28. **Faostat. (2017).** Statistical database of the food and agriculture organization of the United Nations. <http://faostat.fao.org>.
29. **Feillet P. (2000).** Le grain de blé. *composition et utilisation, INRA éditions* 308 p.
30. **Feldman, M. & Sears, E.R. (1981).** The wild gene resources of wheat. *Sci.Am.* 244: 98-108.
31. **Feliachi K., (2000).** Programme de développement de la céréaliculture en Algérie.
32. **Finlay K. W. & Wilkinson G. N. (1963).** The analysis of adaptation in à plant breeding programme. *Aust. J. Agric. Res.* 14: 742-754.
33. **Fokar, M., Nguyen, H.T., Blum, A. (1998).** Heat tolerance in spring wheat Grain filling. *Euphytica* 104 : 9-15.
34. **Folkert A. Hoekstra E. Golvina C. Buitink M, (2001).** Mechanisms of plant desiccation tolerance. *TRENDS in plant science.* Vol 6. 9, 431-438 p.

-G-

35. **Gate P., (1995).** Ecophysiologie du blé. Tec Doc. *Lavoisier. Paris.* 429p.
36. **Gardner, F.P., Pearce, R.B., Michell, R.L. (1985).** Physiology of crop plants. *Ames (Iowa, États-Unis) : Iowa State University Press.* 336 p.
37. **Grieu, P., Maury, P., Debaeke, P., Sarrafi, A. (2008).** Améliorer la tolérance à la sécheresse du tournesol : apports de l'écophysiologie et de la génétique. *Innovations Agronomiques.* 2 ,37-51.
38. **Grignac. P, (1978).** «Le blé. Monographie succincte». *Annale de l'INR. Paris.* 83-98.

-H-

39. **Hachemi MM., Saidani., Bouattoura et Ait ameur C., (1979) .** Situation des céréales en Algérie. *Céréaliculture.* N° 11, pp 7-12.
40. **Haddad L., Bouzerzour H., Benmahammed A., Zerargui H., Hannachi A., Bachir A., Salmi M., Oulmi A., Fellahi Z., Nouar H. & Laala Z. (2016).** Analysis Of Genotype x Environment Interaction For Grain Yield In Early and Late Sowing Date On Durum Wheat (*Triticum durum* Desf) Genotypes. *Jordan Journal Of Biological Sciences* 9(3), 139-146.
41. **Hadjichristodoulou, A. (1985).** Stability of Performance of Cereals in Low- Rain fall Areas as Related to Adaptive Traits. *Drought Tolerance in Winter Cereals Proceedings of an International Workshop, 27-31 October, Capri, Italy,* 191-199.
42. **Hafsi, M. (2001).** Adaptation du blé dur dans les conditions des hautes plaines Sétifiennes. *Thèse de doctorat d'Etat èssciences. Faculté des sciences, UFAS, Sétif, Algérie,* 80 p.

Liste des Références bibliographique

- 43. Hamon, S. (2007).** L'amélioration de la résistance à la sécheresse peut-elle être basée sur les méthodes de sélection traditionnelle et/ ou sur les méthodes biotechnologiques modernes. *Possibilités et limites respectives. Acte des JSIRAUF, Hanoi, 6-9. Montpellier, France.*
- 44. Hannachi, A. (2013).** Analyse diallèle de quelques caractères associés à l'adaptation du blé dur (*Triticum durum* Desf.) au climat semi-aride. *Mémoire de Magister, Université Saad Dahlab, Blida, 106 pages.*
- 45. Harlan, J.R. (1975).** Crops & Man. 2nd Edition, American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Inc., Madison.
- 46. 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.*
- 47. Henry Y, Beyser J. (2000).** Origine des blés dans la science – H sène 26 : 60- 62.

