

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Université Farhat Abbas Sétif 1
Faculté des Sciences
de la Nature & Vie



جامعة فرحات عباس سطيف 1
كلية علوم الطبيعة و الحياة

Faculté des Sciences de la Nature & Vie
Département de Biologie & d'Ecologie Végétale

THESE

N° :/ SNV/2024

Présenté Par

FRIH BENALIA

Pour l'obtention du diplôme

DOCTORAT 3^{EME} CYCLE (L.M.D)

Filière : Ecologie & Environnement
Spécialité : Biodiversité & Ecologie Végétale

THEME

Effet des changements environnementaux sur les indicateurs de la sénescence foliaire et son efficacité en tant qu'indicateur pour la sélection de variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) en conditions semi-arides

Soutenu publiquement le : 14/07/2024

Devant le jury composé de :

Nom & Prénom	Qualité	Grade	Etablissement
Hafsi Miloud	Président	Professeur	UFA Sétif 1
Oulmi Abdelmalek	Directeur de thèse	Professeur	UFA Sétif 1
Guendouz Ali	Co-directeur de thèse	Directeur de Recherche	INRAA Sétif
Chermat Sabah	Examinatrice	Pofesseur	UFA Sétif 1
Fellahi Zine El Abidine	Examinateur	Maitre de conférences A	UMBI BBA
Nouar Hind	Examinatrice	Maitre de conférences A	UFA Sétif 1

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

A decorative floral element consisting of a central flower with several petals and a stem with leaves, positioned to the left of the first word of the Basmala.

REMERCIEMENTS

Louanges à ALLAH, le tout puissant et le miséricordieux qui m'a guidé et m'a donné la volonté, la patience et le courage pour achever ce travail. Je tiens tout d'abord à remercier mes directeurs de thèse **Pr. OULMI ABDELMALEK** de l'université Sétif 1 et **Dr. GUENDOUZ ALI** de l'INRAA de Sétif qui m'ont fait l'honneur de diriger cette recherche, j'ai apprécié leurs qualités des hommes de science et aussi leurs qualités humaines, ils m'ont permis de travailler en toute sérénité et confiance.

Tout mes remerciements vont au **Pr. HAFSI MILOUD** de l'université Sétif qui m'a fait l'honneur de présider le jury ainsi qu'aux **Pr. CHARMAT SABAH** de l'université de Sétif, **Dr. FELLAHI ZINE EL ABIDINE** de l'université de BBA & **Dr. NOUAR HIND** de l'université de Sétif pour avoir donné de leurs temps précieux pour lire, examiner et juger ce modeste travail.

Mes vifs remerciements vont également à l'équipe de l'INRAA de Sétif : **Dr. HANNACHI ABDERRRAHMANE**, **Dr. KHALED ABBES**, **Dr. BENIDIR MOHAMED** et **Dr. GAAMOUNE SOFIANE** tout le personnel travaillant notamment celui du laboratoire, au personnel de l'ITGC de Sétif : **Mr. LOUAHDI NASREDDINE**, **Mr. MEHANI OMOR** & **Mr. SELLOUM SAMIR** & tout le staff pour leurs aides, leurs conseils et leurs savoir et savoir faire dont ils m'ont toujours fait part.

Des remerciements très spéciaux pour : **Pr. BENMAHAMMED AMMAR**, **Pr. LAOUAR HOUCINE**, **Dr. BOUCENNA MOUNIR**, **Dr. BENDADA HOCINE**, **Dr. MISSAOUI KHALED** ainsi que ma collègue doctorante **Mlle. BENKADJA SARAH** pour leurs aides et leurs précieux conseils.

Je remercie tous ceux qui ont, directement ou indirectement, contribué à la réalisation de ce modeste travail.

DEDICACES

Mon dévouement total et tous mes respects vont à ma mère

*décédée **NAKHLA** et à mon père **ABDERRAHMANE** qu'ils*

trouvent ici le fruit de leur éducation.

Mon affection et ma profonde reconnaissance à ma chère

*épouse **HABIBA** pour son soutien sans faille, sa grande*

indulgence, et sa compréhension.

Enfin, je dédie cette thèse à ma source d'amour et

*d'affection, mes adorables enfants ; **ILYAS, ZAKARIA,***

YACINE, HAFSA, MOHAMED** et **ISRAA.

A tous mes frères, sœurs, gendres et belles sœurs, et toute

la famille et à tous mes amis

je dédie ce travail.

BENALIA



ملخص

من أجل تحديد تأثير التغيرات البيئية على مؤشرات الشيخوخة الورقية بغرض اختبار فعاليتها كمؤشرات لاختيار أصناف القمح الصلب في الظروف شبه الجافة ، تم زرع خمسة عشر صنفاً من القمح الصلب (*Triticum durum*) Desf. خلال 3 مواسم زراعية 20-2019 و 21-2020 و 23-2022 في حقول محطة التجارب الزراعية التابعة للمعهد التقني المحاصيل الكبرى ITGC بسطيف. تميزت فصول الدراسة الثلاثة بعدم الاستقرار في هطول الأمطار خلال فصول السنة الواحدة و حتى بين سنوات الدراسة حيث سجل موسم 20-2019 أفضل قيم هطول مع توزيع جيد للأوقات الممطرة. أظهرت الدراسة المورفوزراعية خلال السنتين الزراعيتين 20-2019 و 21-2020 أن عدد الحبوب في كل سنبل بالإضافة إلى وزن ألف حبة كانا من أكثر الصفات التي ساهمت في تنمية محصول الحبوب ، وكان بوطالب و G10 أكثر الأصناف مردودية خلال موسمي الدراسة ؛ $RDT_{19-20} = 37,06 - 47,37 \text{ Q.ha}^{-1}$ ؛ $RDT_{20-21} = 47,37 - 8,39 \text{ Q.ha}^{-1}$. أظهرت منحنيات تقدم الشيخوخة كدالة لدرجات الحرارة التراكمية أن المسار الزمني السيني للشيخوخة اختلف لدى جميع الأنماط المدروسة، مجموع درجات الحرارة في منتصف الشيخوخة ($\Sigma T50s$) اختلفت بشكل ملحوظ بين الأصناف المختلفة التي تم اختبارها. Boutaleb و G1 و G10 أفضل الأصناف ربحية خلال الموسمين 2021-2020 ، 20-2022 كان لديهم شيخوخة أبطأ ، حيث سجلوا قيم متوسطة للشيخوخة (Sa) مع الانعكاس الكلي عند التسنبل (Rt) ، +/- قيم منخفضة لمتوسط سرعة الشيخوخة (Vsa) مع قيم عالية من درجات الحرارة التراكمية عند منتصف الشيخوخة ($\Sigma T50s$). أظهرت نتائج مراقبة تطور محتويات اليخضور ابتداءً من مرحلة التسنبل تدهوراً في هاته المحتويات خلال موسمي الزراعة. أظهرت متوسطات الانعكاس لورقة العلم خلال مرحلة التسنبل تبايناً كبيراً عند النطاقات RGB الثلاثة. بوطالب ، أفضل صنف من حيث محصول الحبوب خلال موسمي الدراسة 21-2020 و 23-2022 (13.59 ؛ 4.76 Q.ha^{-1}) أظهر قيمًا منخفضة للانعكاس (R) و (G) ومتوسط قيم الانعكاس (B) مع قيم متوسطة لمحتويات اليخضور خلال مرحلة الاسبال.

الكلمات المفتاحية: قمح صلب؛ المردود ؛ الشيخوخة ؛ RGB ؛ بيئة ؛ شبه جافة ؛ سطيف.

Résumé

Dans le but de déterminer l'effet des changements environnementaux sur les paramètres de la sénescence foliaire en vue tester leurs efficacité en tant qu'indicateurs pour la sélection de variétés de blé dur dans les conditions semi-arides, une quinzaine de cultivars de blé dur (*Triticum durum* Des.) ont été semés durant 03 saisons de culture 2019-20 et 2020-21 et 2022-23 dans les champs de la station expérimentale agricole de l'Institut Technique des Grandes Cultures ITGC de Sétif. Une variabilité à la fois inter saisonnière et interannuelle des précipitations a caractérisée les trois saisons d'étude, la saison 2019-20 a enregistré les meilleurs valeurs de précipitations avec une bonne répartition des temps pluviaux. L'étude morpho-agronomique de deux campagnes agricoles 2019-20 et 2020-21 a montré que le nombre de grains par épi ainsi que le poids de mille grains étaient les caractères qui ont contribué le plus dans l'élaboration du rendement en grains, Boutaleb et G10 étaient les variétés performantes durant les deux saisons d'étude ($RDT_{19-20} = 37,06 - 47,37 \text{ Q.ha}^{-1}$; $RDT_{20-21} = 47,37 - 8,39 \text{ Q.ha}^{-1}$). Les courbes de la progression de la sénescence en fonction du cumul des températures ont montré que le cours temporel sigmoïdal de la sénescence présentait une variabilité génotypique, les sommes des températures à la mi-sénescence ($\sum T_{50_s}$) différaient nettement entre les différentes variétés testées. Boutaleb, G1 et G10 les cultivars les mieux rentables durant les deux saisons 2020-2021, 2022-23 avaient une sénescence plus lente, ils enregistraient des valeurs moyennes de la sénescence moyenne (S_a) avec la réflectance totale en plein épiaison (R_t), des valeurs +/- faibles de la vitesse moyenne de sénescence (V_{s_a}) avec des valeurs élevées des cumules des températures à la mi-sénescence ($\sum T_{50_s}$). Les résultats du suivi de l'évolution des teneurs en chlorophylle à partir du stade épiaison ont montré une dégradation des teneurs en chlorophylle durant les deux saisons de cultures. Les moyennes de réflectance de la feuille drapeau durant la phase épiaison ont montré une grande variabilité sur des trois bandes RGB. Boutaleb meilleur cultivar en matière de rendement en grains durant les deux saisons de culture 2020-21 et 2022-23 ($13,59$; $4,76 \text{ Q.ha}^{-1}$) a affiché de faibles valeurs de réflectance (R) et (G) et des valeurs moyennes de réflectance (B) avec des valeurs moyennes des teneurs en chlorophylle durant la phase d'épiaison.

Mots clés : Blé dur ; rendement ; sénescence ; RGB ; environnement ; semi-aride ; Setif.

Abstract

In order to determine the effect of environmental changes on leaf senescence parameters in order to test their effectiveness as indicators for the selection of durum wheat varieties in semi-arid conditions, fifteen durum wheat cultivars (*Triticum durum* Desf.) were sown during 03 cropping seasons 2019-20 and 2020-21 and 2022-23 in the agricultural experimental station of Technical Institute of Field Crops ITGC of Sétif. Both inter-seasonal and inter-annual rainfall variability characterized the three study seasons, the 2019-20 season recorded the best rainfall values with a good distribution of rainy weather. The morpho-agronomic study of two agricultural seasons 2019-20 and 2020-21 showed that the number of grains per spike as well as the weight of a thousand grains were the characters that contributed the most in the development of grain yield, Boutaleb and G10 were the performing varieties during the two study seasons ($RDT_{19-20} = 37.06 - 47.37$ Q.ha⁻¹; $RDT_{20-21} = 47.37 - 8.39$ Q.ha⁻¹). The curves of the progression of senescence as a function of cumulative temperatures showed that the sigmoidal time course of senescence presented genotypic variability; the sums of temperatures at mid-senescence ($\sum T_{50s}$) differed markedly between the different varieties tested. Boutaleb, G1 and G10 the best profitable cultivars during the two seasons 2020-2021, 2022-23 had slower senescence, they recorded average values of average senescence (Sa) with total réflectance at full heading (Rt), +/- low values of average speed of senescence (Vsa) with high values of cumulative temperatures at mid-senescence ($\sum T_{50}$ s). The results of the monitoring of the chlorophyll contents from the heading stage showed a degradation of the chlorophyll contents during the two cropping seasons. The réflectance averages of the flag leaf during the heading phase showed a great variability on the three RGB bands. Boutaleb, the best cultivar in terms of grain yield during the two cropping seasons 2020-21 and 2022-23 (13.59; 4.76 Q.ha⁻¹) displayed low values of réflectance (R) and (G) and average values of réflectance (B) with average values of chlorophyll contents during the heading phase.

Keywords: Durum wheat; yield; senescence; RGB; environment; semi-arid; Setif.

Liste des Abréviations

1. **AES** : Station expérimentale Agricole
2. **ACP** : Analyse en composantes principales
3. **ANOVA** : Analyse de la variance
4. **BIO** : Biomasse aérienne
5. **CH** : Teneur en chlorophylle
6. **CAH** : Classification hiérarchique ascendante
7. **CIMMYT** : Centre international d'amélioration du maïs et du blé
8. **EC** : Conductivité électrique
9. **ha** : Hectare
10. **HP** : Hauteur de la plante
11. **IC**: Intégrité cellulaire
12. **ICARDA** : Centre international de la recherche agricole dans les zones arides
13. **INRAA** : Institut national des recherches agronomiques d'Algérie
14. **IR** : Indice de la récolte
15. **ITGC** : Institut technique des grandes cultures
16. **LWL** : Vitesse de la perte d'eau
17. **MADR** : Ministère de l'agriculture et du développement rural
18. **NEm⁻²** : Nombre d'épis par mètre carrée
19. **NGE** : Nombre de grains par épi
20. **NIA** : Analyse d'images numériques
21. **NJE** : Nombre de jours avant épiaison (précocité)
22. **PA** : Analyse de chemin
23. **PMG**: Poids de mille grains
24. **PSF** : Poids spécifique foliaire
25. **Q** : Quintal
26. **RDT** : Rendement en grains
27. **RGB** : Rouge, Vert et bleu
28. **Rt** : Réflectance totale
29. **RV** : Taux de couverture végétal
30. **Sa** : Sénescence moyenne
31. **SF** : Surface foliaire
32. **TC** : Température du couvert végétal
33. **TRE**: Teneur relative en eau
34. **Vmax** : Vitesse maximale de sénescence
35. **Vs** : Vitesse de sénescence
36. **Vsa** : Vitesse moyenne de sénescence
37. **ΣTC** : Cumule des températures
38. **ΣT50 s** : Cumule des températures à la mi-sénescenc

Liste des Tableaux

N°	Titre du tableau	Page
CHAPITRE II		
1	Liste des cultivars étudiés, pédigrées et origines	44
2	Analyse descriptive des différents paramètres mesurés durant les 2 saisons d'étude 2019-20 et 2020-21	52
3	Analyse de la variance du rendement en grains et ces composantes durant les deux saisons d'étude 2019-20 et 2020-21	52
4	Matrice des corrélations paramètres étudiés durant les 02 saisons de culture 2019-20 et 2020-21	56
5	Coefficients de régression des variables estimées pour prédire le rendement en grain (GY) pendant les 02 saisons 2019-20 et 2020-21	57
6	Les variables entrées par régression pas à pas durant les deux saisons 2019-20 et 2020-21	58
7	Effet direct des différentes composantes du rendement en grains durant les deux saisons 2019-20 et 2020-21	59
8	Les valeurs propres des composantes d'ACP durant les deux saisons d'étude.	60
CHAPITRE III		
9	Analyse de la variance des paramètres de la sénescence et l'indice de la réflectance total durant les deux saisons 2020-21 / 2022-23	86
10	Analyse de la variance des paramètres physiologiques durant les deux saisons 2020-21 / 2022-23.	90
11	Analyse de la variance des paramètres phéno-morphologiques durant les deux saisons 2020-21 / 2022-23	94
12	Analyse de la variance des paramètres agronomiques durant les deux saisons 2020-21 / 2022-23.	97
13	Matrice des corrélations des différents paramètres étudiés durant les deux années d'études 2020-21/2022-23	102
CHAPITRE IV		
14	Estimation de la teneur en chlorophylle en (cci) durant la saison 2020-21	113
15	Estimation de la teneur en chlorophylle en (cci) durant la saison 2022-23	114
16	Analyse de la variance de la teneur moyenne en chlorophylle, les indices RGB, du rendement en grains et poids de mille grains durant les deux saisons de culture 2020-21 / 2022-23	122
17	Etude de la corrélation de Pearson entre tous les paramètres et durant les deux saisons de culture 2020-21 et 2022-23	123
18	Valeurs propres de l'analyse en composantes principales durant les deux années d'étude 2020-21 et 2022-23	124

Liste des Figures

N°	Titre de la figure	Page
CHAPITRE I		
1	Origine génétique du blé dur (<i>Triticum durum</i> Desf.)	5
2	Caryotype de 3 espèces de blé dur	5
3	Production mondiale en blé dur entre 2016 et 2019	7
4	Superficies récoltées en blé en Algérie entre 1963-2019	9
5	2019 Production du blé en Algérie entre 1963-2019	10
6	Rendement en blé en Algérie entre 1963-2019	10
7	Morphologie du blé	12
8	Cycle de développement du blé	16
9	La structure d'une feuille	35
CHAPITRE II		
10	Cumuls de pluviométrie et température moyenne mensuelles enregistrées au cours des trois saisons d'étude 2019-20, 2020-21 et 2022-23.	49
11	Pluviométrie saisonnière et moyenne saisonnière enregistrée au cours des trois saisons d'étude 2019-20, 2020-21 et 2022-23.	50
12	Températures moyenne mensuelles et moyennes inter-saisons durant les trois saisons d'étude sur le site expérimental l'ITGC de Sétif	51
13	visualisation des relations des variables et des génotypes avec les trois premières composantes de l'ACP (2019-20)	61
14	Biplot de variables et de génotypes en relation avec les premières composantes de l'ACP (2019-20)	61
15	visualisation des relations des variables et des génotypes avec les trois premières composantes de l'ACP (2020-21)	63
16	Biplot de variables et de génotypes en relation avec les premières composantes de l'ACP (2020-21)	63
17	Niveaux de similitudes des variables étudiées durant les 02 saisons de culture	66
18	Niveaux de similitude des génotypes étudiés durant les 02 saisons de culture	66
CHAPITRE III		
19	Estimation de la sénescence foliaire par l'utilisation du logiciel Digimizer	74
20	Calculs de la réflectance foliaire par l'utilisation du logiciel Mesurim Pro_08	74
21	Mesure de la teneur en chlorophylle a l'aide d'un chlorophylle mètre	75
22	Estimation du taux de recouvrement végétal par l'utilisation de l'application Canopeo (Patrignani et Ochsner, 2015)	77
23	Exemple sur l'évolution de la sénescence de la feuille étendard (Lignée avancée G1, saison de culture 2020-21)	80
24	fonction de la sénescence foliaire $S=f(\sum TCs)$ chez les 15 génotypes étudiés (2020-21)	81
25	fonction de la sénescence foliaire $S=f(\sum TCs)$ chez les 15 génotypes étudiés (2022-23)	82
CHAPITRE IV		
26	Graphique de la réflectance RGB d'une feuille drapeau de blé dur réalisé à l'aide du logiciel Mesurim pro.	110
27	Suivi de la teneur en chlorophylle durant la saison de culture 2020-21	115
28	Suivi de la teneur en chlorophylle durant la saison de culture 2022-23	116
29	Moyennes des indices de la réflectance R.G.B pendant la phase d'épiaison durant les deux saisons de cultures 20-21/22-23.	118
30	Visualisation des corrélations des paramètres étudiées avec les axes d'interprétation d'ACP durant les deux saisons d'étude 2020-21, 2022-23.	127
31	Visualisation des adresses des variétés étudiées sur les axes d'interprétation d'ACP durant les deux saisons d'étude 2020-21, 2022-23.	127
32	Biplot des relations paramètres mesurés et des adresses des variétés étudiées avec les trois premières composantes de l'ACP durant l'année d'étude 2020-21.	128
33	Biplot des relations paramètres mesurés et des adresses des variétés étudiées avec les trois premières composantes de l'ACP durant l'année d'étude 2022-23.	127

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS

DEDICACES

الملخص

Résumé

Abstract

INTRODUCTION GENERALE 1

CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

1. HISTORIQUE ET ORIGINE DU BLE DUR 4

1.1. HISTORIQUE ET ORIGINE GEOGRAPHIQUE 4

1.2. ORIGINE GENETIQUE 4

2. IMPORTANCE DE LA CULTURE DU BLE DUR 6

2.1. AU NIVEAU MONDIAL 6

2.2. EN ALGERIE 8

2.2.1. Culture 8

2.2.2. Production 8

3. DESCRIPTION DE LA PLANTE ET CYCLE DE DEVELOPPEMENT 11

3.1. DESCRIPTION DE LA PLANTE 11

3.2. STADES DU DEVELOPPEMENT DU BLE DUR 13

3.2.1. Période végétative 13

3.2.2. Période reproductive 14

3.2.3. Période de la maturité physiologique 15

4. STRESS ABIOTIQUES ET EFFET SUR LA PLANTE 17

4.1. STRESS HYDRIQUE 17

4.1.1. Germination - levée 17

4.1.2. Montaison-gonflement 18

4.1.3. Epiaison-floraison 18

4.1.4. Maturité physiologique 19

4.2. STRESS THERMIQUE	19
4.2.1. Germination-levée	20
4.2.2. Montaison-gonflement	20
4.2.3. Epiaison-floraison	20
4.2.4. Maturité physiologique.....	21
4.3. STRESS DU AU FROID ET AU GEL	21
4.4. STRESS SALIN.....	22
4.4.1.Impact de la salinité sur le développement de la récolte	22
5. MECANISMES D'ADAPTATION AUX STRESS ABIOTIQUES	24
5.1. MECANISMES D'ADAPTATION AU STRESS HYDRIQUE	24
5.1.1. Mécanismes morphologiques.....	24
5.1.2. Mécanismes phénologiques	24
5.1.3. Mécanismes physiologiques	25
6. ANALYSE DES IMAGES NUMERIQUE (NIA) ET BLE DUR.....	26
6.1. NOTIONS DE BASE.....	26
6.2. PARAMETRES DE LA SENESCENCE FOLIAIRE.....	26
6.2.1. Concept et modes de la sénescence foliaire	26
6.2.2. Changements opérés durant la sénescence foliaire	27
6.2.3. Relation entre la sénescence et le rendement	32
6.3.INDICES DE LA RÉFLECTANCE FOLIAIRE (RGB).....	33
6.3.1 Notions générales sur les rayonnements	33
6.3.2. Relation entre le comportement de la plante et la réflectance foliaire.....	33
6.3.3. Facteurs influent sur le spectre de réflexion foliaire	34
6.3.4. Appareil de mesure de la réflectance foliaire.....	36
6.3.5. Indicateurs de la réflectance foliaire.....	37
6.3.6. Relation entre le changement de couleur de la feuille et la réflectance foliaire.....	38

CHAPITRE II : ETUDE AGRO-MORPHOLOGIQUE DE QUELQUES VARIETES DE BLE DUR SEMIS EN CONDITIONS SEMI-ARIDES

ملخص	39
Résumé.....	40
Abstract	41
1.INTRODUCTION	42
2. MATERIEL ET METHODES.....	44
2.1. MATERIEL SITE D'ETUDE & MATERIEL VEGETAL	44
21.1. Site d'étude	44
2.1.2. Matériel végétal	44
2.1.3. Paramètres mesurés	45
2.2. ANALYSE DES DONNEES STATISTIQUES	45
2.2.1. Analyse de la variance (ANOVA).....	45
2.2.2. Corrélation linéaire simple.....	45
2.2.3. Régression linéaire multiple	45
2.2.4. Régression multiple linéaire pas à pas (Stepwise régressions)	46
2.2.5. Analyse du chemin (Path Analysis)	46
2.2.6. Analyse en composantes principales (ACP)	46
2.2.7. La classification hiérarchique ascendante (CHA)	46
3. RÉSULTATS ET DISCUSSION	47
3.1. ANALYSE CLIMATIQUE DU SITE D'ETUDE.....	47
3.1.1. Pluviométrie.....	48
3.1.2. Température.....	51
3.1. VARIABILITE PHENOTYPIQUE	52
3.2. ANALYSE DE LA VARIANCE (ANOVA)	53
3.2.1. Effet génotype.....	53
3.2.2. Analyse inter saisons de culture	54
3.3. CORRELATION LINEAIRE SIMPLE	56

3.4. ANALYSE DE REGRESSION LINEAIRE MULTIPLE	57
3.5. REGRESSION LINEAIRE MULTIPLE PAS A PAS (STEPWISE ANALYSIS)	58
3.6 ANALYSE DE CHEMIN (PATH ANALYSIS)	59
3.7 ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES (ACP)	59
3.7.1. Saison de culture 2019-20.....	60
3.7.2. Saison de culture 2020-21.....	62
3.8. CLASSIFICATION HIERARCHIQUE ASCENDANTE (CAH).....	64
3.8.1. Parametres agronomiques (Variables).....	64
3.8.2. Variétés testées (Individus).....	64
4. CONCLUSION.....	67
CHAPITRE III : LA SENESCENCE FOLIAIRE COMME CRITERE DE SELECTION DE VARIETES DE BLE DUR SEMIS EN CONDITIONS SEMI-ARIDES	
ملخص	68
Résumé.....	69
Abstract.....	70
1.INTRODUCTION	71
2. MATÉRIEL & MÉTHODES	72
2.1. LE SITE D'ETUDE.....	72
2.2. MATERIEL VEGETAL	72
2.3. DISPOSITIF EXPERIMENTAL	72
2.4. LES PARAMETRES MESURES.....	72
2.4.1. Estimation de la senescence et la réflectance totale de la feuille drapeau	72
2.4.2. Estimation des parametres physiologiques	75
2.4.2. Estimation des parametres pheno-morphologiques.....	77
2.4.2. Estimation des parametres agronomiques.....	78
2.5. ANALYSE DES DONNEES.....	79
3. RÉSULTATS & DISCUSSION	80
3.1. FONCTION DE LA SENESCENCE.....	80

3.2. ANALYSE DE LA VARIANCE (ANOVA)	83
3.2.1. Paramètres de la senescence et l'indice de la réflectance totale.....	83
3.2.2. Paramètre physiologiques	87
3.2.3. Parametres pheno-morphologiques	91
3.2.4. Parametres agronomiques	95
3.3. ETUDE DES CORRELATIONS.....	98
3.3.1. Corrélations entre les paramètres de senescence et la réflectance totale.....	98
3.3.2. Corrélations senescence et réflectance totale avec le reste des parametres étudiés.....	98
3.3.3. Corrélation entre les paramètres physio-pheno-morpho-agronomiques	100
4. CONCLUSION.....	103

**CHAPITRE IV : LA TENEUR EN CHLOROPHYLLE ET L'INDICE DE LA
RÉFLECTANCE FOLIAIRE RGB EN RELATION AVEC LE RENDEMENT EN
GRAINS CHEZ QUELQUES VARIETES DE BLE DUR SEMIS EN CONDITIONS
SEMI-ARIDES**

ملخص	105
Résumé.....	106
Abstract.....	107
1.INTRODUCTION	108
2.MATERIEL & METHODES	109
2.1. SITE D'ETUDE	109
2.2. MATERIEL VEGETAL	109
2.3. DISPOSITIF EXPERIMENTAL	109
2.4. LES PARAMETRES MESURES.....	109
2.4.1. Teneur en chlorophylle.....	109
2.4.2. Mesure de l'indice de la réflectance RGB	110
2.4.3. Caractères agronomiques	111
2.5. TRAITEMENT STATISTIQUE DES DONNEES.....	111
3. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS	112
3.1. TENEUR EN CHLOROPHYLLE.....	112

3.1.1. Evolution de la teneur en chlorophylle	112
3.2. RÉFLECTANCE RGB DURANT LA PHASE D'ÉPIAISON	117
3.3. ANALYSE DE LA VARIANCE DES PARAMÈTRES ÉTUDIÉES	119
2.3.1. Moyennes des teneurs en chlorophylle durant la phase d'épiaison.....	119
2.3.2. Moyennes des indices de la réflectance RGB durant la phase d'épiaison	119
2.3.3. Paramètres agronomiques	121
3.4. ÉTUDE DES CORRELATIONS LINÉAIRES DE PEARSON.....	123
3.5. ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES (ACP)	124
3.5.1. Correlations des paramètres mesurés (variables) avec les axes d'interprétations	125
3.5.2. Adresses des variétés étudiées sur les axes d'interprétation d'ACP	125
CONCLUSION	129
CONCLUSION GÉNÉRALE	131
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	134
ANNEXES DE PUBLICATIONS	

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Le blé dur [*Triticum turgidum* L. ssp. *durum* (Desf.) Husn.] est l'une des espèces céréalières les plus essentielles et est cultivée dans le monde sur près de 17 millions d'hectares, avec une production mondiale de 38,1 millions de tonnes en 2019 (Ioannis *et al.*, 2020). Cependant, les plus gros consommateurs sont les pays méditerranéens, où se déroule la majeure partie du processus de production.

Les principales contraintes environnementales limitant la culture du blé dur dans le bassin méditerranéen sont la sécheresse et les températures extrêmes (Nachit *et al.*, 2004).

Le plus grand producteur de blé est l'Union européenne, avec 9 millions de tonnes en 2018, suivie par Canada, Turquie, États-Unis, Algérie, Mexique, Kazakhstan, Syrie et Inde (Tedone *et al.*, 2018).

Le blé dur est l'une des céréales les plus cultivées du bassin méditerranéen, où la sécheresse est un facteur limitant pour sa production (Royo *et al.*, 1998), il est principalement cultivé dans des conditions pluviales, où la sécheresse et le stress thermique limitent généralement le potentiel de rendement pendant la période de remplissage des grains (Simane *et al.*, 1993).

En Algérie, la production réelle de céréales au cours de la période 2010-2017 est estimée à 41,2 millions de quintaux en moyenne, soit une augmentation de 26% par rapport à la décennie 2000-2009 où la production est estimée en moyenne à 32,6 millions de quintaux. La production se compose principalement de blé dur et d'orge, qui représentent respectivement 51 % et 29 % de toute la production céréalière en moyenne 2010-2017 (MADR, 2018).

Le rendement en grains est un trait complexe, il est déterminé par l'interaction d'un certain nombre d'attributs (Singh *et Diwivedi*, 2002). Une meilleure connaissance de l'association génétique des caractères avec le rendement est d'une grande importance pour les sélectionneurs afin de développer une stratégie de sélection appropriée et d'améliorer des caractères complexes comme le rendement en grain qui ont montré peu de réponse à la sélection directe. Plusieurs études ont été menées pour mieux comprendre les facteurs responsables du rendement céréalière du blé dur afin de développer des génotypes à haut rendement par sélection indirecte. La corrélation et l'analyse des trajectoires pourraient être utilisées comme un outil important pour

apporter des informations sur la relation de cause à effet appropriée entre le rendement et certaines composantes du rendement (Khan *et al.*, 2003).

La photosynthèse est la principale source de la production de matière sèche et du rendement en grain des plantes cultivées, les améliorations de la photosynthèse des feuilles se sont produites avec l'avancée de la sélection de cultivars à haut rendement (Jiang *et al.*, 2002). Le rayonnement solaire frappant la surface des feuilles est soit réfléchi, absorbé ou transmis. La nature et les quantités de réflexion, d'absorption et de transmission dépendent de la longueur d'onde du rayonnement, de l'angle d'incidence, de la rugosité de la surface et des différences dans les propriétés optiques et le contenu biochimique des feuilles. (Guendouz *et al.*, 2013a).

La sélection de nouvelles variétés de grains céréaliers nécessite des méthodes rapides et de préférence non destructives, pour évaluer la qualité des grains des premières générations. La spectroscopie proche infrarouge (NIR) a un grand potentiel pour répondre à ces exigences pour le sélectionneur de blé dur (Sissons *et al.*, 2006).

La sénescence est un phénomène universel chez les organismes vivants, et le mot sénescence a été utilisé par des scientifiques travaillant sur une variété de systèmes, tels que la levure, la mouche des fruits, le ver, l'être humain et les plantes. Cependant, la signification du mot sénescence pour les scientifiques travaillant sur différents organismes peut être différente, et la différence peut être subtile dans certains cas et très évidente dans d'autres (Hafsi *et* Guendouz, 2012). La sénescence est soumise à une forte régulation environnementale et génétique, et avant le jaunissement visuel et la chlorose, jusqu'à 50 % de la chlorophylle des feuilles peut être perdue (Buchanan-Wollaston *et al.*, 2005 ; Borrill *et al.*, 2019).

Notre travail intitulé « Effet des changements environnementaux sur les indicateurs de la sénescence foliaire et son efficacité en tant qu'indicateur pour la sélection de variétés de blé dur en conditions semi-arides » a permis d'étudier et durant 03 saisons de culture :

- ❖ Le comportement agro-morphologique d'une quinzaine de variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) composés de trois (03) croisements locaux et semi-locaux (Boussellem – Boutaleb et Oued El Bared), un (01) génotype introduit (Juapre C 2001) avec onze (11) lignées avancées tous d'origine CIMMITY.

- ❖ Les paramètres de la sénescence et la réflectance de la feuille étendard des 15 variétés étudiées via utilisation de l'Analyse des Images Numériques (NIA) et leurs relation avec quelques paramètres morpho-physiologiques.
- ❖ l'effet du changement d'environnement (Interaction Génotype-Environnement) sur l'ensemble des paramètres étudiés Afin d'évaluer l'efficacité d'utilisation de la sénescence et de la réflectance de la feuille étendard en tant qu'indicateurs pour la sélection des variétés de blé dur les mieux adaptés et les mieux rentables en matière de rendement en grains dans les conditions semi-arides.

CHAPITRE I
REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

1. HISTORIQUE ET ORIGINE DU BLE DUR

1.1. HISTORIQUE ET ORIGINE GEOGRAPHIQUE

Le mot blé dérive du gaulois *Blato* dont l'origine du vieux français est *blaie*, ou *blee*, ou *blaier*, il désigne différentes espèces du genre *Triticum* (Henry *et* Beysler, 2000), il est le principal nutriment de l'homme depuis ces premiers pas en agriculture (Ruel, 2006). le blé est l'un des premières espèces cueillies et cultivées depuis plus de 7000 à 1000 ans dans le croissant fertile, zone couvrant la Syrie, la Palestine et l'Irak et une grande partie de l'Iran (Croston *et* Williams, 1981). Selon Thomas (1975), des restes de blé diploïde et tétraploïde remontant à plus de 7000 ans avant J.C ont été découverts dans des sites archéologiques du proche orient.

En Algérie et Afrique du Nord, on admet que la culture du blé dur est arrivée avec la conquête arabe, plusieurs auteurs s'accordent sur le fait que la céréaliculture dominée par le blé dur, est largement réponde en Algérie depuis cette date (Erroux *et* Laumont, 1961).

1.2. ORIGINE GENETIQUE

L'origine génétique du blé vient du croisement entre deux espèces ancestrales *Triticum monococcum* et une graminée sauvage du nom d'*Aegilops speltaoides*. Le génome dérivé de *T. monococcum* est désigné par A et celui dérivé d'*Aegilops* est dénommé B, de sorte que *Triticum durum* a une garniture chromosomique désignée par AB. A chaque paire de chromosomes du génome A correspond une paire de chromosomes homologues du génome B, à laquelle elle est étroitement apparentée (Dubcovsky *et* Dvorak, 2007).

L'hybridation naturelle a permis l'apparition d'un blé dur sauvage *Triticum turgidum* ssp. *dicoccoides*, qui a ensuite progressivement évolué vers *Triticum turgidum* ssp. *dicoccum*, puis vers *Triticum durum* (blé cultivé). Le blé dur est un allo-tétraploïde de génome AABB réparti sur 28 chromosomes dont le nombre chromosomique de base est 7 (Feillet, 2000).

Les blés cultivés en Algérie appartiennent pour la presque totalité aux espèces *T. aestivum* L. (Blé tendre) et *T. durum* Desf. (Blé dur).

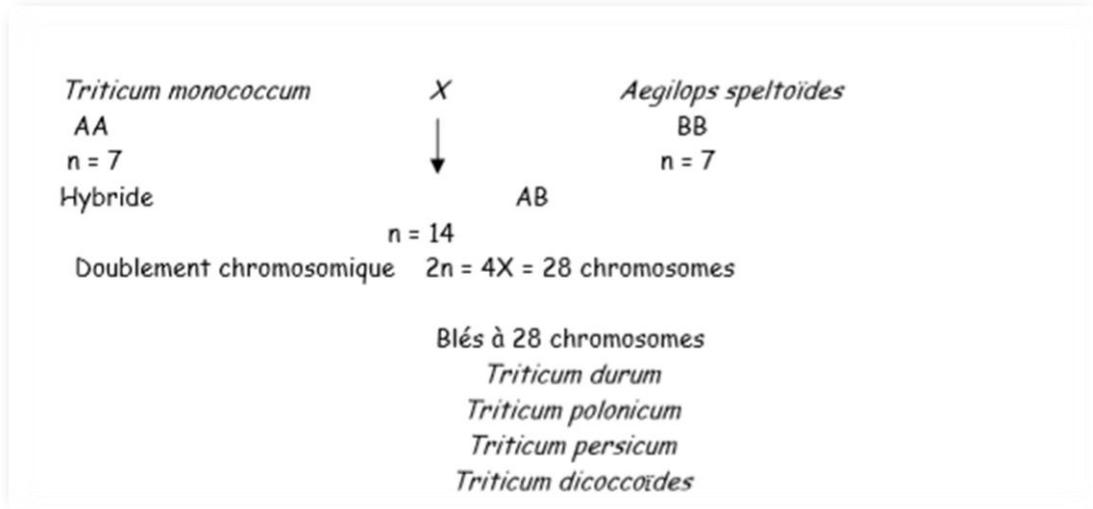


Figure 1. Origine génétique du blé (*Triticum durum* Desf.)

(Croston et Williams, 1981)

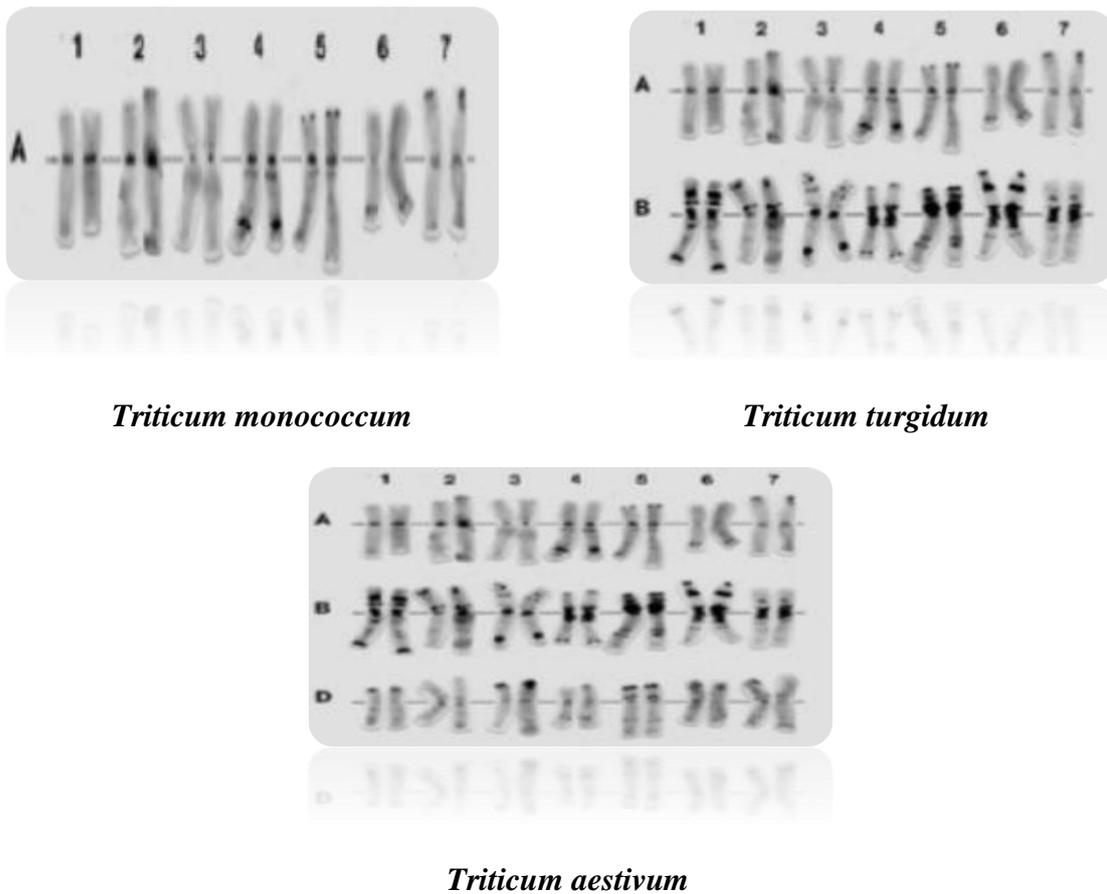


Figure 2. Caryotype de 3 espèces de blé (Salamé, 2012)

2. IMPORTANCE DE LA CULTURE DU BLE DUR

2.1. AU NIVEAU MONDIAL

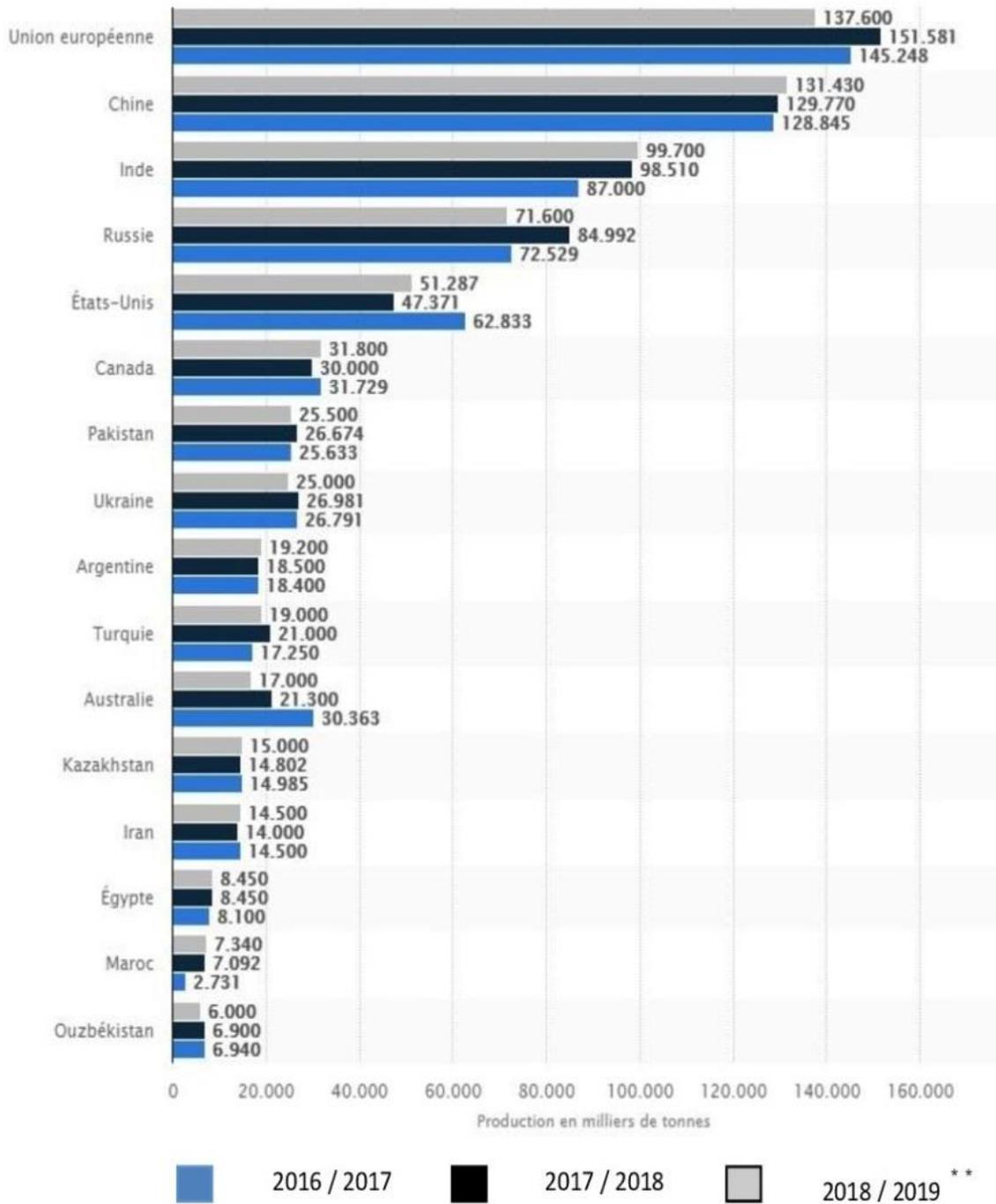
Le blé dur occupe une importante place parmi les céréales dans le monde. Il est cultivé sur 8 à 10% du total des terres réservées aux blés dans le monde, avec une superficie moyenne de 18 millions d'hectares, pour une production annuelle moyenne de 35.0 millions de tonnes (FAOSTAT, 2013).

La figure 3 présente les neuf principaux pays producteurs de blé au cours des trois dernières années de commercialisation 2016/2017 à 2018/2019, en milliers de tonnes. Sur la période de 2017 à 2018, l'Union européenne menait le classement des principaux producteurs mondiaux de blé, affichant une production supérieure à 150 millions de tonnes. Sur la même période, la Chine, classée deuxième, produisait près de 130 millions de tonnes de blé (Godoy Hilario , 2020).

Le blé dur est cultivé principalement dans les pays du bassin méditerranéen à climat aride et semi-aride. Ces régions se caractérisent par l'augmentation de la température couplée à la baisse des précipitations, et en plus à la désertification et à la sécheresse (Abeledo *et al.*, 2008).

Le commerce mondial du blé représente entre 18% et 20% de la production mondiale des céréales contre 3% à 4% du commerce du riz. Le marché du blé était dominé essentiellement par les Américains et les Canadiens, formant ainsi un duopole qui intervient pour assurer une certaine stabilité des prix sur le marché international du blé (CIC, 2016). Selon le Conseil International des céréales CIC (2016), au cours de la période 2000-2005, le groupe constitué par la Chine, le Japon et la Corée du Sud importe 30% de l'offre mondiale. Ces pays sont principalement approvisionnés par les Etats-Unis, le Canada et l'Australie (CIC, 2016).

La production mondiale du blé dur au cours du mois de février 2016 est en hausse de 1,7 millions de tonnes, atteignant 39,7 millions de tonnes, soit un bond de 15 % par rapport au résultat de l'année précédente (2015) qui était de 34.5 millions de tonnes. Les stocks des quatre principaux exportateurs qui sont le Canada, les Etats-Unis, le Mexique et l'Union Européenne, devraient grimper à environ à un tiers, soit 3,4 millions de tonnes par rapport à l'année précédente qui était de 2.5 millions de tonnes (CIC, 2016).



** données incomplètes

Figure 3. Production mondiale en blé dur entre 2016 et 2019 (Godoy Hilario, 2020)

2.2. EN ALGERIE

2.2.1. Culture

L'Algérie possède une grande superficie de près de 2,4 millions km² dont plus de 2 millions km² est occupé par le Sahara soit 84% de la superficie totale, le reste de la superficie s'étale sur une bande littorale de 1200 km de longueur et de 180 km de largeur où s'effectuent la majorité des activités agricoles nationale, La région septentrionale est caractérisée par des montagnes, très minces en profondeur et séparées par des plaines étroites qui s'étendent de l'Est à l'Ouest.

Du Nord au Sud se situent les hauts plateaux qui se constituent de roches anciennes recouvertes de dépôts superficiels récentes à capacité limitée de stockage des eaux de pluie (MADR, 2012).

Parmi les 42 millions d'hectares des terres arables, l'Algérie ne profite que de 8,42 millions d'hectares soit un taux de 20% (MADR, 2009). En Algérie, le blé est cultivé dans les zones où la pluviométrie dépasse les 350 mm.

La superficie agricole (figure 4) destinée aux céréales est estimée à 3,8 millions d'hectares, le blé est cultivé sur 40% des terres destinées aux céréales où le blé dur prend 52% des terres et le blé tendre est cultivé sur les 48 % restantes (Benseddik *et* benabdelli, 2000 ; MADR, 2009).

2.2.2. Production

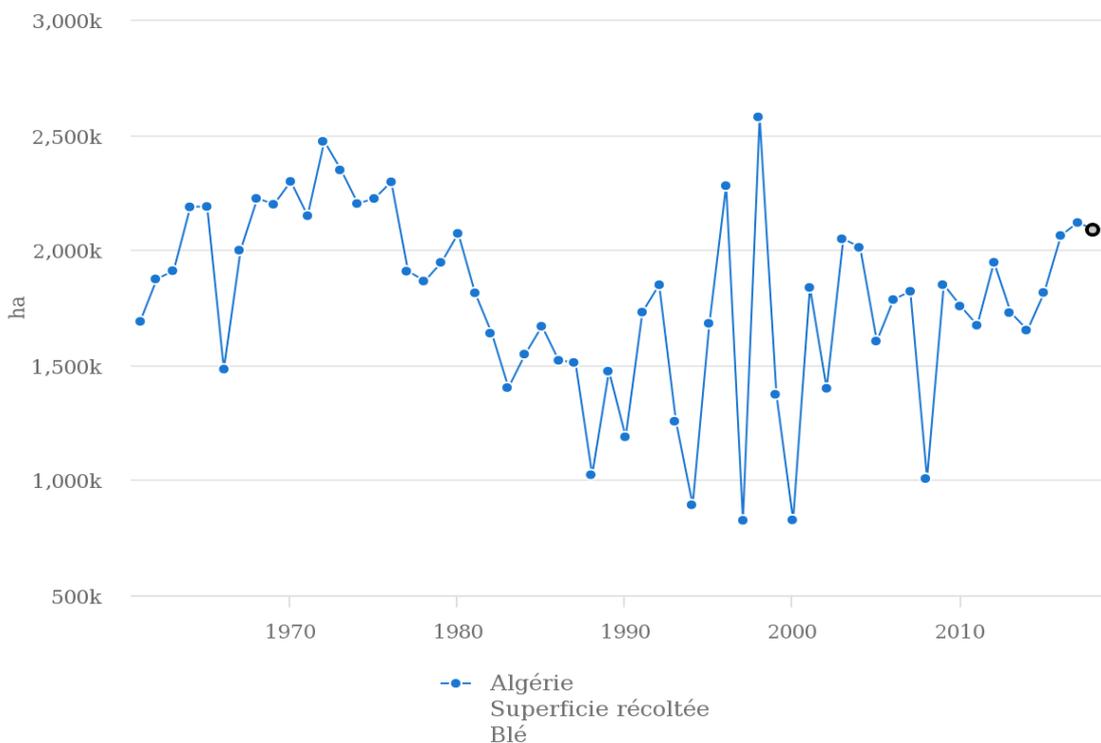
Selon des sources de la FAO (Figure 5), la production du blé est passée de moins de 01 million de tonnes en la veille de l'indépendance de l'Algérie en 1963 aux environs de 4 millions de tonnes en 2019 , les memes sources (Figure 6) indiquent que le rendement en grains est passé d'une moyenne nationale de moins de 05 quintaux par hectare a une moyenne d'a peu pres de 20 quintaux par hectare durant la meme periode (FAOSTAT,2020).

Les statistiques montrent une augmentation de la demande nationale en blé dur, les besoins en passés de 19,5 millions de quintaux en 1961 à 95 millions de quintaux en 2000 (Hervieu *et al.*, 2006) , cela conduit l'Algérie à une augmentation annuelle de ces importations en blé dur, à l'exemple de l'année 2012 qui a connu une importation de 545000 tonnes en fin de novembre contre 527000 tonnes dans la même période de

l'année précédente, ce qui fait une augmentation de plus de 3% (FAO, 2013). Ces augmentations d'importation sont dues à la faible production nationale en blé dur.

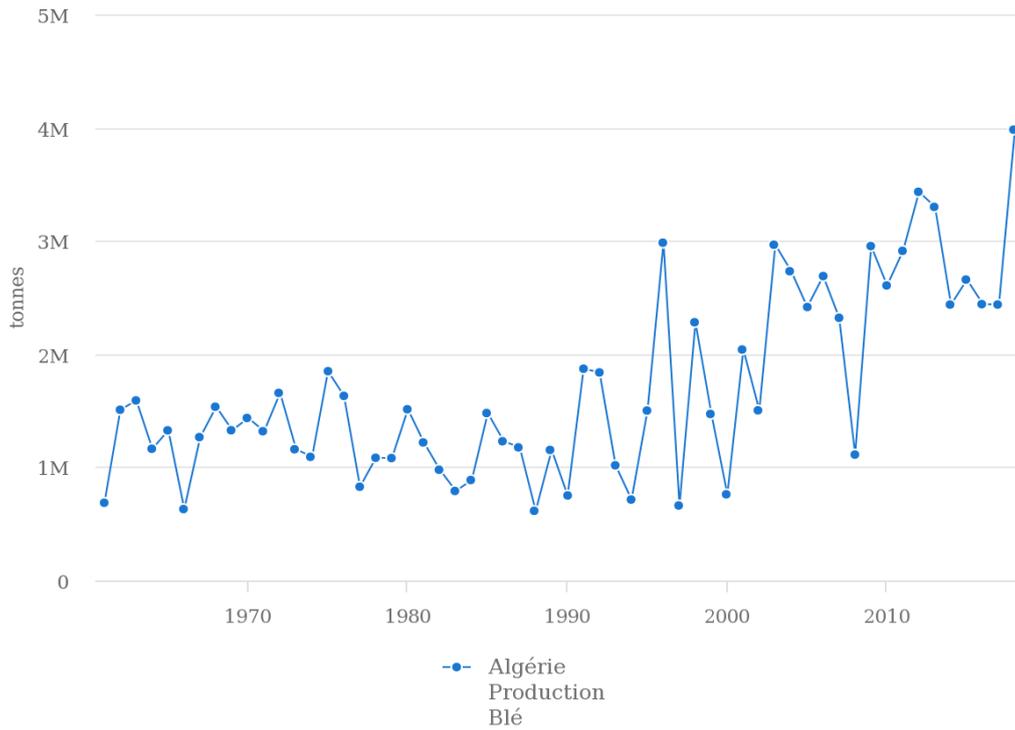
La capacité productive locale en blé dur est très faible par rapport celle du blé tendre ou bien de l'orge durant la période 1876 jusqu'à 1999, la moyenne de production par hectare est arrivée à 5,5 quintaux chez le blé dur par rapport à 6,9 et 6 quintaux chez le blé tendre l'orge respectivement (Amokrane *et al.*, 2002).

Parmi les causes les plus importantes de faiblesse de la production du blé dur en Algérie, c'est la baisse de capacité productive par hectare qui a donné 9 à 11 quintaux (Chellali, 2007), ces baisses sont dues à différents facteurs tels que les stress abiotiques et la mauvaise utilisation des techniques culturales (Chellali, 2007). La production du blé dur est destinée totalement à la consommation humaine sous différentes formes telles que la consommation du pain et les pâtes etc. (Jeantet *et al.*, 2006 ; Feillet, 2000).



