

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة البحث العلمي و التعليم العالي
Ministère de l'Enseignement supérieure et de la Recherche Scientifique
جامعة محمد البشير الابراهيمي برج بوعريريج
Université Mohamed el Bachir Ibrahimi –B.B.A
كلية علوم الطبيعة و الحياة و علوم الارض و الكون
Faculté de science 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 : science de la nature et de la vie

Filière : science agronomique

Spécialité : Amélioration des plantes

Intitulé

Etude de la stabilité du rendement du blé dur
(*Triticum durum Desf.*) dans la région de Bordj Bou
Arreridj.

Présenté par : Dahmani Ahlam
Khelifi Ahmed Abir

Devant le jury:

Président : M^r BAHLOULI F. (Université de BBA)

Examineur : M^m KELALECH H. (Université de BBA)

Encadrant : M^r MAÀMRI K. (Université de BBA)

Année Universitaire : 2020/2021

Remerciement :

Nous adressons en premier lieu nos reconnaissance à notre **DIEU** tout puissant, de nous avoir permis d'en arriver là, car sans lui rien n'est possible.

Nous remercions vivement, notre encadreur Monsieur **MAAMRI KHelifa**, pour avoir accepté de nous encadrer et d'assurer la direction de ce travail, et pour nous avoir apporté la rigueur scientifique nécessaire à son bon déroulement, qu'il soit rassuré de ma profonde gratitude.

Nous tenons à remercier :

Les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce travail et pour toutes leurs remarques et critiques.

L'ensemble des enseignants, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé nos réflexions et ont accepté de nos rencontre et de répondre à nos questions durant notre recherches de l'université Mohamed El Bachir Ibrahimi qui ont contribué à notre formation chacun son nom.

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

Dédicace :

Je dédie ce modeste travail

A mes parents pour leur amour, leur confiance, leurs conseils ainsi que leur soutien
inconditionnel, Merci pour m'avoir encouragée et épaulée durant toutes mes études pour
lesquelles je me destine et par conséquent ce mémoire.

Je souhaite particulièrement remercier mes chères sœurs, **Imene, Ikram, Malak**
pour votre accompagnement et votre soutien durant toutes ces années.

À mes deux petits ange : **Rayen, Wassim**

A tout ma grande famille.

A mon binôme **Ahlem** pour sa sympathie.

Puisse dieu vous donne santé, bonheur, courage et sur tout réussite.

Dédicace :

Je vous remercie « **Mon Dieu** » de m'avoir donné la capacité de décrire et de réfléchir.

Force d'y croire, la patience d'aller jusqu'à bout du rêve et le bonheur.

De lever mes mains vers le ciel et de dire « ya kayoum »

Je dédie ce modeste travail et ma profonde gratitude à ma mère et mon père pour

l'éducation qu'ils m'ont prodigué : avec tous les moyens.

Et au prix de toutes les sacrifices qu'ils ont consentis à mon égard.

Pour le sens du devoir qu'ils m'ont enseigné depuis.

A ma chère sœur **Imane** et **khaoula**, et ma chérie Maroua

et à mon chère Mohamed l'amine.

A tous mes amis, en témoignage de l'amitié sincère et de bons moments
passés ensemble surtout mes très chères amis **Haoua** et **Nassima** et mon binôme **Abir**.

Je le dédie aussi à mes chères tantes **Nouara**, **Fatiha**, **Aicha**, **Saida**

et sa petite famille pour leur amour et tendresse qui n'ont jamais fini.

AHLAM

Sommaire

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

Chapitre I : Matériel et méthodes

I.1.Description du site expérimentale.....	04
I.2.Matériel végétales.....	04
I.3.Condition expérimentales.....	04
I.4.Analyse de la stabilité.....	05
I.4.1.Les indices paramétriques.....	05
I.4.1.1.Paramètre basés sur la régression conjointe.....	05
II.4.1.2.Paramètre basés sur la variance.....	06
II.4.2.Les indices non paramétriques.....	07
II.4.2.1.La moyenne de déférence de range absolu (s_i1) et la variance des Range sur l'environnement (s_i3).....	07
II.4.2.2. La déviation relative par rapporte à la moyenne des range (s_i3) des génotypes et la somme des écarts absolu des range pour chaque génotype par rapport la moyenne des range (s_i6).....	07
II.4.2.3.Les indices non paramétriques de Thennarasu.....	07
II.4.2.4.La somme de ranges de Kang (Srank).....	07
II.5.performance moyenne et analyse de la variance.....	08

Chapitre II : Résultat et discussion

II.1.Caractéristiques climatique	09
--	----

II.2.Rendement en graine.....	10
II.3.Résultat et discussion.....	10
II.3.1.Les indices paramétrique.....	11
II.3.2.Les indice non paramétrique.....	12
Conclusion.....	18
Référence bibliographique	
Résumé	

Liste des abréviations :

Bi : Coefficient de régression.