-I-

- 48. IWGSC.(2019).** International wheat genome sequencing consortium, <https://www.wheatgenome.org/>

-J-

- 49. Jean-Pierre A. Philippe D. Bernard I. Gilles L. Bernard S. François T. Alban T, (2006).** Sécheresse et agriculture. Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau. *Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, INRA. France. 72 p.*
- 50. Jones, M.M., Rawson, H.M. (1979).** Influence of rate of development of leaf water deficits upon photosynthesis, leaf conductance, water use efficiency, and osmotic potential in sorghum. *Physiologia Plantarum. 45, 103–111.*

-K-

- 51. Khalighi M., Arzani A. et Poursiahbidi M. A. (2008).** Genetic diversity in *Triticum* ssp and *Aegilops* ssp. using AFLP markers. *African Journal of Biotechnology* Vol. 7, N0 5: 546-552.
- 52. Kauss, H. (1977).** Biochemistry of regulation. In *NORTHCOTE (Ed), International Review of Biochemistry. 2 : 119- 139.*

-L-

- 53. Laberche J-C, (2004).** La nutrition de la plante In *Biologie Végétale. Dunod. 2e (éd). Paris : 154 -163 p.*

Liste des Références bibliographique

54. **Laumont P. & Erroux J., (1961).** Inventaire des blés durs rencontrés et cultivés en Algérie. Mémoires de la société d'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord. *Imprimerie «La typa-Litho» et Ju es. Carbonel*, 5-15.
55. **Laurent H. Sané P., (2007).** Transfert d'eau et d'énergie. In : Bioclimatologie. *Concept et application. Ed. Quae. Paris.* 246p.
56. **Lin C. S., Binns M. R. &Lefkovitch L. P. (1986).** Stability Analysis: Where do we stand? *Crop Science* 26: 894-899.

-M-

57. **Mekhlouf A., Bouzerzour H. & Dehbi F. (2001).** Rythme de développement et variabilité de réponses du blé dur (*Triticum durum* Desf.)Aux basses températures. Tentatives de sélection pour la tolérance au gel. In : *Proceeding séminaire sur la valorisation des milieux semi-arides. Oum El Bouaghi*, 23, 75-80.
58. **Monneveux, P. (1991).** Quelles stratégies pour l'amélioration génétique de la tolérance au déficit hydrique des céréales d'hiver ? Amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. Ed. *AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext. Paris.* 165-186.
59. **Monneveux, P., This, D. (1997).** La génétique aux problèmes de la tolérance des plantes cultivées à la sécheresse : *espoirs et difficultés. Sécheresse.* 1(8) : 29-37.
60. **Morgan, J.M., Hare, P.A., Feletcher, R.J. (1986).** Genetic variation in asmoregulation in bread in durum wheats and its relationshp to grain yield in arrange of field environnements. *Aust.J.gric.Res.* 37 : 449-457.

-N-

61. **Nabors M. (2008).** Réponse des plantes aux hormones et aux stimuli environnementaux. In : biologie végétal. Structure, fonctionnement, écologie et biotechnologie. Ed. *Pearson Education. France.* 247p.
62. **Nemmar, M. (1980).** Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) et chez le blé tendre (*Triticum.aestivum* L.) : étude de l'accumulation de la proline sous l'effet du stress hydrique. *thèse D.A.A. ENSA. Montpellier. France.* 65 p.

-P-

63. **Perkins J. M. &Jinks J. L. (1968).** Environmental and genotype-environmental components of variability. III. Multiple lines and crosses. *Heredity* 23, 339-356.
64. **Prats H. (1960).** Vers une classification des graminées .*Revue d'Agrostologie .Bull. Soc Bot. France* : 32-79.

-R-

Liste des Références bibliographique

65. **Rachedi MF., (2003).** Les céréales en Algérie : problématique et option de réforme. *Céréaliculture*. 38, pp 6-9.
66. **Rastoin, J.L. & Benabderrazik, E.L. (2014).** Céréales et oléagineux au Maghreb. *document de l'Institut de prospective économique du monde méditerranéen (Ipemed)*. 136 pages.
67. **Richards, R.A., Rebetzke, G.J., Condon, A.G., Van Herwaarden, A.F. (2002).** Breeding opportunities for increasing the efficiency of water use and crop yield in temperate cereals. *Crop Sci.* 42 : 111-21.
68. **Ricroch A., Dattée Y. et Fellous M. (2011).** Biotechnologie végétale In : environnement, alimentation, santé. (eds) du Vuibert. *Paris*. 170-182.
69. **Robert D, Gate P, François C. (1993).** Les stades du blé – Brochure de l'ITCF.
70. **Royo, C., Elias, E. & Manthey, F. (2009).** Durum Wheat Breeding. In : Carena M. (eds) Cereals. Handbook of Plant Breeding, vol 3. *Springer, New York, NY*.