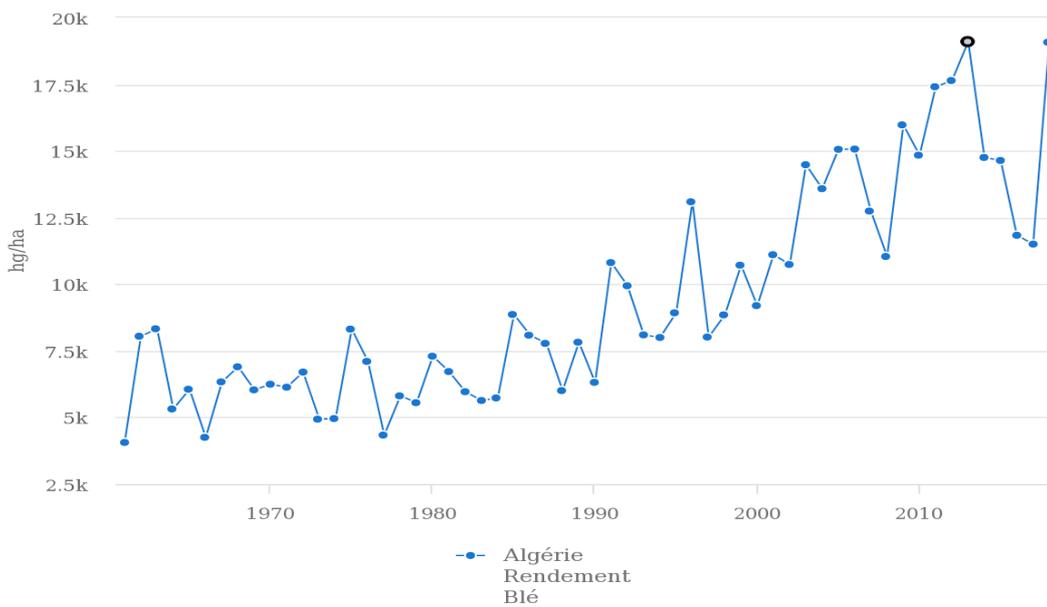
Source: FAOSTAT (avr. 10, 2020)

Figure 4. Superficies récoltées en blé en Algérie entre 1963-2019 (FAOSTAT, 2020)



Source: FAOSTAT (avr. 10, 2020)

Figure 5. Production du blé en Algérie entre 1963-2019 (FAOSTAT, 2020)



Source: FAOSTAT (avr. 10, 2020)

Figure 6. Rendement en blé en Algérie entre 1963-2019 (FAOSTAT, 2020)

3. DESCRIPTION DE LA PLANTE ET CYCLE DE DEVELOPPEMENT

3.1 DESCRIPTION DE LA PLANTE

Le blé dur est une plante spermatophyte monocotylédone, appartenant à la famille des Poaceae. Selon (Dubcovsky *et* Dvorak, 2007) sa classification est la suivante :

Règne	: <i>Plantae</i>
Sous-règne	: <i>Tracheobionta</i>
Super-division	: <i>Spermatophyte</i>
Division	: <i>Magnoliophyta</i>
Classe	: <i>Liliopsida</i>
Sous-classe	: <i>Commelinidae</i>
Ordre	: <i>Cyperales</i>
Famille	: <i>Poaceae</i>
Genre	: <i>Triticum L.</i>
Espèce	: <i>Triticum durum</i> Desf.

Le blé est une graminée annuelle de type herbacée mesurant en moyenne 1.5 mètre selon les variétés et possédant une tige cylindrique lisse, creuse sauf aux nœuds. Certaines variétés possèdent toutefois des tiges pleines. Les feuilles sont alternes, distiques, simples et entières. (Figure 7). (Soltner, 1998)

La feuille de blé se compose d'une gaine entourant la tige puis s'allonge en un limbe étroit à nervures parallèles et d'une extrémité pointue. Au point d'attache, la gaine de la feuille se trouve une ligule membraneuse (membrane mince et transparente, comportant deux petits appendices latéraux : les oreillettes) (Soltner, 1998).

Le système racinaire comprend des racines séminales produites par la plantule durant la levée, ainsi que des racines adventives qui se forment plus tard à partir des nœuds à la base de la plante et constituent le système racinaire permanent (Soltner, 1998).

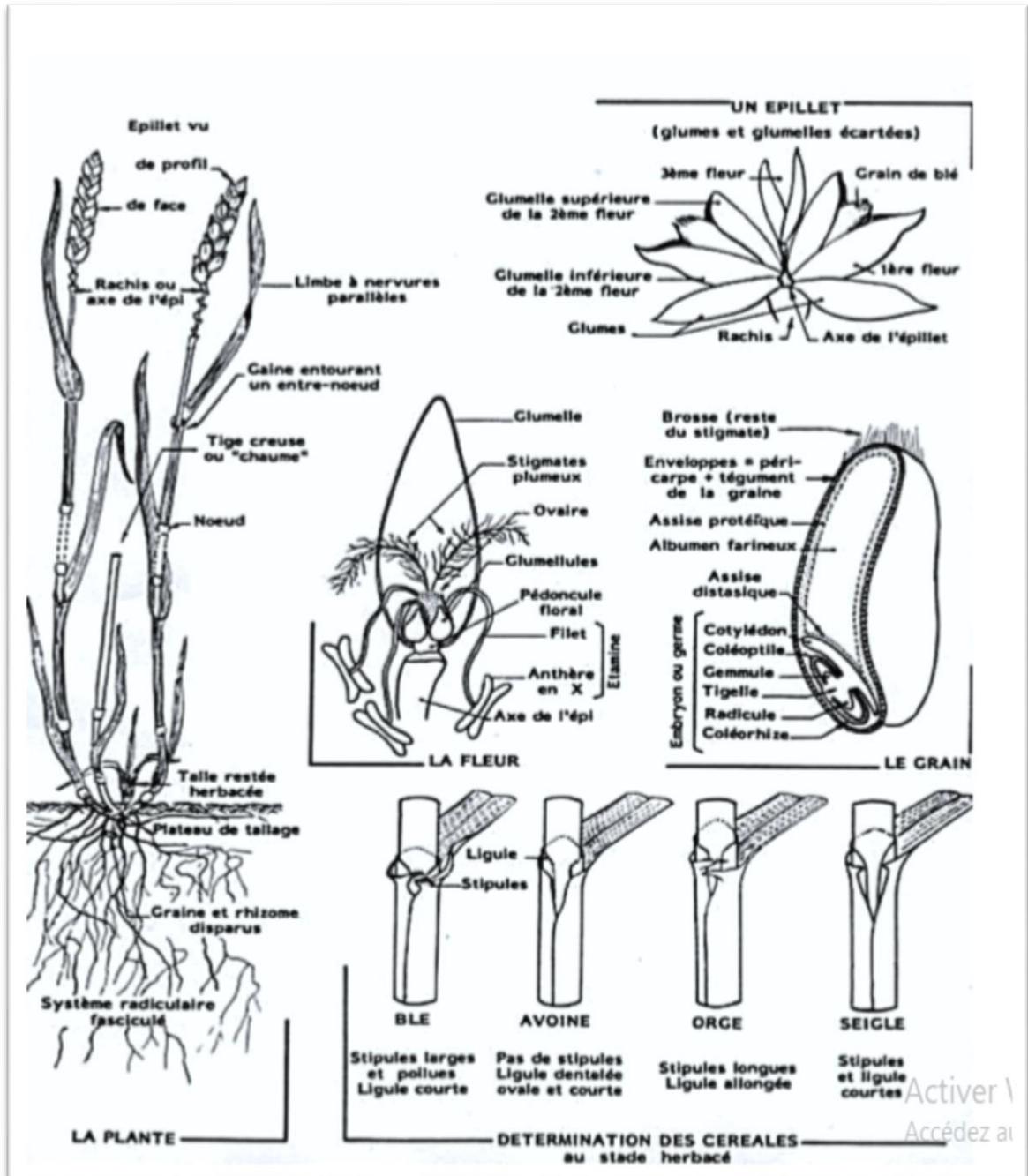


Figure 7. Morphologie du blé. (Soltner, 1998)

L'inflorescence du blé est un épi terminal portant des épillets sessiles, solitaires sur un rachis. Chaque épillet compte deux glumes (bractées) renfermant de deux à cinq fleurs distiques sur une rachéole. Chaque fleur parfaite est renfermée dans des structures semblables à des bractées, soit la glumelle inférieure (lemma ou lemme) et la glumelle supérieure (paléa). Chacune compte trois étamines à anthères biloculaires, ainsi qu'un pistil à deux styles à stigmates plumeux (Soltner, 1998).

Le blé est une plante autogame : le pollen d'une fleur pollinise l'ovaire de la même fleur. À maturité, le grain de pollen fusiforme contient habituellement trois noyaux. Chaque fleur peut produire un fruit à une seule graine, soit le caryopse. Chaque graine contient un large endosperme et un embryon aplati situé à l'apex de la graine et à proximité de la base de la fleur (Figure 7) (Soltner, 1998).

3.2 STADES DU DEVELOPPEMENT DU BLE DUR

Selon Soltner (1998) le développement du blé passe par 3 périodes repères :

- ❖ *Végétative*
- ❖ *Reproductive*
- ❖ *Maturité physiologique*

Chaque période comporte des stades repères. La réalisation des différents stades est sous le contrôle de la somme des degrés journaliers ($\sum^{\circ\text{C}} \text{ jour}$), à base 0, accumulés par la plante

$$\sum^{\circ\text{C}} \text{ jour} = \frac{1}{2} \sum (T \text{ min} + T \text{ max}) \quad (\text{Hamadache, 2013}).$$

3.2.1. Période végétative

Elle est caractérisée par la formation de la matière végétale au cours de laquelle, la plante ne développe que les feuilles et les racines. Cette période s'étale de la levée à la montaison, durant 60 à 110 jours (Soltner, 1998).

Elle comporte 2 phases :

2.2.1.1. Germination-levée

Cette phase correspond à la mise en place du nombre de pieds/m², le sol est percé par le coléoptile qui est un étui protecteur de la première feuille, la levée est notée quand 50 % des plantes sont sorties de la terre (Figure 8). Pendant cette phase, les jeunes plantes (plantules) sont sensibles au manque d'eau qui provoque la perte de ces dernières et au froid qui provoque le déchaussage (Karou *et al.*, 1998)

2.2.1.2. Tallage

Le tallage suit la levée, il s'amorce à partir de la quatrième feuille. La formation de la première talle se fait au stade 3 feuilles. La première talle primaire (Maitre-brin) apparaît à l'aisselle de la première feuille du blé. La 2^{ème} et la 3^{ème} talle apparaissent à l'aisselle de la 2^{ème} et la 3^{ème} feuille (Hamadache, 2013).

Selon (Hamadache, 2013), le nombre de talles productives dépend du génotype, de l'environnement et il est fortement influencé par la densité de peuplement. Il apparaît à partir de la base du plateau de tallage, des racines secondaires ou adventives, qui seront à l'origine de l'augmentation du nombre d'épis.

La fin de tallage marque le début de la phase reproductive, conditionnée par la photopériode et la vernalisation qui autorisent l'élongation des entre-nœuds (Gate, 1995).

3.2.2. Période reproductive

Selon Gate (1995), la période reproductrice débute dès le stade montaison qui se manifeste à partir du stade épi à 1 cm, mesuré à partir de la base de la couronne ou plateau de tallage. Au niveau des futurs épillets, on peut observer la formation des ébauches de glumes.

3.2.2.1. Montaison-gonflement

La montaison constitue la phase la plus critique du développement du blé. Tout stress hydrique ou thermique au cours de cette phase réduit le nombre d'épis montants par unité de surface. La phase de montaison se termine une fois l'épi prend sa forme définitive à l'intérieur de la gaine de la feuille étendard qui gonfle, ce qui correspond au stade gonflement. La feuille étendard est essentielle car elle va à elle seule contribuer à 75% de la productivité et donc au remplissage du grain. Lorsque les maladies ou les stress hydriques et thermiques causent des dommages à la dernière feuille, le rendement à de fortes chances d'être impacté. (Gate, 1995).

3.2.2.2. Epiaison-floraison

Le stade épiaison commence dès que l'épi apparaît hors de sa gaine foliaire et se termine quand l'épi est complètement libéré. La durée de cette phase est de 7 à 10 jours, elle dépend des variétés et des conditions du milieu. Chez le blé dur, c'est le moment où apparaissent les extrémités des barbes à la base de la ligule de la dernière feuille. Les

épis dégainés fleurissent généralement après quelques jours (moins de 7 jours) après l'épiaison. Les températures élevées et la sécheresse au cours de l'épiaison et de la floraison peuvent réduire la viabilité du pollen et ainsi réduire le nombre de grains. (Gate, 1995).

La floraison est marquée par la sortie des étamines hors des épillets et se termine dès que toutes les étamines sont extériorisées. (Matin *et al.*, 1989).

3.2.3. Période de la maturité physiologique

Au cours de la période maturité, les plantes continuent leur croissance, elles stockent des réserves dans les grains. Cette phase est caractérisée par le grossissement du grain, l'accumulation de l'amidon et les pertes de l'humidité des grains par phénomène naturel de déshydratation qui marque la fin de la maturation (Soltner, 1998).

3.2.3.1. Remplissage de grains

Selon Wardlaw (2002) et après fécondation, l'évolution du poids des grains passe par 3 étapes :

1. Une phase de multiplication des cellules du jeune grain encore vert doté d'une forte teneur en eau
2. Une phase de remplissage actif du grain avec les assimilés provenant de la photosynthèse de la feuille étendard et du transfert des hydrates du carbone non structuraux stockés dans le col de l'épi. La quantité d'eau contenue dans le grain tend à se stabiliser, c'est le pallier hydrique. De fortes températures provoquent l'arrêt du processus de migration des réserves des feuilles et de la tige vers le grain, c'est l'échaudage du grain.
3. Une phase de dessèchement où le grain perd son humidité pour atteindre son poids final.

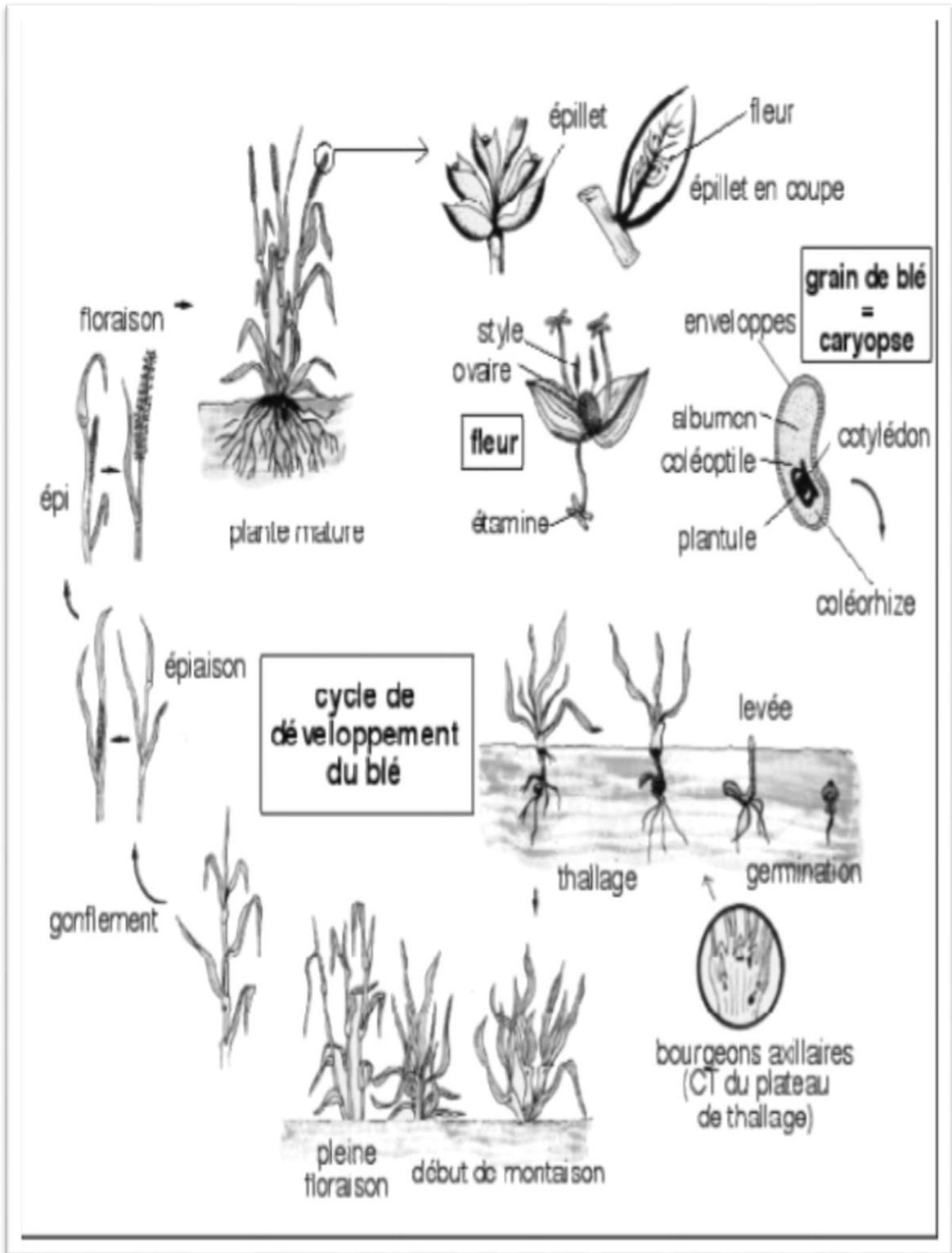


Figure 8. Cycle de développement du blé (Henry *et* Buysler, 2000)

4. STRESS ABIOTIQUES ET EFFET SUR LA PLANTE

Les stress abiotiques sont l'ensemble de conditions environnementales défavorables pour la croissance, le développement et la reproduction des êtres vivants (Jones *et* Qualset, 1984).

Auparavant, les stratégies appliquées pour lutter contre les stress abiotiques (irrigation, travaux du sol etc.) avaient pour but de diminuer leurs impacts, les contraintes économiques et écologiques ont conduit à la recherche de plantes améliorées génétiquement, résistantes au risque de ces stress. Plusieurs causes sont à l'origine de la diminution du rendement en blé, on peut citer : La sécheresse, l'augmentation et la diminution de la température, le manque des engrais notamment l'azote et la salinité, on va présenter l'impact que quelques stress abiotiques sur la croissance, le développement et le rendement du blé dur.

4.1. STRESS HYDRIQUE

Le stress hydrique est parmi les stress les plus observés dans la nature, il se manifeste chez la plante quand l'absorption est inférieure à la transpiration. Il existe une corrélation négative entre la transpiration et le rendement en grains chez le blé, la diminution du rendement en grains est une conséquence directe du stress hydrique. Le stress hydrique peut s'observer sur différentes périodes de développement de la plante mais la période la plus touchée par ce phénomène est la période Epiaison-Floraison.

On peut résumer l'effet du stress hydrique sur les différentes périodes de développement du blé comme suite:

4.1.1. Germination - levée

Selon Bouaziz *et* Hicks, (1990), la sécheresse précoce qui touche les zones arides influe négativement sur la germination des grains du blé, par conséquent l'élaboration des plantes. La faible germination, les carences en nutriments pour le grain du blé ainsi que la réticence physique du sol sont tous à l'origine du mauvais développement de la plante et la faible récolte. Il existe une corrélation positive entre le volume des grains, leur contenance protéique, les racines adventives et la biomasse aérienne chez le blé (Ries *et* Everson, 1973). Le volume du grain du blé réduit l'effet négatif de la sécheresse précoce. L'ensemble racinaire est plus grand chez les plantules issues d'une germination des grains de blé volumineux, peut être et à certains moments une cause de l'équilibre de la teneur en eau et sous des conditions d'un stress hydrique précoce et si

l'eau se trouve à des niveaux plus profonds dans le sol (Mian *et Nazfiger*, 1994). Un autre facteur qui peut améliorer l'élaboration de la plante sous conditions de stress hydrique, c'est la longueur du coléoptile où la majorité des variations dans sa longueur est héréditaire (ICARDA, 1987).

4.1.2. Montaison-gonflement

Le stress hydrique augmente le phyllochrone pour le blé dur et tendre (Krenzer *et al.*, 1991 ; Simane *et al.*, 1993), l'élargissement du volume de la feuille est très sensible au stress hydrique (Acevedo *et al.*, 1971), le déficit hydrique qui précède le début de floraison diminue le nombre d'épillets primordiales pendant cette phase (Oosterhuis *et Cartwright* , 1983).

4.1.3. Epiaison-floraison

Le blé continue sa croissance (racines, feuilles, tiges et épis) après l'épiaison, c'est la période la plus active du développement du blé. Pendant cette période, le stress hydrique diminue la croissance des cellules ainsi que la surface foliaire, ce qui induit une diminution de l'intensité de la photosynthèse à cause de la fermeture partielle des stomates (Acevedo *et al.*, 1991). Au niveau des feuilles de blé et lorsque le stress hydrique atteint $-1,5$ MPa, les stomates commencent à se fermer (Kobata *et al.*, 1992; Palta *et al.*, 1994).

La diminution de la concentration foliaire interne C_i influe sur la diminution du flux des électrons, la continuation de l'excitation des systèmes photoniques cause la photo inhibition qui dégrade les systèmes photoniques (Long *et Humphries*, 1994). La conservation de la situation en eau est bénéfique non seulement sur le plan de rafraichissement de la plante mais aussi pour garder le seuil maximal d'échange du CO_2 pour assurer la continuité des réactions de la période obscure de la photosynthèse et le sauvegarde du flux des électrons (Loomis *et Amthor*, 1999). La réflectance chlorophyllienne se distingue quand la quantité de lumière absorbée dépasse la capacité des réactions de la période obscure, c'est pour cela que les mesures de la réflectance sont beaucoup utilisées ces derniers temps pour juger l'effet du stress hydrique sur le rendement en grains (Seaton *et Walker*, 1992). Durant l'épiaison, le stress hydrique influe négativement sur le nombre de grains (Hochman, 1982).

4.1.4. Maturité physiologique

La survenue de stress hydrique près du stade de floraison accélère le développement induisant une diminution des hydrates de carbone au niveau de la tige (Simone *et al.*, 1993). La retranslocation des hydrates de carbone synthétisés avant la phase de floraison est très importante, cela est en raison de la diminution de l'intensité de la photosynthèse dans un cas de stress hydrique (Bidinger *et al.*, 1977 ; Palta *et al.*, 1994). Pendant la phase de remplissage des grains, le stress hydrique n'influe pas sur le nombre de talles fertiles, ni sur le nombre de grains dans un mètre carré mais une diminution du poids des grains est observable, cela est dû par la courte durée de la période du remplissage de grains résultante de l'accélération du phénomène de la sénescence (Hochman, 1982 ; Kobata *et al.*, 1992). L'ajout de solutions de potassium phosphate monobasique (KH_2PO_4) à faible concentration sur les feuilles diminue les effets des fortes chaleurs et de la sécheresse qui provoquent la sénescence et par conséquent, une augmentation de rentabilité en grains (Benbella *et Paulsen*, 1998).

4.2. STRESS THERMIQUE

Les fortes températures influent directement sur le rendement en grains du blé accélèrent le développement de la plante surtout en période de floraison, elles ont aussi une influence considérable sur les organites de la photosynthèse. La transpiration est l'un des mécanismes de lutte contre les dégâts causés par les fortes températures, c'est le premier facteur de dépense d'énergie. Les géotypes les plus adaptés au stress thermique sont ceux qui préservent leur fraîcheur à travers la transpiration. La température est variable sur les différents organes de la plante, elle est aussi différente de la température de l'air qui l'entoure, cette variabilité de températures est en croissance avec l'accroissement des taux de transpiration. En ce qui concerne le blé et l'absence du stress hydrique, la température foliaire ainsi que l'air qui l'entoure sont en croissance linéaire avec la pression et l'évaporation (Idso *et al.*, 1984). En présence du stress hydrique et au début de la fermeture des stomates, la température foliaire commence à s'élever en dépassant la température de l'air qui l'entoure. La photosynthèse est influée négativement par les fortes températures qui dépassent les 25°C, les géotypes les plus adaptés ne sont influés que par les températures qui dépassent les 35°C. Le stress thermique diminue la biomasse et le rendement en grains de blé. La période la plus sensible au stress thermique est le période épiaison-floraison où on peut estimer le nombre de grains dans un 1m² (Shpiler *et Blum*, 1986). On peut

résumer l'effet du stress thermique sur les différents stades de développement comme suite :

4.2.1. Germination-levée

Dans les zones chaudes, la température de la litière dépasse la température de l'air de quelques 10 à 15°C si la surface du sol est nue ou dépourvue de végétation sèche et l'intensité des rayonnements solaire est importante. Sous les mêmes conditions, ou des conditions similaires, la température maximale du sol varie entre 40 à 45°C influant négativement sur la germination et la levée de la plantule. A peu près 100 plantules par m² sont perdues dans ces conditions, ce qui influe sur le rendement en grains de blé. Angus *et al.* (1981) ont trouvé que l'influence de la température sur la levée diffère selon le génotype. La levée d'un nombre suffisant de plantules peut diminuer l'influence de l'excès de températures qui gêne le développement racinaire et le début du tallage (Fischer, 1985).

4.2.2. Montaison-gonflement

La sensibilité vis-à-vis des fortes températures augmente avec le développement végétatif et le début du tallage et se poursuit jusqu'à la fin du stade montaison – gonflement (O'Toole *et* Stockle, 1991). La sensibilité vis-à-vis des fortes températures pendant cette période (GS1) peut s'exprimer par la diminution de la durée de cette période, le rétrécissement de la surface foliaire et aussi le développement (Shpiler *et* Blum, 1986). Les fortes températures diminuent le nombre des feuilles ainsi que les talles fertiles qui donnent naissance à des épis (Midmore *et al.*, 1984). L'augmentation des températures favorisent l'augmentation du phyllochrone ce qui entraîne la diminution des feuilles (Cao *et* Moss, 1994).

4.2.3. Épiaison-floraison

L'apparition des doubles crêtes est un indicateur du début de la période épiaison - floraison. Le nombre de grains par 1 mètre carré est estimé durant cette période. Le principal effet du stress thermique après l'épiaison s'observe dans le nombre de grains par 1m². Le nombre de grains par 1 mètre carré diminue avec l'augmentation de la température de 1°C et avec un taux de 4% durant les 30 jours qui précèdent la floraison (Fischer, 1985).

4.2.4. Maturité physiologique

Durant cette période, le stress thermique influe sur la gestion et l'économie des produits synthétisés, le flux de ces produits vers les grains, la synthèse et stockage de l'amidon durant la période du remplissage de grains, cela peut induire une diminution du poids de grains.

Dans un intervalle de température entre 12 et 26°C, l'augmentation de la température par 1°C fait baisser le poids des grains de 4 à 8% (Wardlaw, 1990 ; Wiegand *et* Cuellar, 1981).

La diminution de la période du remplissage des grains coïncide avec l'augmentation du pourcentage du remplissage (Sofield *et al.*, 1977).

La résistance au stress thermique dépend de la stabilité des membranes cellulaires, l'augmentation dans la stabilité des protéines et la production des protéines de choc thermique HSP (in English Heat Shock Protein). La réponse des plantes au choc thermique est sous forme de production rapide et condensée des protéines spécifiques à des températures ultra favorables qui dépassent de 5 à 10°C les températures favorables. La sécheresse et la salinité peuvent aussi induire une production des protéines de choc thermique (El Madidi *et* Zivy, 1993).

4.3. STRESS DU AU FROID ET AU GEL

La plus part des plantes cultivés sont sensibles à des basses températures, cela influe sur leur rendement si cette température atteint les 12°C (Lyons, 1973). La diminution de l'intensité de la photosynthèse à des degrés de photo-saturation et de photo inhibition s'observe à des basses températures (Powles *et al.*, 1983). Cela coïncide aussi avec une augmentation de l'inflorescence de la chlorophylle (a) (Greer *et al.*, 1986).

La longue exposition à la lumière à des basses températures induit une photo-inhibition suivie par une oxydation photonique de la chlorophylle provoquant la mort des tissus cellulaires (Bongi *et* Long, 1987).

Les principales influences du froid sont la diminution de l'intensité de la photosynthèse, la diminution du flux du carbone provenant des feuilles ainsi que la quantité des glucides accumulés dans les cellules (Pollock *et al.*, 1983 ; Pollock, 1984).

L'accumulation des glucides au niveau cellulaire permet de protéger les cellules des effets négatifs des basses températures (Koster *et* Lynch, 1992). L'exposition de la plante à des basses températures augmente l'activité de l'enzyme Rubisco (Leegood *et* Edward, 1996).

Dans la plupart des cas une simple gelée n'influe pas sur la surface foliaire par contre un gel aigu provoque la nécrose des feuilles, ce qui entraîne la mort des feuilles, les stades de développement avancés sont les plus sensibles au froid, ce qui influe sur le rendement. Le gel influe négativement surtout durant la période qui se trouve entre l'apparition de la feuille drapeau et les 10 jours qui suivent l'épiaison, cela en avortant l'apparition des épillets primitifs et intermédiaires des épis. L'effet du gel apparaît lorsque la température de l'air qui entoure la plante est inférieure à 0°C et la température des tissus végétaux atteint les - 4°C (Harding *et al.*, 1990).

4.4. STRESS SALIN

L'augmentation du rendement est très liée à l'irrigation, l'application des opérations d'irrigation augmente la salinité du sol, les eaux d'irrigation contiennent près de 0,1 à 4 kg/m³ de sel, une irrigation de 1000 à 1500mm/an alimente le sol de près de 1 à 60 tonnes/ha de sel (Shannon, 1997)

Selon Kirst (1989), la salinité du sol influe sur la plante selon 3 modes principales

- ❖ Le stress osmotique et la diminution de la gestion d'eau
- ❖ Le stress ionique
- ❖ Le changement de la balance cellulo-ionique

De multiples opérations physiologiques sont influées considérablement par la salinité, la salinité diminue le nombre de cellules, la surface foliaire, la biomasse et le rendement. La capacité du blé à supporter la salinité est très moyenne (Shannon, 1997).

4.4.1. Impact de la salinité sur le développement de la récolte

La salinité du sol qui se rapproche du 4,5 ds/m diminue le pourcentage des plantules par unité de surface. Pour une salinité de 8,8 ds/m le nombre de plantes diminue de 50 % (Francois *et al.*, 1986).

La salinité du sol accélère le développement du bourgeon terminal, augmente le phyllochrone, ce qui réduit le nombre de feuilles sur la tige principale (Maas *et* Grieve,

1986), elle diminue aussi le nombre des épillets dans l'épi principal et accélère la maturité de la récolte.

La salinité du sol influe aussi sur le développement et la vivacité des talles. Elle diminue le nombre des talles primaires et secondaires. Lorsque la salinité atteint les 7,5 ds/m, les talles secondaires seront complètement éliminer mais les talles primaires diminuent leur nombre, la croissance et le développement de la racine est moins influé par la salinité (Ayers *et al.*, 1952). Sous des conditions de stress hydrique, toutes les phases physiologiques seront accélérées (Grieve *et al.*, 1994).

La toxicité de la salinité du sol apparait après la phase d'épiaison, elle est caractérisée par la sénescence avancée, la diminution du poids des grains et l'avortement des épillets (Wyn Jones *et Gorham* , 1991).

Une salinité de 13ds/m diminue le rendement de 50% (Ayers *et Wescot* , 1976). Le blé dur est plus sensible à la salinité que blé tendre, sa rentabilité commence à diminuer à partir de 5,9 ds/m de salinité par rapport à 8,6 ds/m pour le blé tendre. Une corrélation négative est observée entre la résistance à la salinité et la concentration du sodium (Na) dans la feuille drapeau, une autre corrélation négative est distinguée entre le rendement en grains et le rapport Na/K dans les grains (Ashraf *et O'Leary*, 1996).

La concentration du sodium Na est plus faible dans les tissus foliaires des génotypes les plus adaptés au stress salin en comparaison avec les génotypes les plus sensibles (Salama *et al.*, 1994).

5. MECANISMES D'ADAPTATION AUX STRESS ABIOTIQUES

5.1. MECANISMES D'ADAPTATION AU STRESS HYDRIQUE

Pour éviter les effets du stress hydrique, il existe plusieurs mécanismes d'adaptions qui varient d'une plante à une autre et d'un genre à autre. En général, on peut résumer ces mécanismes en 3 modes: L'adaptation, l'esquive et l'évitement (Turner, 1986).

Sur le plan physiologique, une plante est dite résistante à la sécheresse lorsqu'elle peut survivre et se développer dans ces conditions, mais de point de vue agronomique, il exprime sa capacité à donner un meilleur rendement par rapport aux plantes sensibles (Madhava Rao *et al.*, 2006).

5.1.1. Mécanismes morphologiques

L'effet du stress hydrique apparait comme un ensemble de modifications morphologiques observées chez la plante et qui visent à augmenter sa capacité d'absorption d'eau, diminuer l'intensité de l'évapotranspiration et la compétition entre les différents organes végétales pour l'eau et les sels minéraux. L'ensemble de ces modifications peut affecter la partie aérienne ainsi que la partie souterraine de la plante (Bajji, 1999).

La réduction de la surface foliaire et le nombre de brins est un aspect morphologique d'adaptation pour le stress hydrique (Blum, 1996). L'enroulement des feuilles chez certaines variétés de blé 1 (blé dur ou tendre) est parmi les mécanismes adoptés pour diminuer l'évapotranspiration de 40 à 60% (Amokrane *et al.*, 2002).

La longueur de la plante chez le blé dur est un indicateur très important dans la sélection des variétés résistantes à la sécheresse dans les zones semi-arides, cela s'explique par la relation proportionnelle entre la longueur de la plante et la longueur de l'ensemble racinaire qui permet une meilleure absorption de l'eau à des profondeurs considérables (Bagga *et al.*, 1970).

Le développement de l'ensemble racinaire est indicateur très important de la résistance au stress hydrique (Passioura, 2004).

5.1.2. Mécanismes phénologiques

Pour éviter l'étape critique de l'effet du déficit hydrique, de nombreuses espèces achèvent leur cycle de vie avant le début de stress, le développement précoce est un

caractère très important pour éliminer l'effet du stress hydrique retardataire (Ben Naceur *et al.*, 1999). Le rendement en grain marque une corrélation positive avec l'épiaison précoce (Gonzalez *et al.*, 1999). L'épiaison précoce est considéré comme un critère de sélection pour l'amélioration du rendement dans les zones arides, Fischer *et Maurer* (1978) ont démontré que chaque jour d'avance de l'épiaison augmente le rendement de 30 à 85 kg/hectare.

5.1.3. Mécanismes physiologiques

La proline est l'un des acides aminés la plus importante dans la plante, sa présence est une forme d'adaptation contre le stress hydrique, elle régule le milieu pour préserver la teneur en eau de la cellule et la pression de remplissage nécessaire pour toutes les réactions cellulaires (Palfi *et al.*, 1973). Plusieurs études ont montré qu'il existe une relation proportionnelle entre la quantité de proline formée et la résistance à la sécheresse, cela veut dire que la proline peut être utilisée comme indicateur des variétés résistantes au stress hydrique (Savitskaya, 1967).

Les glucides et les acides organiques sont parmi les substances les plus accumulées dans des conditions de stress, les sucres solubles jouent un rôle très important pour diminuer l'effet du stress hydrique et thermique et dans la régulation osmotique, le blé soumis à un stress hydrique ou thermique se caractérise par une accumulation importante des glucides dans ces feuilles (Turner *et al.*, 1978). La régulation osmotique préserve la teneur en eau dans la cellule, elle diminue la perte d'eau intracellulaire qui résulte de l'augmentation de la concentration extracellulaire causée par le stress hydrique, cela influe considérablement sur le développement de la plante et augmente sa rentabilité (Johnson *et al.*, 1984). L'accumulation de la proline et les glucides est une cause directe de la régulation osmotique (Ludlow *et Muchow*, 1990). Sous des conditions de sécheresse, les plantes ferment leurs stomates pour diminuer la quantité d'eau perdue par transpiration inhibant l'absorption du CO₂, ce qui influe négativement sur l'intensité de la photosynthèse, ces stomates peuvent rester ouvertes pour gagner le CO₂ nécessaire pour sa photosynthèse mais cela conduit à la déshydratation de la plante (Ykhlef *et Djekoun*, 2000).

6. ANALYSE DES IMAGES NUMERIQUE (NIA) ET BLE DUR

6.1. NOTIONS DE BASE

Les images numériques sont considérées comme un outil d'analyse du changement de couleurs chez la plante de manière générale et spécialement au niveau des feuilles. Les appareils de photographie numériques et/ou scanners reliés à un ordinateur doté de logiciels spécialisés dans le scan des feuilles de plantes permet l'évaluation des changements de couleurs avec un minimum de coûts et avec un usage facile. Dans le domaine agronomique, cette technologie a été utilisée dans la description des changements de couleurs chez les pommes (Schrevens *et Raeymaeckers*, 1992), la détection des plantes exogènes dans une récolte (Perez *et al.*, 2000 ; Woebbecke *et al.*, 1995) et l'évaluation de niveau de la sénescence foliaire chez le blé (Adamsen *et al.*, 1999 ; Hafsi *et al.*, 2000). Les images numériques et les méthodes d'analyse de changements de couleurs ont été adoptées d'une façon générale pour l'estimation de l'impact des stress abiotiques dans l'ensemble végétal y compris le stress hydrique et azoté (Ahmed *et Reid*, 1996), des basses températures (Bacci *et al.*, 1998) ainsi que l'évaluation de l'impact de certaine maladie virale chez le maïs (Martin *et Rybicki*, 1998). Dans notre étude nous avons opté pour cette technique pour le suivi de la sénescence foliaire ainsi que le changement de réflectance foliaire.

6.2. PARAMETRES DE LA SENESCENCE FOLIAIRE

6.2.1. Concept et modes de la sénescence foliaire

La sénescence est la dernière étape dans le cycle de vie de la feuille, elle conduit à sa mort. Elle se manifeste par un jaunissement graduel des feuilles et se définit généralement par une série de réactions biochimiques et physiologiques qui englobe la phase finale de développement jusqu'à la mort cellulaire (Smart, 1994). La sénescence foliaire était considérée pour longtemps comme une dégradation graduelle des fonctions importantes de la feuille à travers le temps et le changement de couleurs de la feuille qui résulte de la décomposition de la chlorophylle, la diminution de la teneur en eau et la dégradation des tissus, en plus, elle engendre les conditions environnantes ainsi que le génotype (Hafsi *et al.*, 2000).

Léopold (1980) a répertorié différents modes de sénescences selon l'emplacement et le temps, lorsque la sénescence affecte toute la plante à l'exemple des céréales annuelles, on parle d'une sénescence monocarpique, dans le cas des bulbes et rhizomes,

la sénescence affectant la partie aérienne et finit par la mort, on parle d'une sénescence supérieure, la sénescence affectant les arbres caducifoliés est une sénescence à feuilles caduques et celle qui coïncide avec la saison d'automne est une sénescence automnale (Smart, 1994).

La sénescence séquentielle, c'est celle qui affecte les arbres vivaces et annuels, les feuilles les plus âgées meurent en premier.

6.2.2. Changements opérés durant la sénescence foliaire

La sénescence foliaire est contrôlée génétiquement (Smart *et al.*, 1995 ; Noodén *et al.*, 1997).

Au cours de la sénescence foliaire de nouvelles protéines sont synthétisées à différents rôles dont la diminution de la vitesse de la décomposition ou la maintenance et la protection des processus métaboliques cellulaires en général, parmi les résultats de la sénescence, le recyclage des nutriments y compris l'azote qui va être transporter des feuilles âgées où l'intensité de la photosynthèse est diminuée vers les nouvelles tissus ou les tissus de stockage spécifique à la phase de développement ultérieure, cette graduation dans les processus métaboliques c'est ce qui provoque les grandes changements dans les fonctions cellulaires .

6.2.2.1. Changements structurels et fonctionnels au niveau cellulaire

Plusieurs méthodes ont été appliquées pour comprendre l'apparition et l'évolution de la sénescence au niveau des feuilles et des cellules. En général, les parties foliaires les plus éloignées sont les premières touchées par la sénescence, par contre les tissus les plus proches des faisceaux vasculaires sont les derniers tissus affectés. Au niveau cellulaire, la sénescence s'observe chez les chloroplastes (Dodge, 1970), la mitochondrie et le noyau restent intacts pendant les phases avancées de la sénescence (Woolhouse, 1984; Smart, 1994 ; Inada *et al.*, 1998).

1. Les chloroplastes

Les chloroplastes contiennent entre 70 et 80% de l'azote cellulaire (Makino *et* Osmond, 1991), la majeure partie de ce dernier (redondance, répétition) se trouve au niveau des protéines qui ont une relation avec la photosynthèse. Le volume des chloroplastes diminue, leurs formes ovales changent prenant des formes rondes, le volume et le nombre des plasto-globules augmentent et les Thylakoïdes commencent à

disparaître tous. Ces changements résultent de la sénescence naturelle des feuilles (Dodge, 1970). Pendant la sénescence, on peut aussi remarquer un rétrécissement des chloroplastes, la dissolution et la décomposition de l'enzyme Rubisco suivie par la décomposition de l'ADN. La décomposition de la chlorophylle (Takamiya *et al.*, 2000) et de l'enzyme Rubisco (Desimone *et al.*, 1998) commence en premier au niveau des chloroplastes pour se propager ultérieurement en dehors des chloroplastes où se fait la libération des vésicules des plasto-globules en dehors des chloroplastes qui contiennent de la chlorophylle, de la carotène ainsi que des protéines relatives à la photosynthèse (Guamét *et al.*, 1999), ces vésicules contiennent aussi des dérivées du métabolisme des lipides spécifiques aux thylakoïdes (Thompson *et al.*, 1998)

2. *Décomposition et dissociation des membranes*

Dans la plupart des cas, la décomposition des membranes résulte du métabolisme des composés phospholipidiques qui se trouvent dans les membranes (Thompson *et al.*, 1998). Pendant la sénescence foliaire, il est remarqué plusieurs activités enzymatiques qui peuvent contribuer à la décomposition de ces membranes dont on peut citer : lipoxygénase, phospholipase D et phosphatase d'acide phosphatidique. Phospholipase D est l'enzyme clé dans le commencement de la décomposition des phospholipides, mais l'enzyme lipoxygénase joue aussi un rôle très important dans la décomposition des lipides (Thompson *et al.*, 1998). L'accumulation des résidus de la décomposition des lipides au niveau des membranes provoque sa destruction.

3. *Décomposition et dissociation des protéines*

D'une façon générale, les provocateurs de la décomposition des protéines se trouvent au niveau du cytosol et du noyau (Vierstra, 1996). La plupart des enzymes de décomposition des protéines à l'exemple des : des endoprotéases et carboxypeptidases se trouvent en grandes quantités dans les tissus affectés par la sénescence, on a prouvé l'existence des enzymes protéases actives dans les vacuoles (Huffaker, 1990), dans les chloroplastes (Vierstra, 1996 ; Adam *et Clarke*, 2002) et aussi au niveau des peroxisomes (Distefano *et al.*, 1999)

4. *Changements au niveau des acides nucléiques*

En général, les acides nucléiques (ADN, ARN) restent intacts et actifs jusqu'à la fin de la sénescence (Feller *et Fischer*, 1994), malgré cela, on a enregistré certaines modifications dans ces acides nucléiques durant la sénescence foliaire. Une

condensation de la chromatine et un séquençage des acides nucléiques a été observé pendant la sénescence foliaire (O'Brien *et al.*, 1998 ; Yen *et* Yang, 1998). Une diminution de la quantité d'ADN dans les chloroplastes a été aussi observé, cela est due à la diminution de la quantité d'azote qui provoque la sénescence foliaire (Scott *et* Possingham, 1983).

Durant la sénescence foliaire, il y aura une diminution des niveaux globaux de l'acide ribonucléique ARN (Masclaux *et al.*, 2000) et en même niveau il y aura une diminution de l'ARN des chloroplastes (Bate *et al.*, 1991), cette diminution s'accompagne avec l'accroissement de l'activité enzymatique de l'enzyme RNase avec l'avancement des phases de la sénescence foliaire (Blank *et* McKeon, 1991).

6.2.2.2. Régulateurs de la sénescence foliaire

1. Facteurs externes

La croissance et le développement de la plante dépend profondément des conditions écologiques, les changements dans ces conditions influent considérablement sur la croissance des plantes et le temps d'affection par la sénescence. La plante répond à ces changements par un ensemble de régulations métaboliques rapides dite acclimatation.

a. La lumière

Le photopériodisme, la qualité et l'intensité de la lumière influent sur la croissance de la plante, l'augmentation de l'intensité de la lumière et la quantité de lumière rouge influent positivement sur la croissance (Habjorg, 1972).

Au contraire, l'obscurité est utilisée pour inciter la sénescence pour l'éradication des feuilles (Hodges *et* Forney, 2000). L'ombrage de la plante entière peut ralentir la sénescence, on a trouvé que le déplacement des Ivraies annuelles (*Lolium temulentum*) vers des intensités de lumières plus basses peut élonger la durée de vie de la feuille et le pourcentage de la sénescence foliaire est faible chez la plantes mises à l'ombre que chez les plantes totalement exposées à la lumière du soleil (Mae *et al.*, 1993).

La régression de la quantité en enzyme Rubisco et la chlorophylle est plus lente chez les plantes ombrées que chez les plantes exposées à la lumière solaire durant toute la période de développement de la feuille, l'intensité de la photosynthèse est très forte

chez les feuilles ombrées durant des phases avancées de la sénescence foliaire que chez les plantes exposées directement à la lumière solaire (Mae *et al.*, 1993).

b. La température

La longueur de la période de développement de la plante dépend beaucoup plus de la température et du cumul des températures (Koski *et Selkainaho*, 1982). En plus, le cumul des températures peut s'ajouter aux régulateurs de croissance chez certaines plantes. La sécheresse et les hautes températures sont considérées comme les plus importants facteurs externes qui peuvent accélérer la sénescence foliaire (Wolfe *et al.*, 1988 ; Guo *et al.*, 1998).

Chez le blé par exemple, les hautes températures enregistrées après l'épiaison excite l'activité enzymatique de l'enzyme Protéase et baisse l'activité de l'enzyme Rubisco (Al Katib *et Paulsen*, 1985).

c. Autres facteurs écologiques

La sénescence foliaire commence dès le début de carence en certains nutriments ou éléments minéraux à l'exemple de : l'azote, le potassium, le phosphore, le sodium et le chlore. Ces exemples de carences accélèrent la sénescence des feuilles surtout les plus âgées et excite le flux de ces nutriments minéraux des tissus âgés vers les tissus les plus jeunes (Thomas *et Stoddart*, 1980 ; Marschner, 1986).

En plus du stress hydrique, les hautes températures et la salinité du sol peuvent aussi induire la sénescence foliaire (Vieria Santos *et al.*, 2001).

Certains changements écologiques à l'exemple de l'augmentation du taux d'ozone O₃ et du CO₂, influent d'une façon générale sur la croissance et le développement de la plante et d'une façon spécifique sur le temps d'affection par la sénescence foliaire (Pell *et al.*, 1999). L'exposition à l'ozone augmente la vitesse de la sénescence d'une part et diminue la quantité de l'enzyme Rubisco d'autre part (Pääkkönen *et al.*, 1997).

Dans des études effectuées sur la plante du tabac, la sénescence foliaire débute très tôt pour les plantes cultivées dans des conditions de concentrations élevées en CO₂ par rapport à des plantes cultivées dans des conditions normales (Miller *et al.*, 1997 ; Ludewig *et Sonnewald*, 2000).

2. Facteurs internes

a. L'éthylène

La perte de la chlorophylle coïncide avec une augmentation de la production d'éthylène au niveau des feuilles (Aharoni *et al.*, 1979). L'ajout de l'éthylène à partir d'une source extérieure excite la sénescence foliaire, cet effet dépend de l'âge de la feuille puisque les feuilles les plus âgées répondent fortement par rapport aux feuilles jeunes (Grbic *et al.*, 1995). Apparemment, l'éthylène régule le début de la sénescence dans certaines phases de développement des feuilles mais il n'est pas important dans la sénescence de certaines plantes comme les tomates (John *et al.*, 1995).

b. Les cytokinines

L'ajout de certaines cytokinines à partir d'une source externe à l'exemple des Kinetines (Richmond *et al.*, 1957), Dihydrozeatine, Zeatine et Benzylaminopurine (BA), apparemment peuvent retarder la sénescence (Singh *et al.*, 1992a). Des études effectuées sur la plante du tabac ont montré que des feuilles affectées par la sénescence peuvent reprendre leur couleur verte après coupure de leurs bourgeons et traitement sous Benzylaminopurine (BA) (Zavalet-Mancera *et al.*, 1999). On a prouvé que la fabrication des cytokinines se fait au niveau des racines pour se diriger vers les feuilles ultérieurement (Van Staden *et al.*, 1988). D'après les expériences effectuées sur la plante du tabac, la production des Cytokinines s'effectue aussi au niveau des feuilles jeunes (Singh *et al.*, 1992b), malgré ça, l'excès de la production des Cytokinines n'inhibe pas la sénescence foliaire, par conséquent la production ponctuelle des cytokinines est considérée comme un facteur principale dans la régulation de la sénescence foliaire (Faiss *et al.*, 1997).

c. Autres hormones végétales

Le rôle et la fonction des autres hormones végétales pendant la sénescence foliaire ont été étudiées mais d'une façon moins générale, mais on a trouvé qu'il existe certaines hormones qui ont une relation avec la sénescence foliaire à l'exemple des : Acides abscissiques (ABA), Jasmonates (JA) et des Gibberellines (GA). On a trouvé que les ABA progressent avant et pendant la sénescence foliaire pour régresser avec les phases finales de la sénescence, le rôle des ABA dans la sénescence se révèle à travers

sa participation dans la destruction de la chlorophylle et l'inhibition de sa régénération biotique (Noodén, 1988).

Les niveaux des JA ne sont pas mesurés pendant la sénescence foliaire, mais l'injection externe de ces hormones induit une diminution de la chlorophylle et une diminution de l'expression des gènes qui ont une relation avec la photosynthèse (Creelman et Mullet, 1997) en plus des hormones citées avant, les auxines et les acides salicyliques contribuent profondément à la régulation de la sénescence foliaire (Clouse et Sasse, 1998 ; Morris *et al.*, 2000).

d. Les premiers résidus métaboliques

On a trouvé que les résidus du métabolisme primaire à l'exemple des sucres influe sur la sénescence foliaire, les niveaux basses des sucres progressent avec l'avancement des phases de développement de la feuille et le début de la sénescence foliaire (Paul et Driscoll, 1997 ; Wingler *et al.*, 1998) et aussi le niveau d'azote contribue profondément au retardement de la sénescence foliaire (Pan *et al.*, 1998).

6.2.3. Relation entre la sénescence et le rendement

Comme on a dit précédemment, la sénescence foliaire influe clairement sur beaucoup d'organites cellulaires dont les chloroplastes sont les plus touchés, elle a un impact direct sur des enzymes relatives à la photosynthèse. La photosynthèse est l'une des plus importants processus biologiques des plantes, il absorbe l'énergie photonique et l'a transformé en liaisons chimiques pour produire des sucres à partir du CO₂ et H₂O. Le rendement à une corrélation positive avec la photosynthèse, la baisse de l'activité de la photosynthèse résultante de la progression de la sénescence avec la fin de la période du remplissage de grains est un facteur très important qui détermine le remplissage des grains (Pajević *et al.*, 1999).

La corrélation entre la surface destinée à la photosynthèse pendant le remplissage de grains et le rendement ont été prouvés dans pas mal de publications (Al Khatib *et Paulsen*, 1985 ; Spiertz *et al.*, 1971), cette relation montre que l'activité de la photosynthèse pendant la période du remplissage de grains est la principale activité qui détermine le rendement en grains (Patterson *et Moss*, 1979 ; Mi *et al.*, 1999). Avec le retard de la sénescence (sénescence après épiaison), plusieurs études ont montrées que la qu'il y avait des relations entre la vitesse de sénescence et le poids de 1000 grains (Hafsi *et al.*, 2000). L'étude de la sénescence repose sur la feuille drapeau car il a été

prouvé qu'elle est la principale source des éléments nécessaires pour le remplissage des grains (Wardlow, 1990 ; Mogensen *et al.*, 1994).

La moyenne de la sénescence de la feuille drapeau avait une corrélation négative avec le poids de 1000 grains comme chez le Riz (Aleyar *et al.*, 1995) ou le Maïs (Borell et Douglass, 1996 ; Benziger *et al.*, 1999). Plusieurs études effectuées sur le blé dans des conditions de sécheresse ont montrés que le rendement en grains est en relation avec la moyenne de vitesses de la sénescence (Evans *et al.*, 1969 ; Spiertz *et al.*, 1971 ; Pajavic *et al.*, 1999).

6.3. INDICES DE LA RÉFLECTANCE FOLIAIRE (RGB)

6.3.1 Notions générales sur les rayonnements

Quelque que soit leurs longueurs d'ondes, les rayonnements lumineux se divisent en 4 catégories :

- ❖ Les rayons ultraviolets : 0,20 – 0,39 μ
- ❖ La lumière visible : 0,39 – 0,77 μ
- ❖ Les rayons proches de l'infrarouge : 0,77 – 1,3 μ
- ❖ Les rayons infrarouges : 4,00 – 100,00 μ

Lorsqu'un corps quelconque est exposé aux rayonnements lumineux, une partie de ces rayonnements sera absorbée par le corps, une autre partie sera transmise à travers le corps et une autre partie sera réfléchi.

- ❖ Le pourcentage des rayons absorbés par rapport aux rayons totaux est dit :
« *ABSORBANCE* »
- ❖ Le pourcentage des rayons transmis par rapport aux rayons totaux est dit :
« *TRANSMISSION* »
- ❖ Le pourcentage des rayons réfléchis par rapport aux rayons totaux est dit :
« *RÉFLECTANCE* »

La quantité de rayons absorbés, transmis ou réfléchis dépend des caractéristiques physiques du corps, son emplacement et les longueurs d'ondes des rayonnements lumineux auxquels il a été exposé. (Seigle *et Howell*, 2002)

6.3.2. La relation entre le comportement de la plante et la réflectance foliaire

Depuis les années 60, plusieurs études ont été effectuées pour déterminer les stress abiotiques à partir des données du spectre de la réflexion foliaire. La qualité du

spectre de la lumière réfléchi de la plante nous renseigne profondément sur l'état de cette plante. Selon Carter et Knapp (2001), le spectre de la réflexion nous renseigne sur la réponse physiologique des conditions de développement et l'adaptation de la plante vis-à-vis des changements écologiques.

Le but des études des indicateurs du spectre de réflexion, c'est de trouver les moyens pour prévoir l'état de la plante, durant ces études, plusieurs longueurs d'onde ont été utilisées où il est apparu le rôle de l'eau et son influence sur le spectre de réflexion sur un intervalle de spectre visible $0,39 - 0,77 \mu$, il a été aussi prouvé que les rayons se trouvant dans les intervalles du visible et du proche de l'infrarouge sont les plus absorbés par les pigments chlorophylliens et par l'eau (Gausman *et al.*, 1970).

6.3.3. Facteurs influent sur le spectre de réflexion foliaire

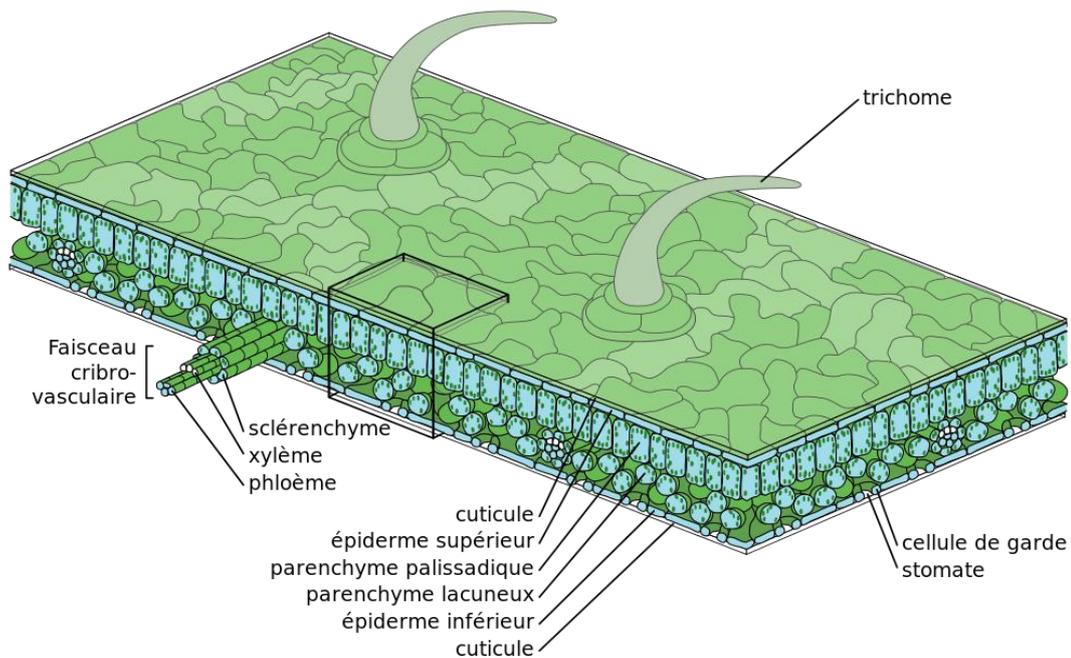
6.3.3.1. Structure interne de la feuille

Des études statistiques ont montré une variabilité au niveau du spectre de réflexion foliaire entre les différentes espèces mais cette variabilité n'est pas significative (Gausman *et al.*, 1970 ; Sinclair *et al.*, 1971). On a trouvé aussi que les feuilles des dicotylédones reflètent plus de rayonnements en comparaison avec les feuilles des monocotylédones (Hoffer *et* Johanssen, 1969), cette variabilité est expliquée par la différence de structures internes des feuilles. Les différences dans le spectre de réflexion foliaire pendant la sénescence et la maturité physiologique résultent des changements opérés dans la chlorophylle et aussi le changement opéré lors du rangement et du positionnement du tissu médium de la feuille. Avec l'atteinte de la sénescence foliaire, nous remarquons une augmentation dans le spectre de réflexion dans l'intervalle de lumière visible, cela est dû à la décomposition des pigments chlorophylliens (Knipling, 1967).