CIMMYT : Centre international pour l'amélioration du maïs et du blé.

CV : Coefficient de variation.

G*E : Interaction Génotype-Environnements.

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

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

ITGC : Institut Technique des Grandes Cultures.

PH : Le potentiel hydrogène.

Qx/ha : quintal par hectare.

RDT : Rendement grain.

S²di : Déviation de régression.

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

Wi : Éco-valence de Wricke (Wricke's Ecovalence).

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

σ²i : Variance de Shukla (Shukla stability variance).

Liste de tableaux :

Tableau I : Origine des trois variétés étudiées	04
Tableau II : Valeur moyennes du paramètre rendement en grain	10
Tableau III : Résultat d'analyse des indices paramétriques de la stabilité de rendement	12
Tableau VI: Rang des Géotypes selon les Indices non-paramétriques.....	14
Tableau VII : Résultat d'analyse de la stabilité de rendement	15

List des figures :

Figure 01 : Evolution de la pluviométrie durant la période (2010-2020)	09
Figure 02 : Evolution de la température moyenne annuelle (2010-2020).....	10
Figure 03 : Les coefficients de corrélation de rang de Spearman entre différents paramètres de stabilité Paramétrique et non paramétrique pour le rendement en grains de trois variétés de blé dur.....	17

Introduction :

La filière céréales et dérivés constitue une des bases importantes de l'agro-alimentaire en Algérie. Importance qui résulte, notamment, de la place prépondérante qu'occupent les céréales et leurs dérivés dans l'alimentation humaine, notamment la semoule (couscous et pâtes) et la farine (pain), comme dans l'alimentation animale (sons et farines basses) (Chehat F. 2007).

La production des céréales en Algérie présente une caractéristique fondamentale depuis l'indépendance à travers l'extrême variabilité du volume des récoltes. Cette particularité témoigne d'une maîtrise insuffisante de cette culture et de l'indice des aléas climatiques. Cette production est conduite en extensif et elle est à caractère essentiellement pluvial (Bencharif A., Rastoin J. L. 2007).

La demande en blé en Algérie est couverte, en partie par la production nationale qui oscille, selon les campagnes (fonction essentiellement, de la pluviométrie), entre 0,9 et 4,9 millions de tonnes. Le reste est satisfait par les importations (Bencharif A., Rastoin J. L. 2007).

La production céréalière a atteint 34,8 millions de quintaux (qx) pour la campagne 2016-2017, contre 34,3 millions de qx lors de la saison 2015-2016, la campagne agricole 2017-2018 a été marquée une importance production évaluée à 60,57 millions de quintaux , la moyenne de la période 2018-2019, l'Algérie a enregistré une production record de blé. La moyenne de la période 2019-2020 est estimée à 3,95 millions de tonnes (Djermoun A. 2020).

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).

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 ; Chennafi *et al.*, 2006). Cette variation est la résultante des interactions entre le génotype et l'environnement.

La stabilité du rendement est un critère important pour le développement de cultivars destinés à des milieux à pluviométrie variable (Brancourt-Hulmel *et al.*, 2003). En effet il est connu que le rendement d'un cultivar donné varie d'un lieu à l'autre, notion d'adaptabilité, et d'une année à l'autre, notion de stabilité (Lin *et al.*, 1986). Des résultats de plusieurs recherches semblent indiquer que le

Introduction :

potentiel de rendement est peu ou négativement lié à la stabilité et à l'adaptabilité (Benmahammed *et al.*, 2010 ; Kadi *et al.*, 2010 ; Nouar *et al.*, 2012 ; Haddad *et al.*, 2016, Hannachi *et al.*, 2019).

La stabilité du rendement est un critère important pour le développement d'une variété. Elle est perçue en termes de réduction de la fréquence des rendements faibles. C'est un objectif de sélection prioritaire dans les environnements contraignants (Annichiarico *et al.*, 2005 ; Bahlouli *et al.*, 2005 ; Kadi *et al.*, 2012).