-S-

71. **Sabbagh M.A., Xu F., Carlson S.M., Moses L. J et Lee K. (2006).** The development of executive functioning and theory-of-mind. *A comparison of Chinese and U.S. preschoolers. Psychological Science* 17, 74–81.
72. **Sarda, X., Vansuyl, G., Tousch, D., Casse-pierres, F., Lamaze, T. (1992).** Les signaux racinaires de la régulation stomatique. In : « Tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranéenne : diversité génétique et amélioration variétale ». *Colloques INRA*. 64, 75-79.
73. **Shukla GK., (1972).** Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental
74. **Slama, A. 2002.** Étude comparative de la contribution des différentes parties du plant du blé dur dans la contribution du rendement en grains en irrigué et en conditions de déficit hydrique. *Thèse de doctorat en biologie, faculté des sciences de Tunis*.
75. **Slama, A. Ben Salem. M. Ben Naceur. M. Zid, E, (2005).** Les céréales en Tunisie : production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance (*Inrat*). 16(3) : 225-229.

-T-

76. **Tal, M., Rosenthal, I. (1979).** Salt tolerance in *Simmondsia chenensis* water balance and accumulation of chloride sodium and proline under low and high salinity. *Ann. Bot.* 34 : 701-708.
77. **Tunio, S.D., Korejo, M.N., Jarwar, A.D. & Waggan, M.R. (2006).** Studies on indigenous and exotic weed competition in wheat. *Pak J Agri Biol*, 5(4), 1-8.
78. **Turner, N.C. (1997).** Further progress in crop water relations. *Adv Agron.* 58: 293-338.

-V-

Liste des Références bibliographique

79. Valdeyron L., (1961). ressources génétique des blés. Revue scientifique française p27-38.
80. William, G., Hopkins. (2003). Physiologie végétale. Edition de bœck université .Paris. 453 p.
81. Winkel, T.(1992). Caractères morphologiques et physiologiques de résistance du mil (Peiznisetirm glaiiciirn (L.) R. Br.) À la sécheresse L"AGRONOMIE TROPICALE. 46(4) : 339-351.
82. Wricke G. (1962). Erweiterteanalyse von wechselwirkungen in.

-W-

83. Wricke G. (1962). Erweiterteanalyse von wechselwirkungen in.
84. Wricke G. & Weber W. E. (1980). Erweiterteanalyse von wechselwirkungen in versuchsserien. In: *Biometrie- heute und morgen. Köpcke and Überla. (eds). Springer.*

Annexes

Annexes

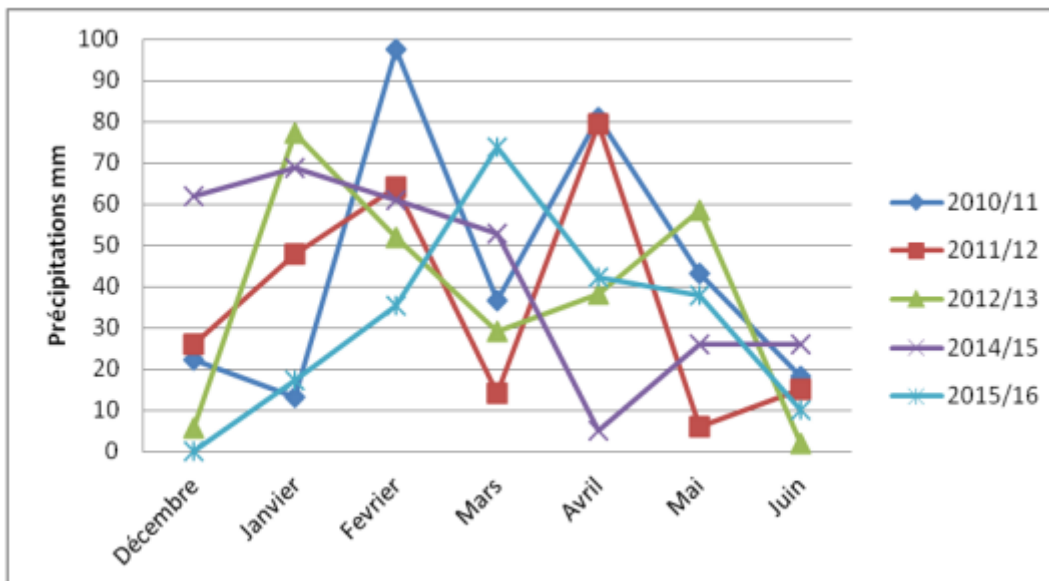


Figure A : Pluviométrie saisonnière des campagnes 2010-2016.