6.3.3.2. Caractéristiques de la surface foliaire

Les Trichomes et les cires épicuticulaires sur la surface foliaire influent sur le spectre de la réflexion foliaire. Gates et Tantraporn (1952) ont supposé que les trichomes contribuent à l'augmentation du spectre de réflexion des feuilles, mais les résultats des études qui ont suivi le spectre de réflexion foliaire dans un intervalle de lumière visible n'ont pas consolidé cette hypothèse, par contre des études dans un intervalle des rayons infrarouges ne l'ont pas encore confirmés. Plusieurs études effectuées sur plusieurs variétés de blé dur différentes en matière de présence ou

absence de la glaucosité pour estimer son influence sur le spectre de réflexion, ces études ont montré que les variétés qui possèdent la glaucosité reflètent 12% de plus que les variétés qui ne la possèdent pas (Johnson *et al.*, 1983).



Source : Fichier : Leaf Structure-fr.svg

Figure 9. La structure d'une feuille

1. *Changements physiologiques*

Les changements ou perturbations physiologiques au niveau des feuilles conduisent à l'augmentation de la réflectance dans l'intervalle de lumière visible (Knipling, 1970). Cette dernière dans l'intervalle de lumière visible chez le maïs augmente avec la diminution de la teneur en eau dans la feuille (Hoffer *et* Johanssen, 1969) ces résultats concordent avec l'intensité de l'absorbance chlorophyllienne, puisque les changements opérés au niveau de la teneur en eau dans la feuille influent rapidement sur les pigments chlorophylliens de la feuille. Al Abbas *et al* (1974) ont étudiés l'influence des carences en certains nutriments minéraux à l'exemple des : N, P, K, S, Ca, Mg sur l'intensité de

la réflectance chez le Maïs, c'est ce qui explique que la diminution de la contenance en chlorophylle augmente l'intensité de la réflectance.

2. *Périodes de développement*

Le spectre de réflectance est influé par la géométrie de l'ensemble végétative (géométrie de la canopée) (Ahlirchs *et* Bauer, 1982 ; Demetriades-Shah *et al.*, 1990). En général, les plantes jeunes absorbent une grande quantité des rayonnements actifs durant la photosynthèse dans un intervalle de lumière visible, en l'occurrence elles reflètent une grande quantité de rayonnement dans un intervalle de lumière infrarouge, avec l'avancement des périodes de développement de nouveaux tissus qui se forment mais les tissus mûres perdent leur chlorophylle, cela veut dire qu'elle passe de la couleur verte à la couleur jaune, ce changement de couleur augmente la réflectance dans un intervalle de lumière visible et diminue la réflectance dans un intervalle de rayonnement infrarouge.

6.3.4. Appareil de mesure de la réflectance foliaire

Les mesures du spectre de réflectance foliaire se font à l'aide d'un appareil portable dit : « *SPECTRORADIOMETRE* », l'une des caractéristiques de cet appareil est de détecter les rayonnements réfléchis à partir de l'ensemble végétatif dans un intervalle de longueur d'onde entre : 350 et 1100 nanomètres, cela veut dire que la lumière visible et le proche de l'infrarouge sont inclus dans cet intervalle, il peut être régulé par l'utilisation des planches blanches à base de Sulfate de barium (BaSO_4) ou de polytétrafluoroéthylène (PTFE) (Weidner *et* Hsia, 1981). Parmi les caractéristiques de ces planches, c'est qu'il est doté d'une capacité de haute réflectance qui dépasse les 97% des rayonnements totaux et qui se situent dans un intervalle de 300 à 1600 nanomètre. Les mesures de réflectance foliaire se font entre 11:00 H et 13:00H dans des conditions d'ensoleillement, les mesures sont prises dans 4 coins de chaque parcelle expérimentale.

L'appareil de détection de la réflectance prend la forme d'un pistolet dirigé vers la parcelle à une distance de 40 à 50 cm, les lectures seront converties en pourcentage à l'aide de l'équation suivante d'Elvridge *et* Chen, (1995).

$$\text{Reflectance (\%)} = \frac{(\text{mV actual} - \text{C dark}) \text{ uncalibrated}}{(\text{mV actual} - \text{C dark}) \text{ calibrated}} \times 100$$

$\text{mV}_{\text{actual}}$: lecture prise par l'appareil ; C_{dark} : le taux de brouillage

1.6.3.4. Le stress de la plante et son relation avec la réflectance foliaire dans un intervalle de lumière visible et proche de l'infrarouge

La chlorophylle est la principale composante qui influe sur le spectre de réflexion foliaire dans l'intervalle de lumière visible, l'Azote et le composant principale de la chlorophylle (Taiz *et Zeiger*, 2002) la teneur des feuilles en chlorophylle et relative avec sa teneur en Azote (Fillella *et al.*, 1995). Le maximum d'absorbance des rayons rouges se fait dans un intervalle de 660 à 680 nanomètres, mais des faibles concentrations en chlorophylle le peuvent créer la saturation dans un même intervalle (Sims *et Gamon*, 2002). Pour cela, les mesures de concentration de la chlorophylle se font en général dans des intervalles de 550 à 700 nanomètres a raison de leurs saturations a des fortes concentrations en chlorophylles. Le tissu médium de la feuille reflète le maximum de rayonnements proches de l'infrarouge (Huete *et al.*, 1984).

6.3.5. Indicateurs de la réflectance foliaire

Les nouvelles études ont fait allusion que l'indicateur de réflectance foliaires est une nouvelle technique pour la sélection de nouvelles variétés par rapport au rendement en grains (Araus *et al.*, 2001). Le spectre de réflectance foliaire dépend principalement de la quantité de lumière absorbée dans des intervalles de longueur d'onde donnés relatives aux caractéristiques physiologiques de la plante. Le spectre de réflectance dans l'intervalle de la lumière visible 300-700 nanomètres dépend profondément de la quantité de lumière absorbée par les pigments chlorophylliens et les autres pigments accompagnateurs comme la carotène et l'Anthocyanine.

Le taux de la réflectance dans un intervalle de lumière visible est faible, cela est due la forte absorbance des pigments, par contre la réflectance dans un intervalle proche de l'infrarouge 770 – 1300 nanomètres est très forte à cause de la faible absorbance des tissus (Knippling, 1970). Les indicateurs du spectre de réflectance sont basés sur des équations mathématiques simples comme le résultat de la multiplication ou bien la différence de réflectance à deux longueurs d'ondes différentes (Araus *et al.*, 2001).

Ces indicateurs sont utilisés dans l'estimation de pas mal d'indicateurs physiologiques à l'exemple de l'indicateur de la surface foliaire, la capacité photosynthétique et la concentration des pigments verts (Chappelle *et al.*, 1992 ; Elliot *et Regan*, 1993).

6.3.6. Relation entre le changement de couleur de la feuille et la réflectance foliaire

Le changement de couleur de l'ensemble végétatif – feuilles est d'une grande importance chez plusieurs savants et chercheurs à cause de la possibilité de son utilisation comme un indicateur visuel de l'état physiologique de la plante.

Avant l'utilisation des appareils de photographie numériques, la détermination de l'état physiologique de la plante utilisait des méthodes très simples qui reposent sur des tableaux ou des mesures visuelles pour déterminer les différences de couleur des dans l'ensemble végétatif (Townsend *et McIntosh*, 1993), apparemment cette méthode ne semble pas être objective à raison du manque de précision des tableaux qui classent la dégradation de couleur dans la feuille (Sibley *et al.*, 1995 ; Innes *et al.*, 1996), les techniques de pointe qui s'intéressent à l'analyse des changements de couleur dans la feuille permet et d'une façon directe d'estimer ou de mesurer la contenance en chlorophylle et aussi les caractéristiques spectrales de la feuille (l'absorbance et la réflectance) , et dans certains changements opérés au niveau des pigments chlorophylliens dues à certains stress écologiques à l'exemple de l'intensité lumineuse très haute (Merzlyak *et Chivkunova*, 2000), l'exposition au rayonnement ultraviolet (Dixon *et al.*, 2001), le stress hydrique (Ommen *et al.*, 2009) et la basses températures (Pietrini *et al.*, 2002) peuvent être estimés par l'utilisation d'un appareillage développé à haute précision, parmi les avantages de ces appareillages c'est qu'ils sont mobiles et à usage facile et qu'ils peuvent donner des estimations des changements qu'affectent les pigments chlorophylliens directement sur champ , en l'occurrence ces inconvénients se résument en leur coût cher, chose qui ne le rendent pas accessibles aux chercheurs et aux pratiquants de l'agriculture, c'est pour cela que l'utilisation de la photographie numérique à jouer un rôle très important pour remédier à ces obstacles .

Finalement, il faut signaler que le changement de couleur des feuilles nous permet de suivre la variation de l'intensité de la réflectance foliaire durant les phases finales de la vie des feuilles.

CHAPITRE II

ETUDE MORPHO-AGRONOMIQUE DE QUELQUES VARIETES DE BLE DUR SEMIS EN CONDITIONS SEMI-ARIDES

الملخص

لمعرفة العلاقة بين محصول الحبوب ومكوناته وللتعرف على أهم الصفات في التنبؤ بالمردود الحبي والتي ستكون بمثابة معايير لاختيار الأنماط الوراثية للقمح الصلب (*Triticum durum Desf.*) التي تنمو في ظل ظروف شبه جافة ، تم زرع 15 نمطاً وراثياً خلال موسمين زراعيين 2020-2019 و 2021-2020 في حقول المحطة التجريبية الزراعية التابعة للمعهد التقني للمحاصيل الكبرى (ITGC) بسطيف بالجزائر ، وفق تصميم قطاع عشوائي بثلاث تكرارات. تم استخدام تحليل التباين ، الانحدار الخطي المتعدد ، الارتباط الخطي البسيط ، الانحدار الخطي المتدرج المتعدد (Stepwise regressions) ، تحليل المسار (Path Analysis) ، تحليل المكونات الرئيسية ، والتصنيف الهرمي التصاعدي لتقييم 06 صفات ، المردود الحبي ، ارتفاع النبات ، عدد الأيام حتى الاسبال ، عدد الحبوب لكل سنبل ، عدد السنابل لكل متر مربع و وزن الألف حبة. أظهر تحليل التباين ANOVA أن تأثير التركيب الوراثي كان معنوياً لجميع الصفات التي تمت دراستها تقريباً ، ووجد أن النمط الوراثي G10 كان الأفضل أداءً وأن الموسم الزراعي 2020-2019 كانت الأكثر ملائمة من حيث المردود الحبي . أظهرت الانحدارات الخطية المتعددة أن عدد الحبات في السنبل الواحدة، عدد السنابل لكل متر مربع ووزن الألف حبة ساهموا بشكل كبير في المردود الحبي. أظهر تحليل المسار خلال الموسم المناسب أن عدد الحبات في السنبل الواحدة ووزن الألف حبة كان لهما تأثير مباشر ومعنوي على مردود المحصول.

الكلمات المفتاحية : القمح الصلب ، المردود الحبي ، تحليل المسار ، شبه الجاف، سطيف .

Résumé

Pour connaître la relation entre le rendement en grain et ses composantes et afin d'identifier les attributs les plus importants dans la prédiction du rendement en grain qui vont servir de critères pour la sélection des génotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) poussant dans des conditions semi-arides, 15 cultivars ont été semés durant 02 saisons de culture 2019-2020 et 2020-2021 dans les champs de la station expérimentale agricole de l'Institut Technique des Grandes Cultures de Sétif en Algérie, dans un dispositif en blocs aléatoires avec trois répliques. L'analyse de la variance, la régression linéaire multiple, la corrélation linéaire simple, la régression linéaire multiple pas à pas (Stepwise régression), l'analyse de chemin (Path Analysis), l'analyse en composantes principales et la classification Hiérarchique ascendante ont été utilisées pour évaluer 06 caractères, le rendement en grain, la hauteur de la plante, le nombre de jours avant l'épiaison, le nombre de grains par épi, nombre d'épis par mètre carré et poids de mille grains. ANOVA a montré que l'effet génotype était significatif pour la quasi-totalité des caractères étudiés, G10 s'est avéré le cultivar le plus performant et que la saison agricole de 2019-2020 était la plus favorable en matière de rendement en grains. La régression linéaire multiple a révélé que seul le nombre de grains par épi, le nombre d'épis par mètre carré et le poids de mille grains ont contribué de manière significative aux changements du rendement en grains.

Mots-clés : blé dur, rendement grain, analyse de chemin, semi-aride, Setif.

Abstract

To know the relationship between grain yield and its components and to identify the most important attributes in the prediction of grain yield that will serve as criteria for the selection of durum wheat genotypes (*Triticum durum* Desf.) growing under semi-arid conditions, 15 genotypes were sown during 02 growing seasons 2019-2020 and 2020-2021 in the fields of the agricultural experimental station of the Technical Institute of Field Crops of Sétif in Algeria, in a random block design with three replications. Analysis of Variance, Multiple Linear Regression, Simple Linear Correlation, Stepwise Multiple Linear Regression, Path Analysis, Principal Component Analysis and Hierarchical Ascending Classification were used to evaluate 06 traits, grain yield, plant height, number of days to heading, number of grains per spike, number of spikes per square meter and thousand kernels weights. ANOVA showed that the genotype effect was significant for almost all the traits studied, G10 was found to be the best performing genotype and that the 2019-20 agricultural season was the most favorable in terms of grain yield. Multiple linear regressions revealed that only number of grains per spike, number of spikes per square meter and thousand kernels weight contributed significantly to changes in grain yield. Path Analysis showed during the favorable season that the number of kernels per ear and the thousand kernel weight exerted a direct and significant effect on grain yield.

Keywords: Durum wheat, grain yield, path analysis, semi-arid, Setif.

1. INTRODUCTION

Le blé dur occupe une place importante parmi les céréales dans le monde. L'utilisation alimentaire totale du blé devrait approcher les 518 millions de tonnes, en hausse de 1,1 pour cent et en parallèle avec la croissance démographique mondiale. Cependant, des approvisionnements importants et des prix compétitifs devraient faire augmenter l'utilisation fourragère du blé de 2,8 %, un taux plus rapide que prévu précédemment, tandis que l'utilisation industrielle devrait également enregistrer une forte croissance (FAO, 2019).

Les changements climatiques ont enregistré des changements dans la composition et la redistribution géographique des écosystèmes en Algérie. Cette situation a entraîné un déplacement vers le nord des zones arides, jusqu'alors confinées entre le Sahara et les hautes plaines céréalières (Haffaf *et al.*, 2003).

Le rendement en grains est un trait complexe, il est déterminé par l'interaction d'un certain nombre d'attributs (Singh *et Diwivedi*, 2002). Une meilleure connaissance de l'association génétique des caractères avec le rendement est d'une grande importance pour les sélectionneurs afin de développer une stratégie de sélection appropriée et d'améliorer des caractères complexes comme le rendement en grain qui ont montré peu de réponse à la sélection directe. Plusieurs études ont été menées pour mieux comprendre les facteurs responsables du rendement céréalier du blé dur afin de développer des génotypes à haut rendement par sélection indirecte. La corrélation et l'analyse des trajectoires pourraient être utilisées comme un outil important pour apporter des informations sur la relation de cause à effet appropriée entre le rendement et certaines composantes du rendement (Khan *et al.*, 2003).

L'analyse de chemin a montré les effets directs et indirects des variables de cause sur les variables d'effet. Dans cette méthode, le coefficient de corrélation entre deux traits est séparé en composantes qui mesurent les effets directs et indirects (Farshadfar, 2004 ; Zakizadeh *et al.*, 2010). À l'aide d'une analyse de régression pas à pas, les caractères inefficaces ou peu efficaces sur le rendement peuvent être omis dans le modèle de régression, et les caractères qui ont contribué de manière significative aux altérations du rendement peuvent être évalués (Ahmadizadeh *et al.*, 2011).

Moghaddam *et al.*, (1998) ont trouvé une corrélation négative entre la hauteur de la plante et le rendement en grain du blé, seule l'utilisation du coefficient de corrélation

reste une information insuffisante sur la relation entre le rendement en grain et ses composantes, une analyse multi-variée reste indispensable. Leilah *et* Al-Khateeb, (2005) ont rapporté que le nombre d'épis, le poids de mille grains, le poids du grain épi-1 et le rendement biologique étaient les variables les plus efficaces influençant le rendement en grains.

Guendouz *et al.*, (2013b) ont indiqué que le nombre de grains par épi, le poids de mille grains et le rendement biologique avaient l'effet le plus direct et le plus positif sur le rendement en grains. Iftikhar *et al.* (2012) ont indiqué que la longueur de l'épi, le nombre de grains par épi et le poids de mille grains peuvent être utilisés comme critères de sélection directs pour développer des variétés à rendement plus élevé en raison de l'association positive et des effets directs de ces traits sur le rendement en grain.

Le but de cette étude est de déterminer les relations entre le rendement en grain et ses composants afin d'identifier les principaux attributs qui peuvent servir de critères de sélection pour les meilleurs génotypes de blé dur en conditions semi-arides.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1 SITE D'ETUDE & MATERIEL VEGETAL

2.1.1. Site d'étude

Les travaux expérimentaux ont été réalisés durant 02 saisons agricoles 2019-20 et 2020-21 dans les champs de la station expérimentale agricole de l'Institut Technique des Grandes Cultures de Sétif (ITGC-AES, 36 ° 12'N et 05 ° 24'E et 1,081 m asl, Algérie).

Ce site est représentatif de la zone centrale des hautes plaines, il se caractérise par des terres plates, peu fertiles et un fort risque de gel tardif et de la sécheresse en fin de cycle, le sol est de texture limono-argileuse avec un taux moyen en matière organique de 2.8 % (Bendada, 2021). La densité apparente est de 1,35 g cm⁻³, la capacité au champ est de 25% et le point de flétrissement se situe à 12% (Chennafi *et al.*, 2006).

2.1.2. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé dans cette étude est composé de 03 croisement locales Boussellem Boutaleb et Oued El Bared, un génotype introduit Jupare C 2001 et 11 lignées avancées d'origine CIMMYT (Tableau 1) pour tester leur adaptabilité et estimer leurs rendements en grains dans les conditions locales de la région de Sétif.

Tableau 1. Liste des cultivars étudiés, pédigrées et origines

Nom	Pedigrées	Origine
G1	RASCON_37/GREEN_29/USDA595/3/D67.3/RABI/CRA/4/ALO/5/...	CIMMYT
G2	MINIMUS_6/PLATA_16//IMMER/3/SOOTY_9/RASCON_37/9/...	CIMMYT
G3	CMH77.774/CORM//SOOTY-9/RASCON-37/3/SOMAT-4	CIMMYT
G4	CNDO/PRIMADUR//HAI-OU-17/3/SNITAN/4/SOMAT-3/	CIMMYT
G5	CNDO/VEE//CELTA/3/PATA_2/6/ARAM_7//CREX/ALLA/5/ENTE/ ...	CIMMYT
G6	SILVER 14/MOEWE//BISU_1/PATKA_3/3/PORRON_4/YUAN_1/9/...	CIMMYT
G7	GUANAY /HU ALITA / 10/PLATA _10/6/MQUE/4/USDA573/...	CIMMYT
G8	BCRIS/BICUM//LLARETA INIA/3/DUKEM_ 12/2*RASCON 21/5/R	CIMMYT
G9	Simeto/3/Sora/2*Plata_12//SRN_3/Nigris_4/5/Toska_26/...	CIMMYT
G10	Oss11/StjS5/5/Bicrcderaal/4/BEZAIZSHF//SD19539/Waha/3/St	CIMMYT
G11	Stj3//Bcr/Lks4/3/Ter-3/4/Mgn13/Aghrass2	CIMMYT
Jupare C 2001	STINKPOT//ALTAR-84/ALONDRA	CIMMYT
Boussellem	Heider/Martes//Huevos de Oro.	CIMMYT-ICARDA
Boutaleb	Hedba3/Ofanto	ITGC-Sétif
Oued El Bared	GTA dur /Ofanto	ITGC-Sétif

Les cultivars ont été semés dans un dispositif en blocs aléatoires avec trois répétitions. Chaque parcelle était constituée d'une rangée de 2,5 m de long espacée de 20 cm entre les rangs et avec une densité de semis estimée à 300 grains.m⁻². Le dispositif a été entretenu par une fertilisation azotée (Urée 46) en deux apports aux stades épi à 1cm 40 kg/ha et au stade fin de tallage 45kg/ha et un traitement herbicide anti-dico (Mustang a 0,60 l.ha⁻¹) et anti-mono (Topika a 0,75 l.ha⁻¹) en fin de tallage.

2.1.3. Paramètres mesurés

Le nombre de jours avant l'épiaison (**NJE**) (precocité) a été calculé à partir de la date d'épiaison jusqu'à la date d'arrivée à 50% d'épiaison (apparition de 50% du volume de l'épi). La hauteur des plantes (**HP**) a été mesurée à maturité physiologique (barbes incluses). Le rendement en grains (**RDT**), le nombre d'épis par mètre carré (**NEm⁻²**), le nombre de grains à l'épi (**NGE**) et le poids de mille grains (**PMG**) ont été estimés à partir d'une récolte aléatoire de 1m² de chaque parcelle élémentaire, les résultats ont été convertis en quintaux par hectare (Q/ha) en utilisant les règles de conversions unitaires connues.

2.2 ANALYSE DES DONNEES STATISTIQUES

Toutes les analyses statistiques étaient faites par les logiciels (CoStat, 1998), (R Core Team, 2020).

2.2.1 Analyse de la variance (ANOVA)

L'analyse de la variance (ANOVA) est un outil statistique utilisé pour détecter les différences entre les moyennes des groupes expérimentaux. (Sawyer, 2009).

2.2.2 Corrélation linéaire simple

Une corrélation linéaire simple a été utilisée lorsqu'il n'y a qu'une seule variable prédictive, la matrice de corrélation simple entre le rendement en grain et ses composantes a été calculée selon la formule donnée par Snedecor *et* Cochran (1981).

$$r(x,y) = \frac{(\sum xy - (\sum x)(\sum y)/n)}{\sqrt{(\sum x^2 - (\sum x)^2/n)(\sum y^2 - (\sum y)^2/n)}}$$

r : coefficient de corrélation, x : premier caractère, y : deuxième caractère, n : nombre total d'observations.

2.2.3 Régression linéaire multiple

Une régression linéaire multiple a été utilisée lorsqu'il y a plus d'une variable prédictive. Ce modèle a été utilisé pour évaluer la contribution relative des composantes connexes aux variations du rendement en grains en appliquant l'équation suivante (Snedecor *et* Cochran, 1981).

$$Y = a + b_1*x_1 + b_2*x_2 + b_3*x_3 + \dots + b_n*x_n$$

Y : variable dépendante ; x_1-x_n : variables indépendantes ; a : intercepte sur l'axe des y

b : pente de la ligne de régression.

2.2.4 Régression multiple linéaire pas à pas (Stepwise regressions)

La régression pas à pas a été utilisée afin de déterminer les variables les plus importantes (variables indépendantes) qui contribuent de manière significative à la variabilité du rendement total (variable dépendante) (Draper *et* Smith, 1981).

2.2.5 Analyse du chemin (Path Analysis)

L'analyse de cheminement est une extension du modèle de régression, utilisée pour tester la pertinence de la matrice de corrélation par rapport à deux modèles causaux ou plus qui sont comparés par le chercheur. L'analyse a été effectuée selon la méthode suggérée par Dewey *et* Lu (1959).

$$r_{ij} = P_{ij} + \sum r_{ik} P_{kj}$$

r_{ij} : association mutuelle entre le caractère indépendant (i) et le caractère dépendant (j), mesurée par le coefficient de corrélation ; P_{ij} : effets directs du caractère indépendant (i) et du caractère dépendant (j), mesurés par le coefficient de chemin ; $\sum r_{ik} P_{kj}$: somme des composantes d'un effet indirect d'un caractère indépendant donné (i) avec tous les autres caractères dépendants (k).

2.2.6 Analyse en composantes principales (ACP)

L'analyse en composantes principales est une procédure mathématique utilisée pour classer un grand nombre de variables (éléments) en composantes principales et déterminer leur contribution à la variation totale. La première composante principale représente la plus grande variabilité des données, et chaque composante suivante représente la plus grande variabilité restante possible (Everitt *et* Dunn, 1992).

2.2.7 La classification hiérarchique ascendante (CHA)

L'analyse par grappes a été utilisée pour classer les variables en différentes grappes afin de trouver les grappes dans lesquelles les cas sont plus similaires et corrélés les uns aux autres par rapport aux autres grappes. Cette procédure a été réalisée à l'aide d'une mesure des niveaux de similarité et de la distance euclidienne (Everitt, 1993 ; Eisen *et al.*, 1998).

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1. ANALYSE CLIMATIQUE DU SITE D'ETUDE

Aubry *et* Griner (1986) stipulaient qu'un agronome qui s'intéresse à l'effet du climat sur l'élaboration d'une production agricole est appelé à analyser :

- La répartition dans l'année des pluies, des températures, de l'insolation, par rapport au cycle végétal,
- La variabilité spatiale et interannuelle
- L'extériorisation sur le végétal, variable notamment en fonction des terrains.

L'étude climatique a été réalisée sur une durée globale de trois saisons agricoles **2019-20, 2020-21 et 2022-23** - durée complète de notre thèse - répartie sur trois chapitres expérimentaux comme suite :

- **Chapitre actuel (II)** : Etude morfo-agronomique concerné par deux saisons de culture : **2019-20 & 2020-21**.
- **Chapitre III & IV** : Senescence foliaire comme critère de sélection & Reflectance foliaire et teneur en chlorophylle en relation avec le rendement concernés par les deux saisons de culture : **2020-21 & 2022-23**.

3.1.1. La pluviométrie

3.1.1.1. Pluviométrie moyenne mensuelle

Les cumuls pluviométriques enregistrés au cours des mois de septembre à juin (Tutiempo, 2023) étaient de 405,2 et 300,3 et 360,3 mm respectivement (Figure 10) avec un écart inter saisons allant de 60 à 105,5 mm

La répartition des précipitations a été beaucoup plus favorable pour la saison 2019-2020 qui a enregistré une meilleure valeur annuelle des précipitations (405,8 mm) avec 172,2 mm (soit plus de 40% des précipitations enregistrées) qui ont touchés des stades productif de la végétation à partir du fin tallage jusqu'au début de la maturité physiologique (Février – avril) suivants une répartition inter-mensuelle très riche et très équitable allant de 53 à 66 mm par mois durant cette période considérée comme la période la plus importante dans l'expression du rendement en grains chez les espèces céréalières.

La deuxième saison 2020-2021 était moins favorable avec 300,3 mm ou seulement 62,9 mm pour la même période de végétation et avec une répartition inter-mensuelle partiellement pauvre et non équitable (Février : 8,1 mm ; Mars 44,9 mm et Avril : 9,9 mm).

Malgré ses 360,3 mm de précipitation annuelle, la dernière saison 2022-2023 a connue une sécheresse extrême le long de la période cruciale avec seulement 26,2 mm pour les mois de Février jusqu'à Avril, des mois que nous pouvons les qualifiés de mois complètement secs si l'en considère l'indice ombrothermique de Gaussen *et* Bagnouls (1952) qui stipule que le mois n'est dit sec que si son cumule de précipitations serait nettement inférieur à double moyen des températures moyennes ($P_{(mm)} < 2T(^{\circ}C)$) ce qui est largement vérifiable dans notre cas.

Plus 50 % des précipitations (176 mm) enregistrées durant cette saison se sont arrivées tardivement vers la maturité physiologique (mi-mai jusqu'à Juin) pesant négativement sur la qualité du peux de rendement distingué.

Mensuellement, le mois de Mai de la saison 2022-2023 a connu le plus pluvieux en enregistrant 114,8 mm suivi du mois de Novembre de la saison 2019-2020 avec 85,1 mm.

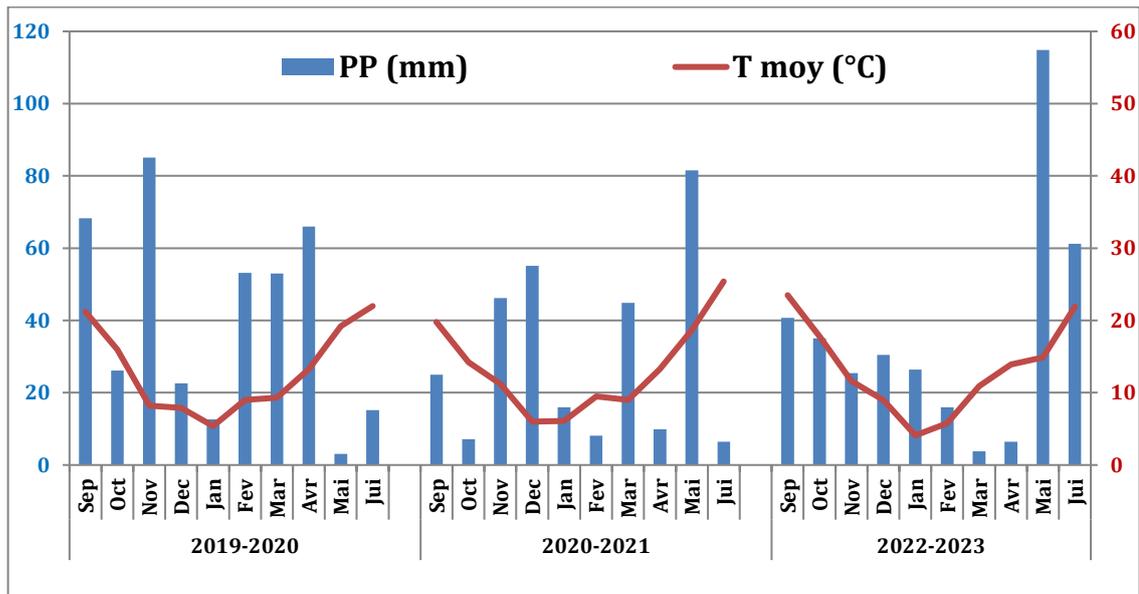


Figure 10. Cumuls de pluviométrie et température moyenne mensuelles enregistrées au cours des trois saisons d'étude

3.1.1.2. Pluviométrie moyenne saisonnière

La figure 11 montre une variation saisonnière des précipitations pendant les trois saisons agricoles.

La quantité de pluies enregistrées au cours d'automne (Septembre, Octobre et Novembre) était plus importante pendant la saison 2019-2020 (179,5 mm donnant un avantage pour l'installation des cultures durant cette saison.

Une absence de variabilité de précipitations a été enregistrée durant l'hiver (Décembre, Janvier et Février), la quantité de pluies était équitable durant les trois années enregistrant une moyenne saisonnière de 80 mm.

La figure 11 montre une grande avance de précipitations durant le printemps (Juin inclus) en faveur de la dernière saison 2022-2023 avec ces 186,2 mm mais il faut savoir que presque la totalité de ces pluies en étaient très tardives arrivant vers la maturité physiologique de toutes les variétés étudiées, seul 10 mm de précipitations bénéfiques ont touchées cette saison classant cette saison comme la plus sec durant toutes les années d'étude.

La première saison 2019-2020 était beaucoup plus favorable durant cette saison de point de vue quantité de pluies et répartition ou les mois de Mars et Avril (Montaison - épiaison – remplissage de grains) en reçues les plus de pluies avec presque 120 mm

cela par rapport a la saison précédente de 2020-2021 qui a connue presque une même valeur de précipitation durant le printemps (137,3 mm) mais sa répartition était beaucoup moins favorable pour la production avec un minimum de précipitations durant tout le mois d’Avril (10 mm) le mois du plein épiaison et début du remplissage de grains , le reste des précipitations était tardives durant cette saison (fin mai – début de Juin).

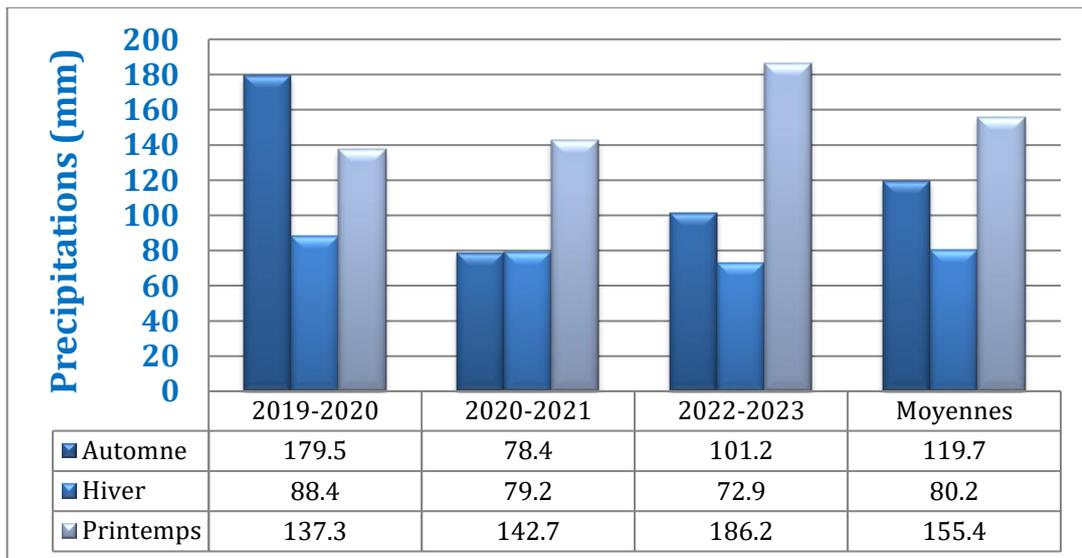


Figure 11. Pluviométrie saisonnière et moyenne saisonnière enregistrée au cours des trois saisons de culture

De point de vue avantage climatique pour la végétation, l’étude la pluviométrie a classé la première saison de culture 2019-2020 comme la saison la plus favorable pour développement des cultures non seulement pour ses cumules des précipitations, mais aussi pour sa richesse pluviométrique le long de la période végétative (Février – Avril) et la répartition équitable des temps pluviaux durant cette période.

De ce fait, la dernière saison 2022-2023 a été classée défavorable pour le développement de la végétation a cause de la sécheresse extrême qui a touchée sa période végétative, période cruciale dans la préparation pour un bon rendement en grains.

2.1.1. La température

La figure 12 conçue à partir des données climatiques provenant du site Tutiempo (2023), montre clairement la variation inter- saisonnière de la température moyenne.

La température moyenne élevée en été, elle baisse progressivement durant l'automne pour atteindre les valeurs très basses en hiver, cette dernière se redresse au cours du printemps, entraînant la croissance et le développement de la végétation. La température moyenne hivernale est trop basse; elle provoque un arrêt de croissance chez la plante, réduisant la valorisation de l'humidité du sol.

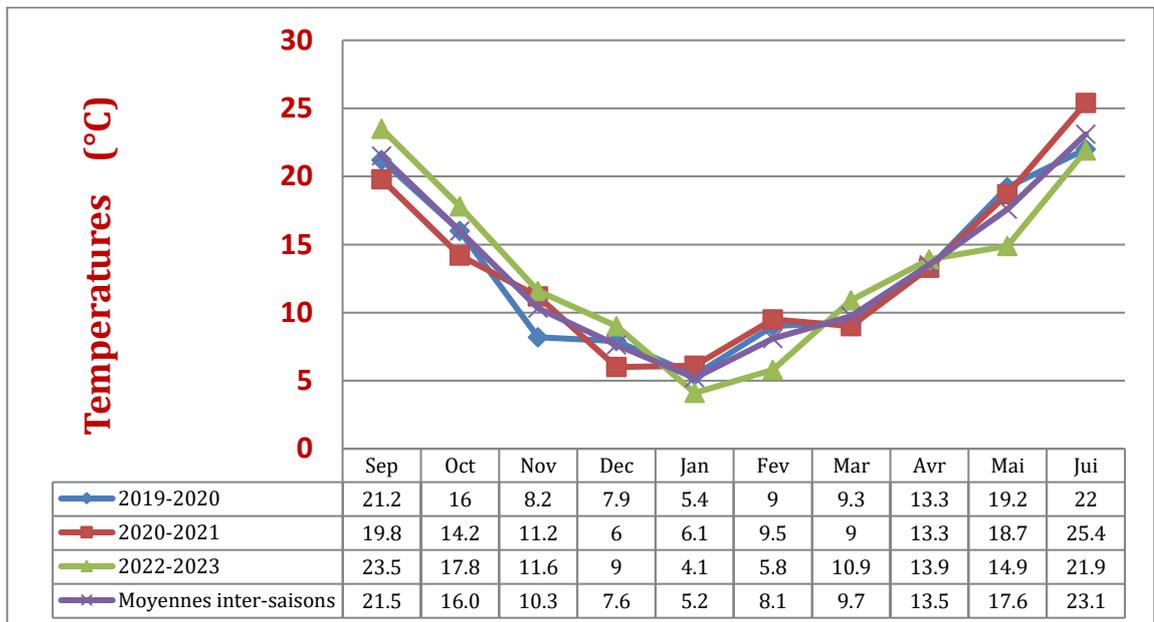


Figure 12. Températures moyenne mensuelles et moyennes inter-saisons durant les trois saisons d'étude

3.1. VARIABILITE PHENOTYPIQUE

La variabilité phénotypique est observée dans la série statistique illustrer dans le tableau 2 composé des moyennes arithmétiques, des écarts types, des intervalles interquartiles, des minimums, des 1ers quartiles, des médianes, des 3èmes quartiles et des maximums des variables mesurées enregistrés durant les 02 saisons agricoles, le rendement en grain prend de 25,45 comme valeur minimale à 47,37 (Q.ha⁻¹) comme valeur maximale pendant la saison de 2019-20 alors qu'il prenait les valeurs de 2,88 a 13,59 Q.ha⁻¹ pendant la saison de 2020-21 dans cette série statistique .

Le nombre de jours avant épiaison varie de 131 à 140 jours pour 2019-2020 alors qu'il prenait les valeurs de 136 à 147 jours pendant la saison qui suivre. Les hauteurs des plantes varient de 76,67 à 112,33 cm durant 2019-2020 et de 56,11 à 67,38 cm l'année suivante. Le nombre d'épis mètre carré prenait des valeurs allant de 270 à 510 épis l'année 2019-2020, il varie l'année suivante de 178.23 a 320 épis. Le nombre de grains par épi varie de 28 et 53 grains l'année 2019-2020 et de 13 a 20,67 l'année 2020-2021 .le poids de mille grains allaient de 31,76 à 52,08 g en première saison alors qu'il passe de 30,91 à 46,69g dans la série statistique.

Tableau 2. Analyse descriptive des différents paramètres mesurés durant les 2 saisons d'étude 2019-20 et 2020-21

	Moy		Eq.T		Eq.I.Q		Min		1 ^{er} Q		Med		3 ^{eme} Q		Max	
	2019 2020	2020 2021	2019 2020	2020 2021	2019 2020	2020 2021	2019 2020	2020 2021	2019 2020	2020 2021	2019 2020	2020 2021	2019 2020	2020 2021	2019 2020	2020 2021
RDT	38.86	6,35	6.07	4,03	8.72	2,74	25.45	2,88	34.79	4,58	38.27	6,61	43.51	7,32	49.33	13,59
NJE	134.71	140,6	2.19	3,61	3.00	6,00	131.0	136	133.0	136	135.0	142	136.0	142	140.0	147
HP	90.01	62,75	7.35	3,85	8.00	3,48	76.67	56,11	85.33	61,27	90.33	62,72	93.33	64,75	112.33	67,38
NGE	37.98	15,97	5.66	5,75	8.00	3,64	28.00	13	34.00	13,73	37.00	15,73	42.00	17,37	53.00	20,67
NEm	349.78	255,8	53.37	58,17	70.00	52,5	270.0	178,3	310.0	228,3	350.0	255	380.0	280,8	510.0	320
PMG	42.00	39,48	5.59	5,26	7.28	6,76	31.76	30,91	37.48	35,86	43.32	39,48	44.76	42,62	52.08	46,69

Moy : moyenne, Eq.T: écart type, Eq.I.Q : equart interquartiles, Min : Minimum, 1^{er} Q : premier quartile, 3^{eme} Q : troisième quartile, Max : Maximum.

3.2. ANALYSE DE LA VARIANCE (ANOVA)

3.2.1 Effet génotype

Les résultats de l'analyse de la variance a 1 facteur (génotype) (Tableau 3) ont montré que l'effet du génotype était très significatif ($p < 0,05$; $0,001$) pour la majorité des variables étudiées durant les 02 saisons agricoles 2019-2020 et 2020-2021. En 2019-2020, Le rendement en grain des lignées avancées G10 et G5 était marqué par une différence significative par rapport aux autres génotypes, alors qu'en 2020-2021 Boutaleb et G10 se sont montrés les plus performants. Notant la présence d'une différence inter-saisonnière hautement significative ($P < 0.001$).

Mansouri *et al.* (2018) ; Frih *et al.* (2021b) ont rapporté que l'effet du génotype était significatif avec le nombre d'épis par mètre carré, le nombre de jours avant épiaison et la hauteur des plantes. La lignée G10 la plus performante en 2019-2020 (RDT = $47,23 \text{ Q.ha}^{-1}$) est caractérisée par une durée très plus courte des jours avant épiaison (NJE = 132 jours), une taille plus ou moins moyenne (HP = 88.55 cm), un nombre d'épis par mètre carré moyen ($\text{NEm}^{-2} = 135 \text{ épis.m}^{-2}$), un nombre moyen de grains par épi (NGE = 40.66 grains) et un poids de mille grains plus ou moins important (PMG = 42.56 g). La lignée G5 qui a enregistré un bon rendement (RDT = $44,81 \text{ Q.ha}^{-1}$) est restée 03 jours de plus avant l'épiaison (NJE = 135 jours). Boutaleb meilleur cultivar en 2020-2021 (RDT = 13,59) avait la plus longue durée de jours avant l'épiaison (NJE = 138 jours), une bonne longueur de plante (HP = 66,16), le plus grand nombre d'épis par mètre carré ($\text{NEm}^{-2} = 320 \text{ épis}$), le plus grand nombre enregistré de grains par épis (NGE = 16,67) et un très bon poids de mille grains (PMG = 44,96 g).

La lignée avancée G10 qui a enregistré quand même un meilleur rendement en grains (RDT = $8,69 \text{ Q.ha}^{-1}$) pour la deuxième année par rapport aux autres cultivars malgré sa faiblesse due aux changements des conditions climatiques avait la meilleure taille de plante (HP = 67,38 cm) et le meilleur nombre de grains par épis (NGE = 19,53 g). D'après ces observations, nous suggérons qu'un bon rendement en grain peut être dû à une durée minimale de jours d'épiaison (NJE < 136 jours), une taille plus ou moins petite (HP < 89 cm) et un bon poids de mille grains (PMG > 36). Guendouz *et al.* (2013b) ont discuté de la relation positive et significative entre le rendement en grain et le poids de mille grains (PMG) et de la relation négative du rendement en grain avec les jours à l'épiaison (NJE) en conditions semi-arides.

3.2.2 Analyse inter saisons de culture

L'analyse de la variance a 2 facteurs (génotype – saison agricole) (Tableau 3) nous a révélée que l'effet génotype était significatif ($P < 0.05$; 0.01 ; 0.001) entre les deux saisons agricoles 2019-2020/2020-2021 pour la quasi-totalité des caractères étudiés.

L'effet saison agricole était hautement significatif ($P < 0.001$) pour tout les caractères étudiés cela a cause de la différence hautement significatif des performances des différents caractères inter saisons notamment les grandes différences enregistrées dans les moyennes du rendement en grains ($38,86 \text{ Q.ha}^{-1}_{19-20}$; $6,34 \text{ Q.ha}^{-1}_{20-21}$) entre les deux saisons engendrant une différence de 83,68 % du rendement en grains entre les deux saisons en faveur de la saison agricole du 2019-2020 ,cette situation peut être expliquer par les changements opérés dans quantité et la répartition des pluies saisonnières entre 2019-2020 et 2020-2021 qui se sont montrés favorable en 2019-2020 et défavorable en 2020-2021.

L'interaction (Génotype X Saison agricole) s'est montrée hautement significatif ($P < 0.001$) uniquement avec les deux caractères nombre des jours avant épiaison et le poids de mille grains hautement significatifs ($P < 0.001$) de point génotype et saison agricole.

Tableau 3. Analyse de la variance du rendement en grains et ces composantes durant les deux saisons d'étude 2019-20 et 2020-21.

Paramètres	RDT (Q.ha ⁻¹)		NJE (days)		HP (cm)		NEm ²		NGE		PMG (g)	
	2019-2020	2020-2021	2019-2020	2020-2021	2019-2020	2020-2021	2019-2020	2020-2021	2019-2020	2020-2021	2019-2020	2020-2021
G1	40,5 (abc)	7,00 (bc)	135,33 (cd)	136 (d)	89,77 (cd)	62,72 (cd)	360 (abc)	236,66 (bcde)	35,33 (de)	13 (a)	47,33 (bc)	41,98 (bc)
G2	35,58 (cd)	3,96 (bc)	133 (efg)	136 (d)	87,55 (cde)	61,50 (d)	353,33 (abc)	213,33 (de)	34,66 (de)	16,27 (a)	42,21(def)	35,62 (ef)
G3	40,65(abc)	7,05 (bc)	138 (a)	142 (c)	86,44 (cde)	61,88 (d)	296,67 (c)	220,00 (cde)	44 (ab)	13,67 (a)	45,1 (bcd)	40,83 (bcd)
G4	42,04 (abc)	2,88 (c)	136 (bc)	142 (c)	87,55 (cde)	56,11 (e)	325 (bc)	178,33 (e)	33,33 (de)	13,8 (a)	51,92 (a)	36,80 (de)
G5	44,81 (ab)	4,70 (bc)	135 (cd)	142 (c)	87,55 (cde)	61,27 (d)	351,67 (abc)	220,00 (cde)	46,33 (a)	14,87 (a)	36,26 (gh)	36,10 (e)
G6	38,65 (abcd)	6,16 (bc)	137 (ab)	142 (c)	86,88 (cde)	61,27 (d)	350 (abc)	240,00 (bcde)	49 (a)	18,07 (a)	32,06 (h)	31,88 (fg)
G7	39,96 (abc)	6,89 (bc)	136 (bc)	142 (c)	84 (de)	57,66 (e)	406,67 (ab)	253,33 (abcde)	41 (bc)	20,67 (a)	34,78 (gh)	34,36 (efg)
G8	30,12 (d)	4,45 (bc)	134,33(de)	136 (d)	81,88 (e)	61,16 (d)	408,33(a)	268,33 (abcd)	33,33 (de)	13,07 (a)	38,75(efg)	30,91 (g)
G9	40,09 (abc)	6,61 (bc)	132,33 (g)	142 (c)	91,88 (bc)	65,55 (abc)	346,67(abc)	310,00 (ab)	36 (cde)	13,6 (a)	42,36(def)	46,69 (a)
G10	47,37 (a)	8,69 (ab)	132 (g)	136 (d)	88,55 (cde)	67,38 (a)	335 (abc)	268,33 (abcd)	40,66 (bc)	19,53 (a)	42,56 (de)	41,98 (bc)
G11	37,86 (bcd)	2,95 (c)	132,67 (fg)	142 (c)	91,88 (bc)	67,22 (a)	355 (abc)	285,00 (abcd)	37 (cd)	16,2 (a)	43,47 (cd)	44,47 (abc)
Jupare C 2001	34,76 (cd)	7,89 (bc)	132,33 (g)	136 (d)	90 (bcd)	63,61 (bcd)	356,67 (abc)	255,00 (abcd)	38,33 (cd)	14,53 (a)	38,18 (fg)	41,98 (bc)
Boussellem	35,92 (bcd)	4,75 (bc)	134 (def)	142 (c)	97 (b)	63,94 (bcd)	303,33 (c)	291,66 (abc)	34,33 (de)	15,73 (a)	43,42 (cd)	40,39 (cd)
Boutaleb	37,06 (bcd)	13,59 (a)	138 (a)	147 (a)	107,22 (a)	66,16 (ab)	336,67 (abc)	320,00 (a)	31,33 (e)	16,67 (a)	48,36 (ab)	44,96 (ab)
Oued El Bared	37,54 (bcd)	7,59 (bc)	134,67 (cd)	146 (b)	92 (bc)	63,88 (bcd)	361,66 (abc)	276,66 (abcd)	35 (de)	19,93 (a)	43,22 (cd)	43,27 (abc)
Genotype												
Moyenne	38,86	6,34	134,71	140,6	90,01	62,76	349,77	255,77	37,97	15,93	42	39,40
Min	30,12	2,87	132	136	81,88	56,11	296,66	178,33	31,33	13	32,07	30,91
Max	47,37	13,59	138	147	107,22	67,38	408,33	320	49	20,67	51,92	46,69
LSD (5%)	9,09	5,67	0,70	1,53	7,14	3,17	82,29	76,53	5,24	4,34	4,34	4,162
Génotype x Saison												
E. Genotype (G)	*		***		***		ns		**		***	
E. Saison (S)	***		***		***		***		***		***	
(G) x (S)	ns		***		*		ns		ns		***	
% de difference	▼	83,68	▲	4,37	▼	30,27	▼	26,87	▼	58,04	▼	6,19

ns: non significatif , * : Significatif a 0.05 ; ** : significatif : a 0.01 ***: significatif a 0.001

3.3. CORRELATION LINEAIRE SIMPLE

L'étude des corrélations illustrés dans le tableau 4 a montré que seul les caractères poids de mille grains / hauteur de la plante était en corrélation positive et significative ($P < 0,05$; $0,001$) durant les deux saisons agricoles ($r = 0,38^{*}_{19-20}$; $0,60^{***}_{20-21}$).

Durant la saison agricole 2019-2020 le rendement en grain a été positivement et significativement ($P < 0,05$) corrélé avec le nombre de grains par épi ($r = 0,33^{*}$), en 2020-2021 il était hautement, positivement et significativement ($P < 0,01$; $0,001$) avec le nombre d'épis par mètre carré et le poids de mille grains ($r = 0,61^{***}$; $0,38^{**}$ respectivement)

plusieurs auteurs ont rapporté des résultats similaires entre le rendement en grain, le nombre d'épis par mètre carré et le nombre de grains par épi (Mohammad *et al.*, 2002 ; Aycicek *et* Yildirim, 2006), cependant la hauteur de la plante était négativement corrélé ($P < 0,05$) avec le nombre de grains par épi ($r = -0,33^{*}$) en 2019-2020 et positivement corrélé ($P < 0,05$) avec le nombre d'épis par mètre carré ($r = 0,38^{*}$) en 2020-2021, le poids de mille grains était négativement corrélé ($P < 0,05$) avec le nombre de grains par épi ($r = -0,51^{*}$) en 2019-2020 et positivement corrélé ($P < 0,01$) avec le nombre d'épi par mètre carré ($r = 0,38^{**}$) en 2020-2021, des résultats similaires ont été trouvés par Fellahi *et al.* (2013) et Hannachi *et al.* (2013). Ces résultats indiquent que la corrélation simple est insuffisante pour donner des informations claires concernant les relations entre le rendement en grain (RDT) et ces composantes.

Tableau 4. Matrice des corrélations paramètres étudiés durant les 02 saisons de culture 2019-20 et 2020-21

	RDT	NJE	HP	NGE	NEm ⁻²	PMG
RDT	1	- 0,05	0,11	0,33*	0,23	0,18
NJE	0,18	1	0,06	0,18	- 0,15	0,05
HP	0,27	0,03	1	- 0,33*	- 0,02	0,38*
NGE	0,11	0,13	- 0,01	1	- 0,07	- 0,51*
NEm ⁻²	0,61***	0,20	0,35*	0,18	1	- 0,15
PMG	0,38**	0,27	0,60***	-0,09	0,39**	1

*** significative (-) a 0,001** significative (-) a 0,01* significative (-) a 0,05* significative (+) a 0,05** significative (+) a 0,01*** significative (+) a 0,001

3.4 ANALYSE DE REGRESSION LINEAIRE MULTIPLE

Le tableau 5 présente les coefficients de régression des variables estimées pour prédire le rendement en grain RDT pendant les deux saisons agricoles (2019-2020/2020-2021). La variable dépendante, le rendement en grain RDT, peut être prédite à partir d'une combinaison linéaire des variables indépendantes le nombre des jours avant épiaison NJE, la hauteur de la plante HP, le nombre de grains par épi NGE, le nombre d'épis par mètre carré NEm⁻² et le poids de mille grains PMG. Les résultats obtenus montrent que l'équation du modèle de prédiction du rendement en grain (RDT) est formulée comme suit :

- 2019-2020 :

$$\text{RDT} = 21,58 - (0,45* \text{NJE}) + (0,13* \text{HP}) + (0,75* \text{NGE}) + (0,04* \text{NS/m}^2) + (0,58 * \text{PMG})$$

- 2020-2021

$$\text{RDT} = -10,36 - (0,02* \text{NJE}) + (-0,03* \text{HP}) + (0,02* \text{NGE}) + (0,04* \text{NEm}^{-2}) + (0,14* \text{PMG})$$

Tableau 5. Coefficients de régression des variables estimées pour prédire le rendement en grain (RDT) pendant les 02 saisons 2019-20 et 2020-21

Saison	Estimation		Er .standard		Valeur de T		Pr (> t)	
	19-20	20-21	19-20	20-21	19-20	20-21	19-20	20-21
Intercepteur	21,58	-10,36	47,05	22,73	0,459	-0,46	0,65	0,65
NJE	-0,45	0,02	0,35	0,15	-1,30	0,15	0,20	0,88
HP	0,13	-0,03	0,11	0,17	1,15	-0,19	0,26	0,85
NGE	0,75	0,02	0,16	0,09	4,75	0,24	0,00003 ***	0,81
NEm ⁻²	0,04	0,04	0,01	0,01	2,75	3,83	0,009**	0,0005***
PMG	0,58	0,14	0,16	0,13	3,58	1,10	0,0009 ***	0,28

*** 0,001, ** 0,01 / R = 0,6570, R² = 0,4317, R² Ajusté = 0,3589 (2019-2020) / R = 0,66336 - R² = 0,4015 - R² Ajusté = 0,33248 (2020-2021)

Ce modèle a pu justifier significativement plus de 40 à 43% des changements dans la performance du rendement en grain durant les deux saisons agricole de 2019-2020/2020-2021, tandis que le pourcentage restants étaient peut-être dus à des effets résiduels. L'analyse de régression linéaire multiple pour les variables testées a révélé que le nombre de grains par

épi, le nombre d'épis par mètre carré et le poids de mille grains ont contribué de manière significative au rendement en grains pendant la saison de 2019-2020 alors que seul le nombre de grains par épi qui a contribué significativement en 2020-2021.

3.5 REGRESSION LINEAIRE MULTIPLE PAS A PAS (STEPWISE ANALYSIS)

Afin d'éliminer l'effet des caractéristiques non efficaces dans le modèle de régression sur le rendement en grains, une régression par étapes a été utilisée. Dans l'analyse de régression par étapes (tableau 6), le rendement en grain (RDT) comme variable dépendante et les autres caractéristiques comme variables indépendantes ont été considérés. Les résultats ont montré que le nombre d'épis mètre carré⁻¹, le nombre de grains épis⁻¹, le poids de mille grains avec $R^2 = 39,17\%$, avaient justifié les changements de rendement en grain (Tableau 6).

Tableau 6. Les variables entrées par régression pas à pas durant les deux saisons 2019-20 et 2020-21

N° de pas	Variables	Saison : 2019-2020			Saison : 2020-2021		
		F (Entrée)	P (Entrée)	Statut	F (Entrée)	P (Entrée)	Statut
1	NGE	5,216	0,027	Entrée	1,181	0,296	Sortie
2	PMG	9,108	0,004	Entrée	2,958	0,109	Sortie
3	NEm⁻²	8,399	0,006	Entrée	4,622	0,050	Sortie
4	HP	0,052	0,822	Sortie	2,733	0,122	Sortie
5	NJE	0,051	0,824	Sortie	1,142	0,304	Sortie

3.6. ANALYSE DE CHEMIN (PATH ANALYSIS)

L'analyse de chemin (Path Analysis) est une forme d'analyse statistique de régression multiple qui est utilisée pour évaluer les modèles causaux en examinant les relations entre une variable dépendante et deux ou plusieurs variables indépendantes.