La stabilité est conditionnée par l'adaptation aux milieux. Cette adaptation peut être dans l'espace, dite stabilité spatiale ou dans le temps, stabilité temporelle (Annichiarico *et al.*, 2005 ; Adjabi *et al.*, 2007). Cependant Lin et Binns (1991) définissent la stabilité du rendement comme la régularité du rendement d'une année à l'autre ; alors que l'adaptation représente la capacité d'un génotype à donner des rendements élevés quel que soit la localité.

Le potentiel de rendement est aisément mesuré en absence de stress dans un environnement donné, par contre la stabilité et l'adaptabilité sont des notions plus complexes et surtout plus difficiles à cerner surtout lorsqu'on cherche à cumuler chez un génotype donné la stabilité, l'adaptabilité et le potentiel de rendement (Lin *et al.*, 1986). 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 ; Chennafi *et al.*, 2006). Cette variation est la résultante des interactions entre le génotype et l'environnement.

L'objectif de notre travail est l'étude de la stabilité du rendement du blé dur dans la région de Bordj Bou Arreridj. Pour cela, on a traité les données de la ferme pilote LARBI ABASSI, située dans la commune de SIDI EMBAREK, avec les différentes approches (paramétriques et non paramétriques) permettant d'estimer la stabilité.

Le travail sera présenté en deux chapitres : dans le premier chapitre de ce mémoire 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 deuxième chapitre. Au début de ce travail présente une Introduction générale. Une Conclusion et des perspectives sont enfin données.

Chapitre I : Matériel et Méthodes

I.1. Description du site expérimentale :

L'expérimentation a été menée sur le site expérimental de la ferme pilote LARBI ABASSI est situé à 05 Km au sud de la commune de SIDI EMBAREK daïra de BIR KASD ALI wilaya de BORDJ BOU ARRERIDJ, elle s'étend sur une superficie de 2499 ha, Elle est limitée :

A l'ouest par les monts de DRAA DEBACHE et DRAA DEBEB.

Au nord par les monts de CHOUR ENSOUR et DRAA BOUZAINÉ.

A l'est par les terres des EAC issues de la restructuration de l'ex DAS DJELLAL.

Au sud par la voie ferrée Alger-Constantine.

I.2. Matériel végétales :

Le matériel végétal utilisé dans cette étude est constitué d'une collection de trois (03) variétés de blé dur (MBB, waha, boussalem), Deux génotypes ont été obtenus à partir d'une sélection CIMMYT/ICARDA et le troisième est création d'INRA Algérie, Le tableau ci-dessous montre l'origine des trois variétés.

Tableau I : Origine des trois variétés étudiées (ITGC., 2018)

Variété	Origine
Waha	CIMMYT
Boussalem	CIMMYT-ICARDA
MBB	INRA Algérie

I.3. Condition expérimentales :

La ferme est située dans l'étage bioclimatique semi-aride supérieur caractérisé par un climat variable dominé par un froid printanier et une sécheresse en fin cycle végétative accentuée par un vent chaud (siroco) précoce donc le facteur limitant le plus déterminant est le stress hydrique aggravé par un stress thermique (Anonyme 2010-2020)

Les sols de la ferme sont des sols de type argilo sableux limoneux moyennement profonds d'une structure ou l'agencement des constituants ainsi que la porosité sont hétérogènes, ces derniers sont pauvres en matière organique à taux de calcaire élevé avec un PH alcalin. (Anonyme 2010-2020)

I.4. Analyse de la stabilité :

La stabilité a été approchée par le calcul de plusieurs indices dont certains mesurent la stabilité alors que d'autres mesurent la stabilité associée à la performance. Certains relèvent des méthodes paramétriques, alors que d'autres relèvent des méthodes non paramétriques (Rose et al. 2008 ; Benmahammed et al. 2010 ; Adjabi et al. 2016).

I.4.1. Les indices paramétriques :

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 environnementale (Brancourt-Hulmel *et al.*, 1997).

I.4.1.1. Paramètre basés sur 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 aborder les problèmes de stabilité (Brancourt-Hulmel *et al.*, 1997).