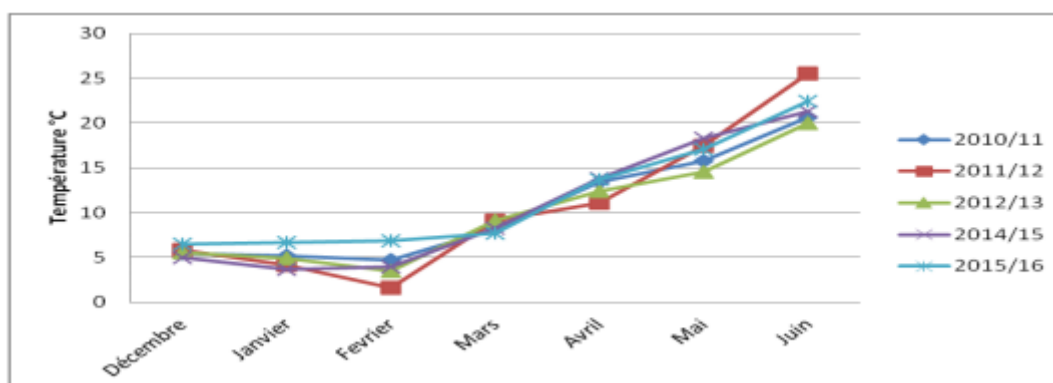


Figure B : Températures mensuelles du cycle végétatif des campagnes 2010-2016

Tableau : Variation des précipitations mensuelles et de température Durant les campagnes.

	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
Précipitation	23,266	44,91	61,976	41,3	49,226	34,29	14,32
Température	5,68	4,94	4,14	8,48	12,88	16,66	21,96

Résumé :

Etude de la stabilité de quelques variétés de blé dur dans le milieu semi-aride :

En zones semi-arides Algériennes exactement sur le site expérimental de station INRA de Sétif une expérimentation a été menée sur une période de cinq campagnes agricoles (2010-2016) et avec sept géotypes de blé dur pour étudier la stabilité du rendement qui est une caractéristique très complexe dépendant de l'interaction géotypes x milieu. L'utilisation d'indices paramétriques (basés sur la conjointe de régression et la variance), et non paramétriques (Si1, Si2, Si3, Si6, NP1, NP2, NP3, NP4,...) a montré que c'est les variétés Waha, Oued zenati et Hoggar qui sont les plus stables au cours de nos campagnes étudiées.

Mots clés : stabilité. Rendement. Blé dur. Semi arides.

الملخص:

دراسة ثبات بعض أصناف القمح القاسي في البيئة شبه الجافة:

في المناطق الجزائرية شبه الجافة، بالضبط في الموقع التجريبي INRA بمحطة سطيف، أجريت تجربة على مدى خمسة مواسم زراعية (2010-2016) وباستعمال سبعة أصناف من القمح الصلب لدراسة ثبات المحصول وهي خاصية معقدة للغاية تعتمد على تفاعل الأنماط الجينية x البيئة. أظهر استخدام المؤشرات البارامترية (بناءً على الانحدار والتباين المشترك)، وغير البارامترية (Si1, Si2, Si3, Si6, NP1, NP2, NP3, NP4, ...) أن الأصناف واحة، واد الزناتي والهجار هي الأكثر استقراراً خلال المواسم المدروسة.

الكلمات الرئيسية: الثبات. المحصول. القمح الصلب. شبه الجاف.

Abstract :

Study of the stability of some varieties of durum wheat in the semi-arid environment

In Algerian semi-arid zones, exactly on the experimental site of the INRA station in Sétif, an experiment was carried out over a period of five agricultural seasons (2010-2016) and with seven durum wheat genotypes to study the stability of the yield which is a characteristic very complex depending on the genotypes x environment interaction. The use of parametric indices (based on the joint regression and the variance), and non-parametric (Si1, Si2, Si3, Si6, NP1, NP2, NP3, NP4, ...) showed that the varieties Waha, Oued zenati and Hoggar are the most stable during our studied campaigns.

Key words : Stability, yield, durum wheat, semi-arid.