Le tableau 7 montre les résultats de l'analyse de chemin (Path Analysis) pendant les deux saisons agricoles 2019-2020/ 2020-2021, Pendant la saison agricole de 2019-2020 seuls le nombre de grains par épi et le poids de mille grains exerçaient un effet direct et significatif sur le rendement en grains, Les effets directs positifs du nombre d'épis, du nombre de grains et du poids de mille grains ont été précédemment rapportés chez le blé (Shamsi *et al.*, 2011 ; Iftikhar *et al.*, 2012 ; Pirdashti *et al.*, 2012).

Il faut siglé que pendant la saison agricole de 2020-2021 aucune composante n'a exercé cet effet directe sur le rendement en grain.

Tableau 7. Effet direct des différentes composantes du rendement en grains durant les deux saisons 2019-20 et 2020-21

Variables	Effet direct	
	Saison : 2019-20	Saison : 2020-21
NJE	-0,303973	0,012556
HP	0,266989	-0,106323
NEm⁻²	0,515373	0,363665
NGE	1,553400	0,234762
PMG	1,363863	0,316441

3.7. ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES (ACP)

L'analyse en composantes principales (ACP) reflète l'importance du plus grand contributeur à la variation totale à chaque axe de différenciation (Sharma, 1998). Le choix des axes d'interprétation dépend de l'importance de leurs valeurs propres, la règle de Kaiser repose sur une idée simple, dans une ACP normalisée, la somme des valeurs propres étant égale au nombre de variables, et leur moyenne est égale à 1. Considérons donc qu'un axe est intéressant si sa valeur propre est supérieure à 1. Les données présentées dans le tableau 8

montrent les valeurs propres des six composantes, les trois premières composantes sont les plus importantes, elles cumulent à elles seules 82,33% de l'information sur la variabilité.

Tableau 8. Les valeurs propres des composantes d'ACP durant les deux saisons d'étude

Saison : 2019-20						
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
Variance	2,27	1,68	0,99	0,60	0,43	0,03
% des variances	37,87	28,03	16,44	10,10	7,10	0,46
Cumul des % de variances	37,87	65,90	82,34	92,44	99,54	100,00
Saison : 2020-21						
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
Variance	2,88	1,27	0,79	0,56	0,38	0,12
% des variances	47,96	21,17	13,10	9,35	6,40	2,05
Cumul des % de variances	47,96	69,13	82,23	91,55	97,95	100,00

3.7.1. Saison de culture 2019-20

Les Figures 13 visualise les relations des individus (cultivars) et variables (paramètres étudiés) et avec les trois premières composantes de l'ACP. La première composante PC1 est fortement et positivement corrélée avec la hauteur de la plante et le poids de mille grains et négativement corrélée avec le nombre de grains par épi, les génotypes G1, G4, Boussallem et Boutaleb sont positivement liés a PC1, ces génotypes était caractérisés par un poids de mille grains élevé contrairement aux lignées avancées G5, G6, G7 qui était négativement liés au PC1 , dans ce cas PC1 peut être dit facteur de poids de mille grains ,PC2 est fortement et positivement corrélé avec le rendement en grains et négativement corrélé avec le nombre d'épis mètre carré. Le génotype G3 qui a le plus faible nombre de grains par mètre carré est positivement lié à PC2 contrairement aux génotypes Jupare C 2001 et Oued El Bared caractérisés par un faible rendement en grains et G8 caractérisé par le nombre d'épis par mètre carré le plus élevé , PC2 est dit facteur de rendement et de nombre d'épis par mètre carré, PC3 est fortement corrélé avec le nombre de jours avant épiaison. Les lignées avancées G9, G10, G11 étaient logiquement liés avec le coté négative du PC3 en raison de leur courte durée de jours avant épiaison, cet axe dit facteur de temps avant l'épiaison.

La figure 14 résume les relations des individus et des variables avec les trois premières composantes de l'ACP.

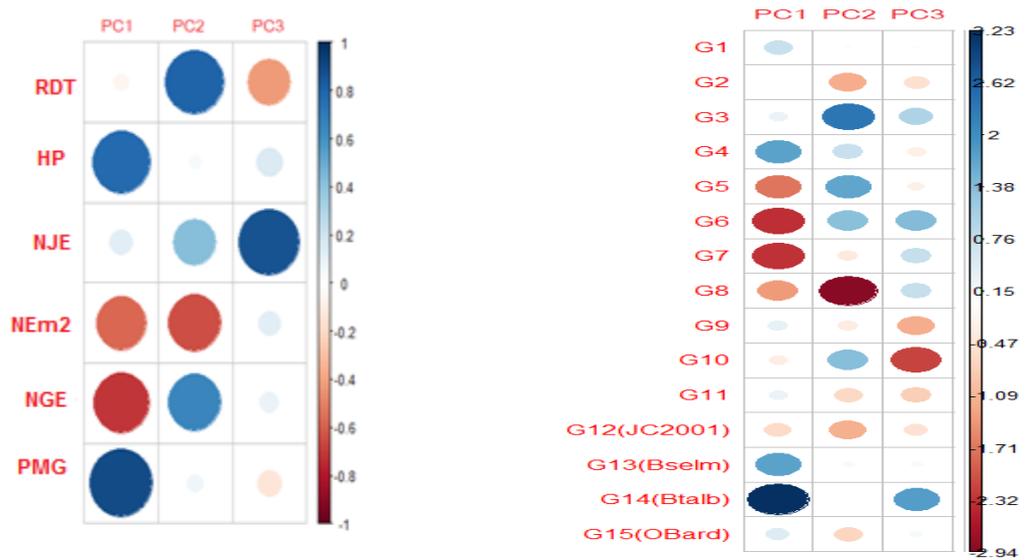


Figure 13. Visualisation des relations des variables et des génotypes avec les trois premières composantes de l'ACP (2019-20)

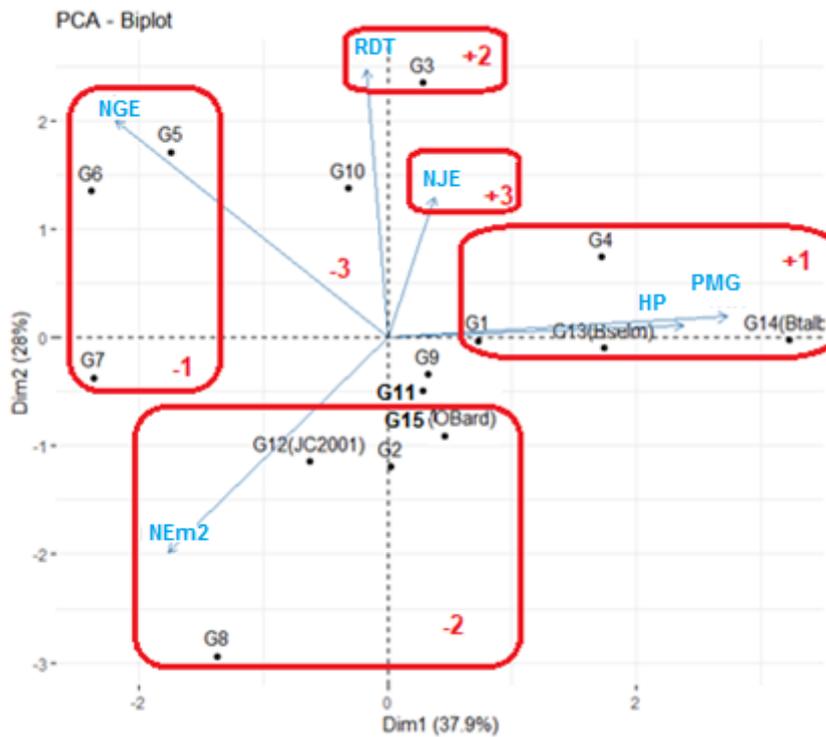


Figure 14. Biplot des variables et de génotypes en relation avec les 3 premières composantes de l'ACP (2019-20)

3.7.2. Saison de culture 2020-21

Les Figures 15 et 16 ont montrées que le rendement en grains, le nombre d'épis par mètre carré, le poids de mille grains et la hauteur de la plante étaient en corrélation positive avec PC1, les génotypes liés a cet axe (Boutaleb, Oued El bred, Bousellem, G9, G10, G11) sont caractérisé en générale par un rendement plus ou moins meilleur par rapport au autres génotype de ce fait PC1 peut être qualifié de facteur de rendement.

Les lignées G2, G4, G5et G8 étaient négativement liés a cet axe, ils affichaient les rendements les plus faibles. Le nombre de grains par épi était corrélé avec l'axe 2 positivement en relation avec les lignées G7 et G6, ils avaient les meilleurs nombres de grains par épi contrairement aux Jupare C 2001 et G1 qui étaient négativement liés à PC2 sur la base de leurs faible nombre de grains par épi, PC2 serait un facteur du nombre de grains par épis, le nombre de jours avant épiaison était corrélé avec PC3 en relation avec La lignée G3. PC3 c'est vu pour la deuxième année comme facteur de temps avant l'épiaison.

Ces résultats sont consistants avec celle d'ANOVA et avec les travaux de Guendouz *et al.* (2013a) qui prédisent que le PMG est un facteur important dans la prédiction du RDT et que la longue durée de NJE a un effet négatif sur le RDT.

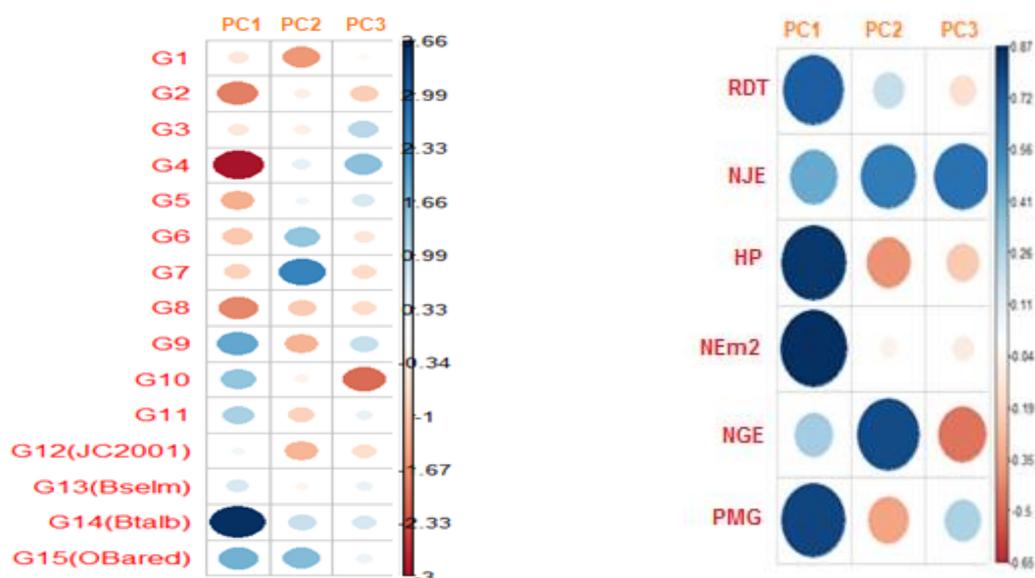


Figure 15.visualisation des relations des variables et des génotypes avec les trois premières composantes de l'ACP (2020-21)

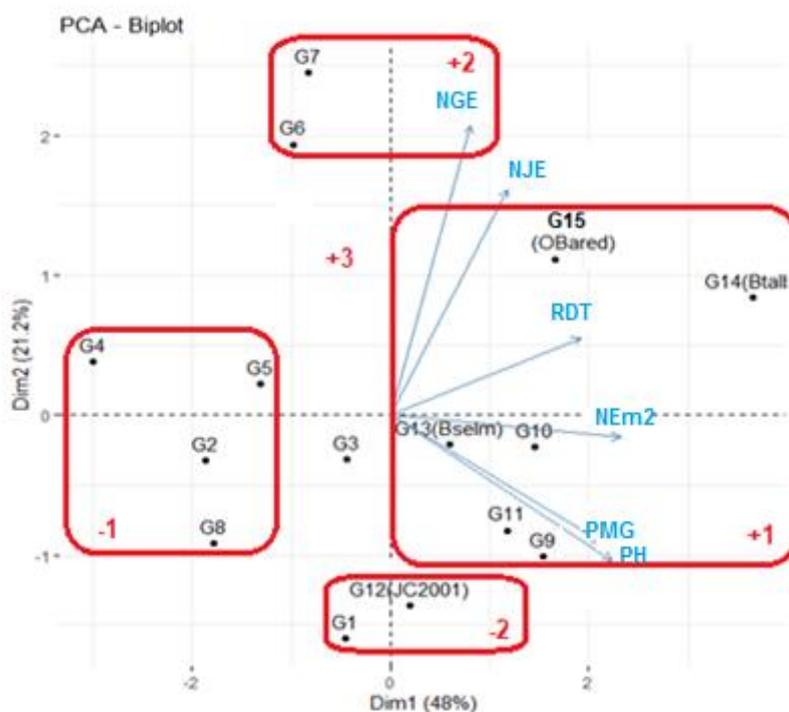


Figure 16. Biplot de variables et de génotypes en relation avec les 3 premières composantes de l'ACP (2020-21)

3.8. CLASSIFICATION HIERARCHIQUE ASCENDANTE (CAH)

3.8.1. Les paramètres agronomiques (Variables)

3.8.1.1. La saison de culture 2019-20

Les six variables étudiées durant cette saison ont été séparées en 03 groupes (Figure 17), Le premier groupe est constitué du nombre d'épis par mètre carré, le groupe II comprend le poids de mille grains, le nombre de grains par épi et le rendement en grains et le groupe III est constitué de la hauteur de la plante et du nombre de jours avant l'épiaison.

3.8.1.2. La saison de culture 2020-2021

Les variables étudiées ont été réparties en 03 groupes (Figure 18), Le premier groupe est formé de 02 sous groupes, le sous groupe A a renfermé étroitement le rendement en grains avec le nombre de grains par épi alors que le sous groupe B était composé de poids de mille grains étroitement lié a la hauteur de la plante, Le groupe II a renfermé le nombre de jours avant épiaison, Le Groupe 3 était le groupe du nombre d'épis par mètre carré.

Nos résultats reflètent la tendance de chaque groupe de variables dans un cluster à être étroitement lié les uns aux autres, Les résultats de cette étude ont montrés que le nombre de grains par épi et le poids de mille grains étaient les caractères qui contribuent le plus dans rendement en grains.

3.8.2. Les variétés testées (Individus)

3.8.2.1. La saison de culture 2019-2020

La figure 9 montre que les génotypes testés durant 2019-2020 sont séparés en 03 groupes, le groupe I composé des lignées avancées G7, G8 pour leur nombre très élevé d'épis par mètre carré, Les lignées avancées G3 et Boussellem sont regroupées dans le groupe II, caractérisé par leur nombre très faible d'épis par mètre carré, Le groupe III est formé de 02 sous-groupes, le sous-groupe A composé des lignées avancées G4, G10 qui suivent la race locale Boutaleb ce sous-groupe est caractérisé par un nombre d'épis mètre carré plus ou moins faible, le sous-groupe B formé des les lignées avancées G1, G2, G5, G6, G9, G11 qui suivent le génotype introduit Jupare-C2001 et la race locale Oued Bared pour son nombre d'épis mètre carré-1 plus ou moins élevé,

3.8.8.2. *La saison agricole 2020-2021*

La figure 9 montre que les génotypes étudiés durant la saison de 2020-2021 étaient répartis en 04 groupes, le groupe I renferme la lignée avancée G9 en compagnie de la variété locale Boutaleb caractérisées par leurs meilleurs poids de mille grains et leur grand nombre d'épis par mètre carré, Le groupe II qui a été formé de deux sous groupes, le sous groupe A composé de la lignée G11 et de la variété locale Boussellem grâce à leur durée de la phase avant épiaison et leur nombre de grains par épis similaires, le sous groupe B formé des lignées avancées G8, G10, et des variétés locales Oued El Bared, ces génotypes sont caractérisés par leur nombre similaire d'épis par mètre carré, Le groupe III a compté 4 génotypes à savoir les lignées G1, G6, G7 et le génotype introduit Jupare C2001 qui sont caractérisés par leur rendement en grains à peu près égal, Le groupe IV a été formé de des lignées avancées G2, G3, G4, et G5 connues pour leurs valeurs très proches pour la taille, nombre de grains par épis et le poids de mille grains.

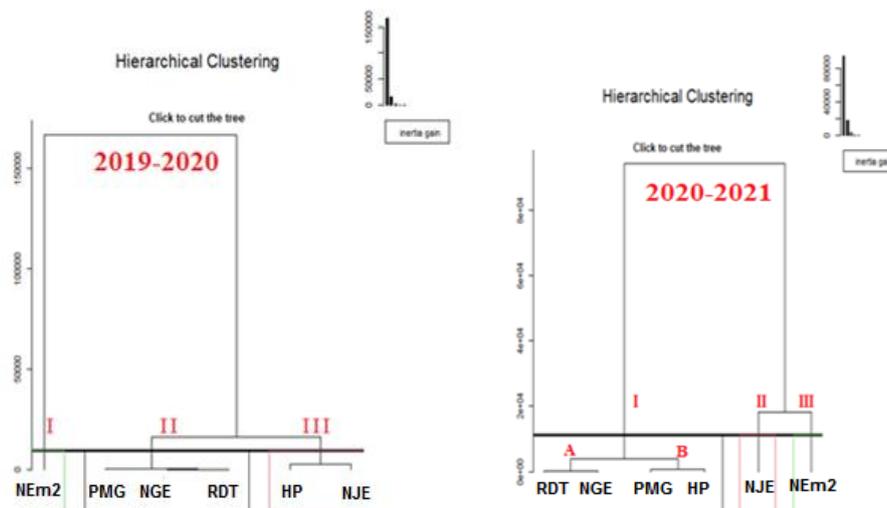


Figure 17. Niveaux de similitudes des variables étudiées durant les 02 saisons de culture

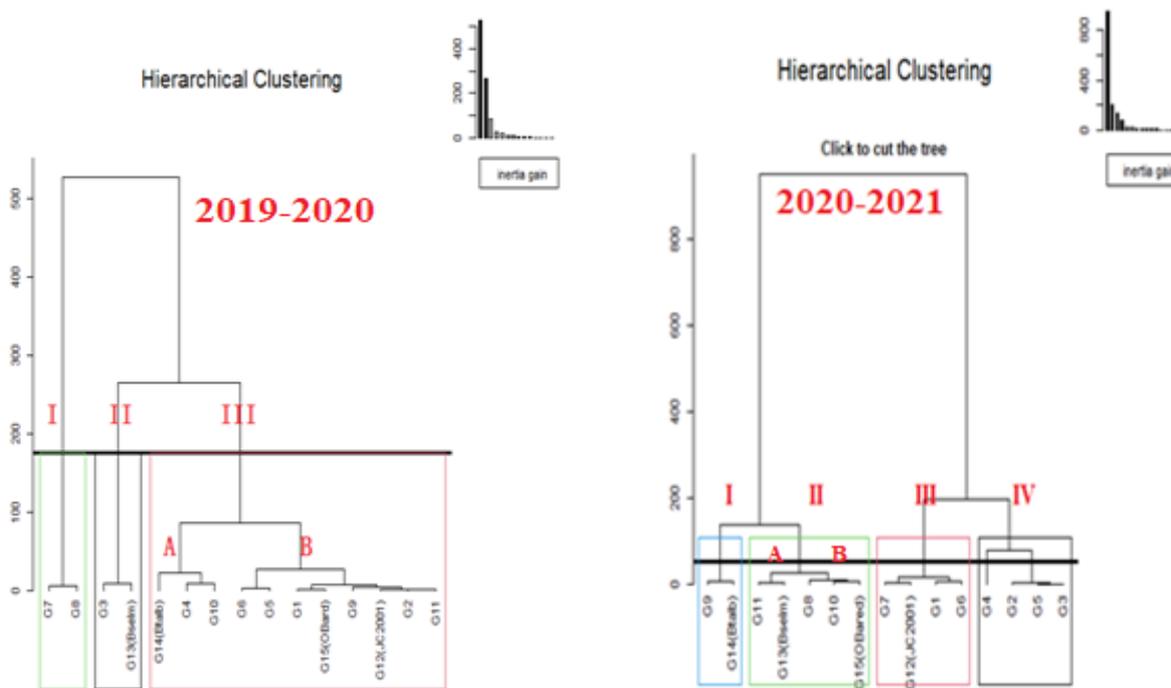


Figure 18. Niveaux de similitude des géotypes étudiés durant les 02 saisons de culture

4. CONCLUSION

Le but de cette étude est de déterminer les relations entre le rendement en grain et ses composants afin d'identifier les principaux attributs qui peuvent servir de critères de sélection pour les meilleurs génotypes de blé dur en conditions semi-arides. 15 cultivars composés de 03 variétés locales Boussellem, Boutaleb et Oued El Bared, d'un génotype introduit Jupare C 2001 et 11 lignées avancées ont été semis durant 02 saisons 2019-20 et 2020-21 dans les champs de la station expérimentale agricole de l'Institut Technique des Grandes Cultures de Sétif.

Les résultats de l'Analyse de la variance à 1 et a 2 facteurs ont montré que l'effet génotype était significatif ($p < 0,05$; $0,001$) pour la quasi-totalité des caractères étudiés, l'effet de la saison agricole était hautement significatif ($P < 0,001$) cela est du aux changements dans les conditions climatiques qui ont favorisés la saison agricole de 2019-2020 grâce a la quantité et a la répartition des pluies saisonnières, ces résultats ont montré aussi que la lignée G10 et le genotype Boutaleb étaient les meilleurs cultivars en matière de rendement en grains durant les deux saisons d'étude.

L'étude des corrélations illustrés dans le tableau 4 a montré que seul les caractères poids de mille grains et hauteur de la plante était en corrélation positive et significative ($P < 0,05$; $0,001$) durant les deux saisons agricoles ($r = 0,38^*_{19-20}$; $0,60^{***}_{20-21}$).

La régression linéaire multiple a révélé que seul le nombre de grains par épi, le nombre d'épis par mètre carré et le poids de mille grains ont contribué de manière hautement significative ($P < 0,01$; $0,001$) aux changements du rendement en grains.

L'analyse de chemin (Path Analysis) a montré que pendant la saison favorable 2019-2020, le nombre de grains par épis et le poids de mille grains ont exercés un effet direct et significatif sur rendement en grains.

L'analyse en composantes principale et la classification hiérarchique ascendante ont montré que seul le nombre d'épis par mètre carré a contribué au rendement en grains dans saison agricole défavorable.

Sur la base de ces résultats, nous pouvons dire que le nombre de grains par épi ainsi que le poids de mille grains étaient les meilleurs critères qui ont contribué significativement dans le rendement en grains.

CHAPITRE III

**LA SENESCENCE FOLIAIRE COMME
CRITERE DE SELECTION CHEZ QUELQUES
CULTIVARS DE BLE DUR SEMIS EN
CONDITIONS SEMI-ARIDES**

الملخص

أجريت هذه الدراسة خلال الموسمين الزراعيين 2020-21 / 2022-23 في محطة التجارب الزراعية التابعة للمعهد التقني للمحاصيل الكبرى ITGC Sétif ، وتهدف إلى اختبار فاعلية استخدام مؤشرات شيخوخة ورقة العلم المقطرة من خلال تحليل الصور الرقمية (NIA) كمعايير اختيار لأصناف القمح الصلب المزروعة في ظروف شبه جافة من خلال تحديد علاقتها ببعض الخصائص الفسيولوجية - المورفولوجية والزراعية. تتكون المادة الوراثية المستخدمة في هذه الدراسة من خمسة عشر نوعاً من القمح الصلب (*Triticum durum* Desf.) مكونة من 03 أصناف هجينة (بوسلام - بوطالب و واد البارد) من أصل محلي وشبه محلي ، نمط جيني دخيل (Jupare C 2001) و 11 سطرًا متقدمًا من أصل CIMMITY. أظهرت مخططات تقدم الشيخوخة في مقابل درجات الحرارة التراكمية أن المسار الزمني السيني للشيخوخة أظهر تباينًا وراثيًا واضحًا. اختلفت درجات الحرارة التراكمية عند منتصف الشيخوخة بشكل ملحوظ بين الأنماط الوراثية المدروسة . كان الهجين المحلي بوطالب والخط المتقدم G1 و G10 أفضل الأصناف مرتبة من حيث إنتاجية الحبوب خلال موسمي الدراسة ، وكان شيخوختها أبطأ مقارنة بالأصناف الأخرى. أظهرت دراسة ارتباطات بيرسون التي أجريت خلال موسمي الدراسة وجود علاقة ارتباط معنوية وسلبية بين درجات الحرارة التراكمية عند منتصف الشيخوخة الورقية مع جميع مؤشرات الشيخوخة، ارتفاع النبات ومساحة الورقة العلم . كان لمعدل للشيخوخة الورقية ارتباطات معنوية إيجابية مع متوسط سرعة الشيخوخة الورقية ، السرعة القصوى للشيخوخة الورقية ، الانعكاس الكلي للطيف على مستوى الورقة العلم خلال فترة التسنبل الكامل ، المحتوى المائي النسبي للورقة العلم و درجة حرارة الغطاء النباتي ، هذه المؤشر نفسه كان مرتبطًا سلبيًا بالتبكير. والوزن النوعي للورقة العلم . كان لسرعة الشيخوخة الورقية ارتباطات موجبة مع أقصى سرعة للشيخوخة الورقية وعدد السنابل لكل متر مربع وسالب مع ارتفاع النبات ومساحة الورقة والوزن النوعي للورقة ، وكان لأقصى سرعة للشيخوخة الورقية ارتباطات معنوية وإيجابية مع درجة حرارة الغطاء النباتي وارتفاع النبات في حين كانت هذا الارتباط سلبيا مع التبكير.

الكلمات المفتاحية : القمح الصلب ، المردود الحبي ، الشيخوخة ، الانعكاس ، محتوى اليخضور ، شبه جاف.

Résumé

Cette étude a été réalisée au cours de les deux saisons de culture 2020-21/2022-23 dans la station expérimentale agricole de l'institut Technique des Grandes Cultures ITGC Sétif, elle vise tester l'efficacité de d'utilisation des paramètres de sénescence de la feuille étandard estimés par Analyse des Images Numériques (NIA) comme critères de sélection pour les cultivars de blé dur semés en conditions semi-arides en déterminant leurs relation avec certains paramètres physiologiques , pheno-morphologiques et agronomiques. Le matériel génétique utilisé dans cette étude a été compose d'une quinzaine de variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) formée de 03 croisement (Boussellem - Boutaleb et Oued El Bared) d'origine locale et semi-locale, 01 génotype introduit (Jupare C 2001) et 11 lignées avancées d'origine CIMMITY. Les courbes de la progression de la sénescence en fonction du cumul des températures ont montrés que le cours temporel sigmoïdal de la sénescence présentait une variabilité génotypique.les sommes des températures a la mi- sénescence différaient nettement entre les génotypes. Le croisement local Boutaleb et les lignées avancées G1et G10 les cultivars les mieux classés en matière de rendement en grains durant les deux saisons de culture, avaient une sénescence plus lente par rapport aux autres cultivars. L'étude des corrélations de Pearson effectuée durant les deux saisons d'étude a montré des corrélations significatives et négatives entre les cumules des températures a la mi-sénescence avec tout les paramètres de sénescence, la hauteur de la plante et surface foliaire. La moyenne de sénescence avait des corrélations significatives et positives avec la vitesse moyenne de sénescence, la vitesse maximale de sénescence, la réflectance totale en plein épiaison, la teneur relative en eau et la température du couvert végétal, ce même paramètre était négativement lié la précocité et le poids spécifique foliaire. La vitesse moyenne sénescence avait des corrélations positives avec la vitesse maximale de sénescence, le nombre d'épis par mètre carrée et négative avec la hauteur de la plante, la surface foliaire et le poids spécifique foliaire, La vitesse maximale de sénescence avait des corrélations significatives et positives avec la température du couvert vegetal et la hauteur de la plante et négative avec la précocité.

Mots clés : Blé dur, rendement grain, sénescence, réflectance, teneur en chlorophylle, semi-aride.

Abstract

This study was carried out during the two growing seasons 2020-2021/2022-23 in the agricultural experimental station of the Technical Institute of Field Crops ITGC Sétif, it aims to test the effectiveness of the use of the senescence parameters of the flag leaf estimated by Digital Image Analysis (NIA) as selection criteria for durum wheat cultivars sown in semi-arid conditions by determining their relationship with certain physiological, pheno-morphological and agronomic parameters. The genetic material used in this study was composed of about fifteen varieties of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) formed of 03 crosses (Boussellem - Boutaleb and Oued El Bared) of local and semi-local origin, 01 genotype introduced (Jupare C 2001) and 11 advanced lines of CIMMITY origin. Plots of senescence progression versus cumulative temperature showed that the sigmoidal time course of senescence exhibited genotypic variability. The sums of temperatures at mid-senescence differed markedly between genotypes. The local cross Boutaleb and the advanced lines G1 and G10, the best ranked cultivars in terms of grain yield during the two growing seasons, had a slower senescence compared to the other cultivars. The study of the Pearson correlations carried out during the two study seasons showed significant and negative correlations between the cumulated temperatures at mid-senescence with all the parameters of senescence, the height of the plant and leaf area. The average senescence had significant and positive correlations with the average speed of senescence, the maximum speed of senescence, the total réflectance at full heading, the relative water content and the temperature of the plant cover, this same parameter was negatively related to earliness and specific leaf weight. Mean senescence rate had positive correlations with maximum senescence rate, number of ears per square meter and negative with plant height, leaf area and leaf specific weight, Maximum senescence rate had significant correlations and positive with canopy temperature and plant height and negative with earliness.

Key words: Durum wheat, grain yield, senescence, réflectance, chlorophyll contents, semi-arid.

1. INTRODUCTION

Blé dur [*Triticum turgidum* L. ssp. *durum* (Desf.) Husn.] est la 10^e culture la plus importante au monde avec une production annuelle de plus de 40 millions de tonnes (Sall *et al.*, 2019).

Le plus grand producteur est l'Union européenne, avec 9 millions de tonnes en 2018, suivie par Canada, Turquie, États-Unis, Algérie, Mexique, Kazakhstan, Syrie et Inde (Tedone *et al.*, 2018). Blé dur est l'une des céréales les plus cultivées du bassin méditerranéen, où la sécheresse est un facteur limitant pour sa production. (Royo *et al.*, 1998), il est principalement cultivé dans des conditions pluviales, où la sécheresse et le stress thermique limitent généralement le potentiel de rendement pendant la période de remplissage des grains (Simone *et al.*, 1993).

La sénescence est un phénomène universel chez les organismes vivants, et le mot sénescence a été utilisé par des scientifiques travaillant sur une variété de systèmes, tels que la levure, la mouche des fruits, le ver, l'être humain et les plantes. Cependant, la signification du mot sénescence pour les scientifiques travaillant sur différents organismes peut être différente, et la différence peut être subtile dans certains cas et très évidente dans d'autres (Hafsi *et* Guendouz, 2012). La sénescence est soumise à une forte régulation environnementale et génétique, et avant le jaunissement visuel et la chlorose, jusqu'à 50 % de la chlorophylle des feuilles peut être perdue (Buchanan Wollaston *et al.*, 2005 ; Borrill *et al.*, 2019). La photosynthèse est la principale source de la production de matière sèche et du rendement en grain des plantes cultivées, les améliorations de la photosynthèse des feuilles se sont produites avec l'avancée de la sélection de cultivars à haut rendement (Jiang *et al.*, 2002).

La sélection de nouvelles variétés de grains céréaliers nécessite des méthodes rapides et de préférence non destructives, pour évaluer la qualité des grains des premières générations. La spectroscopie proche infrarouge (NIR) a un grand potentiel pour répondre à ces exigences pour le sélectionneur de blé dur (Sissons *et al.*, 2006).

Notre étude vise à tester l'efficacité de l'utilisation des paramètres de sénescence de la feuille étandard, de la réflectance totale et de la teneur en chlorophylle comme critères de sélection pour les génotypes de blé dur cultivés en conditions semi-arides.

2. MATÉRIEL & MÉTHODES

2.1. SITE D'ETUDE

Cette étude a été réalisée durant les deux campagnes agricole 2020-2021 et 2022-2023 à la Station expérimentale agricole de l'Institut Technique des Grandes Cultures ITGC de Sétif (ITGC-AES, 36°12'N et 05°24'E et 1.081 m d'altitude, Algérie).

2.2. MATERIEL VEGETAL

Nous avons utilisé le même matériel génétique (Tableau1, Chapitre II) constitué de de 03 croisements d'origine locale (ITGC-Setif) et semi-locale (ICARDA-CIMMYT) Boussellem, Boutaleb et Oued El Bared , 01 génotype introduit Jupare C 2001 et 11 lignées avancées d'origine CIMMYT.

2.3. DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Les génotypes testés ont été semés avec une densité ajustée à 300 grains. m⁻² dans un plan en blocs aléatoires (RBD) avec trois répétitions, chaque parcelle était composée de 6 lignes de 10 m de long espacées de 0,2 m de large ce qui fait 12 m² comme surface de parcellaire.

2.4. PARAMETRES MESURES

Les paramètres suivants ont été mesurés :

2.4.1. Estimation de la sénescence et de la réflectance totale de la feuille drapeau

2.4.1.1. Les paramètres de sénescence foliaire

Nous avons suivi l'évolution de la sénescence foliaire durant plusieurs dates d'observation a partir du début de la sénescence jusqu'à arriver a 100% de sénescence foliaire durant les deux saisons d'étude 2020-21/2022-23 par l'utilisation de l'Analyse Numérique d'Image (NIA), selon Guendouz *et* Maamri (2011), les feuilles ont été photographiées sur surface noire, entre 11h00 et 12h00 heure solaire avec un appareil photo numérique couleur (Canon, Power Shot A460, AiAF, CHINE). Les images ont été stockées dans un JPEG (Joint Photographic Expert Group) avant d'être téléchargées sur un ordinateur PC et analysées à l'aide du logiciel IPP (Image Pro Plus, Version 4, Media Cybernetics, Silver Spring, MA, USA).

Le pourcentage de sénescence (S) a été calculé pour chaque date d'observation et pour chaque génotype étudié à l'aide du logiciel **Digimizer image analysis software**

version 6.4.0 (Figure 19) en calculant le pourcentage de zone sénescence par rapport au total des surface foliaire.

$$S (\%) = (\text{Surface sénescence feuille étendard} / \text{surface totale de la feuille étendard}) * 100$$

Les dates d'évaluation seront exprimées ultérieurement en températures cumulées $\sum_1^n T^\circ\text{C}$ (n= nombre de dates d'observation).

Sur la base de ces valeurs, les paramètres suivants ont été calculés :

- a) **Moyenne de sénescence Sa (%)** : est la moyenne du pourcentage de sénescence pour les différentes dates de constatation de l'évolution de la sénescence.

$$Sa (\%) = (S_1 + S_2 + \dots + S_n) / n$$

n= nombre de constatations de la sénescence

- b) **Vitesse moyenne Vsa (% / °C)** : La vitesse de sénescence (Vs) a été calculée à chaque date constatation de sénescence, Vsa est la moyenne des vitesses durant toutes les dates de constatation de l'évolution de la sénescence.

$$Vs = (S_{n+1} - S_n) / (\sum TC_{n+1} - \sum TC_n)$$

$\sum TC$ = somme des températures environnementales à la date de la valeur de sénescence

$$Vsa = (Vs_1 + Vs_2 + \dots + Vs_n) / n$$

- c) **Maximum de la vitesse de sénescence (Vmax)** : la plus grande valeur de (Vsa) elle correspond a la plus grande vitesse de sénescence enregistré.
- d) **La somme des températures à mi-sénescence ($\sum T50s$)** : correspond a la somme des températures environnementales à S=50%, elle peut être estimée à partir de la courbe $S=f(\sum TCs)$ (Figure 24-25)

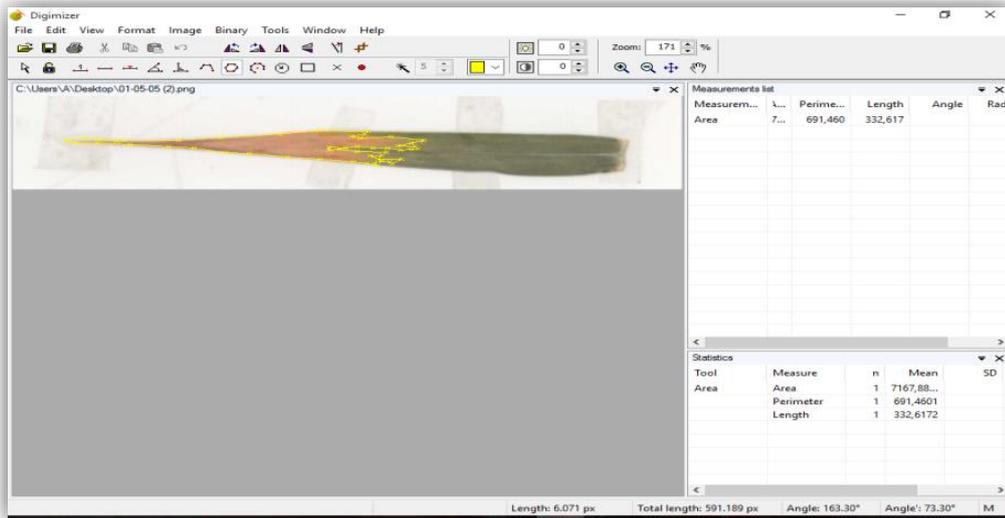


Figure 19. Estimation de la sénescence foliaire par l'utilisation du logiciel **Digimizer image analysis software version 6.4.0**

2.4.1.2. Réflectance totale R_t

Les mêmes images utilisées pour calculer la sénescence, vont servir à calculer la réflectance à l'aide du logiciel **Mesurim pro 2.8** utilisé par Guendouz *et* Maamri (2011), ce logiciel peut mesurer la réflectance à la bande Rouge, Bleue, Verte et la réflectance totale. Nous avons utilisé la réflectance totale pour notre travail (Figure 20).

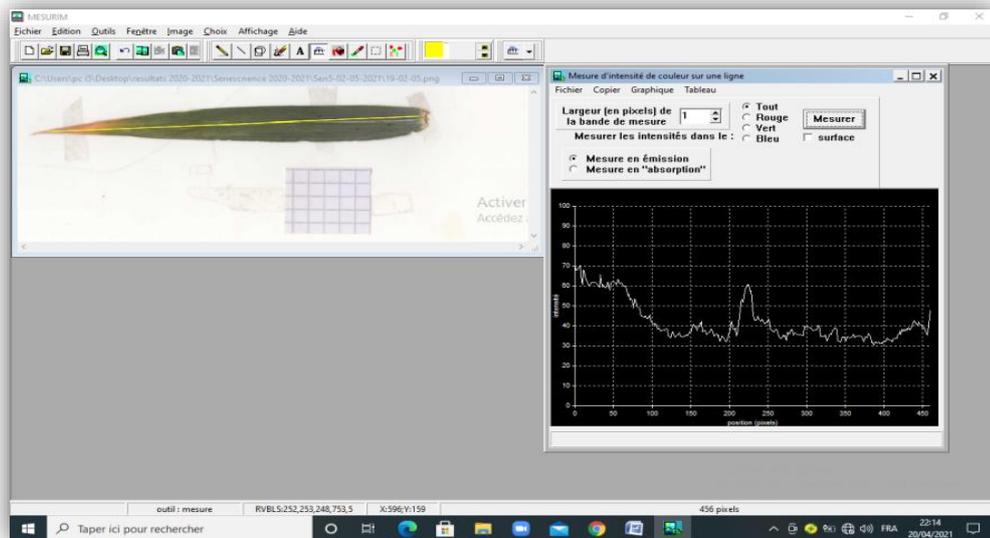


Figure 20. Calcul de la réflectance foliaire par l'utilisation du logiciel **Mesurim Pro 2.8**

2.4.2. Estimation des paramètres physiologiques

2.4.2.1. La teneur en chlorophylle CH

Le contenu en chlorophylle (**CH**) de la feuille étandard a été mesuré à l'aide d'un compteur numérique de chlorophylle (**CHLOROPHYLLE – METRE CCM 200 plus**) (Figure 21) avec des unités (cci) , cet appareil permet de mesurer l'absorbance de la lumière dans la feuille.



Figure 21. Mesure de la teneur en chlorophylle à l'aide d'un **CHLOROPHYLLE-METRE CCM 200 plus**

2.4.2.2. La teneur relative en eau TRE (%)

La mesure de la teneur relative en eau (**TRE %**) a été réalisée au stade épiaison sur un échantillon de cinq feuilles échantillonnées pour déterminer l'état hydrique des plantes la méthode de *Barrs et Weartherly* (1962) utilisé par *Fellahi* (2013). Les feuilles sont coupées au niveau de la base du limbe et directement pesées pour avoir le poids de la matière fraîche (**PF**). Elles sont ensuite placées dans un tube à essai contenant 10 ml d'eau distillée, à l'abri de la lumière dans un réfrigérateur à 4°C et pendant 24 heures. Les feuilles sont à nouveau pesées, après avoir pris soin de l'essuyer de l'excès d'eau avec du papier buvard, pour obtenir le poids turgide (**PT**). L'échantillon est enfin mis à sécher dans une étuve, à 80°C pendant 24 heures afin de déterminer le poids sec (**PS**). Les valeurs de la teneur relative en eau sont calculées à partir de la formule :

$$\mathbf{TRE\ (\%)\ =\ 100\ x\ (PF-PS)\ /\ (PT-PS)}$$

2.4.2.3. La température du couvert végétal TC (°C)

La température de la canopée (**TC**) a été prise dans une journée complètement ensoleillée tous les génotypes étudiés et dans toutes les parcelles à l'aide d'un thermomètre infrarouge AG-42, Teletemp Crop, Fullerton, CA utilisé par Oulmi *et al.*, (2020) à 1 m près du couvert végétal et avec un angle de 30° par rapport à l'horizontale.

2.4.2.4. La vitesse de perte d'eau LWL

Pour estimer de la vitesse de perte d'eau (**LWL**, **mg.cm⁻².mn⁻¹**), 5 feuilles étendards de chaque cultivar ont été récolté, pesées directement pour déterminer le poids frais (**PF1**). Après estimation de leurs surface foliaire moyenne (**SF**) par la méthode de Spagnoletti Zeuli *et Qualset* (1990) ($SF = 0,606 \times \text{Longuer de la feuille} \times \text{sa meuilleur largeur}$), ces mêmes feuilles seront directement exposées sous un soleil de midi pendant 30 mn, pesées une seconde fois pour déterminer leurs deuxième poids frais après séchage (**PF2**).

La vitesse de perte d'eau (**LWL**) peut être calculée par la formule suivante utilisée par Oulmi *et al.* (2016) :

$$\text{LWL (mg.cm}^{-2}\text{.min}^{-1}\text{)} = (\text{PF1} - \text{PF2}) / (30 * \text{SF})$$

2.4.2.5. L'intégrité cellulaire (IC)

Le test de l'intégrité cellulaire est effectué sur les deux dernières feuilles entièrement développées, prises au hasard par génotype et traitement. Ces échantillons sont lavés à l'eau courante. Les feuilles sont découpées en segments de 1 cm de long. Un échantillon de 10 segments du limbe foliaire est mis dans un tube à essai et lavé trois fois avec de l'eau distillée pour enlever les poussières adhérentes qui influent sur les résultats du test. A Chaque tube on ajoute 10 ml d'eau distillée déminéralisée. Les tubes, ainsi traités, sont périodiquement agités manuellement et laissés à la température ambiante du laboratoire. Une première lecture est faite (**EC1**) avec le conductimètre 24 heures après. Les tubes sont ensuite mis au bain marie, dont la température est portée à 100°C, pendant 60 minutes. Une deuxième lecture de la conductivité est faite 24 heures après le passage des échantillons dans le bain marie (**EC2**). Le pourcentage de cellules endommagées selon la procédure décrite par Bajji *et al.* (2001), comme suit :

$$\text{IC \%} = 100 (\text{EC1} / \text{EC2})$$

2.4.3. Estimation des paramètres phéno - morphologiques

2.4.3.1. Le nombre de jours avant épiaison (NJE)

Calculé à partir du jour de semi jusqu'à 50% d'épiaison et qui représente un dégagement de la moitié de l'épi de sa gaine derrière la feuille.

2.4.3.2. Le taux de recouvrement végétal RV %

A l'aide de l'application **Canopeo** (Figure 22) utilisé par Patrignani et Ochsner (2015), la photo prise à l'aide d'un support pour prendre uniformément la même hauteur. Canopeo est un outil d'analyse d'image à seuil de couleur automatique (ACT) développé avec le langage de programmation Matlab, utilisant les valeurs de couleur dans le système rouge, vert et bleu (RVB). Canopeo analyse et classe tous les pixels de l'image. Le résultat de l'analyse est une image binaire, où les pixels blancs correspondent aux pixels qui répondent aux critères de sélection (canopée verte), et les pixels noirs correspondent aux pixels qui ne répondent pas aux critères de sélection (canopée non verte).

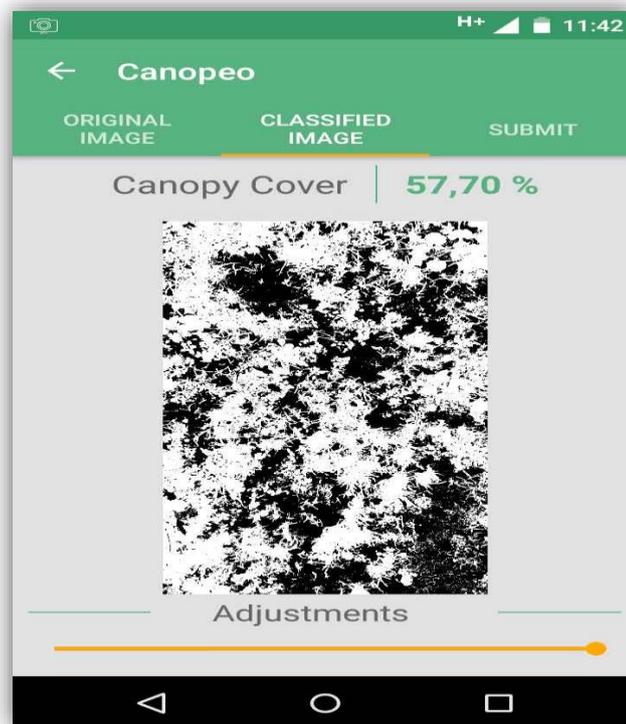


Figure 22. Estimation du taux de recouvrement végétal par l'utilisation de l'application **Canopeo** (Patrignani *et* Ochsner, 2015)

2.4.3.3. *La surface foliaire (SF)*

La surface foliaire moyenne est estimée par la formule proposée par Spagnoletti Zeuli *et* Qualset (1990) :

$$\mathbf{SF\ (cm^2) = 0,606\ (L\ x\ I)}$$

L : longueur moyenne de la feuille étendard exprimée en cm

I : largeur moyenne de la feuille étendard exprimée en cm

0,606 : est le coefficient de régression de la surface estimée à travers une feuille millimétrée.

2.4.3.4. *Le poids Spécifique Foliaire (PSF)*

Le poids spécifique foliaire désigne le poids de correspond a 1cm de matière sèche de la feuille étendard. Pour estimer (**PSF**), 5 feuilles étendard se sont récolté de chaque cultivar, estimer leurs surfaces foliaires moyenne (**SF**) et sécher a 80°C pendant 24h pour déterminer leurs poids sec moyen (**PS**).

Le poids spécifique foliaire peut être calculé a partir de la formule utilisé par Fellah (2008) :

$$\mathbf{PSF\ (mg.cm^{-2}) = PS\ (mg) / SF\ (cm^2)}$$

2.4.3.5. *La hauteur de la plante HP*

La hauteur de la plante est mesurée au stade maturité. Elle est prise en cm du sol jusqu'à la pointe de l'épi (barbes incluses).

2.4.4. Estimation des paramètres agronomiques

2.4.4.1. *Le rendement en grains RDT*

Les performances de rendement céréalière des différents cultivars ont été mesurées à maturité en quintaux par hectare (q.ha⁻¹) en mesurant le rendement grain sur un mètre linéaire et en le convertissant en quintaux par hectare.

1.4.4.2. *Le Poids de mille grains PMG*

1.4.4.3. *Le Nombre d'épis par mètre carré NEm⁻²*

1.4.2.9. *La biomasse aérienne BIO*

1.4.2.10. *L'indice de la récolte IR*

L'indice de récolte est estimé au stade maturité par le rapport du rendement en grains sur la biomasse aérienne Oulmi *et al.*, (2020).

$$\text{IR}\% = \text{RDT} / \text{BIO} \times 100$$

2.5. ANALYSE DES DONNEES

Les données ont été analysées à l'aide du logiciel CoStat Statistical Software 6.4. L'analyse de la variance (ANOVA) a été effectuée, selon le dispositif expérimental, pour tous les paramètres : Sénescences, Réflectance totale, paramètres physiologiques, pheno-morphologiques et agronomiques. Pour la comparaison des moyennes, nous avons utilisé le test LSD de Fisher à un niveau de significativité égal à 5%.

Le coefficient de corrélation linéaire de Pearson (r) est un indice reflétant la relation linéaire entre deux variables continues, ce coefficient varie entre -1 et 1.

L'utilisation des tests de corrélations donnerait une idée sur les caractères susceptibles d'être utilisés comme critères de sélection.

3. RÉSULTATS & DISCUSSION

3.1. FONCTION DE LA SENESCENCE

La figure 23 montre l'évolution de la sénescence de la feuille drapeau chez la lignée avancée G1 (prise comme exemple) durant la première saison 2020-2021 au cours de 09 dates d'observation.

Durant les deux saisons d'étude (2020-2021/2022-2023), le cours temporel sigmoïdal de la sénescence suivait conformément les résultats des travaux Lutts *et al.*, (1996), Guendouz *et al.*, (2012a) et Guendouz *et al.*, (2013c). Les paramètres de cette courbe $\Sigma 50s$, Sa% et Vsa présentent une variabilité génotypique comme la montre les courbes de la progression de la sénescence en fonction du cumul des températures durant les deux saisons d'étude 2020-2021 et 2022-2023 (figure 24 ;25), les sommes des températures correspondant à S= 50 % (sénescence moyenne) $\Sigma T50s$ différaient nettement entre les génotypes durant les mêmes saisons.

Pendant la saison de 2020-2021, les lignées avancées G1, G2 avaient les plus grandes vitesses de sénescence par rapport aux G10 et le croisement local de Boutaleb qui avaient une sénescence plus lente, la saison 2022-2023 a enregistré une sénescence très lente pour la lignée avancée G1 par rapport aux deux lignées G8 et G9 qui étaient les premiers à arrivées en fin de cycle. Les croisements locaux notamment Boutaleb avaient quand même une sénescence plus ou moins lente.



Figure 23. Exemple de l'évolution de la sénescence de la feuille étendard (Lignée avancée G1, saison de culture 2020-21)

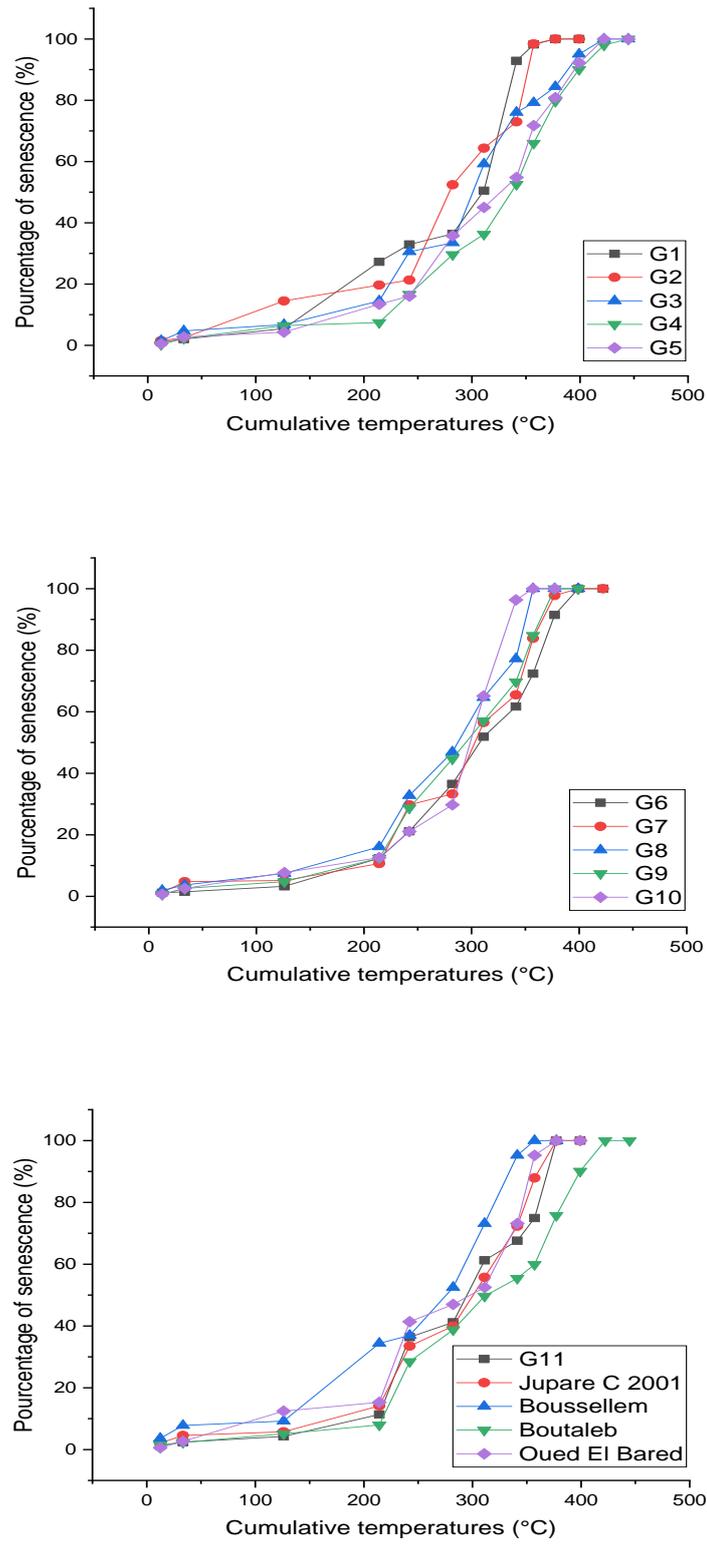


Figure 24. Fonction de la sénescence foliaire $S=f(\sum TCs)$ chez les 15 cultivars étudiés (2020-21)

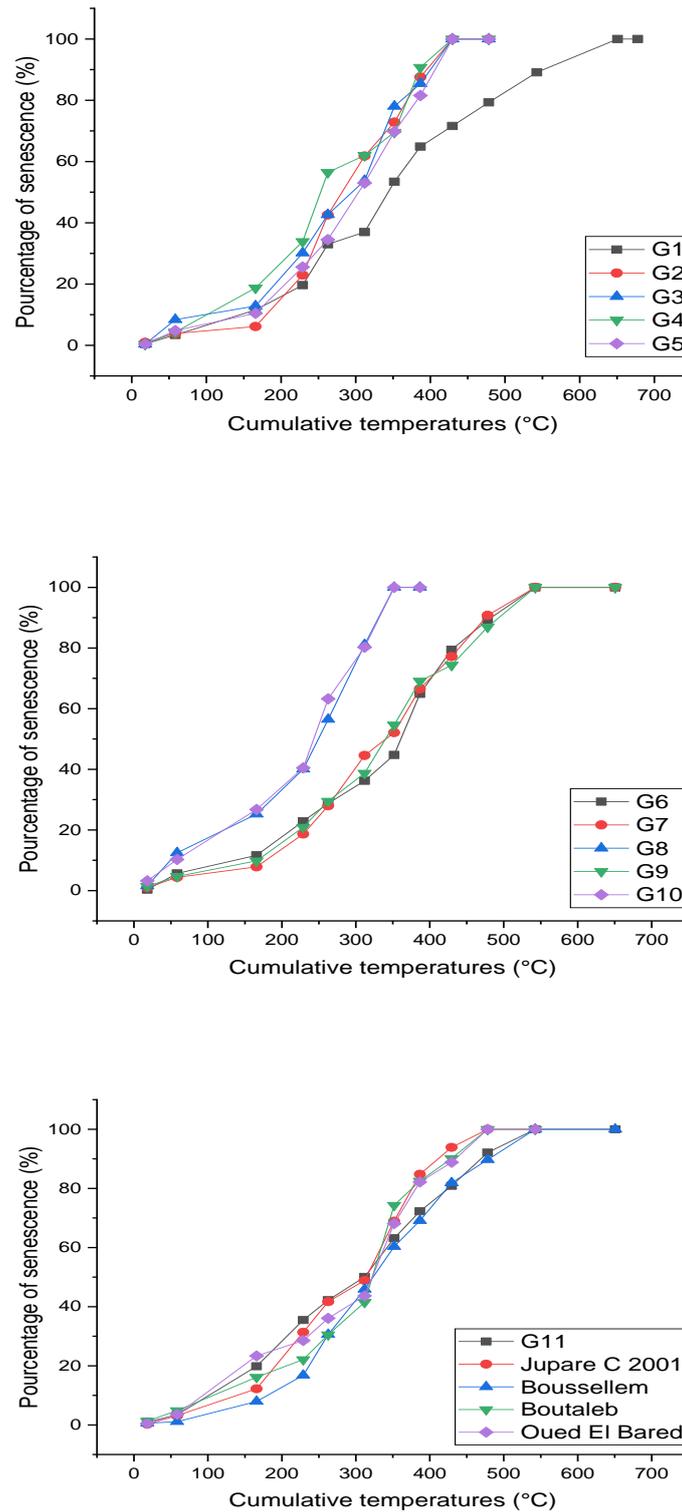


Figure 25. Fonction de la sénescence foliaire $S = f(\sum TCs)$ chez les 15 cultivars étudiés (2022-23)

3.2. ANALYSE DE LA VARIANCE (ANOVA)

Nous avons étudié le comportement des 15 cultivars vis-à-vis des paramètres de la sénescence de la feuille étandard ainsi que sa réflectance totale en plein épiaison. Dans ce sens, nous avons effectué une analyse de la variance (ANOVA) à double facteur (Génotype – Environnement) avec une différence significative minimale (LSD) calculé a un niveau de 5% ($p < 0.005$).