- **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.

$$S^2di = (1/E-2) [\sum_i (X_{ij} - X_i - X_j + X_{...})^2 - (b_i - 1)^2 \sum_i (X_j - X_{...})^2].$$

$$b_i = 1 + [\sum_i (X_{ij} - X_i - X_j + X_{...}) (X_j - X_{...})] / [\sum_i (X_j - X_{...})^2].$$

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 (Y) :**

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.

$$Y_i = \sum ij/n$$

Où Y_{ij} est la valeur moyenne du rendement mesurée par environnement (1...à... j) pour le génotype (1... à... i).

II.4.1.2 .Paramètre basés sur la variance :

- **Variance de Shukla :**

Shukla (1972) a introduit la variance de la stabilité phénotypique du génotype i (σ^2_i). Elle est calculée sur la base des valeurs génotypiques observées par environnement, des quelles l'effet environnement est soustrait ($Y_{ij}-Y_j$). σ^2_i est estimée comme suit :

$$\sigma^2_i = \left(\frac{P}{(P-2)(q-1)} \right) W^2_i - \frac{\sum W^2_i}{(P-1)(P-2)(q-1)}$$

Où p = nombre de génotypes comparés ; q = nombre d'environnements tests, W_i = Éco-valence du génotype i, $\sum W_i$ = somme des éco valences des génotypes testés.

- **L'éco-valence de Wricke (W_i) :**

C'est une mesure de la stabilité relative du génotype (Becker, 1981 ; Becker & Léon, 1988). Il s'agit de la contribution du génotype 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.

L'éco-valence (W_i) de Wricke (1962) est calculée par la formule suivante :

$$W_i = \sum (Y_{ij} - Y_i - Y_j + Y_{...})^2$$

Où Y_{ij} , Y_i , Y_j et $Y_{...}$ Sont respectivement le rendement du génotype i dans l'environnement j, le rendement moyen du génotype i calculé sur l'ensemble des environnements testés, le rendement moyen de l'environnement j calculé sur l'ensemble des génotypes évalués et la grande moyenne de rendement calculée sur l'ensemble des génotypes et environnements.

- **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.

Le coefficient de variance (CV%) est calculée par la formule suivante :

$$CV\% = 100 \left(\frac{\sqrt{S^2_i}}{Y_i} \right)$$

Où S^2_i = variance environnementale, Y_i = moyenne des rendements de l'ensemble des environnements tests du génotype i .

II.4.2. Les indices non paramétriques :

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.

II.4.2.1. La moyenne de différence de range absolu (si1) et la variance des range sur l'environnement (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.

II.4.2.2. La déviation relative par rapport à la moyenne des range (si 3) des génotypes et la somme des écarts absolu des range pour chaque génotype par rapport la moyenne des range (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).

II.4.2.3. Les indices non paramétriques de Thennarasu :

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

II.4.2.4. La somme de ranges de Kang (Srank) :

La stabilité a été aussi approchée par la méthode de la somme des classements (Srank) des rendements (Kang et al. 1991). Dans cette méthode, les rendements de l'environnement j sont

classés par ordre décroissant, le génotype dont le rendement est maximal prend le classement 1. Les valeurs de la variance de Shukla (1972) sont classées par ordre croissant. Le rang 1 est donné au génotype ayant la plus faible variance. Srank est égale à la somme des rangs des rendements et de celui de la variance (Kang et *al.*, 1991 ; Rose et *al.*, 2008).

II.5. Performance moyenne et analyse de la variance :

Les analyses statistiques présentées ont été effectuées à l'aide du logiciel STABILITYSOFT pour calcule les différentes statistiques paramétriques et non paramétriques telles que définies, Microsoft Excel pour les analyses du rendement de quelque génotype de blé dur.

Chapitre II : Résultats et discussion :

II.1. Caractéristiques climatique :

➤ La pluviométrie (2010-2020) :

La pluviométrie est l'évaluation quantitative des précipitations, de leur nature (**pluie, neige, grésil, brouillard**) et distribution. Elle est calculée par diverses techniques.

Durant ces dix dernier année la zone a reçu un tranche pluviométrique inférieure à 300 mm de pluie (moyenne annuelle de la zone des dix dernières années) mal répartie en plus d'une moyenne de 30 jour de gèle / année, le système jachère travaillée – céréales apparait donc comme solution permettant de minimiser les risque et les couts de production.

Le régime pluviométrique de la région de Bordj Bou Arreridj présente une diminution progressive avec une certaine variabilité entre les années dont les plus pluvieuse sont 2010, 2011, 2013, 2017 avec 377 mm, 475 mm, 393mm et 341 respectivement et les années la plus sèches sont 2019-2020 avec 182 mm et 192 comme la figure 1.

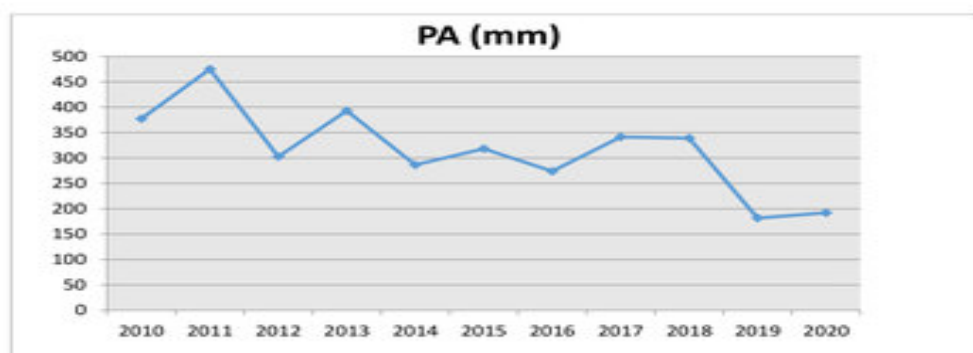


Figure 1 : Evolution de la pluviométrie durant la période (2010-2020).

➤ Température (2010-2020) :

Ensembles des conditions atmosphériques, variables, traduites subjectivement en sensation relative de chaud et de froid et dont l'appréciation exacte est fournie par le thermomètre.

Le froid intervient ou stade de fécondation et par conséquence pénalise la fertilité de l'épi. La sécheresse (stress hydrique) agit ou stade formation de grain et inhibe le transfert l'élément nutritive ver l'épi suit a un ralentissement de métabolisme de la plante par manque d'eau. (Anonyme 2010-2020)

On observe sur la graphie ci-dessous que la température moyenne annuelle est en augmentation progressive durant les dix dernière années dont les températures moyennes annuelles les plus basses s'observent durant les années 2010 et 2014 (14,95°C), et les plus élevées durant l'années 2016 et 2019 (19,05°C, 18,85°C).

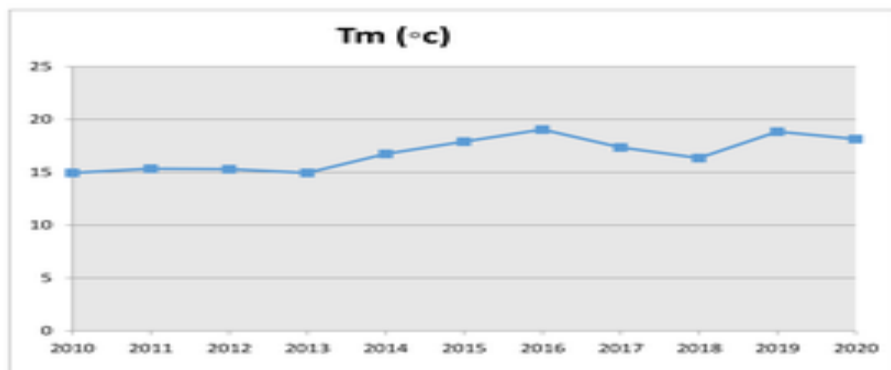


Figure 02 : Evolution de la température moyenne annuelle (2010-2020).

II.2.Rendement en grain :

Boussalam est la variété qui a enregistré les rendements les plus élevés avec 16,47 Qx/ha, la variété Waha présente la valeur moyenne en rendement en grain de 15,29 Qx /ha et MBB a obtenu le rendement le plus faible avec 12,64Qx/ha. La moyenne générale du rendement grain est égale à 14,8Qx/ha (Tableau II).

Tableau II : Valeur moyennes du paramètre rendement en grain.

Génotype	RDT (Qx/ha)
Boussalem	16,47
Waha	15,29
MBB	12,64
Moyenne	14,8

RDT: Rendement en grain.

II.3. Etude de la stabilité :

II.3.1. Les indices paramétrique :

- **Analyse la régression conjointe :**

Les coefficients de régression se situent entre 0,89 et 1,14. Le génotype qui a un coefficient supérieur à l'unité ($b_i > 1$) est Bousselam, alors que le reste des génotypes MBB et Waha enregistrent des coefficients de régression inférieure 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 (Eberhart et Russell, 1966).