3.2.1. Paramètres de la sénescence et l'indice de la réflectance totale

L'analyse de la variance des paramètres de la sénescence et de la réflectance totale de la feuille étandard a montré que l'effet génotype était très hautement significatif ($P < 0,001$) pour tout les paramètres étudiés (Tableau 9).

L'analyse de la variance a double facteur à montrer aussi que l'effet saison ainsi que l'interaction (Génotype x Saison) étaient très hautement significatif ($p < 0,001$) (Tableau 9) cela veut dire que les résultats de la sénescence / réflectance totale ont été affecté par les changements des conditions climatiques entre les deux saisons de cultures et que la saison de culture de 2020-2020 a permis une meilleur expression des ces paramètres par rapport a l'année 2022-2023 connue par une sécheresse extrême surtout durant la période végétative.

3.2.1.1. La moyenne de la sénescence (Sa)

variait de 29,68 % pour la lignée avancée G4 à 44,76 % pour la lignée avancée G2 avec une moyenne génotypique de 38,76 % pendant la saison 2020-2021 et de 42,21 % pour la lignée G5 a 50,94 % pour la lignée G11 enregistrant une moyenne génotypique de 46,09 % soit une augmentation de 15,90 % par rapport a la saison de 2020-2021.

3.2.1.2. La vitesse moyenne de sénescence (Vsa)

La vitesse moyenne de sénescence (V_{sa}) a pris les valeurs de 0,319 %/°C pour la lignée avancée G3 à 0,429 %/°C pour la variété de Boussellem avec une moyenne génotypique de 0,379 %/°C durant 2020-2021, en 2022-2023 ces valeurs variait entre 0,199 %/°C pour G1 a 0,386 %/°C pour G10 avec une moyenne de 0,271 %/°C équivalent a une régression de 28,49 % par rapport a la saison 2020-2021.

3.2.1.3. La vitesse maximale de sénescence (V_{max})

Allait de 0,792 %/°C pour le croisement local de Boutaleb à 1,593 %/°C pour la lignée G2 enregistrant une moyenne de 1,139 %/°C durant la première saison alors qu'en 2021-2023 ces valeurs allaient de 0,407 à 0,819 %/°C pour les deux variétés de Boussellem et Boutaleb respectivement avec 0,543 %/°C comme moyenne génotypique soit une régression de plus de 50% par rapport à la saison de 2020-2021.

3.2.1.4. Le cumule des températures à la mi-sénescence ($\sum T_{50s}$)

Variait de 276,44°C pour Boussellem à 337,13°C pour G4 avec une moyenne génotypique de 302,25°C pendant la saison de 2020-2021, durant la saison 2022-2023, ces valeurs variaient de 243,5 °C pour G10 à 361,54 pour G6 avec une moyenne de 313,96 °C ce qui montre une faible régression de cet indicateur par rapport à la saison de 2020-2021.

La croissance et le développement de la plante dépend profondément des conditions écologiques, les changements dans ces conditions influent considérablement sur la croissance des plantes et le temps d'affection par la sénescence. La plante répond à ces changements par un ensemble de régulations métaboliques rapides dite acclimatation.

La sécheresse et les hautes températures sont considérées comme les plus importants facteurs externes qui peuvent accélérer la sénescence foliaire (Wolfe *et al.*, 1988 ; Guo *et al.*, 1998), Chez le blé par exemple, les hautes températures enregistrées après l'épiaison excite l'activité enzymatique de l'enzyme Protéase et baisse l'activité de l'enzyme Rubisco (Al Katib *et Paulsen*, 1985).

La photosynthèse résultante de la progression de la sénescence avec la fin de la période du remplissage de grains est un facteur très important qui détermine le remplissage des grains (Pajević *et al.*, 1999). La sélection pour une faible sénescence pourrait améliorer la performance du cultivar dans des conditions de stress (Lopes *et al.*, 2012; Borrell *et al.*, 2014), Bendada (2021) disait que les génotypes les plus rentables sont ceux qui ont de faibles valeurs pour la sénescence moyenne et la vitesse de sénescence. Les génotypes qui avaient valeurs les plus faibles de somme des températures à mi-sénescence étaient les génotypes les plus tolérants et les plus adaptés (Hafsi *et Guendouz*, 2020).

La diversité du rendement est une conséquence de la variation de la durée plutôt que de la variation du taux de l'activité photosynthétique, le retard de la sénescence est un bon paramètre de sélection des céréales qu'il faut suivre (Hafsi *et* Guendouz, 2020).

3.2.1.5. *La réflectance totale de la feuille étandard (Rt)*

En plein l'épiaison et pendant la saison de 2020-2021, Rt variait de 32,74 % pour G7 à 40,77 % pour G3 avec une moyenne génotypique de 36,37 %, en 2022-2023, ces valeurs variaient de 22,16 à 30,01 % pour les lignées avancées G3 et G4 respectivement enregistrant une moyenne variétale de 26,21 % ce qui est équivalent à une régression de réflectance totale de 25,93 % par rapport à la saison de 2020-2021.

Marutani *et al.* (2014), Çulha Erdal *et* Çakirlar (2014) ont illustré l'importance d'utilisation de la réflectance foliaire comme moyen de sélection des cultivars à haute résistance face quelques stress abiotiques notamment le stress le hydrique et thermique, les faibles valeurs de réflectance foliaire sont synonymes d'un bon rendement en grains (Ferrio *et al.*, 2005). La diminution de la réflectance foliaire augmente la capacité photosynthétique des feuilles en augmentant les radiations absorbées par les pigments chlorophylliens (Guendouz *et* Hafsi, 2016).

Tableau 9. Analyse de la variance des paramètres de la sénescence et l'indice de la réflectance total durant les deux saisons 2020-21 / 2022-23

Paramètres	Sa (%)		Vsa (%/°C)		Vmax (%/°C)		ΣT50s (°C)		Rt (%)	
	2020-2021	2021-2023	2020-2021	2022-2023	2020-2021	2022-2023	2020-2021	2022-2023	2020-2021	2022-2023
G1	44,66 (b)	46,93 (d)	00,327 (m)	00,199 (l)	01,412 (b)	00,423 (e)	310,37 (c)	344,05 (c)	36,87 (c)	27,52 (cd)
G2	44,76 (a)	44,29 (i)	00,382 (h)	00,294 (d)	01,593 (a)	00,581 (c)	278,97 (i)	281,17 (k)	38,73 (b)	23,93 (fg)
G3	39,03 (g)	45,72 (f)	00,319 (n)	00,292 (e)	00,887 (i)	00,604 (c)	301,72 (ef)	294,29 (g)	40,77 (a)	22,16 (h)
G4	29,68 (l)	48,44 (b)	00,335 (l)	00,312 (c)	00,837 (j)	00,667 (b)	337,73 (a)	253,46 (l)	36,84 (c)	30,01 (a)
G5	32,52 (k)	42,21 (k)	00,348 (k)	00,289 (f)	01,059 (f)	00,430 (e)	327,69 (b)	304 (i)	36,45 (cd)	25,13 (ef)
G6	35,32 (j)	43,97 (j)	00,370 (i)	00,228 (j)	00,954 (gh)	00,580 (c)	307,4 (d)	361,54 (a)	35,63 (def)	26,26 (de)
G7	38,83 (h)	44,63 (h)	00,405 (f)	00,222 (k)	01,149 (e)	00,416 (e)	302,72 (e)	343,02 (cd)	32,74 (g)	26,60 (de)
G8	38,95 (g)	45,25 (g)	00,403 (g)	00,380 (b)	01,425 (b)	00,500 (d)	288,47 (h)	350,38 (b)	35,98 (cde)	28,94 (abc)
G9	40,53 (e)	44,54 (hi)	00,415 (e)	00,222 (k)	00,941 (h)	00,424 (e)	295,14 (g)	339,46 (d)	36,17 (cde)	22,96 (gh)
G10	37,31 (i)	46,31 (e)	00,357 (j)	00,386 (a)	01,041 (f)	00,674 (b)	299,81 (f)	243,5 (m)	34,93 (f)	29,53 (ab)
G11	40,06 (f)	50,94 (a)	00,420 (c)	00,222 (k)	01,254 (d)	00,507 (d)	295,14 (g)	309,37 (h)	35,71 (def)	27,91 (bcd)
Jupare C 2001	41,59 (d)	48,51 (b)	00,417 (d)	00,261 (i)	00,975 (g)	00,500 (d)	299,81 (f)	315,20 (j)	35,61 (def)	23,33 (gh)
Boussellem	41,65 (d)	45,80 (b)	00,429 (a)	00,227 (j)	01,380 (c)	00,407 (e)	276,44 (j)	325,97 (e)	35,25 (ef)	25,28 (ef)
Boutaleb	32,49 (k)	46,33 (e)	00,347 (k)	00,263 (h)	00,792 (k)	00,819 (a)	311,91 (c)	320,86 (f)	35,85 (def)	25,03 (d)
Oued El Bared	44,02 (c)	47,47 (c)	00,422 (b)	00,270 (g)	01,380 (c)	00,609 (c)	300,42 (f)	323,23 (ef)	37,98 (b)	26,63 (de)
Génotype										
Moyenne G	38,76	46,09	00,379	00,271	01,139	00,543	302,25	313,96	36,37	26,21
Min	29,68	42,21	00,319	00,199	00,792	00,407	276,44	243,5	32,74	22,16
Max	44,76	50,94	00,429	00,386	01,593	00,819	337,73	361,54	40,77	30,01
LSD _(5%)	00,093	00,269	00,002	00,002	00,024	00,035	02,18	03,88	00,92	01,67
Génotype x Environnement										
E. Genotype (G)	***		***		***		***		***	
E. Saison (S)	***		***		***		***		***	
(G) x (S)	***		***		***		***		***	
% de difference	15,90 ↑		28,49 ↓		52,32 ↓		03,72 ↑		27,93 ↓	

*** : significatif a 0,001

3.2.2. Paramètres physiologiques

L'analyse de la variance des paramètres physiologiques a montré que l'effet génotype était significatif à très hautement significatif ($P < 0,05-0,001$) pour la quasi-totalité des paramètres physiologiques étudiés durant les 02 saisons d'étude (Tableau 10).

L'analyse de la variance à double facteur a montré aussi que l'effet saison était très hautement significatif ($p < 0,001$) pour la totalité des paramètres physiologiques étudiés par contre l'interaction (Génotype x Saison) n'était significatif que pour la teneur en chlorophylle (CH, $p < 0,01$) et pour la température du couvert végétal (TC, $p < 0,05$) (Tableau 10), des résultats qui signifient l'influence des changements d'environnements sur le comportement physiologique des cultivars étudiés.

3.2.2.1. La teneur en chlorophylle (CH)

Durant la saison 2020-2021, (CH) variait de 26,65 cci pour Oued El Bared à 40,81 cci pour G4 avec une moyenne génotypique de 33,05 cci. Ces mêmes valeurs et durant la saison de 2022-2023 varient de 32,7 à 42,43 cci pour les lignées G2 et G6 respectivement avec 37,89 cci comme moyenne variétale soit une augmentation de 12,77 % par rapport à la saison de 2020-2021.

Ghosh *et al.* (2004) indique que la teneur en chlorophylle est un élément très important dans la détermination de la capacité photosynthétique et de la productivité de la matière sèche. Les génotypes qui maintiennent des teneurs élevées en chlorophylle sont plus tolérants par rapport que ceux qui diminuent fortement leurs teneurs en chlorophylle sous stress abiotique Richards *et al.*, (2002).

Bendada (2021) stipulait que plusieurs recherches ont également montré que la production de composés phénoliques était stimulée sous conditions de déficit hydrique, réduisant ainsi la synthèse de la chlorophylle de types «a» et «b» et abaissant la teneur en chlorophylle dans la feuille ; ce qui engendrerait une réduction de l'activité photosynthétique et par conséquent le rendement en grains.

La chlorophylle a tendance à décliner plus rapidement que les caroténoïdes lorsque les plantes sont stressées ou lors de la sénescence des feuilles (Gitelson *et Merzlyak*, 1994).

3.2.2.2. La teneur relative en eau (TRE)

Elle prenait les valeurs de 60,76 % pour le croisement locale Boutaleb a 73,66% pour le génotype introduit Jupare C2001 avec une moyenne génotypique de 69,52% , cela pendant la saison de 2020-2021, pendant la saison de 2022-2023, ces valeurs allaient de 67,34 a 86,08 % pour Jupare C2001 et G1 respectivement avec une moyenne génotypique de 75,66 % ce qui montre une augmentation dans les teneurs en eau d'a peu près de 10 % par rapport a la saison de 2020-2021.

Les variations des caractéristiques hydriques (potentiel hydrique foliaire et teneur relative en eau) des plantes indiquent leur statut hydrique mais aussi leur capacité à incorporer de l'eau, notamment en situation de stress hydrique (Radhouane, 2008)

La régression de la teneur en chlorophylle en conditions de stress hydriques a été évoquée par de nombreux auteurs sur plusieurs plantes, telles *Vigna unguiculata* et *Phaseolus vulgaris* (Cruz de Carvalho *et al.*, 1998) et le blé dur (Bajji *et al.*, 2000) , ces derniers ont suggérés que ce phénomène est lié a une régression du potentiel osmotique.

Sassi *et al.* (2012) estiment que Les génotypes qui arrivent a maintenir une teneur relative en eau a un niveau élevée lors d'un stress hydrique seront probablement les génotypes les plus tolérants et les plus productifs en matière de rendement en grains.

3.2.2.3. La température du couvert végétal (TC)

En 2020-2021, TC variait de 26,2°C pour Oued El Bared à 27,8°C pour la lignée avancée G4 avec 27,19 °C en moyenne pour tous les génotypes étudiés. Durant la deuxième saison, les valeurs de la température du couvert végétal allaient de 26,73 à 29,33 °C pour les deux lignées avancées de G6 et G4 respectivement enregistrant une moyenne génotypique de 27,91 a peu près équitable avec celle de la saison de 2020-2021.

La mesure de la température du couvert végétal représente l'un des premiers indices spectraux IRT permettant l'évaluation de l'état hydrique d'une plante (Berlnier *et al.*, 1984 ; Moran *et al.*, 2000). Cependant, faute de valeurs de référence, cet indice est fortement influencé par les conditions du milieu (Humidité, température ambiante, vent, etc.), son utilisation pour la détection du stress hydrique ou bien pour un pilotage d'irrigation est problématique (Zitouni, 2006).

3.2.2.4. *La vitesse de la perte d'eau (LWL)*

Durant la première saison, ces valeurs allaient de 0,026 mg.cm⁻².mn⁻¹ pour la lignée avancée G8 à 0,061 mg.cm⁻².mn⁻¹ pour la lignée avancée G10 avec 0,034 mg.cm⁻².mn⁻¹ en moyenne pour tous les cultivars. En deuxième saison, ces valeurs allaient de 0,041 à 0,146 mg.cm⁻².mn⁻¹ pour G2 et G6 respectivement avec 0,068 mg.cm⁻².mn⁻¹ en moyenne pour tous les cultivars étudiés soit une progression de 50 % dans la vitesse de la perte d'eau par rapport à la saison de 2020-2021 cela peut être due aux conditions extrêmes de sécheresse durant cette saison.

La sélection basée sur des pertes d'eau des feuilles sera traduite théoriquement par des gains en matière de rendement en grains, cela peut donner une possibilité d'amélioration de ce caractère LWL. Cependant cette possibilité est faible, à l'intérieur du matériel génétique produit par croisement, pour la teneur relative en eau et la surface foliaire. (Hamli *et al.*, 2015).

3.2.2.5. *L'intégrité cellulaire (IC)*

prenait les valeurs de 35,67 % pour la lignée avancée G11 à 76,72 % pour la lignée avancée G3 avec une moyenne génotypique de 60,22 % cela pour la première saison de 2020-2021, pendant la deuxième saison de 2022-2023 ces valeurs allaient de 65,52 à 85,65 % pour les deux lignées avancées de G10 et G11 enregistrant une moyenne génotypique de 78,49 % ce qui montre une augmentation de la sensibilité à la sécheresse d'à peu près de 25% ce qui normal vue les conditions extrêmes de sécheresse connues dans cette saison de 2022-2023.

Une tolérance à la sécheresse est souvent reconnue comme un maintien des plantes à l'intégrité de ces membranes tissulaires. Cornaire *et al.* (1995) et Lefebvre *et al.* (2009) expliquent que parmi les mécanismes qui peuvent intervenir dans ce maintien c'est la résistance protoplasmique qui dépend de la capacité cellulaire à résister à des dommages mécaniques et à la dénaturation des protéines membranaire ou cytoplasmique. Il existe une forte corrélation entre le pourcentage de dégâts cellulaires causés par le choc thermique et la réduction de la productivité des génotypes (Reynolds *et al.*, 1994).

Tableau 10. Analyse de la variance des paramètres physiologiques durant les deux saisons 2020-21 / 2022-23.

Paramètres	CH (cci)		TRE (%)		TC (°C)		LWL (mg.cm ⁻² .mn ⁻¹)		IC (%)	
	2020-2021	2021-2023	2020-2021	2022-2023	2020-2021	2022-2023	2020-2021	2022-2023	2020-2021	2022-2023
G1	29,00 (de)	40,13 (abc)	70,76 (a)	86,08 (a)	26,80 (cd)	27,36 (cde)	0,031 (b)	0,049 (c)	68,85 (abcd)	72,20 (abc)
G2	30,18 (de)	32,7 (d)	68,09 (a)	76,59 (abc)	27,47 (abc)	27,6 (bcde)	0,028 (b)	0,041 (c)	53,33 (def)	79,02 (abc)
G3	30,21 (de)	35,53 (bcd)	73,11 (a)	84,43 (ab)	27,60 (abc)	28,53 (abc)	0,038 (ab)	0,046 (c)	76,72 (a)	83,51 (ab)
G4	40,81 (a)	41,16 (ab)	68,64 (a)	77,54 (abc)	27,80 (a)	29,33 (a)	0,032 (ab)	0,060 (bc)	58,47 (bcde)	81,81 (abc)
G5	29,71 (de)	37,03 (bcd)	68,70 (a)	68,93 (c)	27,07 (abc)	26,9 (de)	0,036 (ab)	0,042 (c)	74,67 (ab)	85,38 (ab)
G6	31,40 (cde)	44,43 (a)	69,66 (a)	74,23 (abc)	26,93 (bcd)	27,46 (cde)	0,033 (ab)	0,069 (abc)	49,37 (ef)	72,23 (abc)
G7	37,73 (ab)	39,56 (abc)	69,32 (a)	83,30 (ab)	27,67 (ab)	26,73 (e)	0,028 (b)	0,146 (a)	54,80 (cde)	84,49 (ab)
G8	32,15 (cde)	36,73 (bcd)	68,26 (a)	79,52 (abc)	27,47 (abc)	28 (abcde)	0,026 (b)	0,050 (c)	58,27 (bcde)	86,00 (ab)
G9	36,12 (abc)	35,7 (bcd)	71,12 (a)	74,59 (abc)	27,13 (abc)	27,63 (bcde)	0,033 (ab)	0,061 (bc)	55,05 (cde)	75,28 (abc)
G10	33,83 (bcd)	34,86 (cd)	71,23 (a)	76,98 (abc)	27,60 (abc)	27,5 (bcde)	0,061 (a)	0,066 (bc)	69,78 (abcd)	87,65 (a)
G11	35,90 (abc)	41,26 (ab)	69,99 (a)	72,15 (bc)	27,00 (abcd)	28,16 (abcd)	0,028 (b)	0,080 (abc)	35,65 (f)	65,52 (c)
Jupare C 2001	38,16 (ab)	40,03 (abc)	73,66 (a)	67,34 (c)	26,93 (bcd)	28,26 (abcd)	0,026 (b)	0,131 (ab)	55,47 (cde)	78,94 (abc)
Boussellem	34,16 (bcd)	34,76 (cd)	70,24 (a)	69,87 (c)	27,27 (abc)	28,13 (abcd)	0,051 (ab)	0,056 (bc)	60,60 (abcde)	82,28 (abc)
Boutaleb	29,66 (de)	35,11 (cd)	60,76 (b)	69,85 (c)	26,87 (bcd)	28,26 (abcd)	0,031 (b)	0,078 (abc)	72,19 (abc)	69,99 (bc)
Oued El Bared	26,65 (e)	39,36 (abc)	69,23 (a)	73,45 (abc)	26,20 (d)	28,86 (ab)	0,030 (b)	0,054 (bc)	60,00 (abcde)	73,02 (abc)
Génotype										
Moyenne G	33,05	37,89	69,52	75,66	27,19	27,91	0,034	0,068	60,22	78,49
Min	26,65	32,7	60,76	67,34	26,20	26,73	0,026	0,041	35,65	65,52
Max	40,81	44,43	73,66	86,08	27,80	29,33	0,061	0,146	76,72	87,65
LSD (5%)	05,53	06,05	05,69	12,63	00,85	01,40	0,029	0,078	17,99	16,96
Génotype x Environnement										
E. Genotype (G)	***		*		*		ns		**	
E. Saison (S)	***		***		***		***		***	
(G) x (S)	**		ns		*		ns		ns	
% de difference	12,77 ↑		08,11 ↑		02,57 ↑		50 ↑		23,27 ↑	

ns : non significatif ; * : significatif a 0,05 ; ** : significatif a 0.01 ;*** : significatif a 0.001.

3.2.3. Paramètre phéno-morphologiques

L'analyse de la variance des paramètres phéno-morphologiques a montré que l'effet géotype était significatif à très hautement significatif ($P < 0,05-0,001$) pour tous les paramètres étudiés durant les 02 saisons d'étude (Tableau 11).

L'analyse de la variance à double facteur a montré aussi que l'effet saison était très hautement significatif ($p < 0,001$) pour la totalité des paramètres et que l'interaction (Géotype x Saison) n'a été significative que pour le nombre de jours avant épiaison, la hauteur de la plante (NJE ; HP, $p < 0,001$) et le poids spécifique foliaire (PSF, $p < 0,05$) (Tableau 11).

3.2.3.1. Le nombre de jours avant épiaison (NJE)

Durant la première saison, NJE variait de 136 jours pour les lignées avancées G1, G2, G8, G10 et Jupare C 2001 à 147 pour le croisement local de Boutaleb avec 140,6 comme moyenne génotypique. Ces valeurs et durant la deuxième saison variaient de 159,33 jours pour les variétés G2, G4, G8, G10, Jupare C 2001 et Boutaleb à 163,66 jours pour la lignée avancée G4 enregistrant une moyenne variétale de 160,77 jours soit une progression de plus de 10 % vers la tardivité par rapport à la saison de 2020-2021.

Bouzerzour *et al.* (2002) indique que le choix du cycle de végétation est très important afin que la plante se bénéficie d'une bonne utilisation des disponibilités du milieu suivant les conditions climatiques qui règnent dans l'environnement de production.

La précocité apparaît comme un caractère dont il faut tenir compte dans la recherche d'une plus grande stabilité de la production dans la mesure où elle conditionne la stabilité d'une des composantes du rendement (Bouzerzour *et al.*, 1998).

Bouzerzour *et* Benmahammad (1994) expliquaient que l'utilité d'une sélection basée sur la précocité au stade épiaison est justifiée aussi par le souci de donner à la plante un cycle de développement qui lui permet de dévier les contraintes climatiques telles que le froid tardif.

3.2.3.2. Le taux du recouvrement végétal (RV)

En première saison (2020-2021), RV en début d'épiaison variait de 27,63 % pour la lignée avancée G6 à 42,45 % pour la lignée avancée G5 avec une moyenne de 35,98 % pour tous les cultivars. Ces valeurs et durant la saison de 2022-2023 allaient de 3,96 à 14,29 % pour G9 et Boussellem respectivement avec 8,71 % comme moyenne

génotypique signifiant une régression du couvert végétal de plus de 75 % pour cette saison qui a connue une extrême sécheresse.

La couverture végétale joue un rôle très important dans la dynamique atmosphérique de la Terre, le bilan énergétique de la surface terrestre et le bilan hydrique du sol (Wittich *et* Hansing, 1995). Elle a été souvent mesurée à l'aide de méthodes subjectives (Richardson *et al.*, 2001 ; Robson *et al.*, 2013).

La projection d'images sur une grille ou la transparence pour la classification ponctuelle a permis de réduire la subjectivité, mais ces méthodes ne sont pas efficaces lors de l'analyse de grands ensembles d'images (Corak *et al.*, 1993 ; Ribeiro *et al.*, 2011).

3.2.3.3. La surface foliaire (SF)

La surface foliaire (SF) prenait les valeurs de 06,72 cm² pour la lignée G4 à 11,39 cm² pour la lignée G5 en enregistrant une moyenne génotypique de 08,61 cm² durant la saison de 2020-2021. pendant la deuxième saison, ces valeurs prenaient un intervalle de 6,54 à 8,09 cm² pour G7 et G10 respectivement avec une moyenne génotypique de 7,41 cm² qui signifie une régression de surface foliaire pour cette saison d'a peu près de 10 % cela en rapport avec la première saison.

La surface foliaire est un facteur très important pour l'évapotranspiration des plantes, l'une des premières réponses des plantes au déficit hydrique est la réduction de leurs surfaces foliaires (Lebon *et al.*, 2004).

Benmahammed *et al.* (2008) suggèrent que les quantités d'eau utilisées par la plante ainsi les quantités de carbone fixées par le biais de la photosynthèse sont déterminer par la surface foliaire. La réduction de la surface foliaire est la résultante d'un stress hydrique (Mouellef, 2010).

La diminution de la surface foliaire peut être bénéfique en matière de réduction de l'évapotranspiration et ainsi que la surface soumise aux radiations solaires (Cooper *et al.*, 1983 ; Benmahammed *et al.*, 2008 ; Belkherchouche *et al.*, 2009).

3.2.3.4. Le poids spécifique foliaire (PSF)

Pendant la saison de 2020-2021, PSF allait de 15,75 mg.cm⁻² pour Oued El Bared à 21,77 mg.cm⁻² pour la lignée avancée G5 enregistrant une moyenne génotypique de 18,48 mg.cm⁻². La deuxième saison, ces valeurs allaient de 8,56 à 10,39 mg.cm⁻² pour

Boussellem à G10 respectivement avec 9,44 mg.cm⁻² comme moyenne génotypique présentant une régression d'a peu près de 50 % du poids spécifique foliaire par rapport a 2020-2021.

L'augmentation du poids spécifique foliaire est un bon indice pour une capacité photosynthétique meilleure, un minimum de sensibilité à la photo-inhibition et une consistance de l'appareil photosynthétique (Araus *et al.*, 1998).

Dubey (1994) suggère que l'augmentation du poids spécifique foliaire chez les plantes stressées, est due un rétrécissement des cellules provoquant une diminution du volume intracellulaire ce qui le rend le suc cellulaire plus concentré.

3.2.3.5. La hauteur de la plante (HP)

PH variait de 56,11 cm pour la lignée avancée G4 à 67,38 cm pour G10 avec une moyenne de 62,76 cm durant la saison de 2020-2021. La deuxième saison de 2022-2023, les valeurs de la hauteur de la plante variaient de 34,55 cm pour les lignées avancées de G3 et G5 à 52,44 cm pour le croisement local de Boutaleb.

Bagga *et al.* (1970) révèle que dans les zones arides, la hauteur de la plante peut être un critère de sélection très important du fait que plus la paille est haute plus le système racinaire serais profond ce qui augmenterais la capacité d'extraction de l'eau supérieure chez la plante.

Dans les zones semi-arides, la hauteur de la végétation peut être un critère de sélection très important de part de la richesse des talles en glucides ce qui permet de satisfaire la demande en énergie chez les animaux d'élevage au détriment du rendement grain (Annicchiarico *et al.*, 2005 ; Bahlouli *et al.*, 2005).

Tableau 11. Analyse de la variance des paramètres pheno-morphologiques durant les deux saisons 2020-21 / 2022-23.

Paramètres	NJE (jours)		RV (%)		SF (cm ²)		PSF (mg.cm ⁻²)		HP	
	2020-2021	2021-2023	2020-2021	2022-2023	2020-2021	2022-2023	2020-2021	2022-2023	2020-2021	2022-2023
G1	136,00 (d)	160,66 (abc)	36,80 (abcd)	11,75 (ab)	09,48 (abc)	07,11 (abc)	16,61 (de)	09,83 (ab)	62,72 (cd)	45,88 (b)
G2	136,00 (d)	159,33 (c)	37,76 (abc)	05,81 (bc)	08,01 (cd)	07,59 (abc)	18,69 (bcd)	09,60 (abc)	61,50 (d)	40 (de)
G3	142,00 (c)	163,33 (a)	40,45 (abc)	08,43 (abc)	10,78 (ab)	07,33 (abc)	19,48 (abcd)	08,98 (bc)	61,88 (d)	34,55 (f)
G4	142,00 (c)	163,66 (a)	34,28 (bcd)	09,59 (abc)	06,72 (d)	07,36 (abc)	20,44 (abc)	09,68 (ab)	56,11 (e)	42,33 (bcd)
G5	142,00 (c)	162,33 (abc)	42,45 (a)	12,95 (ab)	11,39 (a)	07,94 (ab)	21,77 (a)	09,08 (bc)	61,27 (d)	34,55 (f)
G6	142,00 (c)	161,33 (abc)	27,63 (e)	09,62 (abc)	08,57 (cd)	06,96 (abc)	18,60 (bcde)	09,36 (abc)	61,27 (d)	41,33 (d)
G7	142,00 (c)	159,66 (c)	35,33 (bcd)	07,93 (abc)	07,53 (cd)	06,54 (c)	18,17 (bcde)	09,74 (ab)	57,66 (e)	36,55 (ef)
G8	136,00 (d)	159,33 (c)	27,67 (e)	04,03 (c)	07,67 (cd)	06,89 (bc)	17,66 (cde)	09,54 (abc)	61,16 (d)	39,66 (de)
G9	142,00 (c)	160 (bc)	30,50 (de)	03,96 (c)	08,51 (cd)	07,52 (abc)	17,29 (de)	09,41 (abc)	65,55 (abc)	44,11 (bc)
G10	136,00 (d)	159,33 (c)	38,14 (abc)	10,28 (abc)	09,29 (bc)	08,09 (a)	21,01 (ab)	10,39 (a)	67,38 (a)	38,66 (de)
G11	142,00 (c)	160 (c)	34,02 (cde)	06,83 (abc)	08,47 (cd)	07,90 (ab)	18,74 (bcd)	09,30 (bc)	67,22 (a)	44,11 (bc)
Jupare C 2001	136,00 (d)	159,33 (c)	40,57 (ab)	08,14 (abc)	07,54 (cd)	07,30 (abc)	18,13(bcde)	09,62 (abc)	63,61 (bcd)	38,83 (de)
Boussellem	142,00 (c)	161 (abc)	34,51 (bcd)	14,29 (a)	08,66 (cd)	07,97 (ab)	18,03 (cde)	08,56 (c)	63,94 (bcd)	42 (cd)
Boutaleb	147,00 (a)	159,33 (c)	41,95 (a)	06,84 (abc)	08,36 (cd)	08,02 (ab)	16,87 (de)	09,38 (abc)	66,16 (ab)	52,44 (a)
Oued El Bared	146,00 (b)	163 (ab)	37,64 (abc)	10,22 (abc)	08,29 (cd)	06,56 (c)	15,75 (e)	09,22 (bc)	63,88 (bcd)	39,88 (de)
Génotype										
Moyenne G	140,6	160,77	35,98	08,71	08,61	7,41	18,48	9,44	62,76	40,99
Min	136,00	159,33	27,63	03,96	06,72	6,54	15,75	8,56	56,11	34,55
Max	147,00	163,66	42,45	14,29	11,39	8,09	21,77	10,39	67,38	52,44
LSD (5%)	01,53	3,00	06,51	07,47	02,09	1,17	02,92	01,06	03,17	3,80
Génotype x Environnement										
E. Genotype (G)	***		**		**		*		***	
E. Saison (S)	***		***		***		***		***	
(G) x (S)	***		ns		ns		*		***	
% de difference	12,54 ↑		75,79 ↓		13,93 ↓		48,91 ↓		34,68 ↓	

ns : non significatif ; * : significatif a 0.05 ; ** : significatif a 0.01 ; *** : significatif a 0.001

3.2.3. Paramètres agronomiques

L'analyse de la variance des paramètres agronomiques a montré un effet génotypique significatif ($P < 0,05$) pour le rendement en grains (RDT), en l'occurrence, l'effet génotype c'est avéré très hautement significatif ($p < 0,001$) pour le poids de mille grains (PMG) et l'indice de la récolte (IR) cela durant les deux saisons de culture 2020-2021 et 2022-2023 (Tableau 12).

Dans le même tableau, l'analyse de la variance a double facteur à montrer aussi que l'effet saison était significatif a très hautement significatif ($p < 0,05$; $0,001$) pour la totalité des paramètres agronomiques mesurés tandis que l'interaction (Génotype x Saison) n'a été significatif que pour l'indice de la récolte ($p < 0,001$).

3.2.3.1. Le rendement en grains (RDT)

Durant la première saison, le rendement en grains variait de 2,87 Q .ha⁻¹ pour la lignée avancée G11 à 13,59 Q.ha⁻¹ pour le croisement local de Boutaleb avec une moyenne 6,34 Q.ha⁻¹ de rendement en grains pour tous les génotypes étudiés. En 2022-2023, les valeurs du rendement en grains passaient de 0,51 Q.ha⁻¹ pour la lignée avancée G11 à 6,42 Q.ha⁻¹ pour la lignée avancée G1 avec une moyenne de 2,40 Q.ha⁻¹ pour tous les cultivars. Le croisement local de Boutaleb qui était meilleur en première saison 2020-2021 reste toujours en tête en affichant le second meilleur rendement en deuxième saison 2022-2023 avec 4,76 Q.ha⁻¹ malgré les conditions d'extrême sécheresse qui ont marquée cette dernière saison et qui ont diminuer de plus de 60% le rendement en grains par rapport a la première saison ce qui a permis a Boutaleb d'être classer meilleur cultivar par rapport aux deus saisons de culture en matière de rendement en grains.

3.2.3.2. Le poids de mille grains (PMG)

Le poids de mille grains allait 30,10 g pour la lignée avancée G5 à 46,69 g pour la lignée avancée G9 enregistrant une moyenne de 39,40 g pour tous les génotypes étudiés pendant la première saison de culture 2020-2021, durant cette saison la variété locale Boutaleb le génotype le plus rentable en matière de rendement en grains a enregistré un poids de mille grains très élevée (44,96 g) par rapport a la moyenne. Durant la saison 2022-2023, les valeurs du PMG ont diminués de plus 20 % en allant de 23,47 pour la lignée avancée G9 à 36 g pour le croisement local Boutaleb enregistrant une moyenne de 30,33 g pour toutes les variétés.

3.2.3.3. Le nombre d'épis par mètre carré (NEm²)

Durant la première saison, Le nombre d'épis par mètre carré passait de 178,33 E.m² pour la lignée avancée G4 à 320 E.m² pour le génotype le plus rentable Boutaleb avec une moyenne génotypique de 255,77 E.m². Ce paramètre a diminuer de plus de 60 % durant la deuxième saison vue les mauvaises conditions qui ont marqués cette saison enregistrant des valeurs allant de 38,33 E.m² pour la lignée avancée G11 a 161,66 E.m² pour la lignée G8 avec une moyenne variétale de 90,11 E.m².

3.2.3.4. La biomasse aérienne (BIO)

Durant la saison de culture 2020-2021, La biomasse aérienne variait de 41,88 Q.ha⁻¹ pour la lignée avancée G8 à 58,92 Q.ha⁻¹ pour le génotype le plus rentable Boutaleb enregistrant une moyenne génotypique de 47,52 Q.ha⁻¹. Une régression de plus de 15 % a touché la biomasse aérienne durant la deuxième année d'étude (2022-2023) en enregistrant des variations non significatives de la biomasse allant de 33,33 Q.ha⁻¹ pour la lignée avancée G11 a 48,66 Q.ha⁻¹ pour la lignée avancée G4 avec une moyenne variétale de 40,1 Q.ha⁻¹.

3.2.3.5. L'indice de la récolte (IR)

Une régression de plus de 50 % de l'indice de la récolte a été enregistrée entre les deux années d'étude. Pendant la première année (2020-2021), IR variait 05,72 % pour la lignée avancée G11 à 22,71 % en faveur du croisement local de Boutaleb qui a donné la meilleure récolte durant cette année. Une moyenne variétale de l'indice de la récolte de 12,79 % a été signalée cette année. L'année 2022-2023 et avec des valeurs plus faibles, IR variait de 1,53 a 14,28 % pour les lignées avancées G11 et G1 successivement avec une moyenne de 5,61 % pour tout les cultivars.

Tableau 12. Analyse de la variance des paramètres agronomiques durant les deux saisons 2020-2021 / 2022-2023.

Paramètres	RDT (Q.ha ⁻¹)		PMG (g)		NEm ² (E.m ²)		BIO (Q.ha ⁻¹)		IR (%)	
	2020-2021	2021-2023	2020-2021	2022-2023	2020-2021	2022-2023	2020-2021	2022-2023	2020-2021	2022-2023
G1	07,00 (bc)	06,42 (a)	41,98 (bc)	33,07 (abc)	236,66 (bcde)	98,33 (abc)	44,00 (b)	43,66 (a)	14,78 (abcd)	14,28 (a)
G2	03,96 (bc)	02,28 (bc)	35,62 (ef)	28,36 (abc)	213,33 (de)	108,33 (abc)	43,45 (b)	42,66 (a)	08,55 (bcd)	04,98 (c)
G3	07,05 (bc)	01,08 (bc)	40,83 (bcd)	33,39 (ab)	220,00 (cde)	68,33 (abc)	48,80 (ab)	42,00 (a)	12,69 (bcd)	02,60 (c)
G4	02,88 (c)	02,29 (bc)	36,80 (de)	26,52 (abc)	178,33 (e)	75,00 (abc)	45,32 (ab)	48,66 (a)	05,99 (cd)	04,02 (c)
G5	04,70 (bc)	02,42 (abc)	36,10 (e)	30,11 (abc)	220,00 (cde)	101,66 (abc)	45,67 (ab)	42,00 (a)	10,66 (bcd)	04,44 (c)
G6	06,16 (bc)	02,42 (abc)	31,88 (fg)	28,55 (abc)	240,00 (bcde)	86,66 (abc)	46,65 (ab)	40,33 (a)	12,45 (bcd)	05,74 (c)
G7	06,89 (bc)	01,38 (bc)	34,36 (efg)	25,86 (bc)	253,33 (abcde)	80,00 (abc)	42,82 (b)	39,00 (a)	15,32 (abc)	02,95 (c)
G8	04,45 (bc)	02,41 (abc)	30,91 (g)	27,23 (abc)	268,33 (abcd)	161,66 (a)	41,88 (b)	44,16 (a)	11,28 (bcd)	04,23 (c)
G9	06,61 (bc)	00,57 (c)	46,69 (a)	23,74 (c)	310,00 (ab)	46,66 (bc)	53,93 (ab)	41,83 (a)	12,08 (bcd)	01,35 (c)
G10	08,69 (ab)	03,02 (abc)	41,98 (bc)	33,37 (ab)	268,33 (abcd)	71,66 (abc)	52,38 (ab)	37,83 (a)	15,96 (ab)	08,57 (abc)
G11	02,95 (c)	00,51 (c)	44,47 (abc)	32,92 (abc)	285,00 (abcd)	38,33 (c)	54,95 (ab)	33,33 (a)	05,72 (d)	01,53 (c)
Jupare C 2001	07,89 (bc)	01,28 (bc)	41,98 (bc)	30,53 (abc)	255,00 (abcd)	80,00 (abc)	43,87 (b)	34,83 (a)	17,25 (ab)	03,57 (c)
Boussellem	04,75 (bc)	02,70 (abc)	40,39 (cd)	34,74 (ab)	291,66 (abc)	116,66 (abc)	43,53 (b)	41,33 (a)	10,26 (bcd)	06,55 (bc)
Boutaleb	13,59 (a)	04,76 (ab)	44,96 (ab)	36,00 (a)	320,00 (a)	145,00 (ab)	58,92 (a)	33,83 (a)	22,71 (a)	13,90 (ab)
Oued El Bared	07,59 (bc)	02,50 (abc)	43,27 (abc)	31,43 (abc)	276,66 (abcd)	73,33 (abc)	46,67 (ab)	36,00 (a)	16,17 (ab)	05,39 (c)
Génotype										
Moyenne G	06,34	02,40	39,40	30,33	255,77	90,11	47,52	40,1	12,79	05,61
Min	02,87	00,51	30,10	23,47	178,33	38,33	41,88	33,33	05,72	01,35
Max	13,59	06,42	46,69	36,00	320,00	161,66	58,92	48,66	22,71	14,28
LSD (5%)	05,67	04,09	04,16	09,89	76,53	104,67	13,90	29,15	09,34	07,53
Génotype x Environnement										
E. Genotype (G)	*		***		ns		ns		***	
E. Saison (S)	***		***		***		*		***	
(G) x (S)	ns		ns		ns		ns		***	
% de difference	62,14 ↓		23,02 ↓		64,76 ↓		15,61 ↓		56,13 ↓	

3.3. ETUDE DES CORRELATIONS

3.3.1. Corrélations entre les paramètres de sénescence et la réflectance totale

L'étude des corrélations linéaires de Pearson entre les paramètres de sénescence, réflectance totale (tableau 13) a montré que :

Durant la première saison de 2020-2021, la sénescence moyenne (Sa) avait une corrélation hautement à très hautement significative et positive ($p < 0,01$; $0,001$) avec la vitesse de sénescence (Vsa) et la vitesse maximale de sénescence (Vmax) ($r = 0,47^{**}$; $0,73^{***}$ respectivement), (Sa) avait aussi une corrélation très hautement significative ($p < 0,001$) et négative avec la somme des températures à la mi-sénescence ($\sum T50_s$) par contre et durant la deuxième saison 2022-2023, la sénescence moyenne (Sa) ne s'est corrélée significativement ($p < 0,005$) et positivement qu'avec la réflectance totale (Rt) ($r = 0,32^*$).

La vitesse moyenne de sénescence (Vsa) a montrée des corrélations significatives ($p < 0,05-0,001$) et presque homogènes durant les deux saisons de cultures (2020-2021/2022-2023) avec la vitesse maximale de sénescence (Vmax) ($r = 0,40^{**}$ 20-21 ; $0,42^{**}$ 22-23), la somme des températures à la mi-sénescence ($\sum T50_s$) ($r = -0,63^{***}$ 20-21 ; $-0,56^{***}$ 22-23) et la réflectance totale (Rt) ($r = -0,39^{**}$ 20-21 ; $0,34^*$ 22-23).

La vitesse maximale de sénescence (Vmax) avait une corrélation hautement significative ($p < 0,01$; $0,001$) et négative avec la somme des températures à la mi-sénescence ($\sum T50_s$) durant les deux saisons de cultures ($r = -0,61^{***}$ 20-21 ; $-0,46^{**}$ 22-23).

3.3.2. Corrélations sénescence et réflectance totale avec le reste des paramètres étudiés

Le tableau 14 montre que la sénescence moyenne (Sa) avait une corrélation significative ($p < 0,05$) et positive avec la teneur relative en eau (TRE) ($r = 0,30^*$) et des corrélations hautement significative ($p < 0,01$) et négatives avec le nombre des jours avant épiaison (NJE) et le poids foliaire spécifique (PSF) ($r = -0,38^{**}$; $-0,40^{**}$ respectivement) durant 2020-2021, la saison 2022-2023 a connue deux corrélations significatives ($p < 0,05-0,01$) différentes pour ce même paramètre (Sa) , l'une avec la température du couvert végétale (TC) et l'autre avec la hauteur de la plante (HP) ($r = 0,42^{**}$; $0,31^*$ respectivement).

Le même tableau montre que la vitesse moyenne de sénescence (Vsa) avait des corrélations contradictoires avec l'indice de stress hydrique (IC) durant les deux saisons

de culture ($r = -0,51^{***}_{20-21}$; $0,36^*_{22-23}$), le même paramètre (Vsa) avait aussi des corrélations significatives ($p < 0,05$) et négative avec la surface foliaire (SF) et le poids foliaire spécifique (PSF) ($r = -0,32^*$; $-0,30^*$ respectivement) et positive avec le nombre d'épis par mètre carré (NEm²) ($r = 0,35^*$) durant la première saison. La deuxième saison a connue une corrélation significative ($p < 0,05$) et négative entre (Vsa) et la hauteur de la plante (PH) ($r = -0,30^*$).

Durant la saison de 2020-2021, La vitesse maximale de sénescence (Vmax) avait une corrélation hautement significative ($p < 0,01$) et négative avec le nombre de jours avant épiaison (NJE) ($r = -0,41^{**}$), ce même paramètre (Vmax) et en 2022-2023, avait d'autres corrélations significatives ($p < 0,05$) et positive avec la température du couvert végétal (TC) et la hauteur de la plante (HP) ($r = 0,34^*$; $0,32^*$ respectivement) (Tableau 14).

La somme des températures a la mi-sénescence avait des corrélations significatives ($p < 0,05$) et négatives avec la hauteur de la plante (HP)₂₀₋₂₁ et la surface foliaire (SF)₂₂₋₂₃ ($r = -0,34^*_{20-21}$; $-0,33^*_{22-23}$).

C'est seulement qu'en première saison (2020-2021) que nous avons observé une corrélation significative ($p < 0,05$) et négative entre la réflectance totale de la feuille drapeau en plein épiaison (Rt) et la teneur en chlorophylle (CH) ($r = -0,35^*$).

L'étude de la sénescence repose sur la feuille drapeau car il a été prouvé qu'elle est la principale source des éléments nécessaires pour le remplissage des grains (Wardlow, 1990 ; Mogensen *et al.*, 1994).

La corrélation entre la surface destinée à la photosynthèse pendant le remplissage de grains et le rendement ont été prouvés dans pas mal de publications (Al Khatib *et Paulsen*, 1985 ; Spiertz *et al.*, 1971), cette relation montre que l'activité de la photosynthèse pendant la période du remplissage de grains est la principale activité qui détermine le rendement en grains (Patterson *et Moss*, 1979 ; Mi *et al.*, 1999).

Plusieurs études ont montrées que la qu'il y avait des relations entre la vitesse de sénescence et le poids de 1000 grains (Hafsi *et al.*, 2000), la moyenne de la sénescence de la feuille drapeau avait une corrélation négative avec le poids de 1000 grains comme chez le Riz (Aleyar *et al.*, 1995) ou le Maïs (Borell *et Douglass*, 1996 ; Benziger *et al.*, 1999).

Les études effectuées sur le blé dans des conditions de sécheresse ont montrés que le rendement en grains avait en relation avec la moyenne de vitesses de la sénescence (Evans *et al.*, 1969 ; Spiertz *et al.*, 1971 ; Pajavic *et al.*, 1999).

3.3.3. Corrélations entre les paramètres physio-phéno-morpho-agronomiques.

Le tableau 14 montre que la teneur en chlorophylle (CH) ne s'est corrélée qu'avec la température du couvert végétal (TC) en corrélation significative ($p < 0,05$) et positive ($r = 0,34^*$) et seulement durant la première saison de culture, cette même saison a connu aussi des corrélations significatives ($p < 0,05$) de la teneur relative en eau (TRE) positive avec le poids spécifique foliaire (PSF) et négative avec le nombre de jours avant épiaison (NJE) ($r = 0,30^*$; $-0,33^*$ respectivement), par contre et pendant la deuxième saison de culture, ce paramètre physiologique (TRE) a connu seulement une corrélation très hautement significative ($p < 0,001$) et négative avec la surface foliaire (SF) ($r = -0,48^{**}$) chose qui est explicable par les conditions extrêmes de sécheresse marquant cette saison du coup les feuilles les plus grandes de surface ne gagnent pas suffisamment d'eau pour couvrir toute leurs surfaces. Des corrélations significatives ($p < 0,05$) et positives se sont enregistrées entre la température du couvert végétal (TC) d'une part et le poids spécifique foliaire (PSF)₂₀₋₂₀₁ et le nombre de jours avant épiaison (NJE)₂₂₋₂₃ d'autres part ($r = 0,32^*$ ₂₀₋₂₁ ; $0,37^*$ ₂₂₋₂₃ respectivement). Une corrélation hautement significative ($p < 0,05$) et positive a été enregistrée entre la vitesse de la perte d'eau (LWL) et le poids spécifique foliaire (PSF) pendant la première saison de culture (2020-2021) ($r = 0,42^{**}$). L'indice de la sensibilité à sécheresse (IC) s'est corrélié significativement ($p < 0,05$) avec deux paramètres morphologiques : positivement avec la surface foliaire (SF)₂₀₋₂₁ et négativement avec la hauteur de la plante (HP)₂₂₋₂₃ ($r = 0,30^*$ ₂₀₋₂₁ ; $-0,29^*$ ₂₂₋₂₃ respectivement).

Ces résultats sont relativement en adéquation avec ceux de Guendouz *et al.* (2013a) qui suggéraient des corrélations plus ou moins similaires avec plusieurs caractères morpho-physio-agronomiques.

La matrice des corrélations (Tableau 14) montre une corrélation significative ($p < 0,05$) et positive entre le nombre de jours avant épiaison (NJE) et le taux du recouvrement végétal en plein épiaison (RV) ($r = 0,33^*$), ceci est durant la deuxième saison de culture. Le du recouvrement végétal (RV) s'est corrélié significativement ($p < 0,05-0,01$) avec trois paramètres morpho-agronomiques durant la première saison de

culture (2020-2021), la hauteur de la plante (HP), le poids de mille grains et l'indice de la récolte (IR) ($r = 0,34^*$; $0,42^{**}$; $0,32^*$ respectivement). Une corrélation significative ($p < 0,05$) et négative a été observé pendant la saison de 2020-2021 entre le poids spécifique foliaire (PSF) et le nombre d'épis par mètre carré (NEm^{-2}) ($r = -0,30^*$). La saison 2020-2021 a connue aussi des corrélations significatives ($p < 0,05-0,001$) et positive entre la hauteur de la plante d'une part et le poids de mille grains et le nombre d'épis par mètre carré (NEm^{-2}) ($r = 0,61^{***}$; $0,35^*$), en l'occurrence, la deuxième saison PH avait des corrélations hautement significatives ($p < 0,01-0,001$) avec le rendement en grains (RDT) ($r = 0,45^{**}$) et l'indice de la récolte (IR) ($r = 0,50^{***}$).

Durant les deux saisons de cultures, le rendement en grains (RDT) et ses composantes avaient des corrélations significatives à très hautement significatives ($p < 0,05-0,001$) (Tableau 14). Plusieurs travaux ont prouvé la forte corrélation entre le rendement en grains et certains caractères agronomiques (Guendouz *et al.*, 2012b ; Aissaoui *et Fenni*, 2021 et Mansouri *et al.*, 2018).

Tableau 13. Matrice des corrélations des différents paramètres étudiés durant les deux années d'études 2020-21/2022-23

22-23 20-21	Sa	Vsa	Vmax	∑T50s	Rt	CH	TRE	TC	LWL	IC	NJE	RV	SF	PSF	HP	RDT	PMG	NEm ²	BIO	IR
Sa	1	-0,09	0,22	-0,23	0,32*	0,24	-0,06	0,42**	0,15	-0,27	0,015	-0,04	0,04	0,08	0,31*	-0,04	0,18	-0,19	-0,11	-0,01
Vsa	0,47**	1	0,42**	-0,56***	0,34*	-0,26	0,04	0,14	-0,17	0,36*	-0,01	-0,10	0,09	0,22	-0,30*	-0,01	-0,01	0,16	0,06	-0,03
Vmax	0,73***	0,40**	1	-0,46**	0,27	-0,04	-0,03	0,34*	-0,06	-0,08	0,06	-0,08	0,14	0,12	0,32*	0,12	0,18	0,06	-0,07	0,25
∑T50s	-0,74***	-0,63***	-0,61***	1	-0,20	0,24	0,03	-0,24	0,12	-0,20	0,14	-0,09	-0,33*	-0,19	0,18	0,05	-0,12	0,13	-0,03	0,03
Rt	0,19	-0,39**	0,07	-0,01	1	0,20	0,07	0,06	-0,01	0,01	-0,08	0,10	0,01	0,25	0,23	0,15	-0,01	0,06	-0,02	0,18
CH	-0,24	0,10	-0,30	0,11	-0,35*	1	0,17	0,11	0,08	-0,06	0,05	0,22	-0,22	0,12	0,04	-0,07	-0,19	-0,26	-0,10	-0,04
TRE	0,30*	0,11	0,04	-0,13	0,10	0,16	1	-0,04	-0,06	0,08	-0,14	0,01	-0,48***	0,08	-0,05	0,26	-0,01	0,10	0,23	0,12
TC	-0,23	-0,19	-0,10	0,01	-0,09	0,36*	0,07	1	-0,04	-0,02	0,37*	0,12	0,05	-0,04	0,17	0,01	0,10	-0,08	0,02	0,03
LWL	-0,07	-0,09	-0,06	-0,05	-0,07	-0,14	0,09	0,25	1	0,10	-0,09	-0,23	0,01	-0,17	-0,03	0,05	-0,03	-0,01	-0,01	0,07
IC	-0,18	-0,51***	-0,20	0,24	0,28	-0,25	-0,12	0,03	0,11	1	-0,07	0,14	-0,08	-0,24	-0,29*	0,05	-0,14	0,26	0,20	-0,09
NJE	-0,38**	0,04	-0,41**	0,29	0,02	-0,22	-0,33*	-0,24	-0,04	0,04	1	0,33*	0,18	-0,15	-0,27	-0,11	-0,06	-0,21	-0,01	-0,09
RV	-0,04	-0,27	-0,14	0,18	0,24	-0,22	-0,03	-0,26	0,05	0,24	0,10	1	0,13	-0,05	-0,13	0,12	0,22	0,01	-0,02	0,14
SF	-0,02	-0,32*	-0,07	0,09	0,34*	-0,18	0,20	-0,25	0,06	0,30*	0,05	0,46	1	0,01	0,11	-0,08	0,20	-0,13	-0,16	0,12
PSF	-0,40**	-0,30*	-0,23	0,28	0,02	0,20	0,30*	0,32*	0,42**	0,11	-0,14	0,21	0,31*	1	0,01	0,01	-0,07	-0,22	-0,03	0,10
PH	0,24	0,21	0,02	-0,34*	0,01	-0,17	0,15	-0,25	0,16	-0,02	0,03	0,34*	0,27	-0,05	1	0,45**	0,25	0,26	0,09	0,50***
RDT	-0,05	-0,13	-0,28	0,05	-0,04	-0,08	-0,16	-0,25	0,02	0,23	0,18	0,29	0,23	-0,15	0,27	1	0,45**	0,73***	0,59***	0,85***
PMG	0,19	0,10	-0,20	-0,07	0,14	-0,11	0,01	-0,33*	0,04	0,05	0,28	0,42**	0,27	-0,11	0,61***	0,38**	1	0,34*	0,17	0,45**
NEm ²	0,14	0,35*	-0,01	-0,30*	-0,27	-0,04	-0,22	-0,36*	0,02	-0,18	0,20	-0,03	0,12	-0,30*	0,35*	0,61***	0,39**	1	0,73***	0,44**
BIO	-0,13	0,06	-0,25	0,05	-0,01	0,03	-0,22	-0,28	-0,01	-0,01	0,23	0,10	0,23	-0,02	0,21	0,66***	0,44**	0,72***	1	0,20
IR	0,21	0,07	-0,21	0,03	-0,10	-0,10	-0,12	-0,24	-0,02	0,21	0,12	0,32*	0,18	-0,22	0,29	0,94***	0,30*	0,49***	0,41**	1

*** significative (-) a 0,001** significative (-) a 0,01* significative (-) a 0,05* significative (+) a 0,05** significative (+) a 0,01*** significative (+) a 0,001

4. CONCLUSION

Les changements climatiques ont enregistré des changements dans la composition et la redistribution géographique des écosystèmes en Algérie, cette situation c'est traduite par un déplacement vers le nord des zones arides, jusqu'alors confinées entre le Sahara et les hautes plaines céréalières affectant négativement sa productivité céréalière notamment celle du blé dur. La photosynthèse comme principale source de la production de matière sèche et du rendement en grain des plantes cultivées, les améliorations de la photosynthèse des feuilles se sont produites avec l'avancée de la sélection de cultivars à haut rendement. La sénescence est soumise à une forte régulation environnementale et génétique, et avant le jaunissement visuel et la chlorose, jusqu'à 50 % de la chlorophylle des feuilles peut être perdue.