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 Bousselam, Waha et MBB 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 (1,14; 0,95 et 0,89) respectivement, et des valeurs de la déviation moyenne de la régression (S^2_{di}) non significativement différent de zéro (5,30; 7,69 et 11,87) respectivement (Tableau III).

- **Moyennes des performances de rendement (Y) :**

L'étude des moyennes des performances indique que le génotype Bousselam présente la meilleure moyenne des performances avec 14,68 Qx/ha (Tableau III), mais que 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 E1 où il réalise un rendement supérieur à 30,09 Qx/ha. Cette performance élevée masque les faibles rendements réalisés par ce génotype en E4 (7,36) et E7 (1,06 Qx/ha).

Ces résultats suggèrent que la moyenne des performances dans un ensemble d'environnements n'est pas toujours un critère d'appréciation de la stabilité, mais il l'est pour la performance moyenne du génotype considéré.

II.4.1.2. Paramètre basés sur la variance :

- **Variance de Shukla :**

Les valeurs de la variance de stabilité de Shukla (1972) sont données sur le (tableau III). Le génotype stable selon ce paramètre est Bousselam (6,09), et les génotypes de faible stabilité sont Waha et MBB avec respectivement 7,37 et 19,26.

- **L'éco valence de Wricke (W_i) :**

Wricke (1962) a défini le concept d'éco valence, pour décrire la stabilité d'un génotype, comme la contribution de chaque génotype à la somme des carrés de l'interaction génotype x environnement. L'éco valence (W_i) ou la stabilité du génotype (i) est la somme carrée de son interaction avec l'environnement. Les génotypes avec de faibles valeurs d'éco valence ont moins de fluctuations à travers les environnements et ainsi ils sont considérés comme stables.

Le génotype le plus stable selon cette méthode est Bousselam avec une valeur de 51,02 suivis par Waha avec 54,86 ; alors que, le génotype instable est MBB avec une valeur d'éco valence (W_i) de 90,54. (Tableau III)

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

On observe que le coefficient de variance présente une valeur de 60,88 % pour la variété Waha et 66,91 % pour Bousselam (Tableau III). Ainsi Waha, Bousselam présentent des CV relativement moyens, comparativement aux valeurs de ce paramètre notées chez la variété MBB (74,34%), qui se montrent moins régulières dans le temps.

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

Génotype	b_i	s^2d_i	σ^2_i	Y	W_i^2	CV_i
Bousselam	1,14	5,30	6,09	14,68	51,02	66,91
Waha	0,95	7,69	7,37	13,79	54,86	60,88
MBB	0,89	11,87	19,26	10,83	90,54	74,34

II.3.2. Les indice non paramétrique :

II.4.2.1. La moyenne de différence de range absolu (si_1) et la variance des range sur l'environnement (si_2) :

Pour calculer ces statistiques, les données de rendement moyen doivent être transformées en

rangs pour chaque génotype et environnement, et les génotypes sont considérés comme stables si leurs rangs sont similaires dans tous les environnements. La valeur la plus basse pour chacune de ces statistiques révèle une stabilité élevée pour un certain génotype.

D'après les indices (Si1) et (Si2) dans le tableau IV, le génotype Bousselam à le plus petit changement dans les rangs et il est ainsi considéré le génotype le plus stable. Le génotype MBB se distingue par la performance et la stabilité étant classé deuxième pour la performance de rendement et la stabilité. En revanche, le génotype Waha est le moins performant pour le rendement grain mais considéré avec la plus faible stabilité. L'indice (Si1) peut perdre de l'efficacité lorsque les génotypes sont similaires dans leurs interactions avec les environnements (Rasoli et *al.*, 2015).

II.4.2.2. 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) :

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

Les résultats de (SI3) et (SI6) ont indiqué que le génotype Bousselam (G3), était classé premier, MBB (G2) deuxième et en troisième position la variété Waha (G1). Selon ces deux statistiques, les génotypes G1 et G2 se sont révélés stables et adaptés à tous les environnements.

II.4.2.3. Les indices non paramétriques de Thennarasu :

Quatre statistiques NP⁽¹⁻⁴⁾ sont un ensemble de statistiques alternatives de stabilité non paramétriques définies par Thennarasu (1995). Ces paramètres sont basés sur les rangs des moyennes ajustées des génotypes dans chaque environnement. Les faibles valeurs de ces statistiques reflètent une stabilité élevée.

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 IV. Selon les paramètres NP_i (1), NP_i (2), NP_i (3) et NP_i(4), le génotype Bousselam été considérés stable puisque il occupe toujours la première place (1, 1, 1 et 1) respectivement. En revanche, les génotypes Waha et MBB sont moins stable, puisque à chaque paramètre il change de position.

Tableau IV: Valeurs et Rang des Géotypes selon les Indices non-paramétriques.

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)
Bousselam	16.47 (3)	1	1	1	1	1	1	1	1
Waha	15.29 (2)	2	3	3	3	1	2	2	3
MBB	12.64 (1)	1	2	2	2	2	3	3	2

II.4.2.4. La somme de rangs de Kang (Srank) :

Les valeurs de la somme des rangs des rendements en grains des différentes variétés dans les différents environnements varient de 2 à 6, valeurs prises par respectivement, Bousselam, et MBB (Tableau V).

Les valeurs élevées sont suggestives de l'instabilité des performances alors que celles qui sont faibles sont indicatrices de la stabilité. La variété la plus stable est Bousselam avec des valeurs de 0,7 ; 0,4 ; 1,7 et 2,4. Waha avec 1,08 ; 0,98 ; 4,68 et 4,73 est considérée comme une variété stable (tableau V). Alors que MBB est instables. Cet indice ne donne aucune idée sur les performances de rendement en tant que tel.

II.4.2.5. 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 géotype présentant une valeur inférieure, considéré comme le plus stables.

La variété Bousselam a exprimé une faible valeur avec 15,16 suivis par Waha avec 15,48 et MBB avec 18,45 (tableau V). Ces résultats indiquent que c'est le géotype Bousselam qui est le plus stable.

II.4.2.6. Composante de variance GE :

Cette statistique est une mesure modifiée du paramètre de stabilité, le géotype est supprimé de l'ensemble des données et la variance GE de ce sous-ensemble est l'indice de stabilité du géotype.

Dans cette approche les génotypes qui présentent des valeurs plus élevées pour le $\theta(i)$ sont considérés comme plus stables.

On remarque que la valeur la plus élevée est marquée par le génotype Bousselam avec 13,32 suivi par Waha avec 12,68 donc ils sont les plus stables. Par contre la variété MBB est considérée moins stable avec 6,73 (tableau V).

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

Génotype	SI(1)	SI(2)	SI(3)	SI(6)	θi	$\theta(i)$	KR
Bousselam	0,7	0,4	1,7	2,4	15,16	13,32	2
Waha	1,8	0,9	4,6	4,7	15,48	12,68	4
MBB	0,7	0,5	3	4	18,45	6,73	6

Discussion :

Les résultats du coefficient de corrélation de rang de Spearman ainsi que les statistiques de stabilité paramétriques et non paramétriques et le rendement moyen en grains sont présentés dans la figure 1.

La performance moyenne du rendement dans les environnements a été hautement significativement et positivement corrélée avec les paramètres du coefficient de régression (b_i) et la variance $\theta(i)$ avec respectivement $r=0,84$ et $r=0,99$. Elle est significativement négative avec NP(1), NP(2), NP(3), et avec aussi les valeurs de l'éco-valence de Wricke (W_i), la variance de Shukla (σ^2_i) et le coefficient de variation (Cv%).

L'indice d'éco-valence de Wricke est hautement significative et positivement corrélé avec la variance de Shukla ($r=1$), S^2_{di} ($r=0,96$), Kr ($r=0,91$) et θ_i ($r=1$). Il est significativement négatif avec $\theta(i)$ ($r=-1$).

La variance de Shukla est corrélée d'une manière positive et hautement significative avec les indices kR ($r=0,91$), S^2_{di} ($r=0,98$) et θ_i ($r=1$).

La variance θ_i est corrélée positivement et de façon hautement significative avec l'indice Kr ($r=0,91$).

L'indice non paramétrique Si(1) est fortement corrélé avec les autres indices non paramétriques Si(2), Si(3), Si(6), NP_i(4), sauf avec NP_i(1) où la relation est négative.