Une quinzaine de variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) semées durant les deux années de culture 2020-2021/2022-2023 dans les champs de la station expérimentale agricole de l'Institut Technique des Grandes Cultures ITGC de Sétif en vue de montrer l'effet des changements climatiques sur les paramètres de sénescence de la feuille étendard estimés par utilisation d'Analyse des Images Numériques (NIA), de tester l'efficacité de ces paramètres comme critères de sélection de variétés de blé dur soumises à des conditions semi-arides ainsi que d'évaluer certains paramètres physiologiques, phéno-morphologiques et agronomiques afin de trouver leurs relations avec les paramètres de sénescence de la feuille étendard.

Les courbes de la progression de la sénescence en fonction du cumul des températures ont montré que le cours temporel sigmoïdal de la sénescence présentait une variabilité génotypique. Les sommes des températures à la mi-sénescence différaient nettement entre les génotypes. Le croisement local Boutaleb et les lignées avancées G1 et G10 les cultivars les mieux classés en matière de rendement en grains durant les deux saisons de culture, avaient une sénescence plus lente par rapport aux autres cultivars.

L'analyse de la variance a montré un effet génotype significatif à très hautement significatif ($p < 0,05-0,001$) pour la quasi-totalité des paramètres étudiés notamment les paramètres de sénescence et de la réflectance de la feuille étendard qui était très hautement significatif ($p < 0,001$) ce qui montre une variabilité phénotypique très grande par rapport à ces paramètres. En l'occurrence, l'effet saison de culture était très

hautement significatif pour la majorité des paramètres et spécialement ceux de la sénescence foliaire L'interaction Génotype x Saison de culture était très hautement significatif ($p < 0,001$) pour tout les paramètres de sénescence, l'interaction qui n'a était significatif que pour certains paramètres physio-pheno-morpho-agronomiques suggérant une influence importante des changements climatiques qui ont pesés sur l'expression de certains paramètres étudiés notamment ceux de la sénescence de la feuille étendard et de sa réflectance totale en plein épisaison. Les cultivars les mieux classées en matière de rendement en grains durant les deux saisons de cultures 2020-2021 et 2022-2023 a savoir Boutaleb , G1 et G10 ont enregistré des valeurs moyennes de la moyenne de sénescence (Sa) et de la réflectance totale en plein épisaison (Rt) , des valeurs +/- faibles de la vitesse moyenne de sénescence (Vsa) , des valeurs élevées des cumules des températures a la mi-sénescence ($\sum T50_s$) par rapport aux moyennes saisonnières variétales de ces paramètres.

L'étude des corrélations de Pearson effectuée durant les deux saisons d'étude (2020-2021/2022-2023) a montré des corrélations significatives ($p < 0,05$; 0.001) et négatives entre les cumules des températures a la mi-sénescence ($\sum T50_s$) avec tout les paramètres de sénescence, la hauteur de la plante (HP) et surface foliaire (SF). La moyenne de sénescence (Sa) avait des corrélations significatives ($p < 0,05-0,001$) et positives avec la vitesse moyenne de sénescence (Vsa), la vitesse maximale de sénescence (Vmax), la réflectance totale en plein épisaison (Rt), la teneur relative en eau (TRE) et la température du couvert végétal (TC), ce même paramètre (Sa) était négativement lié la précocité (NJE) et le poids spécifique foliaire (PSF). La vitesse moyenne sénescence (Vsa) avait des corrélations positives avec la vitesse maximale de sénescence (Vmax), le nombre d'épis par mètre carrée (NEm^{-2}) et négative avec la hauteur de la plante (HP), la surface foliaire (SF) et le poids spécifique foliaire (PSF), les résultats sur le comportement de ce paramètre (Vsa) vis a vis de la réflectance totale en plein épisaison (Rt) et l'intégrité cellulaire (IC) ont été contradictoires durant les deux années d'étude et mérite d'être confirmées. La vitesse maximale de sénescence (Vmax) avait des corrélations significatives ($p < 0,05$) et positives avec la température du couvert végétal (TC) et la hauteur de la plante (HP) et négative avec la précocité (NJE).

CHAPITRE IV

**LA TENEUR EN CHLOROPHYLE ET
L'INDICE DE LA RÉFLECTANCE FOLIAIRE
RGB EN RELATION AVEC LE RENDEMENT
EN GRAINS DE QUELQUES VARIETES DE
BLE DUR SEMIS EN CONDITIONS SEMI-
ARIDES**

الملخص

أجريت هذه الدراسة في المحطة التجريبية للمعهد التقني للمحاصيل الكبرى ITGC Sétif خلال موسمي الزراعة 2020-21 و 2022-23 ، وتهدف إلى تحديد تأثير محتوى اليخضور وانعكاس ورقة العلم لثلاث نطاقات حمراء وخضراء وزرقاء (RGB) خلال مرحلة الاسبال على محصول الحبوب ل 15 صنفاً من القمح الصلب المزروع في ظروف شبه جافة. أظهرت نتائج مراقبة تطور محتويات اليخضور ابتداءً من مرحلة الاسبال تدهوراً في ظروف شبه جافة. أظهرت نتائج مراقبة متوسط انعكاس ورقة العلم أثناء مرحلة التسنبل تبايناً كبيراً بين الأصناف على مستوى النطاقات RGB الثلاثة. أظهر تحليل التباين ANOVA أن تأثير النمط الوراثي كان معنوياً ($P < 0.05-0.001$) لجميع المؤشرات المدروسة خلال موسمي الدراسة ، يشير نفس التحليل إلى أن تأثير الموسم الزراعي كان معنوياً جداً ($p < 0.001$) لجميع هاته المؤشرات ، وفي هذه الحالة ، كان التفاعل (نمط الوراثي x موسم الزراعة) معنوياً ($p < 0.05-0.001$) فقط مع المؤشرات الفسيولوجية ، وهذا ما يدل على تأثير كبير للتغيرات المناخية في السلوك الفسيولوجي للأنماط المدروسة. أظهر النمط الوراثي Boutaleb الذي كان أفضل صنف من حيث محصول الحبوب خلال موسمي الزراعة $RDT_{20-21} = 13.59$ Qs.ha-1؛ $RDT_{22-23} = 4.76$ Qs.ha-1 قيم انعكاس منخفضة على النطاقين الأحمر (R) والأخضر (G) ومتوسطة على النطاق الأزرق (B) مع قيم متوسطة لمحتويات اليخضور خلال مرحلة التسنبل. يتم تسجيل الارتباطات القوية ($p < 0.001$) بين مؤشرات انعكاس RGB خلال مرحلة العنوان. أظهر متوسط محتويات اليخضور ارتباطات متناقضة خلال موسمي الدراسة يجب تأكيدها. ضلت المؤشرات الزراعية مرتبطة بقوة خلال موسمي الدراسة ($P < 0,01$) . أكد التحليل بالمركبات الأساسية ACP نتائجنا من خلال جميع الأصناف المدروسة وفقاً لترابطها الفيزيوي-الزراعي مع مختلف المركبات الأساسية ، كانت الأصناف الأكثر ربحية مثل الهجين المحلي Boutaleb أو الخط المتقدم G1 في علاقة إيجابية كلية مع المركب الأساسي للمحصول.

الكلمات المفتاحية : قمح صلب؛ محصول الحبوب؛ RGB ؛ اليخضور؛ شبه جافة ؛ سطيف.

Résumé

Cette étude a été menée dans la station expérimentale de l'Institut Technique des Grandes Culture ITGC Sétif durant les deux saisons de culture 2020-21 et 2022-23, elle vise à déterminer l'influence de la teneur en chlorophylle et la réflectance de la feuille étandard des trois bandes Rouge, Verte et Bleue (RGB) durant la phase d'épiaison sur rendement en grains de 15 cultivars de blé dur semis dans des conditions semi-arides. Les résultats du suivi de l'évolution des teneurs en chlorophylle à partir du stade épiaison ont montrés une dégradation des teneurs en chlorophylle durant les deux saisons de cultures. Le suivi des moyennes de réflectance de la feuille drapeau durant la phase épiaison a montré une grande variabilité inter-variétale au niveau des trois bandes RGB. ANOVA a montré que l'effet génotype était significatif ($P < 0,05-0,001$) pour tout les paramètres et durant les deux saisons d'étude, la même analyse indique que l'effet de saison a été très hautement significatif ($p < 0,001$) pour tout ces paramètres, en l'occurrence, l'interaction (Génotype x Saison) n'était significative ($p < 0,05-0,001$) que pour les paramètres physiologiques, cela temoigne d'une grande influence des changements des conditions climatiques sur le comportement physiologique des cultivars étudiés, le croisement local de Boutaleb qui était le meilleur cultivar en matière de rendement en grains durant les deux saisons de culture ($RDT_{20-21}=13,59$ Qs.ha⁻¹; $RDT_{22-23}=4,76$ Qs.ha⁻¹) a affiché de faibles valeurs de réflectance sur les deux bandes Rouge (R) et Verte (G) et des valeurs moyennes de réflectance sur la bande Bleue (B) avec des valeurs moyennes des moyennes des teneurs en chlorophylle. De fortes corrélations ($p < 0,001$) sont enregistrées entre les indices de réflectance RGB durant la phase épiaison. Les teneurs moyennes en chlorophylle ont affichées des corrélations contradictoires qui restent à confirmées. Les paramètres agronomiques restent fortement liés ($p < 0,01$). L'ACP a confirmée nos résultats en regroupant les cultivars étudiés selon leurs affinités physio-agronomiques, les cultivars les mieux rentables comme le croisement locale de Boutaleb ou la lignée Avancée G1 était en total corrélation positive avec l'axe de rendement.

Mots clés : Blé dur ; Rendement en grain ; RGB ; chlorophylle ; semi-aride, Setif.

Abstract

This study was conducted in the experimental station of the Technical Institute of Field Crops ITGC Sétif during the two cropping seasons 2020-21 and 2022-23, it aims to determine the influence of the chlorophyll content and the réflectance of the flag leaf of the three Red, Green and Blue (RGB) bands during the heading phase on the grain yield of 15 durum wheat cultivars sown in semi-arid conditions. The results of the monitoring of the evolution of the chlorophyll contents from the heading stage showed a degradation of the chlorophyll contents during the two cropping seasons. The monitoring of the average réflectance of the flag leaf during the heading phase showed a great inter-varietal variability at the level of the three RGB bands. ANOVA showed that the genotype effect was significant ($P < 0.05-0.001$) for all the parameters and during the two study seasons, the same analysis indicates that the season effect was very highly significant ($p < 0.001$) for all these parameters, in this case, the interaction (Genotype x Season) was significant ($p < 0.05-0.001$) only for the physiological parameters, this testifies to a great influence of the climate changes conditions on the physiological behavior of the cultivars studied, the local crossing of Boutaleb which was the best cultivar in terms of grain yield during the two growing seasons ($RDT_{20-21} = 13.59 \text{ Qs.ha}^{-1}$; $RDT_{22-23} = 4.76 \text{ Qs.ha}^{-1}$) showed low values of réflectance on the two bands Red (R) and Green (G) and average values of réflectance on the Blue band (B) with average values of average chlorophyll contents. Strong correlations ($p < 0.001$) are recorded between the RGB réflectance indices during the heading phase. The average chlorophyll contents displayed contradictory correlations which remain to be confirmed. The agronomic parameters remain strongly linked ($p < 0.01$). The ACP confirmed our results by grouping the cultivars studied according to their physio-agronomic affinities, the most profitable cultivars such as the local crossing of Boutaleb or the advanced line G1 was in total positive correlation with the yield axis.

Keywords: Durum wheat; Grain yield; RGB; chlorophyll; semi-arid, Setif.

1. INTRODUCTION

L'Algérie, avec ces caractéristiques topographiques et bioclimatiques qui témoignent d'une diversité de paysages et de systèmes de culture, la céréaliculture est la spéculation prédominante de l'agriculture. Elle couvre une superficie annuelle d'environ 3,6 millions d'hectares de surfaces agricoles utiles (SAU) (MADR, 2012).

Le rayonnement solaire frappant la surface des feuilles est soit réfléchi, absorbé ou transmis. La nature et les quantités de réflexion, d'absorption et de transmission dépendent de la longueur d'onde du rayonnement, de l'angle d'incidence, de la rugosité de la surface et des différences dans les propriétés optiques et le contenu biochimique des feuilles (Guendouz *et al.*, 2013c). Les pigments sont intégralement liés à la fonction physiologique des feuilles. Les chlorophylles absorbent l'énergie lumineuse et la transfèrent dans l'appareil photosynthétique. Les caroténoïdes (pigments jaunes) peuvent également apporter de l'énergie au système photosynthétique. (Demmig-Adams *et Adams*, 1996).

Lorsque la lumière frappe une feuille, une partie de la lumière est réfléchie vers l'observateur. La quantité d'énergie réfléchie à chaque fréquence lumineuse est appelée spectre de réflectance, parfois abrégé en spectres ou en réflectance. La réflectance dépend des propriétés de la surface des feuilles et de la structure interne, ainsi que de la concentration et de la distribution des composants biochimiques. Dans le spectre visible, (VIS, entre 400 et 700 nm) la réflectance dépend principalement de la présence de pigments photosynthétiques comme la chlorophylle. Dans le domaine du proche infrarouge (NIR, entre 700 et 13000 nm), où il n'y a pas de fortes caractéristiques d'absorption, l'amplitude de la réflectance est régie par les discontinuités structurelles rencontrées dans la feuille. La région infrarouge à ondes courtes (SWIR, entre 1300 nm et 3000 nm), (Peñuelas *et al.*, 1998).

Cette étude vise à déterminer la relation entre la teneur en chlorophylle et des indices de la réflectance foliaire (RGB) avec le rendement en grains d'une quinzaine de variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) semis dans des conditions semi-arides dans la région de Sétif.

MATERIEL & METHODES

2.1. SITE D'ETUDE

Cette étude a été réalisée durant les deux saisons de culture 2020-21 et 2022-23 dans la station expérimentale agricole de l'Institut Technique des Grandes Cultures ITGC de Sétif (ITGC-AES, 36°12'N et 05°24'E et 1.081 m d'altitude, Algérie).

2.2. MATERIEL VEGETAL

Le même matériel génétique a été maintenu durant cette étude composé des 15 cultivars illustré dans le Tableau1 du chapitre II.

2.3. DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Nous avons adoptés le même dispositif expérimental , les cultivars testés ont été semés avec une densité de 300 grains. m⁻² dans un plan en blocs aléatoires (RBD) avec trois répétitions, chaque parcelle était composée de 6 lignes de 5 m de long espacées de 0,2 m de large ce qui fait 12 m² comme surface de parcellaire.

2.4. PARAMETRES MESURES

2.4.1. Teneur en chlorophylle

Nous avons suivi l'évolution de la teneur en chlorophylle de la feuille étandard pour toutes les parcelles élémentaires durant plusieurs dates à partir de la phase de l'épiaison jusqu'à la fin la maturité physiologique à l'aide d'un compteur numérique de chlorophylle (CCM 200 plus) (Figure 21, Chapitre III), cet appareil permet de mesurer l'absorbance de la lumière dans la feuilles.

Les résultats du suivie de la teneur en chlorophylle durant les deux saisons de culture ont été exprimés par courbes d'évolution de la teneur en chlorophylle durant les deux saisons de culture 2020-2021/2022-2023.

Les valeurs de la teneur en chlorophylle utilisées dans l'analyse statistique correspondent aux moyennes des valeurs de la teneur en chlorophylle enregistrées durant la phase d'épiaison (CH).

2.4.2. Mesure de l'indice de la réflectance RGB

L'indice de réflectance R.G.B (Rouge, Vert et Bleu) a été évalué par analyse d'image numérique (NIA) utilisé par Guendouz *et* Maamri (2011). Le suivi de la réflectance RGB durant les deux années d'étude 2020-2021 et 2022-2023 a touché la phase d'épiaison (début d'épiaison – plein épiaison), Les feuilles ont été photographiées sur une surface noire, entre 11h00 et 12h00, heure solaire, avec un appareil photo numérique couleur (Canon, Power Shot A460, AiAF, CHINE). Les images ont été stockées dans un JPEG (Joint Photographic Expert Group) avant d'être téléchargées sur un ordinateur PC et analysées à l'aide du logiciel Mesurim Pro (version 2.8) (Figure 24) , ce logiciel nous a permis de calculé la réflectance de la feuille étendard dans les trois bandes Rouge –Verte et Bleu .

Les données sur la réflectance RGB seront exprimées en moyennes de réflectance pour chaque bande (Rouge ; Verte ou Bleu) et pour chaque variété étudiée, ces moyennes ont été traduites par des courbes visualisant la variabilité de la réflectance a deux niveaux : entre bandes réflectances (RGB) et entre variétés étudiées.

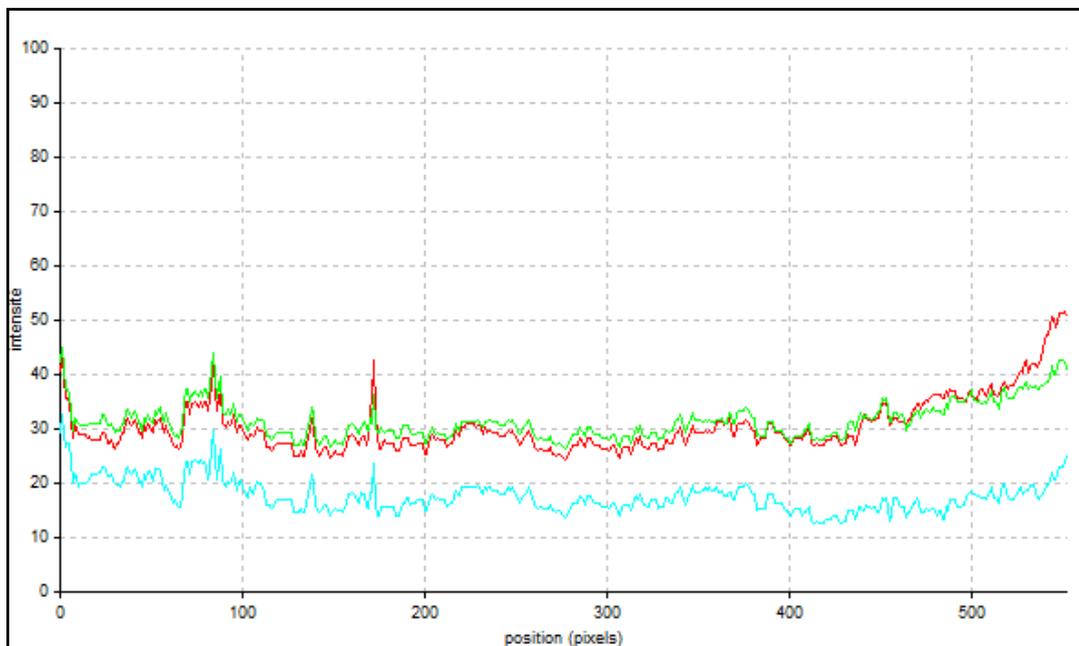


Figure 26. Graphique de la réflectance RGB d'une feuille drapeau de blé dur réalisé à l'aide du logiciel Mesurim pro 2.8.

2.4.3. Caractères agronomiques

Nous avons utilisé dans ce chapitre les résultats des deux saisons de culture sur les deux paramètres agronomiques symbolisant le rendement en grains à savoir:

Le rendement en grains (RDT) et le poids de mille grains (PMG)

2.5. TRAITEMENT STATISTIQUE DES DONNEES

L'analyse de la variance ainsi que l'étude des corrélations linaires simples de Spears a été effectuées à l'aide du **logiciel Costat 6.400** (1998) a un niveau de significativité égal a 5%. Les courbes d'évolution de la teneur en chlorophylle ainsi que la réflectance (RGB) durant la phase d'épiaison ont été réalisés par le logiciel Origin 2019b. Le **logiciel R core Team (2020)** nous a permis de réaliser une analyse en composantes principale (ACP) engendrant tout les paramètres mesurés (caractères) avec les la totalité des variétés testés (Individus).

3. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

3.1. TENEUR EN CHLOROPHYLLE

Les tableaux 14 et 15 montrent les résultats de suivi de la teneur en chlorophylle durant les deux années d'étude (2020-21 ; 2022-23) à partir du stade épiaison jusqu'à la maturité physiologiques.

09 dates d'observation ont été utilisées durant la première saison 2020-2021 alors que seulement 07 dates d'observation ont été utilisés durant l'année 2022-2023 vue l'intensité de la sécheresse qui a pousser vers une dégradation beaucoup plus rapide de la teneur des feuilles en chlorophylle.

Les résultats du suivi de la teneur en chlorophylle nous ont permis de tracer des courbes schématisant l'évolution de la teneur en chlorophylle durant les deux années d'étude (Figures 26 ; 27).

Les moyennes des teneurs en chlorophylle (CH) utilisées dans cette étude concernent seulement le stade d'épiaison vue l'exploitation des résultats sur les moyennes la réflectance RGB durant le même stade.

3.1.1. Evolution de la teneur en chlorophylle

Les figures 27 et 28 montraient une dégradation de la teneur en chlorophylle en allant du stade épiaison et arrivant à la maturité physiologique, les deux figures ont montrées aussi une différence de comportement de cette dégradation durant les deux années d'étude.

Les changement dans les conditions climatiques ont pesés sur l'aptitude des plantes à garder pour un plus de temps leurs chlorophylles à qui s'ajoute une influence des stades phénologiques qui œuvrent pour cette dégradation pour des besoins physiologiques comme la photosynthèse et la synthèse des assimilés qui épuisent les pigments chlorophylliens.

La première saison de culture 2020-21 été l'année la plus favorable dans rapport à l'année 2022-2023 qui connue une accentuation beaucoup plus rapide des teneurs des feuilles étendards en chlorophylle durant la phase d'épiaison et pour le reste des stades phénologiques.

La chlorophylle est la principale composante qui influe sur le spectre de réflexion foliaire dans l'intervalle de lumière visible, l'Azote et le composant principale de la chlorophylle (Taiz *et Zeiger*, 2002) la teneur des feuilles en chlorophylle et relative avec sa teneur en Azote (Fillella *et al.*, 1995). Les chloroplastes contiennent entre 70 et 80% de l'azote cellulaire (Makino *et Osmond*, 1991), la majeure partie de ce dernier (redondance, répétition) se trouve au niveau des protéines qui ont une relation avec la photosynthèse.

La chlorophylle à tendance à décliner plus rapidement que les caroténoïdes lorsque les plantes sont stressées ou pendant la sénescence des feuilles (Gitelson *et Merzlyak*, 1994).

Sur la plan variétal, La dégradation de la chlorophylle était plus lente chez la le croisement local Boutaleb et la lignée avancée G4 et par rapport aux lignées G2, G8, le génotype introduit Jupare C2001 et la variété de Boussellem qui étaient les plus rapides à perdre leurs chlorophylle durant la première saison de culture 2020-2021.

La saison 2022-2023, les lignées avancées G1, G6, G7, G9, G11 et la variété Boussellem avaient gardées pour un plus de temps leurs aspect vert, les lignées G8 et G10 ont perdues plus rapidement leurs teneurs en chlorophylle.

Tableau 14. Estimation de la teneur en chlorophylle en (cci) durant la saison 2020-21

Phase	Epiaison			Le reste des phases jusqu'à maturité					
G1	33,70	33,23	30,43	28,69	29,00	27,84	26,67	7,19	4,54
G2	32,54	36,79	33,99	28,81	30,19	30,57	28,80	6,28	1,32
G3	31,63	42,23	31,26	30,39	30,22	30,49	24,99	8,18	4,83
G4	40,82	43,04	38,60	34,48	40,82	35,66	24,48	11,19	10,04
G5	29,13	34,09	28,24	28,79	29,71	29,07	24,61	9,44	4,11
G6	30,28	32,16	31,36	32,94	31,40	32,29	35,39	12,09	8,61
G7	31,93	41,44	34,21	33,26	37,73	37,02	32,02	13,19	9,02
G8	39,59	40,81	40,08	33,84	32,16	33,02	28,16	5,53	1,38
G9	29,94	37,38	37,33	33,33	36,12	36,68	36,09	8,56	6,29
G10	31,67	35,19	33,83	31,66	33,84	32,12	22,13	3,59	1,67
G11	32,78	36,70	36,78	33,01	35,90	36,98	28,80	10,10	6,78
Jupare C 2001	33,03	36,39	34,50	36,39	38,17	37,72	38,36	8,97	2,40
Boussellem	29,37	33,78	31,40	28,65	34,16	30,99	26,96	5,03	3,49
Boutaleb	26,36	31,54	26,99	25,00	29,67	30,88	24,23	14,41	8,54
Oued El Bared	25,33	28,05	25,09	23,24	26,65	26,93	21,51	4,32	2,69

Tableau 15. Estimation de la teneur en chlorophylle en (cci) durant la saison 2022-23

Phase	Epiaison			Le reste des phases jusqu'à maturité			
G1	53,44	40,13	36,23	26,93	15,14	4,34	2,39
G2	42,70	32,70	29,02	21,50	9,33	2,17	1,31
G3	47,28	35,53	32,68	23,30	9,68	3,16	1,99
G4	49,49	41,17	35,17	25,30	7,28	3,31	1,67
G5	50,56	37,03	28,17	22,17	3,85	3,07	1,42
G6	49,81	44,43	34,07	26,20	18,64	10,48	3,72
G7	46,86	39,57	31,93	25,27	20,08	7,12	2,66
G8	45,88	36,73	33,77	25,40	5,77	3,06	1,24
G9	45,10	35,70	31,00	21,07	4,37	2,24	1,44
G10	42,18	34,87	29,10	20,57	5,90	3,16	1,66
G11	48,62	41,27	33,30	20,83	8,85	3,27	1,51
Jupare C 2001	48,53	40,03	33,07	22,53	16,81	3,12	1,62
Boussellem	40,40	34,77	32,77	27,43	7,27	3,83	1,33
Boutaleb	42,62	35,12	33,23	24,30	7,97	4,95	1,89
Oued El Bared	46,02	39,37	36,97	22,53	18,35	4,71	1,80

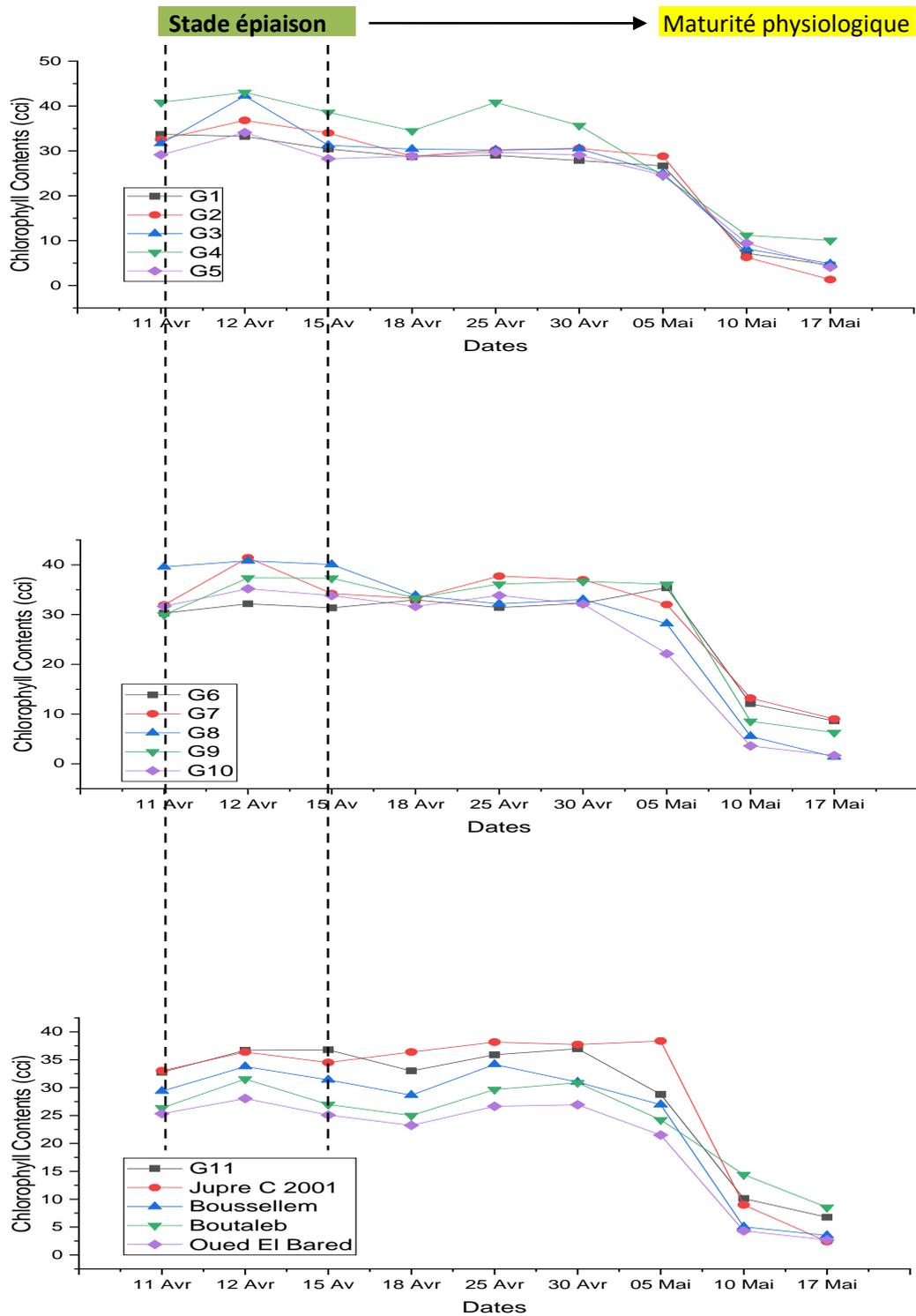


Figure 27. Suivi de la teneur en chlorophylle durant la saison de culture 2020-21.

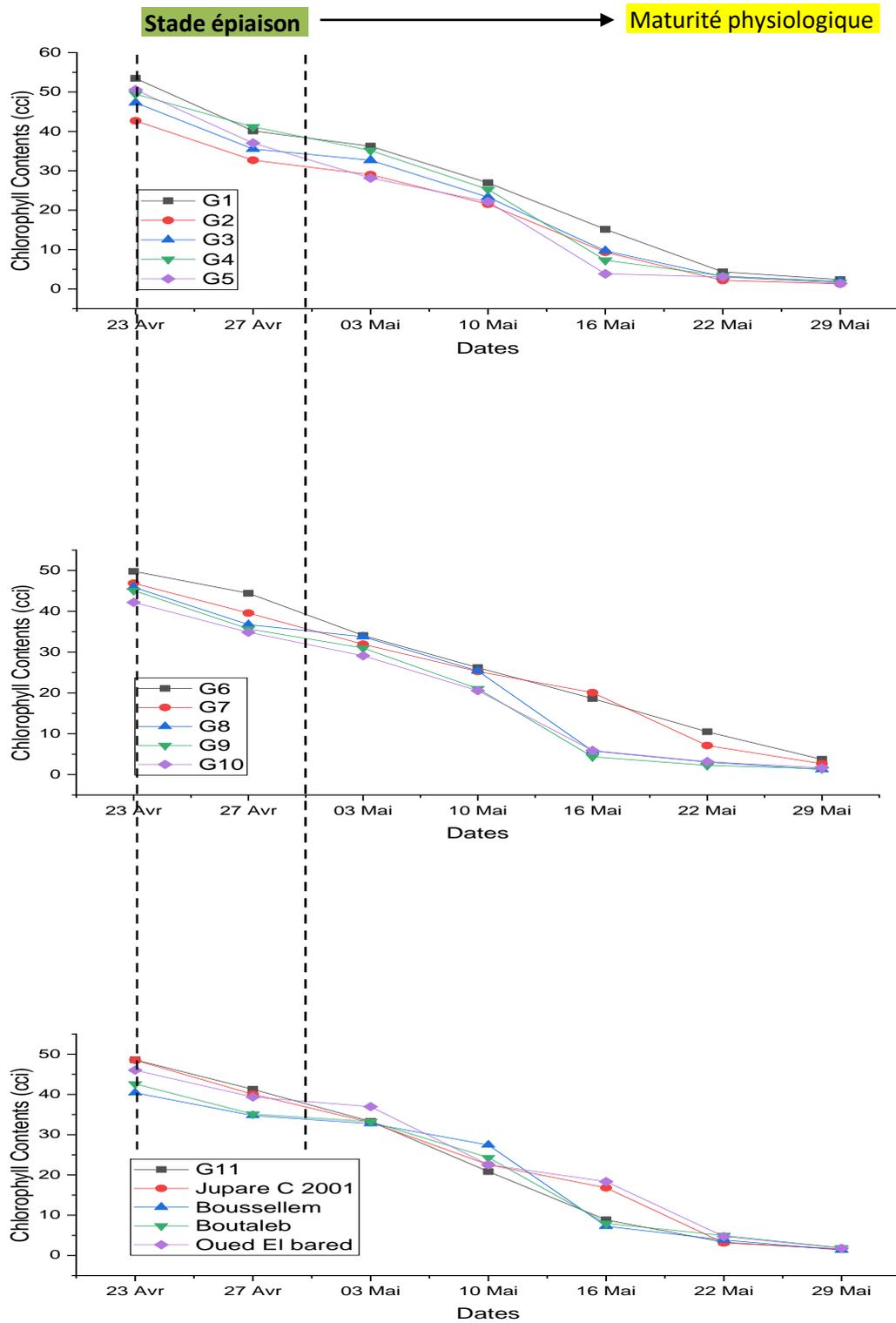


Figure 28. Suivi de la teneur en chlorophylle du durant la saison de culture 2022-23.

3.2. RÉFLECTANCE RGB DURANT LA PHASE D'ÉPIAISON.

La figure 29 montre les courbes des moyennes des indices de la réflectance RGB durant la phase d'épiaison chez toutes les variétés étudiées et pendant les deux saisons de culture 2020-2021; 2022-2023.

Les moyennes de réflectance durant la phase épiaison ont montrées une variabilité au niveau des trois bandes : Rouge, Verte et Bleue et durant les deux saisons de culture. Les écarts des moyennes de la réflectance sur les deux bandes Rouges et Verte étaient étroits durant les deux saisons de cultures a la différence des moyennes de réflectance sur la bande Bleue qui était plus faible par rapport aux moyennes de réflectance des deux autres bandes.

Sur le plan variétal, les moyennes de réflectance sur les trois bandes Rouge, Verte et Bleue ont montrées une grande variabilité inter-variétale. Pendant la première saison de culture 2020-2021, Le croisement locale de Oued El Bared avait enregistré les plus hautes valeurs des moyennes de réflectance durant la phase d'épiaison sur les trois bandes Rouge, Verte et Bleue au contraire de la lignée avancée G7 qui avait enregistré les valeurs les plus faibles . Durant la même saison, les variétés les plus rentables en matière de rendement en grains à savoir le croisement local de Boutaleb ou bien la lignée avancée G10 avaient montrées des valeurs faibles des moyennes de réflectance durant la phase épiaison.

La saison 2022-2023 a connue des fortes valeurs des moyennes de réflectance durant la phase d'épiaison chez la lignée avancée G4 par rapport a la lignée avancée G9 qui avait enregistré les plus faibles valeurs, cela c'est passé sur les trois bandes de réflectance : Rouge, Verte et bleue. Durant la même saison, les valeurs moyennes de la réflectance durant la phase d'épiaison était +/- faibles pour les deux bandes Rouge et verte et +/- fortes pour la bande Bleue pour les cultivars qui ont données le plus de rendement à savoir la lignée avancée G1 et le croisement local de Boutaleb. Un changement de comportement des moyennes de réflectance sur la bande Verte qui étaient +/- forte par rapport a celles de la bande Rouge pendant la saison 2020-2021 et plus faibles par rapport a celles de la bande Rouge durant la deuxième saison de culture 2022-2023 connue par ses conditions extrêmes de sécheresse.

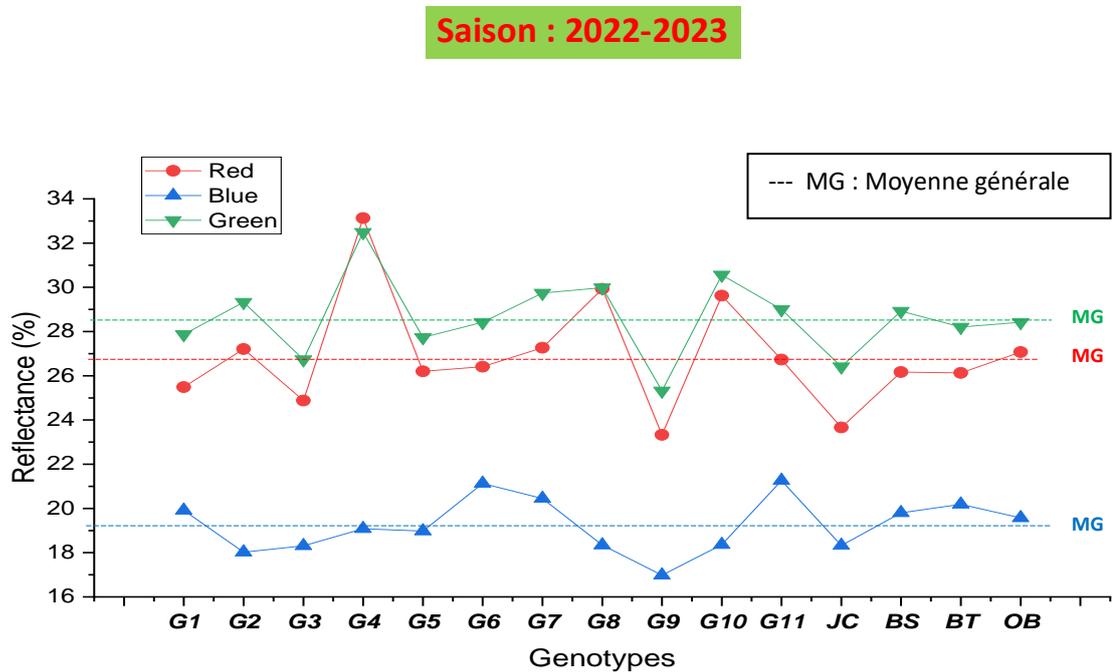
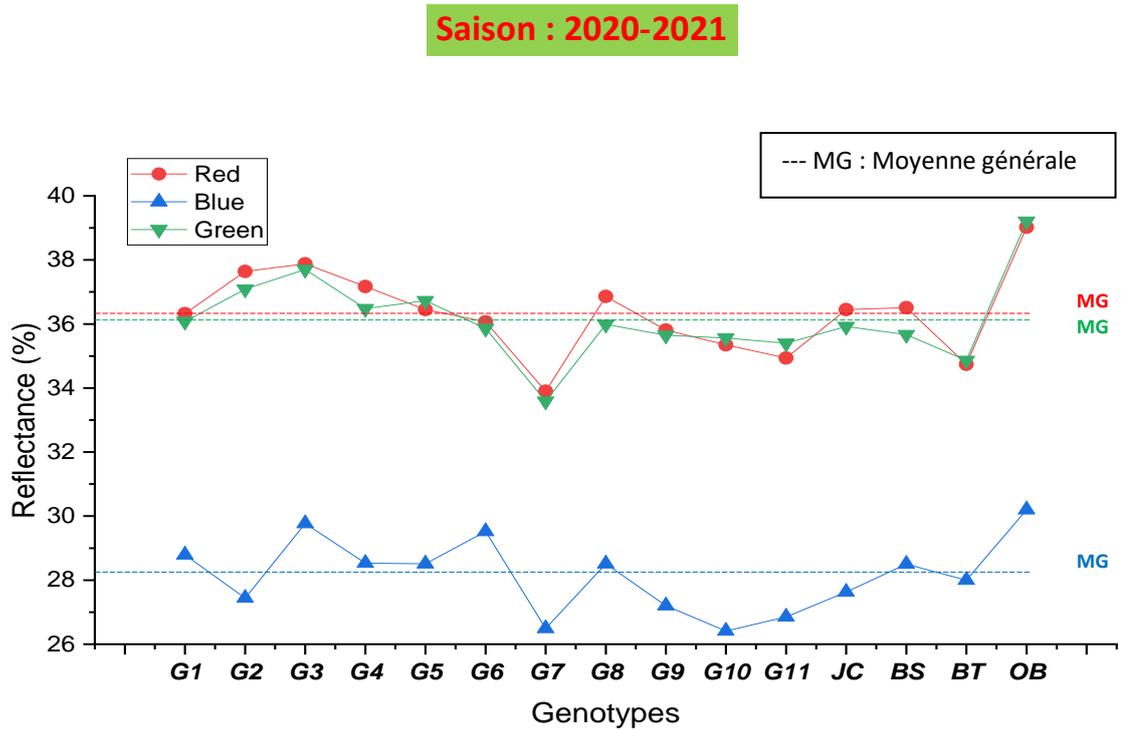


Figure 29. Moyennes des indices de la réflectance RGB pendant la phase d'épiaison durant les deux saisons de cultures 20-21/22-23.

3.3. ANALYSE DE LA VARIANCE DES PARAMETRES ETUDIES

L'analyse de la variance (ANOVA) des paramètres de la totalité des paramètres étudiés (moyennes des teneurs en chlorophylle en phase d'épiaison CH, indices de réflectance RGB, rendement en grains RDT et poids de milles grains PMG) a montré que l'effet génotype était significatif a très hautement significatif ($P < 0,05-0,001$) pour tout ces paramètres et durant les deux saisons d'étude (Tableau 16).

Le même tableau 17 indique que l'effet saison était très hautement significatif ($p < 0,001$) pour tout ces paramètres par contre ainsi que l'interaction (Génotype x Saison) n'était significative ($p < 0,01-0,001$) que pour les paramètres physiologiques (Moyennes des teneurs en chlorophylle CH et indices de réflectance RGB), cela veut ces paramètres ont été affecté par les changements des conditions climatiques entre les deux saisons de cultures.

3.3.1. Moyennes des teneurs en chlorophylle durant la phase d'épiaison

L'analyse de la variance des valeurs moyennes de la teneur en chlorophylle durant la phase d'épiaison (tableau 16) a montré que les teneurs moyennes en chlorophylle variaient de 25,67 cci pour le croisement local Oued El Bared à 39,55cci pour la lignée avancée G4 enregistrant une moyenne variétale de 32,97 cci pour l'année de culture 2020-2021. La même analyse a montré une progression de plus de 15 % des valeurs des moyennes de la teneur en chlorophylle durant la même phase pour la deuxième de culture 2022-2023, ces moyennes allaient de 34,80 à 43,26 cci pour les deux lignées avancées G2 et G1 consécutivement enregistrant une moyenne générale inter-variétale de 39,07 cci.

Carter *et* Knapp, 2001 stipulaient que les variations de la teneur en chlorophylle des feuilles détectables par la réflectance spectrale sont liées au développement et à la sénescence des feuilles.

3.3.2. Les moyennes des indices de la réflectance RGB durant la phase d'épiaison

- *Réflectance sur la bande Rouge (R)*

L'analyse de la variance des indices de la réflectance RGB a montré que les valeurs de réflectance sur la bande Rouge (R) variaient de 33,90 % pour la lignée avancée G7 à 39,02 % pour le croisement local Oued El Bared enregistrant une

moyenne de 36,34 % pour tout les variétés testées durant la première saison de culture 2020-2021. La deuxième année 2022-2023 les mêmes valeurs de la même bande de réflectance allaient de 23,33 % pour la lignée avancée G9 à 33,13 % pour la lignée avancée G4 avec une moyenne variétale de 26,88 ce qui montre une régression de réflectance sur la bande Rouge (R) estimée à plus de 25 % par rapport a la première saison.

- *Réflectance sur la bande Verte (G)*

Durant la première saison 2020-2021, les valeurs de réflectance sur la band Verte (G) allaient de 33,59 % pour la lignée avancée G7 a 39,21 % pour le croisement local de Oued El Bared avec 36,12 % comme moyenne générale pour toutes les variété étudiées. Une régression de plus de 20 % des valeurs de réflectance sur la bande Verte (G) a été enregistrée durant la deuxième saison 2022-2023, ces valeurs variaient de 25,32 a 32,49 % pour les lignées avancées G9 et G4 consécutivement avec une moyenne générale de 28,61 %.

- *Réflectance sur la bande Bleue (B)*

Les valeurs de réflectance sur la bande bleue (B) étaient les valeurs les plus basses de réflectance enregistrées durant les deux saisons d'étude, ces valeurs variaient de 26,41 pour la lignée avancée G10 à 30,20 % pour le croisement local de Oued El Bared avec une moyenne de 28,16 % pour toutes les cultivars et pour la première saison de culture 2020-2021. La deuxième année de culture 2022-23 la réflectance sur la bande bleue (B) a régressée de plus de 30% enregistrant une variation des valeurs allant de 16,98 à 21,26 % pour les lignées avancées G9 et G11 consécutivement avec 19,25 % comme moyenne générale pour toutes les variétés étudiées.

Le photopériodisme, la qualité et l'intensité de la lumière influent sur la croissance de la plante, l'augmentation de l'intensité de la lumière et la quantité de lumière rouge influent positivement sur la croissance (Habjorg, 1972).

La qualité du spectre de la lumière réfléchi de la plante nous renseigne profondément sur l'état de cette plante. Selon Carter *et* Knapp (2001), le spectre de la réflexion nous renseigne sur la réponse physiologique des conditions de développement et l'adaptation de la plante vis-à-vis des changements écologiques.

Le but des études des indicateurs du spectre de réflexion, c'est de trouver les moyens pour prévoir l'état de la plante, durant ces études, plusieurs longueurs d'onde ont été utilisées où il est apparu le rôle de l'eau et son influence sur le spectre de réflexion sur un intervalle de spectre visible $0,39 - 0,77 \mu$, il a été aussi prouvé que les rayons se trouvant dans les intervalles du visible et du proche de l'infrarouge sont les plus absorbés par les pigments chlorophylliens et par l'eau (Gausman *et al.*, 1970).

Les nouvelles études ont fait allusion que l'indicateur de réflectance foliaires est une nouvelle technique pour la sélection de nouvelles variétés par rapport au rendement en grains (Araus *et al.*, 2001). Ces indicateurs sont utilisés dans l'estimation de pas mal d'indicateurs physiologiques à l'exemple de l'indicateur de la surface foliaire, la capacité photosynthétique et la concentration des pigments verts (Chappelle *et al.*, 1992 ; Elliot *et gan*, 1993).

3.3.3. Paramètres agronomiques

- *Le rendement en grains (RDT)*

L'analyse de la variance a montré que le rendement en grains variait durant la première saison 2020-2021 de $2,87 \text{ Q} \cdot \text{ha}^{-1}$ pour la lignée avancée G11 à $13,59 \text{ Q} \cdot \text{ha}^{-1}$ pour le croisement local de Boutaleb enregistrant une moyenne $6,34 \text{ Q} \cdot \text{ha}^{-1}$ pour tous les cultivars. Durant la deuxième saison 2022-2023, le rendement en grains a diminué de plus de 60 % vue la sécheresse extrême qui a qualifiée cette saison, les valeurs du rendement en grains passaient de $0,51 \text{ Q} \cdot \text{ha}^{-1}$ pour la lignée avancée G11 à $6,42 \text{ Q} \cdot \text{ha}^{-1}$ pour la lignée avancée G1 avec une moyenne de $2,40 \text{ Q} \cdot \text{ha}^{-1}$ pour tous les cultivars.

Le croisement local de Boutaleb avec les deux lignées avancées G1 et G10 était les meilleurs classés durant les deux saisons de culture.

- *Le poids de mille grains (PMG)*

Pendant la première saison de culture 2020-2021, le poids de mille grains allait $30,10 \text{ g}$ pour la lignée avancée G5 à $46,69 \text{ g}$ pour la lignée avancée G9 enregistrant une moyenne générale de $39,40 \text{ g}$ pour tous les cultivars étudiés. La saison 2022-2023, les valeurs de PMG ont diminués de plus 20 % en allant de $23,47$ pour la lignée avancée G9 à 36 g pour le croisement local Boutaleb avec une moyenne de $30,33 \text{ g}$ pour toutes les variétés étudiées.

CHAPITRE IV : LA TENEUR EN CHLOROPHYLLE ET L'INDICE DE LA RÉFLECTANCE FOLIAIRE RGB RELATION AVEC LE RENDEMENT EN GRAINS DE QUELQUES VARIETES DE BLE DUR SEMIS EN CONDITIONS SEMI-ARIDES

Tableau 16. Analyse de la variance de la teneur moyenne en chlorophylle, les indices RGB, du rendement en grains et poids de mille grains durant les deux saisons de culture 2020-21 / 2022-23

Paramètres	CH (cci)		R (%)		G (%)		B (%)		RDT (Q.ha ⁻¹)		PMG (g)	
	2020-2021	2022-2023	2020-2021	2022-2023	2020-2021	2022-2023	2020-2021	2022-2023	2020-2021	2022-2023	2020-2021	2022-2023
G1	31,01 (ef)	43,26 (a)	36,32 (efg)	25,49 (de)	36,08 (ef)	27,87 (fg)	28,79 (c)	19,91 (bc)	07,00 (bc)	06,42 (a)	41,98 (bc)	33,07 (abc)
G2	32,46 (cde)	34,80 (c)	37,64 (bc)	27,21 (c)	37,09 (c)	29,33 (cd)	27,44 (e)	18,02 (f)	03,96 (bc)	02,28 (bc)	35,62 (ef)	28,36 (abc)
G3	33,14 (cde)	38,49 (abc)	37,88 (b)	24,88 (e)	37,70 (b)	26,73 (hi)	29,77 (ab)	18,31 (ef)	07,05 (bc)	01,08 (bc)	40,83 (bcd)	33,39 (ab)
G4	39,55 (a)	41,93 (ab)	37,17 (cd)	33,13 (a)	36,48 (de)	32,49 (a)	28,53 (c)	19,08 (d)	02,88 (c)	02,29 (bc)	36,80 (de)	26,52 (abc)
G5	29,99 (ef)	38,58 (abc)	36,45 (ef)	26,20 (cd)	36,73 (cd)	27,73 (gh)	28,51 (c)	18,98 (de)	04,70 (bc)	02,42 (abc)	36,10 (e)	30,11 (abc)
G6	31,62 (de)	42,77 (a)	36,07 (fg)	26,41 (cd)	35,86 (fgh)	28,42 (defg)	29,52 (b)	21,13 (a)	06,16 (bc)	02,42 (abc)	31,88 (fg)	28,55 (abc)
G7	35,71 (bc)	39,45 (abc)	33,90 (k)	27,27 (c)	33,59 (j)	29,74 (bc)	26,49 (g)	20,45 (b)	06,89 (bc)	01,38 (bc)	34,36 (efg)	25,86 (bc)
G8	37,29 (ab)	38,79 (abc)	36,86 (de)	29,93 (b)	35,99 (fg)	29,98 (b)	28,51 (c)	18,34 (ef)	04,45 (bc)	02,41 (abc)	30,91 (g)	27,23 (abc)
G9	34,82 (bcd)	37,26 (abc)	35,81 (gh)	23,33 (f)	35,65 (fgh)	25,32 (j)	27,20 (ef)	16,98 (g)	06,61 (bc)	00,57 (c)	46,69 (a)	23,74 (c)
G10	33,23 (cde)	35,38 (c)	35,35 (hi)	29,62 (b)	35,56 (gh)	30,56 (bc)	26,41 (g)	18,36 (ef)	08,69 (ab)	03,02 (abc)	41,98 (bc)	33,37 (ab)
G11	35,03 (bcd)	41,06 (abc)	34,94 (ij)	26,73 (c)	35,40 (h)	29,00 (cde)	26,85 (fg)	21,26 (a)	02,95 (c)	00,51 (c)	44,47 (abc)	32,92 (abc)
Jupare C 2001	35,69 (bc)	40,54 (abc)	36,45 (ef)	23,66 (f)	35,92 (fg)	26,41 (i)	27,63 (de)	18,32 (ef)	07,89 (bc)	01,28 (bc)	41,98 (bc)	30,53 (abc)
Boussellem	31,47 (def)	35,97 (bc)	36,51 (ef)	26,17 (cd)	35,67 (fgh)	28,92 (cdef)	28,50 (c)	19,80 (bc)	04,75 (bc)	02,70 (abc)	40,39 (cd)	34,74 (ab)
Boutaleb	27,91 (fg)	36,98 (abc)	34,74 (j)	26,13 (cd)	34,86 (i)	28,20 (fg)	28,00 (d)	20,19 (bc)	13,59 (a)	04,76 (ab)	44,96 (ab)	36,00 (a)
Oued El Bared	25,67 (g)	40,78 (abc)	39,02 (a)	27,07 (c)	39,21 (a)	28,42 (defg)	30,20 (a)	19,57 (cd)	07,59 (bc)	02,50 (abc)	43,27 (abc)	31,43 (abc)
Génotype												
Moyenne G	32,97	39,07	36,34	26,88	36,12	28,61	28,16	19,25	06,34	02,40	39,40	30,33
Min	25,67	34,80	33,90	23,33	33,59	25,32	26,41	16,98	02,87	00,51	30,10	23,47
Max	39,55	43,26	39,02	33,13	39,21	32,49	30,20	21,26	13,59	06,42	46,69	36,00
LSD (5%)	3,71	6,40	0,55	1,21	0,46	1,09	0,44	0,67	05,67	04,09	04,16	09,89
Génotype x Environnement												
E, Genotype (G)	**		***		***		***		*		***	
E, Saison (S)	***		***		***		***		***		***	
(G) x (S)	**		***		***		***		ns		ns	
% de difference	15,61 % ↑		26,03 % ↓		20,79 % ↓		31,64 ↓		62,14 ↓		23,02 ↓	

ns : non significatif ; * : significatif a 0,05 ; ** : significatif a 0.01 ; *** : significatif a 0

3.4. ETUDE DES CORRELATIONS LINAIRES DE PEARSON

L'étude des corrélations linéaires de Pearson des paramètres étudiés (moyennes des teneurs en chlorophylle en phase d'épiaison, Indices de réflectance de la feuille étandard RGB durant la même phase, rendement en grains et poids de mille grains) durant les deux années d'étude 2020-2021 et 2022-23 (Tableau 17) a montré que les moyennes des teneurs en chlorophylle durant la phase d'épiaison (CH) avait des corrélations significatives ($p < 0,05$) et négatives avec les moyennes des indices de réflectance Verte (G) et Bleue (B) durant la même phase ($r = -0,32^*$; $-0,37^*$) pendant la première saison de culture 2020-21, la deuxième saison 2022-23, a connue une corrélation positive contradictoire entre les moyennes de teneurs en chlorophylle CH et les moyennes de réflectance sur la bande Bleue ($r = 0,30^*$; $p < 0,05$). Des corrélations hautement significatives ($p < 0,001$) et positive ont été enregistrées en toutes les moyennes des réflectance RGB en phase épiaison ($r = 0,94^{***}$ _{R/G} ; $0,73^{***}$ _{R/B} et $0,71^{**}$ _{G/B}) durant la première saison de culture 2020-21, la deuxième saison de culture 2022-23 a confirmé deux de ces corrélations ($r = 0,95^{***}$ _{R/G} et $0,31^*$ _{G/B} ; $p < 0,05$; $0,001$). Les paramètres agronomiques ne se sont corrélés qu'entre eux durant les deux saisons de cultures ($r = 0,38^{**}$ ₂₀₋₂₁ et $0,45^{**}$ ₂₂₋₂₃ ; $p < 0,01$).