La déviation moyenne de la régression d'Eberhart et Russell (S^2_{di}) est hautement corrélée positivement est significativement avec l'éco-valence de Wricke (W_i) ($r=0,96$) et avec aussi NP(1), NP(2), NP(3); comme il a montré une corrélation positive et significative avec le CV ($r=0,67$) et Kr ($r=0,99$).

L'indice Si(2) est corrélé positivement et hautement significatif avec Si(3), Si(6), NPi(4), et négativement corrélé avec cv ($r=-0,79$).

L'indice Si(3) est lié aux indices Si(6), NPi(4).

L'indice Si(6) est fortement corrélé avec NPi(4) ($r=1$). Les indices non paramétriques de Thennarasu (1995) sont fortement corrélés entre eux.

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.

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 paramétrique et non paramétrique peuvent être recommandés pour l'évaluation de la stabilité du rendement grain des variétés de blé dur dans différents environnements.

Hannachi (2017) (a fait l'expérience sur six génotypes de blé dur durant cinq campagnes successives) et Hadded (2017) (a étudié quinze variétés de blé dur au cours de trois années), en étudiant la stabilité du rendement et en utilisant des mesures paramétriques et non paramétriques, ont rapporté des résultats similaires et accord avec les nôtres.

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 Wi sont suggérés pour la sélection de génotypes stables indépendamment de la performance de rendement.

Temesgen *et al.*, (2015) suggèrent que les indices CV%, Wi 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.

Conclusion

Conclusion :

Ce travail concerne l'étude de la stabilité du rendement à partir de paramètres statistiques (indices paramétriques et non paramétriques) de trois variétés de blé dur (Bousselem, Waha, MBB) cultivées pendant dix campagnes agricoles (2010-2020) dans région semi aride de Bordj Bou Arréridj.

D'après nos résultats, il a été conclu que le principal facteur qui influence les rendements du blé dur est l'environnement. 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.

La performance moyenne du rendement dans les environnements a été significativement corrélée avec les paramètres du coefficient de régression (b_i) et la variance θ_i , et avec aussi les valeurs de l'éco-valence de Wricke (W_i), la variance de Shukla (σ^2_i) et le coefficient de variation ($Cv\%$). De ce fait, ils sont conseillés pour la sélection de génotypes performants et à large adaptation.

L'analyse des données durant les dix campagnes agricoles, révèle que la variété Bousselem est la plus stable et la plus performante pour le rendement et que la variété MBB est la moins stable au fil des années.

Comme perspectives, nous pouvons suggérer d'approfondir l'étude et de continuer à suivre les génotypes qui ont montré des performances et des potentialités. Elargir l'investigation sur d'autres espèces végétales d'importance économique.

Résumé :

L'étude a été réalisée sur les données agronomiques enregistrées, de la ferme pilote LARBI ABASSI située en zone semi aride, durant dix campagnes agricoles (2010 - 2020). Elle avait comme objectif d'étudier la stabilité du rendement de trois variétés de blé dur en utilisant des indices de stabilité paramétriques (basés sur la conjointe de régression et la variance), et des indices non paramétriques (Si1, Si2, Si3, Si6, NP1, NP2, NP3, NP4,...). Nos résultats ont montré que c'est la variété Bousselam qui est la plus stable au cours de nos campagnes étudiées.

Mots clés : Stabilité, rendement, Blé dur, semi aride

المخلص:

أجريت الدراسة في الموقع التجريبي لمزرعة لعربي عباسي التجريبية خلال عشر مواسم زراعية (2010 - 2020). كان هدفها دراسة استقرار محصول ثلاثة أصناف من القمح الصلب باستخدام مؤشرات الاستقرار البارامترية (بناءً على الانحدار والتباين المشترك)، و غير البارامترية (Si1 ، Si2، Si3، Si6، NP1، NP2، NP3، NP4) أظهرت النتائج أن بوسلام هو الصنف الأكثر استقرارًا خلال حملاتنا المدروسة. الكلمات الرئيسية : الاستقرار, المحصول, القمح الصلب.

Abstract :

The study was carried out on the experimental site of the LARBI ABASSI pilot farm during ten agricultural campaign (2010 - 2020). Its objective was to study the stability of the yield of three varieties of durum wheat using parametric stability indices (based on the joint regression and the variance), and non-parametric indices (Si1, Si2, Si3, Si6, NP1, NP2, NP3, NP4,...) Our results shown that Bousselam is the most stable variety during our campaigns studied.

Keywords: stability, yield, durum wheat.