Tableau 17. Etude de la corrélation de Pearson entre tous les paramètres et durant les deux saisons de culture 2020-21 et 2022-23

	CH	R	G	B	RDT	PMG
CH	1	0,03	0,02	0,30*	0,03	-0,18
R	-0,17	1	0,95***	0,13	0,02	-0,13
G	-0,32*	0,94***	1	0,31*	0,01	-0,08
B	-0,37*	0,73***	0,71***	1	0,12	0,14
RDT	-0,15	-0,20	-0,13	-0,03	1	0,45**
PMG	-0,20	-0,05	-0,08	-0,13	0,38**	1

* : significative (-) a 5% ; * : significative et positive a 5% ; ** : significative et positive a 1% ; *** : significative et positive a 0,1%

3.5. ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES (ACP)

Everitt et Dunn (1992) stipulaient que l'analyse en composantes principales est une procédure mathématique utilisée pour classer un grand nombre de variables (éléments) en composantes principales et déterminer leur contribution à la variation totale. La première composante principale représente la plus grande variabilité des données, et chaque composante suivante représente la plus grande variabilité restante possible. Le choix des axes d'interprétation dépend de l'importance de leurs valeurs propres, la règle de Kaiser repose sur une idée simple, dans une ACP normalisée, la somme des valeurs propres étant égale au nombre de variables, et leur moyenne est égale à 1, Considérons donc qu'un axe est intéressant si sa valeur propre est supérieure à 1 (Frih *et al.*, 2021b).

L'analyse en composantes principales (Tableau 18) effectuée sur les 15 variétés étudiées en tant qu'individus et les paramètres mesurés (CH, RGB, RDT et PMG) en tant que variables quantitatives durant les deux saisons de cultures a montré que :

- les deux premiers axes d'ACP durant la saison 2020-21 étaient les axes mieux placés pour l'interprétation, leurs valeurs propres dépassaient le 1, elles cumulaient plus de 77% de l'information sur la variabilité.
- La saison 2022-23, les trois premiers axes d'ACP étaient choisis pour l'interprétation pour la même raison, elles cumulaient plus de 80% de l'information sur la variabilité.

Tableau 18. Valeurs propres de l'analyse en composantes principales durant les deux années d'étude 2020-21 et 2022-23.

Saison de culture 2020-21						
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
Variance	2,80	1,84	0,76	0,33	0,21	0,02
% des variances	46,79	30,81	12,79	5,50	3,63	0,48
Cumul des % de variances	46,79	77,60	90,39	95,89	99,52	100,00
Saison de culture 2022-23						
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
Variance	2,12	1,71	1,23	0,65	0,25	0,02
% des variances	35,48	28,55	20,55	10,86	4,22	0,34
Cumul des % de variances	35,48	64,03	84,58	95,44	99,66	100,00

3.5.1. Corrélations des paramètres mesurés (Variables) avec les axes d'interprétation

La figure 30 visualise les corrélations entre les différents paramètres mesurés avec les meilleurs axes d'interprétation durant les deux saisons d'étude.

Durant la première saison de culture 2020-21, Les moyennes des indices de réflectance de la feuille drapeau durant phase d'épiaison étaient très hautement et positivement corrélées avec la première composante d'ACP (PC1), cette composante a été nommée une composante de réflectance. La deuxième composante (PC2) hautement et positivement corrélée avec les paramètres agronomiques (RDT et PMG) était une composante de rendement, la même composante était négativement corrélée avec les moyennes des teneurs en chlorophylle durant la phase d'épiaison.

La deuxième saison de culture 2022-2023, la première composante PC1 restait quand même une composante de réflectance partielle étant donné sa haute corrélation positive avec deux des indices de réflectance sur la bande Rouge (R) et sur la bande Verte (G). La réflectance sur la bande Bleue (B) s'arrangeait du côté de la composante du rendement PC2 hautement et positivement corrélée avec les paramètres agronomiques pour la deuxième saison ce qui lui a permis de garder toujours son caractère composante de rendement.

Les moyennes des teneurs en chlorophylle durant la phase d'épiaison avaient une affinité négative avec la troisième composante d'interprétation PC3 faisant une composante négative des faibles teneurs en teneurs en chlorophylle.

3.5.2. Adresses des variétés étudiées sur les axes d'interprétation d'ACP

La figure 31 visualise les adresses des variétés étudiées sur les axes d'interprétation de l'ACP durant les deux saisons d'étude.

3.5.1.1. La première saison de culture 2020-21

Etant donné le caractère d'axe de réflectance pour la première composante principale PC1, durant la première saison de culture, les lignées avancées G3, G5 et Oued El Bared positivement liées à la première composante principale PC1 sont dites des variétés à haute réflectance RGB durant la phase d'épiaison, les variétés négativement liées à cet axe comme les lignées avancées G7, G10, G11 ainsi que le

génotype introduit Jupare C 2001 sont dites des variétés à faible réflectance de la feuille étandard durant la phase d'épiaison. Le croisement local de Boutaleb ainsi que la lignée avancée G1 sont dites des cultivars à haut rendement en grains vue leurs attachement positive à la deuxième composante principale PC2 composante de rendement, les lignées avancées G2, G4 et G8 négativement liées à cette composante sont dites des cultivars à faible rentabilité en matière de rendement en grains. Les autres cultivars : G6, G8, G9 et Boussellem n'avaient pas une forte liaison avec l'une des composantes d'interprétation PC1 et PC2.

3.5.1.1. La deuxième saison de culture 2022-23

La lignée avancée G4 est dite cultivars à haute réflectance des bandes Rouge (R) et Verte (G) durant la phase d'épiaison de part de sa corrélation positive avec la composante de la réflectance partielle PC1, en l'occurrence et vue leurs corrélation négative avec le même axe d'interprétation, les lignées avancées G3, G5, G9 avec le génotype introduit Jupare C 2001 sont dites des cultivars à faible réflectance pour les bandes (R) et (G) durant la même phase d'épiaison. La lignée avancée G1 ainsi que les croisements locaux de Boutaleb et Oued El Bared avaient des liaisons positives avec la composante de rendement (PC2), ces cultivars sont dites des cultivars à haut rendement en grains, les lignées avancées G2 et G8 sont les cultivars les plus faibles en matière de rendement en grains vue leurs attachement négative à cet axe d'interprétation.

L'analyse en composante principale avait classée PC3 comme composante des faibles teneurs en chlorophylle de part de sa corrélation négative avec les moyennes des teneurs en chlorophylle en phase d'épiaison, la lignée avancée G10 et le croisement Boussellem sont dites des cultivars à faible teneurs en chlorophylle durant l'épiaison à cause de liaison positive qui les réunis avec cette composante. Les lignées avancées G6, G7 et G11 avaient des fortes teneurs en chlorophylle durant la phase d'épiaison d'après leurs liaisons négatives avec PC3.

Les figures 32 et 33 résument en biplots les relations des paramètres mesurés (Variables) et des variétés étudiées (Individus) avec les composantes d'interprétation durant les deux années d'étude.

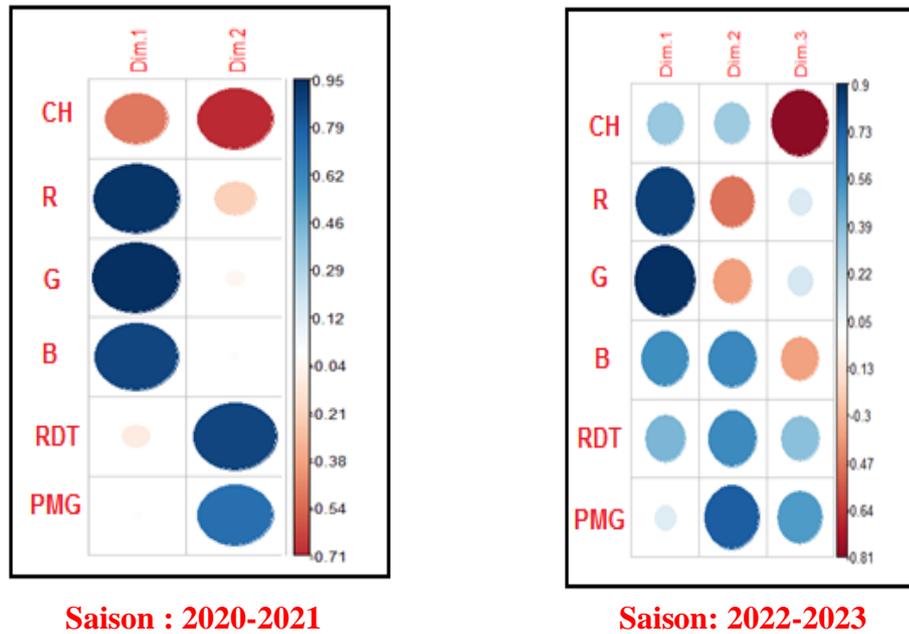


Figure 30. Visualisation des corrélations des paramètres étudiées avec les axes d'interprétation d'ACP durant les deux saisons d'étude 2020-21, 2022-23.

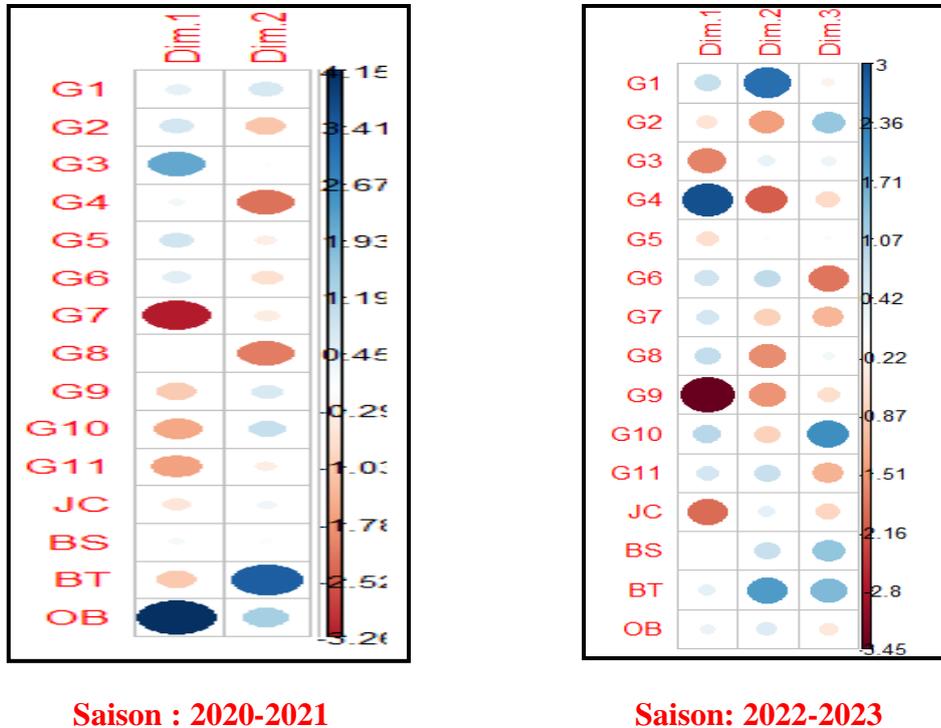


Figure 31. Visualisation des adresses des variétés étudiées sur les axes d'interprétation d'ACP durant les deux saisons d'étude 2020-21, 2022-23.

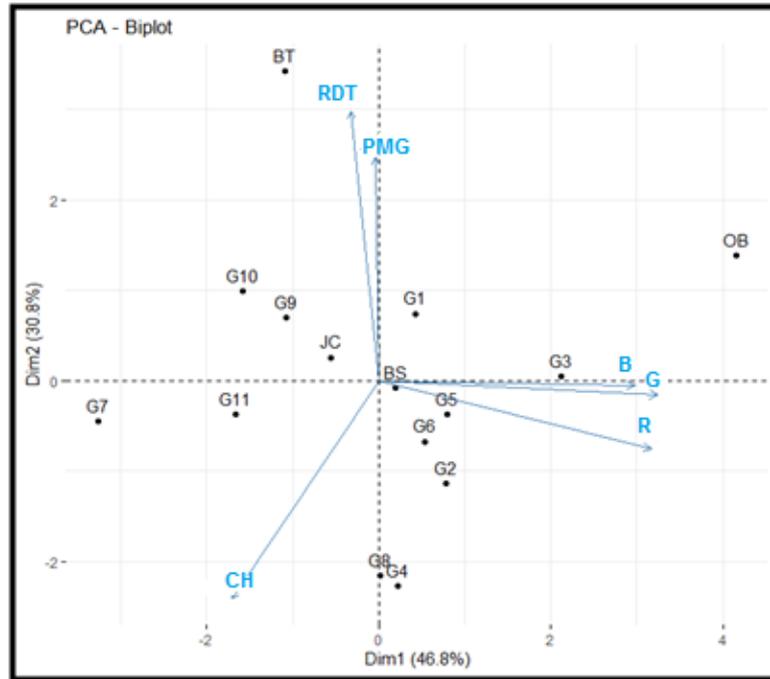


Figure 31. Biplot des relations paramètres mesurés et des adresses des variétés étudiées avec les trois premières composantes de l'ACP durant l'année d'étude 2020-21.

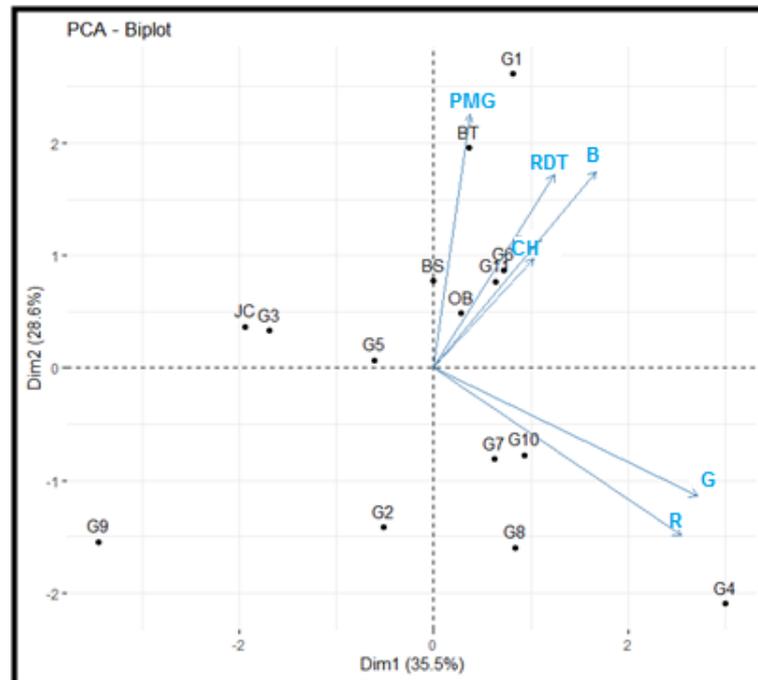


Figure 32. Biplot des relations paramètres mesurés et des adresses des variétés étudiées avec les trois premières composantes de l'ACP durant l'année d'étude 2022-23.

4. CONCLUSION

La céréaliculture une spéculation prédominante de l'agriculture dans une Algérie riche avec ces caractéristiques topographiques et bioclimatiques qui témoignent d'une diversité de paysages et de systèmes de culture. La photosynthèse comme principale source de la production de la matière sèche et du rendement en grains, les chlorophylles absorbent l'énergie lumineuse et la transfèrent dans l'appareil photosynthétique.

Notre étude vise à déterminer l'influence des teneurs en chlorophylle ainsi que la réflectance de la feuille drapeau des trois bandes Rouge, Verte et Bleue (RGB) durant la phase de l'épiaison sur le rendement en grains d'une quinzaine de cultivars de blé dur (*Triticum durum* Desf.) semis dans les conditions semi-arides de la station expérimentale agricole de l'Institut Technique des Grandes Cultures ITGC de Sétif durant les deux saisons d'étude 2020-21 et 2022-23.

Les résultats du suivi de l'évolution des teneurs en chlorophylle à partir du stade épiaison jusqu'à la maturité physiologique ont montrés une dégradation des teneurs en chlorophylle durant les deux saisons de cultures. Une différence du comportement de dégradation a été enregistrée entre les deux années d'étude, le changement des conditions climatiques durant la deuxième saison de culture qui a connu une sécheresse extrême a pesé sur l'aptitude de certains variétés à garder leurs chlorophylles pour un plus de temps.

Le suivi des moyennes de réflectance de la feuille drapeau durant la phase épiaison a montré une grande variabilité inter-variétale au niveau des trois bandes RGB, la réflectance sur la bande Bleue était moindre par rapport aux deux bandes Rouge et Verte qui avaient de petites écarts réflectance.

L'analyse de la variance (ANOVA) des paramètres étudiés a montré que l'effet génotype était significatif pour tout ces paramètres et durant les deux saisons d'étude, la même analyse indique que l'effet de saison a été très hautement significatif pour tout ces paramètres, en l'occurrence, l'interaction (Génotype x Saison) n'était significative que pour les paramètres physiologiques, cela signifie une grande influence changements des conditions climatiques sur le comportement physiologique des cultivars étudiés, le croisement local de Boutaleb qui était le meilleur cultivar en matière de rendement en grains durant les deux saisons de culture, a affiché de faibles

valeurs de réflectance sur les deux bandes Rouge (R) et Verte (G) et des valeurs moyennes de réflectance sur la bande Bleue (B) avec des valeurs moyennes des moyennes des teneurs en chlorophylle durant la phase d'épiaison par rapport au moyennes générales des deux saisons de culture.

L'étude des corrélations linéaire de Pearson indique de fortes corrélations entre la quasi-totalité des indices de réflectance RGB durant la phase épiaison. Les teneurs moyennes en chlorophylle durant la phase épiaison ont fait des corrélations contradictoires qui restent a confirmées. Les paramètres agronomiques restent fortement liés mais ils n'ont fait aucune relation avec les autres paramètres.

L'analyse en composantes principales a confirmée nos résultats en regroupant les cultivars étudiés selon leurs affinités physio-agronomiques, les cultivars les mieux rentables comme le croisement locale de Boutaleb ou la lignée Avancée G1 était en total corrélation positive avec l'axe de rendement. Des lignées avancées comme G3 ou G5 était des lignées hautement réflectantes et en corrélation avec l'axe de la réflectance foliaire. Un axe des teneurs en chlorophylle est apparu la dernière saison a attiré les cultivars les plus influant par leurs teneurs moyennes en chlorophylle durant la phase d'épiaison comme les lignées avancées G6, G7 ou G11 qui avaient les plus fortes teneurs durant cette phase.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

L'Algérie, très riche par ses caractéristiques topographiques et bioclimatiques, témoigne d'une diversité de paysages et de systèmes de culture, la céréaliculture est la spéculation prédominante de l'agriculture, elle couvre une superficie annuelle d'environ 3,6 millions d'hectares de surfaces agricoles utiles (SAU). En effet, la majeure partie des emblavures se trouvent localisées sur les hautes plaines dans les zones semi-arides, caractérisées par des hivers relativement froids, un régime pluviométrique insuffisant et irrégulier, des gelées printanières fréquentes et du sirocco en fin de cycle, ces stress affectent sérieusement les rendements en grains, en particulier celui du blé dur.

La sénescence est définie comme une régression des fonctions vitales avec l'âge ou sous l'influence de divers facteurs environnementaux, accompagnée de modifications de la couleur des feuilles dues à la dégradation de la chlorophylle, à la diminution de la teneur en eau et à la dégradation des membranes cytoplasmiques.

Notre étude réalisée au cours de trois saisons de culture 2019-20, 2020-21 et 2022-23 dans les champs d'expérimentation de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) de Sétif a permis d'étudier le comportement physio-morpho-agronomique de 15 cultivars composés de 03 croisement Boussellem, Boutaleb et Oued El Bared d'origine locale et semi-locale, un génotype introduit Jupare C 2001 avec 11 lignées avancées d'origine CIMMITY, a fin d'évaluer leurs performances et d'estimer les paramètres de la sénescence et indices de la réflectance de la feuille drapeau en vue de les utiliser ultérieurement comme critères de sélection des variétés de blé dur les plus adaptés dans les conditions semi-arides.

L'étude climatique réalisée sur le site d'étude nous a permis de constater une variabilité à la fois inter-saisonnière et inter-annuelle des précipitations, avec un régime pluviométrique de type APHE (Automne – Printemps – Hiver - Eté). Une variation inter saisonnière a été aussi enregistrée par rapport à la température. L'étude la pluviométrie a classé de point de vue avantage climatique pour la végétation la première saison de culture 2019-2020 comme la saison la plus favorable pour développement des cultures non seulement pour ses cumules des précipitations, mais aussi sur la richesse pluviométrique le long de la période végétative (Février – Avril) qui correspond aux stades clés de développement qui nécessitent un grand potentiel hydrique en plus de la répartition équitable des temps pluviaux durant cette période. De ce fait, la dernière saison 2022-2023 a été classée défavorable pour le développement de la végétation à cause de la sécheresse extrême qui a touché les stades clés de développement de la végétation.

L'étude morpho-agronomique faite sur deux campagnes agricoles 2019-20 et 2020-21 a montré que l'effet génotype était significatif pour la quasi-totalité des caractères étudiés, l'effet saison de culture était hautement significatif pour la totalité des paramètres agronomiques mais l'interaction (Génotype x Saison de culture) n'a été significative que pour la précocité, la hauteur de la plante et le poids de mille grains. Ces résultats sont dues aux changements dans les conditions climatiques qui ont favorisés la saison de culture 2019-20 a cause de la quantité et a la répartition des pluies saisonnières. Le nombre de grains par épi ainsi que le poids de mille grains ont contribué significativement dans le rendement en grains, la lignée G10 et la variété locale Boutaleb était les cultivars les plus performants durant les deux saisons de culture.

Les courbes de la progression de la sénescence en fonction des cumuls des températures durant les deux saisons d'étude 2020-21 et 2022-23 ont montrés que le cours temporel sigmoïdal de la sénescence présentait une variabilité génotypique. Les sommes des températures à la mi-sénescence différaient nettement entre les génotypes. Le croisement local Boutaleb et les lignées avancées G1et G10 les cultivars les mieux classés en matière de rendement en grains durant les deux saisons de culture, avaient une sénescence plus lente par rapport aux autres cultivars, ces cultivars avaient enregistré des valeurs moyennes de la moyenne de sénescence (S_a) et de la réflectance totale en plein épiaison (R_t), des valeurs +/- faibles de la vitesse moyenne de sénescence (V_{sa}), des valeurs élevées des cumules des températures a la mi-sénescence ($\sum T_{50_s}$) par rapport aux moyennes saisonnières enregistrés. L'effet saison de culture ainsi que son interaction avec le génotype étaient très hautement significatif pour tout les paramètres de sénescence, suggérant une influence des changements environnementaux sur l'expression de ces.

Les résultats du suivi de l'évolution des teneurs en chlorophylle à partir du stade épiaison jusqu'à la maturité physiologique ont montrés une dégradation des teneurs en chlorophylle durant les deux saisons de cultures. Une différence du comportement de dégradation a été enregistrée entre les deux années d'étude, le changement des conditions climatiques durant la deuxième saison de culture qui a connu une sécheresse extrême a pesé sur l'aptitude de certains variétés à garder leurs chlorophylles pour un plus de temps. Le suivi des moyennes de réflectance de la feuille étendard durant la phase épiaison a montré une grande variabilité inter-variétale au niveau des trois bandes RGB, la réflectance sur la bande Bleue (B) était moindre par rapport aux deux bandes Rouge (R) et Verte (G) qui avaient de petites écarts de réflectance. L'effet génotype ainsi que l'effet saison de culture étaient

apparent pour tous les paramètres et durant les deux saisons d'étude, l'effet de saison a été très hautement significatif pour tout ces paramètres, en l'occurrence, l'interaction (Génotype x Saison) n'était significative que pour les paramètres physiologiques, cela témoigne d'une grande influence changements des conditions climatiques sur le comportement physiologique des cultivars étudiés, le croisement local de Boutaleb qui était le meilleur cultivar en matière de rendement en grains durant les deux saisons de culture 2020-21 et 2022-23, a affiché de faibles valeurs de réflectance sur les deux bandes Rouge (R) et Verte (G) et des valeurs moyennes de réflectance sur la bande Bleue (B) avec des valeurs moyennes des moyennes des teneurs en chlorophylle durant la phase d'épiaison.

La sélection basée sur les paramètres de sénescence reste prometteuse de part la tendance des variétés les plus productives en matière de rendement en grains vers un retard de sénescence.

Le retard de sénescence implique un élargissement de la durée de vie des pigments chlorophylliennes favorisant une photosynthèse plus productive en matière d'assimilats et un remplissage de grains beaucoup plus grand, à cet effet nous suggérons que ce travail sera continuer pour plusieurs saisons de culture pour :

- Mettre en évidence cette thèse cela pour une meilleure compréhension de la relation sénescence – rendement.
- Etudier génétiquement le caractère de sénescence et les gènes responsables afin d'arriver à faire des croisements basés sur l'aptitude des génotypes à avoir une sénescence plus retardée pour permettre un élargissement de la période photosynthétique chose qui peut favoriser un bon remplissage de grains et un bon rendement.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

A

- Abeledo L. G., Savin, R., Slafer, G.A.** .2008. Wheat productivity in the Mediterranean Ebro Valley: Analyzing the gap between attainable and potential yield with a simulation model. *European journal of Agronomy*, 28: 541-550.
- Acevedo, E., Hsiao, T. C. and Henderson, D. W.** 1971 .Immediate and subsequent growth responses of maize leaves to changes in water status. *Plant Physiology* , 48: 631-636.
- Acevedo, E, Harris, H. and Cooper, P. J .M.** 1991. Crop architecture and water use efficiency in Mediterranean environments. In H. Harris, P.J.M. Cooper and M. Pala, eds. *Soil and Crop Management for Improved Water Use Efficiency in Rainfed Areas*, ICARDA, pp: 106-118.
- Adam, Z. and Clarke, A.K.** 2002. Cutting edge of chloroplast proteolysis. *Trends Plant Science*, 7: 451-456.
- Adamsen, F.J., Pinter, J.P.J., Barnes, E.M. [et al.].** 1999. Measuring wheat senescence with a digital camera. *Crop Science*, 39(3): 719-724.
- Aharoni, N. and Lieberman, M.** 1979. Patterns of ethylene production in senescing leaves. *Plant Physiology* , 64:796-800.
- Ahlrichs, J.S. and Bauer, M.E.** 1982. Relation of agronomic and multispectral réflectance characteristics of spring wheat canopies. Purdue University, Lafayette, IN. LARS Technical Report 121082, 26p.
- Ahmad, I.S. and Reid, J.F.** 1996 . Evaluation of colour representations for maize images. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 63(3): 185-196.
- Ahmadizadeh, M. , Nori, A. , Shahbazi, H., Aharizad, S.** 2011. Correlated response of morpho-physiological traits of grain yield in durum wheat under normal irrigation and drought stress conditions in greenhouse. *African Journal of Biotechnology*, 10 (85) : 19771-19779.
- Aissaoui, M.R.and Fenni, M.** 2021. Effect of supplemental irrigation on bread wheat genotypes yield under Mediterranean semi-arid conditions of north-eastern Algeria. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 74(1): 9431-9440.
- Al Khatib, K. and Paulsen, G.M.** .1985 .Use of growth regulators to control senescence of wheat at different temperatures during grain development . *Journal of Agricultural and Food Chemistry* , 33:866-870.
- Al-Abbas, A. H., Barr, R., Hall, J. D., Crâne, F. L. and Baumgardner, M. F.** 1974. Spectra of normal and nutrient-deficient maize leaves, *Agronomy Journal*, 66:16-20.

- Aleyar , A.A., Park , T.S., Vergara , B.S. and Visperas , R.M.** 1995 . The effect of source sink imbalance in rice leaf senescence and yield . In P.Mathis (ed) .Photosynthesis from light to biosphere. Kluwer academic press, (v): 723-726.
- Amokrane, A., Bouzerzour, H., Benmahammed, A. and Djekoun, A.** 2002. Caractérisation des variétés locales, syriennes et européennes de blé dur évaluées en zone semi-aride d'altitude. Sciences et Technologie. Univ. Mentouri. Constantine, N° spécial D: 33-38 .
- Angus, J.F., Cunningham, R.B., Moncur, M.W. and Mackenzie, D.H.** 1981. Phasic development in field crops. I. Thermal response in the seedling phase. Field Crops Research, 3: 365-378.
- Annicchiarico, P., Abdellaoui, Z., Kelkouli, M., Zerargui, H.** 2005. Grain yield, straw yield and economic value of tall and semi dwarf durum wheat cultivars in Algeria. J. of Agric. Sci., 143: 57-67.
- Araus, J. L., Ali Dib, T., et Nachit, M.** 1998. Some insights into morphological traits associated with cereal yield increases in Mediterranean environments. In: Proceeding of SEWANA, ICARDA: 139-157.
- Araus, J.L., Casadesus, J. and Bort, J.** 2001. Recent tools for the screening of physiological traits determining yield. p. 59–77. In M.P. Reynolds, J.I. Ortiz-Monasterio, and A. McNab (ed.) Application of physiology in wheat breeding. CIMMYT, Mexico, D.F.
- Ashraf, M. and O'Leary, J.W.** 1996. Responses of some newly developed salt-tolerant genotypes of spring wheat to salt stress: II. Water relation and photosynthetic capacity. Acta Botanica Neerlandica, 45: 29-39.
- Aubry, C. and Griner, C.** 1986. Description du milieu physique de la région semi-aride de la Tunisie. In: séminaire systèmes de production à dominante céréalière dans le semi-aride. Jebel Oust, (1986): 18-37.
- Aycicek, M., Yildirim, T.** 2006. Path coefficient analysis of yield and yield components in bread wheat (*Triticum aestivum* L) genotypes. Pakistan Journal of Botany, 38:417– 424.
- Ayers, A.D., Brown, J.W. and Wadleigh, L.** 1952 . Salt tolerance on barley and wheat in soil plots receiving several salinization regimes. Agronomy Journal, 44: 307-310.
- Ayers, R. and Wescot, D.** 1976 . Water quality for agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. 97p.

B

- Bacci, L., De Vincenzi, M., Rapi, B. [et al.].** 1998. Two methods for the analysis of colorimetric components applied to plant stress monitoring. *Computers and Electronics in Agriculture*, 19(2): 167-186.
- Badr, A., Müller, K., Schäfer-Pregl, R., El Rabey, H., Effgen, S. [et al.].** 2000. On the origin and domestication history of Barley (*Hordeum vulgare*). *Molecular Biology and Evolution*, 17(4): 499-510.
- Bajji, M., Lutts, S. et Kinet, J.M.** 2000. La résistance au stress hydrique chez le blé dur : Comparaison des comportements au niveau cellulaire et au niveau de la plante entière, *Options Mediterr. Ser.A* 40: 227-231.
- Bajji, M., Lutts, S., and Kinet, J.M.** 2001. Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf aging in three durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars performing differently in arid conditions. *Plant Science*, 160: 669-681.
- Bagga, A.K., Ruwal, K.N. and Asana, R.D.** 1970. Comparaison of responses of some indian and semi-dwarf Mexican wheats to unirrigated cultivation. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 40: 421-427.
- Gausson, H. and Bagnouls, F.** 1952. "L'Indice Xérothermique," 10-16.
- Bahlouli, F., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., Hassous, K.L.** 2005. Selection of high yielding and risk efficient durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars under semi-arid conditions. *Pak. J. Agron.*, 4: 360-365.
- Bajji, M.** 1999. Étude des mécanismes de résistance au stress hydrique chez le blé dur: caractérisation de cultivars différant par leurs niveaux de résistance à la sécheresse et de variants somaclonaux sélectionnés In vitro. Thèse de doctorat. Univ. Louvain.
- Barrs, H.** 1968. Determination of water deficit in plant tissues. In: *Water Deficit and Plant Growth*. Kozlowski, T. Academy Press. New York, 235-368 p.
- Bate, N.J, Rothstein, S.J and Thompson, J.E.** 1991. Expression of nuclear and chloroplast photosynthesis-specific genes during leaf senescence. *Journal of Experimental Botany*, 42: 801-811.
- Bidinger, F., Musgrave R.B. and Fischer R.A.** 1977. Contribution of stored preanthesis assimilates to grain yield in wheat and barley. *Nature*, 270:430-433.
- Belkharchouche, H., Fella, S., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., & chellal, N.** 2009. vigueur de croissance, translocation et rendement En grains du blé dur (*Triticum durum* desf.) Sous conditions semi arides. *Courrier du Savoir*, (09):17-24.

- Ben Naceur, M., Gharbi, M.S. et Paul, R.** 1999. L'amélioration variétale et les autres actions contribuant à la sécurité alimentaire en Tunisie en matière de céréales. *Sécheresse*, 10: 27- 33.
- Benbella, M. et Paulsen, G.M.** 1998. Efficacy of Treatments for Delaying Senescence of Wheat Leaves: II. Senescence and Grain Yield under Field Conditions. *Agronomy Journal*, 90: 332-338.
- Bendada, H.** 2021. Contribution à la sélection de l'adaptation de quelques génotypes d'orge (*Hordeum vulgare* L.) dans les conditions agro-climatiques semi-arides de la région de Sétif. Thèse Doctorat, Université Mohamed Boudhiaf M'sila, 152p.
- Benmahammed, A., Bouzerzour, H., Mekhlouf, A., & Benbelkacem, A.** 2008. Variation de la teneur relative en eau, l'intégrité cellulaire, la biomasse et l'efficacité d'utilisation de l'eau des variétés de blé dur (*Triticum turgidum* L. var *durum*) conduites sous contraintes hydrique. *Recherche Agronomique, INRA*, 21: 37-47.
- Benseddik, B. et Benabdelli, K.** 2000. Impact du risque climatique sur le rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en zone semi-aride, approche écophysiole. *Sécheresse*, 11: 45-51.
- Benziger, M., Edmeades, G.O. and Lafitte, H.R.** 1999. Selection for drought tolerance increases maize yields across a range of nitrogen levels. *Crop Science*, 39: 1035-1040.
- Blank, A. and McKeon, T.A.** 1991. Expression of three RNase activities during natural and dark induced senescence of wheat leaves. *Plant Physiology*, 97:1409-1413.
- Blum, A.** 1996. Crop responses to drought and the interpretation of adaptation plant growth regulation. 20: 135 - 148.
- Bongi, G. and Long, S.P.** 1987. Light-dependent damage to photosynthesis in olive leaves during chilling and high temperature stress. *Plant, Cell & Environment*, 10: 241-249.
- Borell, A.K and Douglas, A.C.L.** 1996. Maintaining green leaf area in grain sorghum increases yield in a water limited environment. *Aias Occasional Puplicaton*, 93: 315-322.
- Borrell, A. K., van Oosterom, E. J., Mullet, J. E., George-Jaeggli, B., Jordan, D. R., Klein, P. E., and Hammer, G. L.** 2014. Stay-green alleles individually enhance grain yield in sorghum under drought by modifying canopy development and water uptake patterns. *The New Phytologist.*, **203(3)**: 817–30.
- Borrill, P., Harrington S.A., Simmonds, J. and Uauy, C.** 2019. Identification of Transcription Factors Regulating Senescence in Wheat through Gene Regulatory

- Network Modelling. Plant Physiology, 180 (3): 1740–1755.
<http://dx.doi.org/10.1104/pp.19.00380>.
- Bouaziz, A. and Hicks, D.R.**, 1990. Consumption of wheat seed reserves during early growth as affected by soil water potential. *Plant and Soil*, 128: 161-165.
- Bouzerzour, H., & Benmahammed, A.** 1994. Environmental factors limiting barley grain yield in the high plateau of eastern Algeria. *Rachis*, 7: 11-14.
- Bouzerzour, H., Djekoune, A., Benmahammed, A., & Hassous, L.** 1998. Contribution de la biomasse aérienne, de l'indice de récolte et de la précocité au rendement de l'orge (*H. vulgare* L.) en zone semi-aride d'altitude, *Méthodes et techniques, Cahiers Agricultures*, 07 : 307 -17.
- Bouzerzour, H., Benmahammed, A., Benkharbache, N., & Hassous, K. L.** 2002. Contribution de la sélection à l'amélioration et à la stabilité des rendements de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) dans l'étage bioclimatique semi-aride, *Revue Recherche Agronomique de l'INRA*, 10 : 45-58.
- Buchanan-Wollaston, V., Page, T., Harrison, E., Breeze, E. [et al.]** .2005 .Comparative transcriptome analysis reveals significant differences in gene expression and signaling pathways between developmental and dark/starvation-induced senescence in *Arabidopsis*, *Plant Journal*, 42(4): 567–585.
<http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-313X.2005.02399.x>.

C

- Cao, W. and Moss, D.N.** 1994 . Sensitivity of winter wheat phyllochron to environmental changes. *Agronomy Journal*, 86: 63-66.
- Carter, G.A. and Knapp, A.K.** 2001. Leaf optical properties in higher plants: linking spectral characteristics to stress and chlorophyll concentration. *American Journal of Botany*, 84: 677-684.
- Chappelle, E.W., Kim, M.S. and McMurtrey, J.E.** 1992. Ratio analysis of reflectance spectra (RARS): An algorithm for the remote estimation of the concentrations of chlorophyll B, and carotenoids in soybean leaves. *Remote Sensing of Environment* , 39:239–247.
- Chellali, B.** 2007. Marché mondial des céréales : L'Algérie assure sa sécurité alimentaire. Valable sur <http://www.lemaghreb.dz.com/> . Consulté le 31.05.2020.

- Chenafi, H., Aïdaoui, A., Bouzerzour, H., Saci, A.** 2006. Yield response of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivar Waha to deficit irrigation under semi-arid growth conditions. *Asian Journal of Plant Sciences* , 5: 854-860.
- CIC.** 2016. Rapport annuel du Conseil International des Céréales "CIC" pour l'année 2016.
- Clouse, S.D and Sasse J.M.** 1998. Brassinosteroids: essential regulators of plant growth and development. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 49:427-451.
- Corak, S.J., T.C. Kaspar, and D.W. Meek.** 1993. Evaluating methods for measuring residue cover. *J. Soil Water Conserv.* 48:70–74.
- Cornaire, B., Phamthi, A. T., Zuily-Fodil, Y., Daniel, C., and Vieira Da Silva, J. B.** 1995. Contribution to study on oil palm drought tolerance: Protoplasmic resistance. INRA, Inter drought, VI
- Costat 6.400 .** 1998. Copyright©1998-2008, CoHort Software798 Lighthouse Ave BMP 320, Monterey, CA 93940 , USA ,URL <http://www.cohort.com> .
- Cooper, P. J. M., Keating, J. D. H., & Hughes, G.** 1983. Crop evapotranspiration - technique for calculation of its components by field measurements. *Field Crops Res*, 7: 299-312.
- Creelman, R.A and Mullet, J.E.** 1997. Biosynthesis and action of jasmonates in plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 48:355-381.
- Croston, R.P. and Williams, J.T .**1981. A world survey of weat genetic ressources. IBRGR. Bulletin /80/59, 37 pages.
- Cruz de Carvalho, M.H., Laffray, D., Louguet, P.**1998. Comparison of the physiological responses of *Phaseolus vulgaris* and *Vigna unguiculata* cultivars when submitted to drought conditions, *En-viron. Exp. Bot.* 40 (3): 197–207.
- Çulha Erdal, Ş., and Çakırlar, H.** 2014. Impact of salt stress on photosystem II efficiency and antioxidant enzyme activities of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars. *Turkish Journal of Biology.*, 38: 549-560.

D

- Demetriades-Shah, T.H., Steven, M.D. and Clark, J.A.** 1990. High resolution derivative spectra in remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 33:55-64.
- Demmig-Adams, B .and Adams, W.W.** 1996. The role of xanthophyll cycle carotenoids in the protection of photosynthesis. *Trends in Plant Science*, 1 : 21-27.

- Desimone, M., Wagner, E. and Johanningmeier, U.** 1998. Degradation of active-oxygenmodified ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase by chloroplastic proteases requires ATP hydrolysis. *Planta*, 205:459-466.
- Dewey, D.R., Lu, K.H.** 1959. A correlation and path coefficient analysis of components of crested wheat grass seed production. *Agronomy Journal*, 51: 515–518.
- Draper, N.R., Smith, H.** 1981. Applied regression analysis. 2nd edition. Wiley series in probability and mathematical statistics. John Wiley & Sons. N.Y., pp. 709.
- Distefano, S., Palma, J.M., McCarthy, I. and del Río L.A.** 1999. Proteolytic cleavage of plant proteins by peroxisomal endoproteases from senescent pea leaves, *Planta*, 209:308-313.
- Dixon, P., Weinig, C. and Schmitt, J.** 2001. Susceptibility to UV damage in *Impatiens capensis* (Balsaminaceae): testing for opportunity costs to shade-avoidance and population differentiation. *American Journal of Botany*, 88(8): 1401-1408.
- Dodge, J.D.** 1970. Changes in chloroplast fine structure during the autumnal senescence of *Betula* leaves. *Annals of Botany*, 34:817-824.
- Dubcovsky, J. and Dvorak, J.** 2007. Genome plasticity a key factor in the success of polyploid wheat under domestication. *Science*, 316 (5833):1862.
- Dubey, R. S.** 1994. Protein synthesis by plants under stressful conditions, in: M. Pessaraki (Ed.), *Handbook of Plant and Crop Stress*, Marcel Dekker, New York, pp. 277/299.

E

- Eisen, M.B., Spellman, P.T., Brown, P.O. and Botstein, D.** 1998. Cluster analysis and display of genome-wide expression patterns. *Proceedings of the National Academy of Science USA*, 95: 14863–14868.
- EL Madidi, S. and Zivy, M.** 1993. Variabilité génétique des protéines de choc thermique et thermo-tolérance chez le blé. Le progrès génétique passe-t-il par le repérage et l'inventaire des gènes In H. Chlyah and Y. Demarly, eds. *Actualités Scientifiques*. pp : 173-181.
- Elliott, G.A. and Regan, K.L.** 1993. Use of réflectance measurements to estimate early cereal biomass production on sand plain soils. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 33:179-183.
- Elvridge, C.D. and Z. Chen.** 1995. Comparison of broadband and narrow band red and near infrared vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 54:38-48.

- Erroux, J. et Laumont, P.** 1961. Mémoire de la société d'histoire naturelle de l'Afrique du Nord, 5, 95 p.
- Evans, L.T. ,Wardlaw, I.F. and Fischer, R.A .** 1969 . Wheat In Evans, L.T (ed). Crop Physiology, same case histories. Cambridge University Press. New York .USA. pp: 101-109.
- Everitt, J.H., Richardson A.J. and Gaussman, H.W.** 1985. Leaf réflectance-nitrogen-chlorophyll relations in buffelgrass. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 51: 463-466.
- Everitt, B.S, Dunn, G.** 1992. Applied Multivariate Data Analysis. Oxford University Press, New York, NY.
- Everitt, B.S.** 1993. Cluster Analysis. Wiley, New York, NY.

F

- Faiss, M., Zalubilová, J., Strnad, M. and Schmölling, T.** 1997. Conditional transgenic expression of the ipt gene indicates a function for cytokinins in paracrine signaling in whole tobacco plants. Plant Journal, 12:401-415.
- FAO.** 2013. FAO Statistical Yearbook 2013 (World Food and Agriculture). United Nations, ISSN 2225-7373. 289 pages.
- FAO.** 2019. Food Outlook - Biannual Report on Global Food Markets, FAO – November 2019. Rome.
- FAOSTAT.** 2013. Statistical Database of the Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAOSTAT.** 2020. Statistical Database of the Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available on <https://www.fao.org/faostat/fr/#data>. Accessed at April 10th, 2020.
- Farshadfar, E.** 2004. Multivariate principles and procedures of statistics. Taghbostan Pub. Kermanshah, Iran. P 734.
- Feillet P.** 2000. Le grain de blé : Composition et utilisation. Mieux comprendre. INRA, ISSN: 1144- 7605 - ISBN: 2- 73806 0896- 8, 308p.
- Fellah, S.** 2008. Variation de la teneur relative en eau, de l'intégrité cellulaire, de la croissance et de l'efficience d'utilisation de l'eau des variétés de blé dur conduites sous différentes intensités de stress hydrique. Mémoire magister. Institut des Sciences de la Nature, Centre Universitaire Larbi Ben Mhidi, OEB, 70 p.
- Fellahi, Z.** 2013. Aptitude à la combinaison et héritabilité de quelques caractères agronomiques du blé tendre (*Triticum aestivum* L.). Mémoire de Magister, Faculté des Sciences Agro-

- Vétérinaires et Biologiques, Département d'Agronomie. Université Saad Dahlab, Blida, Algérie, 124 p.
- Feller, U. and Fischer, A.** 1994. Nitrogen metabolism in senescing leaves. *Critical Reviews in Plant Sciences* , 13:241-273.
- Ferrio, J.P., Villegas, D., Zarco, J., Aparicio, N., Araus, J. L. and Royo, C.** 2005. Assessment of durum wheat yield using visible and near-infrared reflectance spectra of canopies. *Field Crops Res.*, **94**: 126-148.
- Fichier :** Leaf Structure-fr.svg . Available on:
https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Fichier:Leaf_Structure-fr.svg . Accessed on January 15th, 2021.
- Fillela, I., Serrano,L., Serra,J. and Penuelas,J.** 1995. Evaluating wheat nitrogen status with canopy reflectance indices and discriminant analysis. *Crop Science*, 35:1400-1405.
- Fischer, R.A. and Maurer, R.** 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars, I.grain yield responses. *Australian Journal Agricultural Research* , 29: 897-912.
- Fischer, R.A.** 1985 . Physiological limitation to producing wheat in semitropical and tropical environments and possible selection criteria In *Proceeding of the International Symposium Wheats for More Tropical Environments*, México. D.F.: CIMMYT. pp: 209-230.
- Francois, L.E., Maas, E.V., Donovan, T. J. and Youngs, V.L.** 1986 . Effect of salinity on grain yield and quality, vegetative growth, and germination of semi-dwarf and durum wheat. *Agronomy Journal*, 78: 1053-1058.
- Frih, B.,Oulmi, A.,Guendouz, A.,Bendada, H., Selloum, S.** 2021b. Statistical Analysis of the Relationships Between Yield and Yield Components in Some Durum Wheat (*Triticum durum* desf.) Genotypes Growing under Semi-Arid Conditions. *International Journal of Bio-resource and Stress Management* , 12(4): 385-392.
[HTTPS://DOI.ORG/10.23910/1.2021.2431](https://doi.org/10.23910/1.2021.2431).

G

- Gate, P.** 1995. *Ecophysiologie du blé*. Ed. ITCF. Technique et Documentation. Lavoisier, Paris, 419 pages.
- Gates, D. M. and Tantraporn, W.** 1952. The reflectivity of deciduous trees and herbaceous plants in the infrared to 25 microns.*Science*,115:613-616.

- Gausman, H.W., Allen, W.A., Marcia Schupp , Wiegand, C.L., Escobar, D.E and Rodriguez, R.R.** 1970 . Réflectance, transmittance, and absorptance of light of leaves for 11 plant genera with different leaf mesophyll arrangement. Technical Monogram 7 September 1970. Texas A&M University.
- Ghosh, P. K., Ramesh, P., Bandyopadhyay, K. K., Tripathi, A. K., Hati, K. M., Misra, A. K.** 2004. Comparative effectiveness of cattle manure, poultry manure, phosphocompost and fertilizer-NPK on three cropping systems in vertisols of semi-arid tropics. II. Dry matter yield, nodulation, chlorophyll content and enzyme activity. *Bioresour. Technol.*, **95**: 85-93.
- Gitelson, A.A. and Merzlyak, M.N.** 1994. Spectral réflectance changes associate with autumn senescence of *Aesculus hippocastanum* L. and *Acer platanoides* L. leaves. Spectral features and relation to chlorophyll estimation. *Journal of Plant Physiology*, **143**: 286 – 292.
- Godoy Hilario, P.M.** 2020. Principaux pays producteurs de blé dans le monde 2016-2019. STAISTA. Available on <https://fr.statista.com/statistiques> . Consulté le 20 /01/2021.
- Gonzalez, A., Martin, I. and Ayerbe, L.** 1999. Barley yield in water stress conditions. The influence of precocity, osmotic adjustment and stomatal conductance. *Field Crop Research*, **62**: 2334.
- Grbic, V. and Bleecker, A.B.** 1995. Ethylene regulates the timing of leaf senescence in *Arabidopsis*. *Plant Journal* , **8**:595-602.
- Greer, D.H., Berry, J.A. and Björkman, O.** 1986. Photoinhibition of photosynthesis in intact bean leaves. *Planta*, **168**: 253-260.
- Grieve, C.M., Francois, L.E. and Maas, E.V.** 1994. Salinity affects the timing of phasic development in spring wheat. *Crop Science*, **34**: 1544-1549.
- Guendouz, A. and Maamri, K.** 2011. Research Note Evaluating durum wheat performance and efficiency of senescence parameter usage in screening under Mediterranean conditions. *Electronic Journal of Plant Breeding*, **2**(3), 400- 404.
- Guendouz, A., and Maamari, k.** 2012. Grain-filling, chlorophyll content in relation with grain yield component of durum wheat in a Mediterranean environment. *African Crop Science Journal*, **20** (1): 31 – 37.
- Guendouz, A. Maamari , K., Guessoum, S., Hafsi, M., Benidir, M.** 2012a . Flag leaf senescence, chlorophyll content and its relationships with yield components under drought in durum wheat (*triticum durum* desf). *International Journal of Innovations in Bio-Sciences*, **2**(4):186-192.

- Guendouz, A., Guessoum, S., Maamri, k. and Hafsi, M.** 2012b. The effect of supplementary irrigation on grain yield, yield components and some morphological traits of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars. *Advance in Environmental Biology*, 6 (2): 564-572.
- Guendouz, A., Guessoum, S., Maamari, K., Hafsi, M.** 2012c. Predicting the efficiency of using the RGB (Red, Green and Blue) réflectance for estimating leaf chlorophyll content of Durum wheat (*Triticum durum* Desf.) genotypes under semi arid conditions. *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*, 6 (2): 102-106.
- Guendouz, A., Guessoum,S., Maamri,K., Benidir,M. and Hafsi,M.** 2013a. Performance of ten durum wheat (*triticum durum*Desf.) cultivars under semi arid conditions (North Africa -Algeria-). *Indian Journal of Agricultural Research* ,47 (4): 317 – 322.
- Guendouz ,A. , Djoudi, M., Guessoum, S., Maamri, K., Fellahi, Z., Hannachi,A., Hafsi , M.** 2013b. Durum wheat (*Triticum durum* Desf.) evaluation under semi arid conditions in eastern Algeria by path analysis. *Journal of Agriculture and Sustainability*, 3 (1): 56-64.
- Guendouz, A.,Guessoum, S.,Maamri, K., Benidir, M. and Hafsi, M.** 2013c. Flag leaf Réflectance Efficiency as Indicator for Drought Tolerance in Durum Wheat (*Triticum durum* Desf.) Under Semi Arid Conditions. *International journal of Agronomy and Plant Production*, 4 (6): 1204-1215.
- Guendouz, A. and Hafsi, M.** 2016. Effect of supplementary irrigation on réflectance and some physiological properties of durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *Revue Agriculture* ,12 : 86 – 99.
- Guiamét, J.J, Pichersky, E. and Noodén, L.D.** 1999 . Mass exodus from senescing soybean leaves. *Plant and Cell Physiology* , 40: 986-992.
- Guo, T.C., Wang, C.Y., Zhu, Y.J., Wang, H.C., Li, J.X. and Zhou, J.Z.** 1998. Effects of high temperature on the senescence of roots and tops of wheat plants in the later stage. *Acta Agronomica Sinica* , 24:957–962.

H

- Habjorg, A.** 1972 . Effects of light quality, light intensity and night temperature on growth and development of three latitudinal populations of *Betula pubescens* Ehrh. *Meld Nor Landbrukshögsk* , 51 (26): 1-17.

- Haffaf, A., Labdi, M., Hammou, M.,** 2003. Tolerance a lasecheresse, une realite dans le développement de lacerealiculture et l utilisation des espaces productifs enzones semi-arides. *Cerealiculture* 40, 20–24.
- Hafsi, M, Mechmeche, W, Bouamama, L, Djekoune, A, Zaharieva, M and Monneveux, P.** 2000 . Flag leaf senescence, as evaluated by numerical image analysis, and its relationship with yield under drought in durum wheat. *J. Agronomy and Crop Sci.* 185:275–280.
- Hafsi, M. and Guendouz, A .** 2012. Some Aspects of Leaf Senescence, Senescence, Dr. Tetsuji Nagata (Ed.), ISBN: 978-953-51-0144-4, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/senescence/someaspects-of-leaf-senescence>.
- Hafsi, M. and Guendouz, A. 2020.** Leaf Senescence in Wheat: A Drought Tolerance Measure, *Plant Science - Structure, Anatomy and Physiology in Plants Cultured in Vivo and in Vitro*, Ana Gonzalez, María Rodriguez and NihalGörenSağlam, IntechOpen, <http://doi.org/10.5772/intechopen.89500>
- Hamadache A.** 2013. *Eléments de phytotechnie générale : Grandes Culture- Tom I : Le blé.* 1ère édition. Mohamed Amrani, 49-69.
- Hamli,S.,Bouzerour,H.,Benmahammad,A.,Oulmi,A.,Kad,K.,Addad,D.**2015.Déterminisme génétique des caractères morpho-physiologiques liés au rendement chez le blé dur en zone semi-aride des hauts plateaux sétifiens, algérie. *European Scientific Journal*, 11(12) : 146-160.
- Hannachi , A., Fellahi , Z., Bouzerzour, H., Boutekrabt, A.** 2013. Correlation, Path Analysis and Stepwise Regression in Durum Wheat (*Triticum Durum* Desf.) under Rainfed Conditions. *Journal of Agriculture and Sustainability* 3(11): 122-131.
- Harding, S.A., Guikema, J.A. and Paulsen, G.M.** 1990 . Photosynthetic decline from high temperature stress during maturation of wheat. I. Interaction with senescence processes. *Plant Physiology*, 92: 648-653.
- Henry Y. et Beyser J.** 2000 .Origine des blés dans la science. H série, 26: 60- 62.
- Hervieu, B., Capone, R. and Abis, S.** 2006. L'enjeu céréalier en méditerranée. Les notes d'analyse du CIHEAM N°9, p.1-13.
- Hochman, Z.** 1982. Effect of water stress with phasic development on yield of wheat grown in a semi-arid environment. *Field Crops Res*, 5, 55-67.
- Hodges, D.M. and Forney, C.F.** 2000. The effects of ethylene, depressed oxygen and elevated carbon dioxide on antioxidant profiles of senescing spinach leaves. *J Exp Bot.* 51:645-655.

- Hoffer, R.M., and Johannsen, C. J.** 1969 . Ecological potentials in spectral signature analysis, in Remote Sensing in Ecology (P. L. Johnson, Ed.), University of Georgia Press, Athens, GA.
- Huete, A.R., Post, D.F., and Jackson, R.D.** 1984. Soil spectral effects on 4-space vegetation discrimination. Remote Sens. Environment, 15:155-165.
- Huffaker, R.C.** 1990. Proteolytic activity during senescence of plants. New Phytol. 116:199231.

I

- ICARDA.** 1987. Cereal Improvement Program Annual Report.
- Idso, S.B., Reginate, R.J., Hatfield, J.I. and Pinter, P.J.J.** 1984 . Measuring yield reducing plant water potential depression in wheat by infrared thermometry. Irrigation Science, 2: 205-212.
- Iftikhar, R., Khaliq, I., Ijaz,M., Rashid, M.A.** 2012. Association Analysis of Grain Yield and its Components in Spring Wheat (*Triticum aestivum* L.). American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences, 12 (3): 389–392.
- Inada, N., Sakai, A., Kuroiwa, H. and Kuroiwa, T.** 1998. Three-dimensional analysis of the senescence program in rice (*Oryza sativa* L.) coleoptiles. Planta, 205:153-164.
- Innes, J.L., Ghosh, S., Schwyzer, A.** 1996. A method for the identification of trees with unusually color foliage. Canadian Journal of Forest Research , 26(9): 1548-1555.
- Ioannis, N.X., Ioannis , M. , Evangelos, G. K. , Elissavet, N. , Aphrodite, T. , Ilias D. A. and Athanasios, G. M.** 2020. Durum Wheat Breeding in the Mediterranean Region: Current Status and Future Prospects. Agronomy , 10, 432.

J

- Jeantet R., Croguennec, T., Schuck, P., and Brulé, G.** 2006. Science des aliments : Biochimie Microbiologie- Procédés- Produits. V2. Technologie des produits alimentaires. (éd).TEC & DOC. Paris.
- Jiang, H., Wang, X.H., Deng, Q.Y, Yuan, L.P. and Xu, D.Q.** 2002.Comparison of some photosynthetic characters between two hybrid rice combinations differing in yield potential. Photosynthtica , 40:133-137.
- John, I., Drake, R., Farrel, A., Cooper, W., Lee, P., Horton, P. and Grierson, D.** 1995. Delayed leaf senescence in ethylene-deficient ACC-oxidase antisense tomato plants: molecular and physiological analysis. Plant Journal , 7: 483-490.

- Johnson, D.A., Richards, R.A., and Turner, N.C.** 1983. Yield, water relations, gas exchange, and surface reflectances of near isogenic wheat lines differing in glaucousness. *Crop Science*, 23:318-325.
- Johnson, R.C., Nguyen, H.T. and Croy, L.I.** 1984. Osmotic adjustment and solute accumulation in two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science*, 24: 957-962.
- Jones, R.A. and Qualset, C.O.** 1984. Breeding crops for environmental stress tolerance. In G.B. Collins and J.G. Petolino, eds. *Application of Genetic Engineering to Crop Improvement*. Nijhoff/Junk, Dordrecht: 305-340.

K

- Khan, A.S., Ashfaq, M., Asad, M.A.** 2003. A correlation and path coefficient analysis for some yield components in bread wheat. *Asian Journal of Plant Sciences*, 2 (8): 582 - 584.
- Karou, M., El hanfid, R., Smith, D.H. and Samir, K.** 1998. Physiological attributes associated with early season drought resistance in spring durum wheat cultivars. *Canadian Journal of Plant Science*, 78: 227-237.
- Kirst, G.O.** 1989. Salinity tolerance of eukariotic marine algae. *Annual Reviews of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 40: 21-53.
- Knipling, E.B.** 1967. Physical and physiological basis for differences in reflectance of healthy and diseased plants, *Workshop on Infrared Color Photography in the Plant Sciences*, Winter Haven, FL, March.
- Knipling, E.B.** 1970. Physical and physio-logical basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation, *Remote Sensing of Environment*, 1:155-159.
- Kobata, T., Palta, J.A and Turner, N.C.** 1992. Rate of Development of Postanthesis Water Deficits and Grain Filling of Spring Wheat. *Crop Science*, 32 (5): 1238-1242.
- Koski, V. and Selkainaho, J.** 1982. Experiments on the joint effect of heat sum and photoperiod on seed lings of *Betula pendula*. *Commun. Inst. For. Fenn*, 105 p.
- Koster, K.L. and Lynch, D.V.** 1992. Solute accumulation and compartmentation during the cold acclimation of Puma rye. *Plant Physiology*, 98: 108-113.
- Krenzer, E.G., Nipp, T.L and McNew, R.W.** 1991. Winter wheat main stem leaf appearance and tiller formation vs. moisture treatment. *Agronomy Journal*, 83: 663-667.

L

- Lebon, E., Pellegrino, A., Tardieu, F. and Lecoeur, J.** 2004. Shoot development in grapevine is affected by the modular branching pattern of the stem and intra and inter-shoot trophic competition. *Annals of Botany*, 93 : 263 -274 p.
- Lefebvre, V., Poormohammad Kiani, S., and Durant-Tardif, M.** 2009. A focus on natural variation for abiotic constraints response in a model species *Arabidopsis thaliana*. *International Journal of molecular sciences.*, **10**: 3547-3582.
- Leegood, M.C. and Edwards, G.E.** 1996. Carbon metabolism and photorespiration : Temperature dependence in relation to other environmental factors. In N.R. Baker, ed. *Photosynthesis and the Environment. Advances in photosynthesis. Vol 5.* Kluwer Academic Publ.
- Leilah A.A. and Al -Khateeb, S.A.** 2005. Statistical analysis of wheat yield under drought conditions. *Journal of Arid Environments*, 61 (3): 483 - 496.
- Leopold, A.C.** 1980. Aging and senescence in plant development. In Thimann KV, ed, *Senescence in plants.* CRC Press, Boca Raton: 1-12.
- Long, S.P. and Humphries, S.** 1994. Photo-inhibition of photosynthesis in nature. *Annual review of plant physiology and plant molecular biology*, 45:633-662.
- Loomis, R.S. and Amthor, J.S.** 1999. Yield Potential, Plant Assimilatory Capacity, and Metabolic Efficiencies. *Crop Science*, 39:1584–1596.
- Lopes, M. S., Reynolds, M. P.** 2012. Stay-green in spring wheat can be determined by spectral reflectance measurements (normalized difference vegetation index) independently from phenology. *J. Exp. Bot.*, **63**: 3789–3798.
- Ludewig, F. and Sonnewald, U.** 2000. High CO₂-mediated down-regulation of photosynthetic gene transcripts is caused by accelerated leaf senescence rather than sugar accumulation. *FEBS Letters* , 479:19-24.
- Ludlow, M.M. and Muchow, R.C.** 1990. A critical evaluation of traits for improving crop yields in water-limited environments. *Advances in Agronomy*, 43: 107-153.
- Lutts, S., Kinet, J.M. and Bouharmont, J.** 1996. NaCl-induced senescence leaves of rice (*Oryza sativa*) cultivars differing in salinity resistance. *Annals of Botany*, 78:389-398.
- Lyons, J.M.** 1973. Chilling in jury in plants. *Annual Reviews of Plant Physiology*, 24: 445-451.

M

- Maas, E. and Grieve, C.** 1986. Salt tolerance of plants. *Applied Agricultural Research*, 1(1): 12-26.
- Madhava, R.K.V., Raghavendra, A.S. and Janardhan, R.K.** 2006. Printed in the Netherlands. *Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants*. Springer: 1-14 .
- Martin, J.H., Leonard, W.H. and Stamp, D.L.** 1976. *Principles of field crop production*. Macmillan, New York: 11-18.
- Marutani, Y., Yamauchi, Y., Miyoshi, K., Inoue Ikeda, K., Mizutani, M., and Sugimoto, Y.** 2014. Regulation of photochemical energy transfer accompanied by structural changes in thylakoid membranes of heat-stressed wheat. *International Journal of Molecular Sciences*, **15**: 23042-23058.
- MADR.** 2009. Statistiques série B-Ministère de l'agriculture et du développement rural.
- MADR.** 2012. Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural, Statistiques agricoles, superficies et productions, Direction des Statistiques Agricoles et des Enquêtes Economiques, Série B.
- MADR.** 2018. Statistiques série B-Ministère de l'agriculture et du développement rural.
- Mae, T., Thomas, H., Gay, A.P., Makino, A. and Hidema, J.** 1993. Leaf development in *Lolium temulentum*: photosynthesis and photosynthetic protein in leaves senescing under different irradiances. *Plant & Cell Physiology*, 34:391-399.
- Makino, A. and Osmond, B.** 1991. Effects of nitrogen nutrition on nitrogen partitioning between chloroplasts and mitochondria in pea and wheat. *Plant Physiology*, 96:355-362.
- Mansouri, A., Oudjehih, B., Benbelkacem, A., Fellahi, Z. and Bouzerzour, H.** 2018. Variation and Relationships among Agronomic Traits in Durum Wheat [*Triticum turgidum* (L.) Thell. ssp. *Turgidum* conv. *Durum* (Desf.) Mackey] under South Mediterranean Growth. *International Journal of Agronomy* Volume 2018, Article ID 8191749, 11 pages. <https://doi.org/10.1155/2018/8191749>.
- Marschner, H.** 1986. *Mineral nutrition of higher plants*. Academic Press, London, 674 p.
- Martin, D.P. and Rybicki, E.P.** 1998. Microcomputer-based quantification of maize streak virus symptoms in *Zea mays*. *Phytopathology* , 88(5): 422-427.
- Masclaux, C., Valadier, M.H., Brugière, N., Morot-Gaudry, J.F. and Hirel, B.** 2000. Characterization of the sink/source transition in tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) shoots in relation to nitrogen management and leaf senescence. *Planta* , 211:510-518.

- Matin, M.A., Brown, J.H. et Ferguson, H.** 1989. Leaf water potential, relative water content, and diffusive resistance as screening techniques for drought resistance in barley. *Agronomy Journal*, 81: 100-105.
- Merzlyak, M.N. and Chivkunova, O.B.** 2000. Light-stress-induced pigment changes and evidence for anthocyanin photoprotection in apples. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 55(2/3): 155-163.
- Mian, M.A.R and Nafziger, E.D.** 1994. Seed size and water potential effects on germination and seed ling growth of winter wheat. *Crop Science* , 34: 169-171.
- Midmore, D.J., Cartwright, P.M. and Fischer, R.A.** 1984 . Wheat in tropical Environments, II. Crop growth and grain yield. *Field Crops Research* , 8: 207-227.
- Miller, A., Tsai, C.H., Hemphill, D., Endres, M., Rodermeil, S.and Spalding, M.** 1997. Elevated CO₂ effects during leaf ontogeny. A new perspective on acclimation, 115:1195-1200.
- Mogensen, V.O., Mortensen, G. and Jensen, C.R.** 1994. Photosynthesis of flag leaves and ears of field grown barley during drought. *European Journal of Agronomy*, 3: 111-116.
- Moghaddam,M., Ehdaie, B., Waines, J.G.** 1998. Genetic variation for and inter-relationships among agronomic traits in landraces of bread wheat from south western Iran. *Journal of Genetics and Breeding*, 52 (1)73–81.
- Mohammad, S., Fida , M. , Mohammad, T.,** 2002. Path coefficient analysis in wheat. *Sarhad Journal of Agriculture*, 18 (4) : 383 - 388.
- Moran, M.S., Hymer,D.C., Qi, J.and Sano, E.**2000. Soil Moisture Evaluation Using Multi-Temporal Synthetic Aperture Radar (SAR) in Semiarid Rangeland.*Agriculture and Forest Meteorology*, 105(3-1):69-80.
- Morris, K., Mackerness, S., Page, T., John, C.F., Murphy, A.M., Carr, J.P. and Buchanan Wollaston, V,** 2000 . Salicylic acid has role in regulating gene expression during leaf senescence. *Plant Journal* , 23:677-685.
- Mouellef, A.** 2010. Caractères physiologiques et biochimiques de tolérance du blé dur (*Triticum durum* Desf.) au stress hydrique. Mémoire magister, Faculté de biologie. Département de Biologie Végétale et Écologie, Université Constantine, 82 p.

N

- Nachit, M.M.,Elouafi, I.,Rao, S.C. and Ryan, J.** 2004. Durum adaptation in the Mediterranean dryland : Breeding, stress physiology, and molecular markers In

- Challenges and Strategies for Dryland Agriculture. CSSA Special Publication, 32; Rao, S.C., Ryan, J., Eds.; Crop Science Society of America Inc.: Madison, WI, USA; American Society of Agronomy Inc.: Madison, WI, USA: 203–218.
- Noodén, L.D.** 1988. Abscisic acid, auxin, and other regulators of senescence In Noodén L, Leopold A, eds, Senescence and aging in plants. Academic Press, San Diego: 329-368.
- Noodén, L.D., Guiamét, J.J. and John, I.** 1997. Senescence mechanisms. *Physiologia Plantarum*, 101:746-753.

0

- O'Toole, J.C. and Stockle, C.D.** 1991. The role of conceptual and simulation modelling in plants breeding In E. Acevedo, E. Fereres, C. Gimenez and J.P. Srivastava, eds. Improvement and Management of winter Cereals under Temperature, Drought and Salinity Stresses. National Institute for Agricultural Research, (INIA), Madrid, Spain .
- O'Brien, I.E, Murray, B.G, Baguley, B.C, Morris, B.A and Ferguson, I.B.** 1998. Major changes in chromatin condensation suggest the presence of an apoptotic pathway in plant cells. *Experimental Cell Research* , 241:46-54.
- Ommen, O.E., Donnelly, A., Vanhoutvin, S. [et al.].** 1999. Chlorophyll content of spring wheat flag leaves grown under elevated CO₂ concentrations and other environmental stresses within the 'ESPACE-wheat' project. *European Journal of Agronomy*, 10(3-4): 197- 203.
- Oosterhuis, D.M. and Cartwright, P.M.** 1983. Spike Differentiation and floret survival in semidwarf spring wheat as affected by water stress and photoperiod. *Crop Science* , 23: 711-716.
- Oulmi, A., Semcheddine, N., Fellahi, Z., Salmi, M., Laala, Z., Rabti., A. et Benmahammed. A.** 2016. Variabilité génétique, héritabilité et corrélations entre les caractères phéno-morpho-physiologiques et agronomiques des populations F₂ de blé dur (*Triticum durum* Desf.). *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 17(4):1275-1285.
- Oulmi, A., Guendouz, A., Nadjim. S., Frih, B., Laadel, N., Adjabi, A. and Benmahammed. A.** 2020. Study of direct response and related to the early selection of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) genotypes growing under semi-arid conditions. *Ponte Multidisciplinary Journal of Sciences & Research*, 76(12): 249-267. [HTTPS://DOI.ORG/10.21506/j.ponte.2020.12.13](https://doi.org/10.21506/j.ponte.2020.12.13).

P

- Pääkkönen, E., Holopainen, T. and Kärenlampi, L.** 1997 . Variation in ozone sensitivity among clones of *Betula pendula* and *Betula pubescens*. *Environment Pollution* , 95:37-44.
- Pajević, S., Krstih, B., Stankovich, Z., Plešnicar, M. and Dencih, S.** 1999. Photosynthesis of flag leaf and second wheat leaves during senescence. *Cereal Research Communications*, 27:155–162.
- Pajević, S., Krstih, B., Stankovich, Z., Plešnicar, M. and Dencih, S.** 1999. Photosynthesis of flag leaf and second wheat leaves during senescence. *Cereal Research Communications*, 27:155–162.
- Palfi, G., Bito, M. and Palfi, Z.** 1973. Water deficit and free proline in plant tissues. *Fiziol. Rast.*, 20: 233–238.
- Palta , J.A., Kobata , T., Turner , N.C. and Fillery , R.** 1994. Remobilization of Carbon and Nitrogen in Wheat as Influenced by Postanthesis Water Deficits. *Crop Science*, 34: 118-124.
- Pan,Q.M, Yu,Z.W, Tian,Q.Z,Wang,Y.F,Liu,W.X, and Wang, R.Y.** 1998 . Effects of nitrogen top dressing stage on the senescence of flag leaves and roots in winter wheat under super high yielding level . *Acta Agronomica sinica* , 24: 924-929.
- Passioura, J.B.** 2004. Increasing crop productivity when water is scarce: from breeding to field management. In proceedings of the 4th International Crop Science Congress " New directions for a diverse plant". Brisbane, Australia, 12p.
- Patrignani, A., Ochsner, T.E.** 2015. Canopeo: A Powerful New Tool for Measuring Fractional Green Canopy Cover. *Agronomy Journal*, 107(06): 2312-2320. [HTTPS://DOI.ORG/10.2134/agronj15.0150](https://doi.org/10.2134/agronj15.0150) .
- Patterson, T.G and Moss, D.N.** 1979. Senescence in field –grown wheat . *Crop Science*, 19 : 635-640.
- Paul, M.J and Driscoll, S.P.** 1997 . Sugar repression of photosynthesis: the role of carbohydrates in signaling nitrogen deficiency through source: sink imbalance. *Plant, Cell & Environment*, 20:110-116.
- Pell, E.J., Sinn, J.P., Brendley, B.W., Samuleson, L., Vinten-Johansen, C., Tien, M. and Skillman, J.** 1999. Differential response of four tree species to ozone-induced acceleration of foliar senescence. *Plant, Cell & Environment*, 22:779-790.

- Peñuelas, J., Filella, I.** 1998. Visible and near-infrared reflectance techniques for diagnosing plant physiological status, 3(4): 151–6.
- Perez, A.J., Lopez, F., Benlloch, J.V. and Christensen, S.** 2000. Colour and shape analysis techniques for weed detection in cereal fields. *Computers and Electronics in Agriculture*, 25(3): 197-212.
- Pietrini, F., Iannelli, M.A. and Massacci, A.** 2002. Anthocyanin accumulation in the illuminated surface of maize leaves enhances protection from photo-inhibitory risks at low temperature, without further limitation to photosynthesis. *Plant, Cell and Environment*, 25(10): 1251-1259.
- Pirdashti, H., Ahmadpour, A., Shafaati, F., Hosseini, S.J., Shahsavari, A. and Arab, A.** 2012. Evaluation of most effective variables based on statistically analysis on different wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. *International Journal of Agriculture: Research and Review*, 2(4), 381–388.
- Pollock, C.J., Lloyd, E.J., Stodart, J. and Thomas, H.** 1983. Growth, photosynthesis, and assimilates partitioning in *Lolium tremulentum* L. exposed to chilling temperatures. *Plant Physiology*, 59: 257-262.
- Pollock, C.J.** 1984. Sucrose accumulation and the initiation of fructan biosynthesis in *Lolium tremulentum* L. *New Phytologist*, 96: 527-534.
- Powles, S., Berry, B. and Björkman, O.** 1983. Interaction between light and chilling temperature on the inhibition of photosynthesis in chilling- sensitive plant. *Plant, Cell & Environment*, 6: 117-123.

R

- R Core Team.** 2020. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org> .
- Radford, P.K.** 1967. Growth analysis formulae. The uses and abuses. *Crop Science*, 7:171-175.
- Radhouane, L.** 2008. Caractéristiques hydriques du mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) en présence de contraintes hydriques. *C. R. Biologies* 331 (2008) 206–214.
- Reynolds, M. P., Balota, M., Delgado, M. I. B., Amani, I., and Fischer, R. A.** 1994. Physiological and morphological traits associated with spring wheat yield under hot, irrigated conditions. *Aust. J. Plant. Physiology*, 21: 717-730.

- Ribeiro, A., J. Ranz, X.P. Burgos-Artizzu, G. Pajares, M.J.S. del Arco, and L. Navarrete.** 2011. An image segmentation based on a genetic algorithm for determining soil coverage by crop residues. *Sensors (Basel)* 11:6480–6492.
<https://doi.org/doi:10.3390/s110606480> .
- 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**:111-121.
- Richardson, M.D., D.E. Karcher, and L.C. Purcell.** 2001. Quantifying turfgrass cover using digital image analysis. *Crop Sci.* 41:1884–1888.
<https://doi.org/doi:10.2135/cropsci2001.1884> .
- Richmond, A.R. and Lang, A.** 1957. Effect of kinetin on protein content and survival of detached Xanthium leaves. *Science*, 125:650-651.
- Ries, S.K. and Everson, E.H.** 1973. Protein content and seed size relationships with seedlings vigor of wheat cultivars. *Agron. J.*, 65: 884-886.
- Robson, P.R.H., K. Farrar, A.P. Gay, E.F. Jensen, J.C. Clifton-Brown, and I.S. Donnison.** 2013. Variation in canopy duration in the perennial biofuel crop *Miscanthus* reveals complex associations with yield. *J. Exp. Bot.* 64:2373–2383.
<https://doi.org/doi:10.1093/jxb/ert104>
- Royo, C., Michelena, A., Carrillo, J.M., Garcí'a, P., Juan-Aracil, J. and Soler, C.** 1998. Spanish durum wheat breeding program In Nachit MM, Baum M, Porceddu, Monneveux, Picard E (eds). SEWANA (South Europe, West Asia and North Africa) durum research network. Proceedings of the SEWANA durum network workshop, 20 – 23 March 1995. ICARDA: Aleppo, Syria, pp 80 –87.
- Ruel, T.** 2006. Document sur la culture du blé, édition Educagri.

S

- Salama, S., Trivedi, S., Busheva, M., Arafa, A.A., Garab, G. and Erdei, L.** 1994. Effects of NaCl salinity on growth, cation accumulation, chloroplast structure and function in wheat cultivars differing in salt tolerance. *Journal of Plant Physiology*, 144: 241-247.
- Salamé, N.** 2012. Evolution : accompagnement pédagogique. Caryotypes des 3 mêmes espèces de blé. www.acces.ens-lyon.fr.
- Sall, A., Chiari, T., Legesse, W., Seid-Ahmed, K., Ortiz, R. and Van Ginkel, M.** 2019. Durum wheat (*Triticum durum* Desf.): origin, cultivation and potential expansion in Sub-Saharan Africa. *Agronomy*, 9:263. <https://doi.org/10.3390/agronomy9050263>.

- Sassi, K., Abid, G., Jemni, L., Dridi-Al Mohandes, B., et Boubaker, M.** 2012. Étude comparative de six variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) vis-à-vis du stress hydrique. *Journal of Animal & Plant Sciences*, **15**(2): 2157-2170.
- Savitskaya, N.N.** 1967. Problem of accumulation of free proline in barley plant under conditions of soil water deficiency. *Fiziol Rast.*, 14: 737-739.
- Sawyer- Steven, F.** 2009. Analysis of Variance: The Fundamental Concepts, *Journal of Manual & Manipulative Therapy*, 17 (2): 27E-38E.
- Schrevens, E. and Raeymaeckers, L.** 1992 . Colour characterization of golden delicious apples using digital image processing. *Acta Horticulturae*, 304: 159-166.
- Scott, N.S. and Possigham, J.V.**1983. Changes in chloroplast DNA levels during growth of spinach leaves. *Journal of Experimental Botany*, 34:1756-1767.
- Seaton, G.R. and Walker, D.A.** 1992. Validating Chlorophyll Fluorescence Measures of Efficiency: Observations on Fluorimetric Estimation of Photosynthetic Rate. *Proceedings: Biological Sciences*, 249 (1324): 941-47.
- Seigel, R. and Howell, J .** 2002 . *Thermal Radiation Heat Transfer*, 4th Ed. Taylor and Francis, New York, NY.
- Shamsi, K., Petrosyan, M., Noor-mohammadi, G., Haghparast, A., Kobraee, S. and Rasekhi, B.** 2011. Differential agronomic responses of bread wheat cultivars to drought stress in the west of Iran. *African Journal of Biotechnology*, 10(14): 2708–2715.
- Sharma, J.R.** 1998. *Statistical and Biometrical Techniques in Plant Breeding*. New Age International (P) Limited Publishers, New Delhi ,432p
- Shannon, M.C.** 1997. Adaptation of plants to salinity. *Advances in Agronomy*, 60: 75-120.
- Shpiler, L. and Blum, A.** 1986. Differential reaction of wheat cultivars to hot environments. *Euphytica*, 35: 483-492.
- Sibley, J.L., Eakes, D.J., Gilliam, C.H. [et al.].** 1995. Growth and fall color of red maple selections in the southeastern United States. *Journal of Environmental Horticulture*, 13(1): 51-53.
- Simone, B., Struik, P.C., Nachit, M. and Peacock, J.M.** 1993. Ontogenic analysis of yield components and yield stability of durum wheat in water-limited environments. *Euphytica*, 71: 211–219.
- Sims, D.A. and Gamon, J.A.** 2002. Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. *Remote Sensing of Environment*, 81: 337-354.

- Sinclair, T. R., Hoffer, R.M. and Screiber, M.M.** 1971. Réflectance and internal structure of leaves from several during groing season, *Agronomy Journal*, 63:864-868.
- Singh, S, Letham, D.S. and Palni, L.M.S.** 1992a. Cytokinin biochemistry in relation to leaf senescence. VII. Endogenous cytokinin levels and exogenous applications of cytokinins in relation to sequential leaf senescence of tobacco. *Physiologia Plantarum*, 86:388-397.
- Singh, S., Letham, D.S., Palni, L.M.S.** 1992b .Cytokinin biochemistry in relation to leaf senescence. VIII. Translocation, metabolism and biosynthesis of cytokinins in relation to sequential leaf senescence of tobacco. *Physiologia Plantarum* , 86:398-406.
- Singh, S.P., Diwivedi,V.K.** 2002. Character association and path analysis in wheat (*Triticum aestivum* L.) *Agricultural Sciences Digest*, 22 (4), 255 - 257.
- Sissons, M., Osborne, B., Sissons, S.** 2006. Application of near Infrared Réflectance Spectroscopy to a Durum Wheat Breeding Programme. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 14(1):17-25. <https://doi.org/10.1255%2Fjnirs.582>.
- Simone, B., Struik, P.C., Nachit, M.M. and Peacock, J.M.** 1993. Ontogenetic analysis of yield components and yield stability of durum wheat in water -limited environments. *Euphytica*, 71:211 -219.
- Smart, C.M.,** 1994. Gene expression during leaf senescence. *New Phytologist*, 126: 419-448.
- Smart, C.M., Hosken, S.E., Thomas, H., Greaves, J.A., Blair, B.G. and Schuch, W.** 1995. The timing of maize leaf senescence and characterisation of senescence-related DNAs. *Physiologia Plantarum*, 93:673-682.
- Snedecor, G.W., Cochran, W.G.** 1981. *Statistical Methods*, seventhed. Iowa State University Press, Iowa, USA.
- Sofield, I., Wardlaw , I.F. , Evans, L.T. and Lee, S.Y.** 1977 . Nitrogen, phosphorus, and water contents during grain development and maturation in wheat. *Australian Journal of Plant Physiology*, 4: 799-810.
- Soltner, D.** 1998. Les grandes productions végétales : céréales, plantes sarclées, prairies.
- Spagnoletti-Zeulli, P.L., and Qualset. C.O.** 1990. Flag leaf variation and the analysis of diversity in durum wheat. *Plant Breeding*, 105:189-202.
- Spiertz, J.H.B, Tan Hag, B.A. and Kupers, L.J.P.** 1971. Relatioinship between leaf area duration and grain yield in some varieties of spring wheat . *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 19 : 211-222.

T

- Taiz, L. and Zeiger, E.** 2002. *Plant physiology*. 2nd Ed. Sinauer Associates, Sutherland,MA .

- Takamiya, K.I, Tsuchiya, T. and Ohta, H.** 2000. Degradation pathway(s) of chlorophyll: what has gene cloning revealed ? Trends in Plant Science, 5:426-431.
- Tedone, L., Alhajj Ali, S., De Mastro, G.** 2018. Optimization of nitrogen in durum wheat in the Mediterranean climate: The agronomical aspect and greenhouse gas (GHG) emissions. In Nitrogen in Agriculture—Updates; Amanullah, K., Fahad, S., Eds.; InTech: London, UK ; 8: 131–162.
- Thomas S.H., Warburton, M.L. and Harlan, J.R.** 1975. Harlan's Corps and Man. Eds John Wiley and sons. NY, 350 p.
- Thomas, H., Stoddart, J.L.** 1980. Leaf senescence. Annual Review of Plant Physiology, 31: 83-111.
- Thompson, J.E., Froese, C.D., Madey, E., Smith, M.D. and Hong, Y.** 1998. Lipid metabolism during plant senescence. Progress in Lipid Research, 37:119-141.
- Townsend, A.M. and McIntosh, M.S.** 1993 . Variation among full-sib progenies of red maple in growth, autumn leaf color, and leafhopper injury. Journal of Environmental Horticulture, 11(2): 72-75.
- Triboi, E.** 1990. Modelé d'élaboration du poids du grain chez le blé tendre (*Triticum aestivum*) en thell . Agronomie, 1: 191- 200.
- Turner, J.E. and Begg, J.E.** 1978. Responses of pasture plants to water deficits. In: Wilson J.R. (ed.): Plants Relations in Pastures. CSIRO, Melbourne : 50-66.
- Turner, N.C.** 1986. Adaptation to water deficits: A changing perspective. Australian Journal of Plant Physiology, 13: 175-190.
- Tutiempo.** 2023. Site météorologique mondiale <https://fr.tutiempo.net> , consulté le 15 juin 2023.

V

- Van Staden, J., Cook, E.L. and Noodén, L.D.** 1988. Cytokinins and senescence. In Noodén L, Leopold A, eds, Senescence and aging in plants. Academic Press, San Diego : 281-328.
- Vesna, K., Dejan, D., Miroslav, Z., Ana, N., Gordana, Š. M., Željko, K., Goran, A. and Nenad, Đ.** 2018. Grain filling parameters of two- and six-rowed barley genotypes in terminal drought conditions. Italian Journal of Agro-meteorology, 2/2018.
- Vieira Santos, C.L., Campos, A., Acevedo, H. and Caldeira, G.** 2001. In situ and in vitro senescence induced by KCl stress: nutritional imbalance, lipid peroxidation and antioxidant metabolism. Journal of Experimental Botany, 52:351-360.

Vierstra, R.D. 1996 .Proteolysis in plants: mechanisms and functions. *Plant Molecular Biology*, 32:275-302.

W

Wardlaw, I.F. 2002. Interaction between drought and chronic high temperature during kernelfilling in wheat in a controlled environment. *Annals of Botany*, 90: 469-476.

Wardlaw, I.F. 1990 .The control of carbon partitioning in plants. *New Phytologist*, 116:341-381.

Weidner, V.R and Hsia, H.H. 1981. Reflectance properties of pressed poly-tetra-fluoroethylene powder, *J. Optical Soc. Am.* 71:856-861.

Wingler, A., von Schaewen, A., Leegood, R.C., Lea, P.J. and Quick, W.P. 1998. Regulation of leaf senescence by cytokinin, sugars, and light. Effects on NADH-dependent hydroxypyruvate reductase. *Plant Physiology*, 116:329-335.

Wittich, K.P., and O. Hansing. 1995. Area-averaged vegetative cover fraction estimated from satellite data. *Int. J. Biometeorol.* 38:209–215.

<https://doi.org/doi:10.1007/BF01245391>

Wolfe, D.W., Henderson, D.W., Hsiao, T.C., and Alavino, A. 1988. Interactive water and nitrogen effects on senescence of maize : leaf area duration , nitrogen distribution and yield . *Agronomy Journal*, 80 :859-864.

Woolhouse, H.W. 1984. The biochemistry and regulation of senescence in chloroplasts. *Canadian Journal of Botany* , 62:2934-2942.

Wyn Jones, R. and Gorham, J. 1991. Physiological effects of salinity: scope for genetic improvement In E. Acevedo, E. Fereres, C. Giménez and J.P. Srivastava, eds. *Improvement and management of winter cereals under temperature, drought and salinity stresses. Proceeding of the International Symposium*, p. 177-201. October, 1987. ICARDA-INIA. Córdoba Spain.

Y

Yen, C.H. and Yang, C.H. 1998. Evidence for programmed cell death during leaf senescence in plants. *Plant, Cell & Physiology*, 39: 922-927.

Ykhlef, N. et Djekoun, A. 2000. Adaptation photosynthétique et résistance à la sécheresse chez le blé dur (*Triticum turgidum* L. var. *durum*): Analyse de la variabilité génotypique. *Options Méditerranéennes*, 40: 327-330.

Z

- Zakizadeh, M., Esmailzadeh, M., Kahrizi, D.** 2010. Study on genetic variation and relationship between plant characteristics and grain yield in long spike bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes using multivariate analysis. Iranian Journal of Crop Sciences, 12 (2):18-30.
- Zavalet-Mancera, H.A, Thomas, B.J, Thomas, H, Scott, I.M.** 1999. Regreening of senescent Nicotinalleaves. II. Redifferentiation of plastids. Journal of Experimental Botany, 50:1683-1689.
- Zitouni, Z.**2006. Cinétique de quelques paramètres physiologiques du blé dur *Triticum durum* (variété Vitron) sous contrainte hydrique dans la plaine de Mittidja. Mémoire de magister, Institut National Agronomique (INA), El Harrach, Alger, 171p.

ANNEXES
DE
PUBLICATIONS



Statistical Analysis of the Relationships Between Yield and Yield Components in Some Durum Wheat (*Triticum durum* desf.) Genotypes Growing under Semi-Arid Conditions

B. Frih¹, A. Oulmi¹, A. Guendouz², H. Bendada³ and S. Selloum³

¹Dept. of Biology and Plant ecology, VRBN Laboratory, Farhat Abbas Setif University, Setif (19000), Algeria

²National Institute of Agronomic Research of Algeria (INRAA), Setif (19000), Algeria

³Technical Institute of Field Crops, Setif (19000), Algeria



Open Access

Corresponding Author

B. Frih

e-mail: benaliafrih@univ-setif.dz

Citation: Frih et al., 2021. Statistical Analysis of the Relationships Between Yield and Yield Components in Some Durum Wheat (*Triticum durum* desf.) Genotypes Growing under Semi-Arid Conditions. International Journal of Bio-resource and Stress Management 2021, 12(4), 385-392. [HTTPS://DOI.ORG/10.23910/1.2021.2431](https://doi.org/10.23910/1.2021.2431).

Copyright: © 2021 Frih et al. This is an open access article that permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium after the author(s) and source are credited.

Data Availability Statement: Legal restrictions are imposed on the public sharing of raw data. However, authors have full right to transfer or share the data in raw form upon request subject to either meeting the conditions of the original consents and the original research study. Further, access of data needs to meet whether the user complies with the ethical and legal obligations as data controllers to allow for secondary use of the data outside of the original study.

Conflict of interests: The authors have declared that no conflict of interest exists.

Abstract

The aim of this study was to know the relation between the grain yield and its components in order to identify the most important attributes in grain yield prediction which would serve as a criterion for the selection of genotypes growing under semi-arid conditions. Fifteen genotypes were studied composed of 11 advanced lines, 03 local landraces and 01 introduced genotype used as controls. Analysis of variance, simple linear correlation multiple linear regression, stepwise multiple linear regression, path analysis, principal component analysis and hierarchical clustering analysis were used to evaluate six traits including grain yield, plant height, days to heading, number of grains spike⁻¹, number of spikes m⁻² and thousand kernels weight. Analysis of variance showed that genotype effect was significant for the majority of traits studied ($p=0.001$), advanced line G10 was shown to be most performing (4.723 t ha⁻¹). Simple linear regression revealed that the number of grains spike⁻¹, number of spikes m⁻² and thousand kernels weight contributed significantly in grain yield changes ($R^2=43, 17\%$). Path analysis showed that the number of grains spike⁻¹, number of spikes m⁻² and thousand kernels weight had a direct and significant effect on grain yield. Principal component analysis showed that thousand kernels weight and negative days to heading were most important factors traits in grain yield. According to these results number of grains spike⁻¹ and thousand kernels weight were crucial for the majority of static analysis.

Keywords: Algeria, durum wheat, grain yield, path analysis, semi-arid

1. Introduction

Durum wheat occupies an important place among the cereals in the world. Total food use of wheat is forecast to approach 518 mt, up 1.1% and rising in close tandem with world population growth. However, large supplies and competitive prices are likely to drive up feed use of wheat by 2.8%, a faster rate than was projected earlier, while industrial use is also anticipated to register strong growth (Anonymous, 2019). Climate changes recorded changes in the composition and geographic redistribution of ecosystems in Algeria. This situation has resulted in a shift towards the north of the arid zones, until then confined between the Sahara and the high cereal plains (Frih et al., 2021). In Algeria, the actual production

Article History

RECEIVED on 15th June 2021

RECEIVED in revised form on 10th August 2021

ACCEPTED in final form on 30th August 2021



of cereals during the period 2010–2017 is estimated at 4.12 million tonnes on average, an increase of 26% compared to the decade 2000–2009 when production is estimated on average at 3.26 million tonnes. Production consists mainly of durum wheat and barley, which respectively represent 51% and 29% of all cereal production on average 2010–2017 (Anonymous, 2018). Grain yield is a complex trait; it is determined by the interaction of a number of attributes (Singh and Diwivedi, 2002). Better knowledge of the genetic association of traits with yield is of great importance for breeders to develop an appropriate breeding strategy and to improve complex traits like grain yield which have shown little response to direct selection. Several studies have been carried out to provide insight into the factors responsible for the cereal yield of durum wheat in order to develop high yielding genotypes by indirect selection. Correlation and path analysis could be used as an important tool to bring information about appropriate cause and effects relationship between yield and some yield components (Khan et al., 2003). Path analysis showed direct and indirect effects of cause variables on effect variables. In this method, the correlation coefficient between two traits is separated into the components which measure the direct and indirect effects (Farshadfar, 2004; Zakizadeh et al., 2010). With the aid of stepwise regression analysis, ineffective or low-effective traits on yield can be omitted in the regression model, and traits which had significantly accounted for yield alterations can be evaluated. Moghaddam et al. (1998) found a negative correlation between plant height and grain yield of wheat, only the use of the correlation coefficient remains insufficient information on the relationship between grain yield and its components, a multivariate analysis remains essential. Leilah and Al-Khateeb (2005) reported that the number of spike, thousand kernels weight, grain weight spike⁻¹ and biological yield were the most effective variables influencing grain yield. Guendouz et al. (2013a) indicated that the number of grain spike⁻¹, thousand kernels weight and biological yield had the most direct and positive effect on grain yield. Iftikhar et al. (2012) indicated that spike length, grains spike⁻¹ and thousand kernels weight may be used as direct selection criteria to develop higher yielding varieties due to positive association and direct effects of these traits on the grain yield. The aim of this study is to determine the relationships between the grain yield and its components in order to identify the main attributes based on some statistical analysis which can serve as selection criteria for better durum wheat yielding genotypes under semi-arid conditions.

2. Materials and Methods

2.1. Study sites

The experimental material used in this study consisted of 15 genotypes (Table 1), which 03 were local landraces namely Boussellem, Boutaleb and Oued Bared and one introduced genotype Jupare C 2001, the objective was to test the adaptability of 11 foreign pedigrees and to estimate their

Table 1: Genotypes evaluated in this study

Genotypes	Varieties/pedigrees
G1	RASCON_37/GREEN_2/9/USDA595/3/D67.3/RABI//CRA/4/ALO/5/...
G2	MINIMUS_6/PLATA_16//IMMER/3/SOOTY_9/RASCON_37/9/...
G3	CMH77.774/CORM//SOOTY-9/RASCON-37/3/SOMAT-4
G4	CNDO/PRIMADUR//HAI-OU-17/3/SNITAN/4/SOMAT-3/
G5	RASCON_37/GREEN_2/9/USDA595/3/D67.3/RABI//CRA/4/ALO/5/...
G6	SILVER_14/MOEWEE//BISU_1/PATKA_3/3/PORRON_4/YUAN_1/9/...
G7	GUANAY /HU ALITA / 10/PLATA _10/6/MQUE/4/USDA573/...
G8	BCRIS/BICUM//LLARETA INIA/3/DUKEM_12/2*RASCON 21/5/R
G9	Simeto/3/Sora/2*Plata_12//SRN_3/Nigris_4/5/Toska_26/...
G10	Ossl1/StjS5/5/Bicrcderaal/4/BEZAIZSHF//SD19539/Waha/3/St
G11	Stj3//Bcr/Lks4/3/Ter-3/4/Mgnl3/Aghrass2
G12	Jupare C 2001
G13	Boussellem
G14	Boutaleb
G15	Oued Bared

yield in the local conditions. All genotypes studied were sown at December 2019 during the 2019/2020 season at Setif Agricultural Experimental Station (ITGC-AES, 36° 12'N and 05° 24'E and 1.081 m asl), Algeria, in a random block design with three replications. Each plot consisted of a row 2.5 m long spaced 20 cm between rows. The different agronomical traits were measured at maturity; grain yield (GY) (t ha⁻¹), plant height (PH) (cm), days to heading (DH) (day) from sowing date, number of spike m⁻² (NS m⁻²), number of grains spike⁻¹ (NGS) and thousand kernel weight (TKW).

2.2. Statistical data analysis

All statistical analyses were performed by (Anonymous, 1998), (Anonymous, 2020).

2.2.1. Analysis of variance (ANOVA)

Analysis of variance (ANOVA) is a statistical tool used to detect differences between experimental group means. (Sawyer, 2009).

2.2.2. Simple linear correlation

A simple linear correlation was used when there is only one predictor variable, matrix of simple between grain yield and



its components was computed according to the formula given by Snedecor and Cochran (1981).

$$r(x,y) = \frac{(\sum xy - (\sum x)(\sum y)/n)}{\sqrt{\sum x^2 - (\sum x)^2/n} \sqrt{\sum y^2 - (\sum y)^2/n}}$$

r: correlation coefficient, x: first character, y: second character, n: total of number of observations.

2.2.3. Multiple linear regressions

A multiple linear regression was used when there is more than one predictor variable. This model was used to evaluate the relative contribution of related components to the grain yield variations by applying the following equation (Snedecor and Cochran, 1981).

$$Y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + \dots + b_nx_n$$

Y: dependent variable, x: independent variables, a: intercept on the y axis, b: slope of the regression line.

2.2.4. Stepwise multiple regression linear

Stepwise regression was used in order to determine the most important variables (independent Variables) significantly contributed to total yield (dependent variable) variability (Draper and Smith, 1981).

2.2.5. Path analysis

Path analysis is an extension of the regression model, used to test the fitness of the correlation matrix against two or more causal models which are being compared by the researcher. The analysis was done following the method suggested by Dewey and Lu (1959).

$$r_{ij} = P_{ij} + \sum r_{ik} P_{kj}$$

r_{ij} : mutual association between independent character (i) and dependent character (j) as measured by the correlation coefficient, P_{ij} : Direct effects of independent character (i) and dependent character (j) as measured by path coefficient, $\sum r_{ik} P_{kj}$: Summation of components of an indirect effect of a given independent character (i) with all other dependent characters (k).

2.2.6. Principal components analysis (PCA)

Principal components analysis is a mathematical procedure used to classify a large number of variables (items) into major components and determine their contribution to the total variation. The first principal component is accounted for the highest variability in the data, and each succeeding component accounts for the highest remaining variability as possible (Everitt and Dunn, 1992).

2.2.7. Hierarchical clustering analysis (HCA)

Cluster analysis was used for arranging variables into different clusters to find the clusters that their cases within are more similar and correlated to one another comparing to other clusters. This procedure was performed using a measure of similarity levels and Euclidean distance (Everitt, 1993; Eisen et al., 1998).

3. Results and Discussion

3.1. Phenotypic variability

Phenotypic variability was observed in Table 2 composed of arithmetic means, standard deviations, interquartile ranges, minimums, 1st quartiles, median, 3rd quartiles and maximums

Table 2: Descriptive statistics of variables measuring durum wheat genotypes

Variables	Basis statics							
	Mean	Sd	IQR	Min	1 st Qu	Median	3 rd Qu	Max
GY	3.886	0.607	0.872	2.545	3.479	3.827	4.351	4.933
DH	134.71	2.19	3.00	131.0	133.0	135.0	136.0	140.0
HP	90.01	7.35	8.00	76.67	85.33	90.33	93.33	112.33
NGS	37.98	5.66	8.00	28.00	34.00	37.00	42.00	53.00
NS m ²	349.78	53.37	70.00	270.0	310.0	350.0	380.0	510.0
TKW	42.00	5.59	7.28	31.76	37.48	43.32	44.76	52.08

Sd: Standard deviation; IQR: Interquartiles range; 1st Qu: First quartile; 3rd Qu: Third quartile

recorded of the variables measured, grain yield varied from 3.012 to 4.737 t ha⁻¹, days to heading varied from 131 to 140 days, plant height varied from 81.88 to 107.22 cm and number of spikes m⁻² varied from 296.66 to 408.33 spikes, the number of grains spike⁻¹ varied between 31.33 and 49 grains, thousand kernel weight takes the values from 32.06 to 51.92 g.

3.2. Analysis of variance (ANOVA)

The results of the analysis of variance (Table 3) showed that the genotype effect was very significant ($p < 0.001$) for the majority of the variables studied excepted for number

of spikes m⁻² (NS m⁻²) which suggested the presence of big variation among genotypes studied. For (GY) trait, a high significant difference was showed between advanced line G10 and the author genotypes. For non significant traits (NS m⁻²) this may be due to low variability among genotypes for this trait. Mansouri et al. (2018) reported that genotype effects were significant with spike number, days to heading and plant height. The advanced line G10, which was the best yielding genotype (GY=4.723 t ha⁻¹), was characterized by the shorter duration of days to heading (DH=132 days), a more or less average size (PH=88.55 cm), a number of spikes m⁻² which

Table 3: The results of the analysis of variance of the genotypes compared to the variables measured

Genotypes	Variables					
	GY	DH	PH	NS m ⁻²	NGS	TKW
G1	4.05 ^{abc}	135.33 ^{cd}	89.77 ^{cd}	360 ^{abc}	35.33 ^{de}	47.33 ^{bc}
G2	3.558 ^{cd}	133 ^{efg}	87.55 ^{cde}	353.33 ^{abc}	34.66 ^{de}	42.21 ^{def}
G3	4.065 ^{abc}	138 ^a	86.44 ^{cde}	296.67 ^c	44 ^{ab}	45.1 ^{bcd}
G4	4.204 ^{abc}	136 ^{bc}	87.55 ^{cde}	325 ^{bc}	33.33 ^{de}	51.92 ^a
G5	4.481 ^{ab}	135 ^{cd}	87.55 ^{cde}	351.67 ^{abc}	46.33 ^a	36.26 ^{gh}
G6	3.865 ^{abcd}	137 ^{ab}	86.88 ^{cde}	350 ^{abc}	49 ^a	32.06 ^h
G7	3.996 ^{abc}	136 ^{bc}	84 ^{de}	406.67 ^{ab}	41 ^{bc}	34.78 ^{gh}
G8	3.012 ^d	134.33 ^{de}	81.88 ^e	408.33 ^a	33.33 ^{de}	38.75 ^{efg}
G9	4.009 ^{abc}	132.33 ^g	91.88 ^{bc}	346.67 ^{abc}	36 ^{cde}	42.36 ^{def}
G10	4.737 ^{a+}	132 ^g	88.55 ^{cde}	335 ^{abc}	40.66 ^{bc}	42.56 ^{de}
G11	3.786 ^{bcd}	132.67 ^{fg}	91.88 ^{bc}	355 ^{abc}	37 ^{cd}	43.47 ^{cd}
Introduced genotype						
G12 (Jupare C 2001)	3.476 ^{cd}	132.33 ^g	90 ^{bcd}	356.67 ^{abc}	38.33 ^{cd}	38.18 ^{fg}
Local landraces						
G13 (Boussellem)	3.592 ^{bcd}	134 ^{def}	97 ^b	303.33 ^c	34.33 ^{de}	43.42 ^{cd}
G14 (Boutaleb)	3.706 ^{bcd}	138 ^a	107.22 ^a	336.67 ^{abc}	31.33 ^e	48.36 ^{ab}
G15 (Oued Bared)	3.754 ^{bcd}	134.67 ^{cd}	92 ^{bc}	361.66 ^{abc}	35 ^{de}	43.22 ^{cd}
Mean	3.886	134.71	90.01	349.77	37.97	42
Min	3.012	132	81.88	296.66	31.33	32.07
Max	4.737	138	107.22	408.33	49	51.92
LSD ($p=0.05$)	0.90898	0.70330	7.13600	82.28845	5.23793	4.33975
Genotype effect	Ns	***	***	Ns	***	***

***: $p=0.001$; Ns: Non-significant; +: significant difference

approaches the average (NS m⁻²=135 spikes m⁻²), an average number of grains spike⁻¹ (NGS=40.66 grains) and a thousand kernels weight more or less important (TKW=42.56 g). The advanced line G5 which recorded a good score of grain yield (GY=4.481 t ha⁻¹) stayed 03 days more to heading (DH=135 days), its size was about the same (PH=87.55 cm), it had 15 more spikes m⁻², its number of kernels spike⁻¹ was greater than 6 kernels but its thousand kernels weight was lower by 6 grams this in comparison with the most powerful advanced line G10. The advanced line G4 characterized by the highest thousand kernels weight achieved the 3rd best score in terms of grain yield (GY=4.204 t ha⁻¹). From these observations we can say that a good grain yield may be due to a minimum duration of days to (DH<136 days) heading, a more or less small size (PH<89 cm) and a good thousand kernels weight (TKW>36). Guendouz et al. (2013b) discussed the positive and significant relationship between grain yield and thousand kernels weight (TKW) and the negative relationship of grain yield with days to heading (DH) under semi-arid conditions.

3.3. Simple linear correlation

Our results of the correlation test illustrated in Table 4

showed that the number of grains spike⁻¹ was positively and significantly correlated with grain yield ($r=0.33$ at $p=0.05$), Previous authors reported similar results between the grain yield, spikes number and number of grains spike⁻¹ (Aycicek and Yildirim, 2006), however number of grains spike⁻¹ was negatively and significantly correlated with thousand kernel weight ($r=-0.51$ at $p=0.05$) and plant height ($r=-0.33$ at $p=0.05$), a positive and significant correlation between thousand

Table 4: Matrix of correlations between the different measured traits

Variables	GY	DH	PH	NGS	NS m ⁻²	TKW
GY	1					
DH	-0.05	1				
PH	0.11	0.06	1			
NGS	0.33*	0.18	-0.33*	1		
NS m ⁻²	0.23	-0.15	-0.02	-0.07	1	
TKW	0.18	0.05	0.38*	-0.51*	-0.15	1

*: ($p=0.05$)



kernel weight and plant height was recorded ($r=0.38$ at $p=0.05$), similar results were found by Fellahi et al. (2013) and Hannachi et al. (2013). These results indicated that the simple correlation was insufficient to give clear information concerning the relations between grain yield and these components.

3.4. Multiple linear regression analysis

Table 5 presents the regression coefficients of the estimated variables to predicting the grain yield. The dependent variable grain yield could be predicted from a linear combination of the independent variables. The obtained results showed that the prediction model equation for grain yield was formulated as follows:

$$GY=21.581-(0.45088 \times DH)+(0.126 \times PH)+(0.754 \times NGS)+(0.039 \times NS \text{ m}^{-2})+(0.580 \times TKW)$$

GY: grain yield; NS m⁻²: number of spikes m⁻²; NGS: number of grains by Spike; TKW: thousand kernel weight; PH: plant Height; DH: day to heading.

This model could justify significantly more than 43% ($R^2=0.4317$) changes in the performance of the grain yield, while the remaining 57% perhaps was due to residual effects. The multiple linear regression analysis for the variables tested revealed that the number of grains spike⁻¹, number of spikes m⁻² and thousand kernel weight contributed significantly to the grain yield.

Table 5: Regression coefficients of the estimated variables to predicting the grain yield (GY)

	Estimates	Std. error	t value	Pr(> t)
Intercept	21.58153	47.04855	0.459	0.648990
DH	-0.45088	0.34823	-1.295	0.203015
PH	0.12625	0.10988	1.149	0.257574
NGS	0.75414	0.15876	4.750	0.0000275 ***
NS m ⁻²	0.03903	0.01419	2.752	0.008950 **
TKW	0.58004	0.16212	3.578	0.000945***

***: $p=0.001$; **: $p=0.01$ / $R=0.6570$; $R^2: 0.4317$; $AdjR^2: 0.3589$

3.5. Stepwise multiple linear regression

In order to remove effect of non-effective characteristics in regression model on grain yield, stepwise regression was used. In stepwise regression analysis (Table 6), the grain yield as the dependent variable and other traits as independent variables were considered. The results showed that the number of spikes m⁻², grains number spike⁻¹, thousand kernel weight with $R^2=39.17\%$, had justified the grain yield changes (Table 7). Due to their low relative contributions, the other variables were not included in the model. Consequently, based on the final step of stepwise regression analyses, the equation for the prediction of grain yield could be obtained as:

$$GY=-26.594+(0.041 \times NS \text{ m}^{-2})+(0.680 \times NGS)+(0.599 \times TKW)$$

Table 6: The variables entered by stepwise regression

Step	Variables entered	F to enter	P to enter
1	NGS	5.216*	0.027*
2	TKW	9.108*	0.004*
3	NS m ⁻²	8.399*	0.006*

*: $p=0.05$

Table 7: Multiple linear regression of entered variables by stepwise

	Estimate	Std. error	t value	Pr(> t)
Intercept	-26.594	12.93644	-2.056	0.046213*
NSm ⁻²	0.041	0.01423	2.898	0.006000**
NGS	0.680	0.15373	4.426	0.000069***
TKW	0.599	0.15689	3.824	0.000439***

***: $p=0.001$; **: $p=0.01$; *: $p=0.05$; $R: 0.6259$; $R^2: 0.3917$; $AdjR^2: 0.3472$

This result was very consistent with the work of Mohammadi et al. (2011) who founded that 75% of the variation in grain yield was explained by the number of spikes m⁻², thousand kernel weight and plant height.

3.6. Path analysis

Path analysis is a form of multiple regression statistical analysis that was used to evaluate causal models by examining the relationships between a dependent variable and two or more independent variables. The results of the path analysis (Table 8) showed that the number of grains spike⁻¹, the number of spikes m⁻² and thousand kernel weight had a direct and significant effect on the grain yield (0.703, 0.343, 0.534, respectively). The positive direct effects of spikes number, grains number and thousand-kernel weight were previously reported in wheat (Shamsi et al., 2011; Iftikhar et al., 2012).

Table 8: Direct effects of estimated variables for grain yield (GY)

variables	Direct effect for (GY)
DH	-0.162747
PH	0.152957
NGS	0.703020
NS m ⁻²	0.343194
TKW	0.534576

3.7. Principal component analysis (PCA)

Principal component analysis PCA reflects the importance of the largest contributor to total variation at each axis of differentiation (Sharma, 1998). The choice of interpretation axes depends on the importance of their eigenvalues, Kaiser's rule is based on a simple idea, in a standardized PCA, the sum of the eigenvalues being equal to the number of variables, and

their mean is equal to 1. We let us, therefore, considered that an axis was interesting if its eigenvalue was greater than 1. The data presented in Table 9 showed the eigenvalues of the six components, the first three components were the most important; they alone accumulate 82.33% of information on variability. Table 10 and Figure 1 showed the correlation of the first three components with our variables. The first component PC1 was strongly and positively correlated with plant height and thousand kernels weight ($r=0.779$; $r=0.894$) and negatively correlated with the number of grains spike⁻¹ ($r=-0.716$). PC2 was strongly and positively correlated with the grain yield ($R=0.807$) and negatively correlated with the number of spikes m⁻² ($r=-0.648$), PC3 was strongly correlated with days to heading ($r=0.862$). Table 10 and Figure 1 also showed that genotypes G1, G4, G13 (Boussallem) and G14 (Boutaleb)

Table 9: Eigen values for all principal components

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
Var	2.272	1.682	0.986	0.606	0.426	0.028
Var %	37.872	28.027	16.435	10.103	7.096	0.467
CV	37.872	65.899	82.334	92.437	99.533	100.000

Var: Variance; Var %: % of var; CV: Cumulative % of var

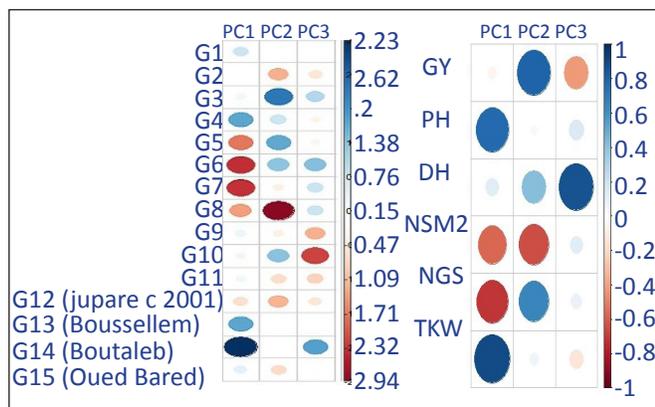


Figure 1: Visualization of the relations of genotypes and traits studied with the 3 first's components

were positively connecting to PC1, these genotypes were characterized by high thousand kernels weight, unlike G5, G6, G7 which were negatively related to PC1 and which were characterized by their low thousand kernels weight. Genotype G3 which had the lowest ($NS\ m^{-2}$) was positively connected to PC2 ($NS\ m^{-2}$) unlike genotypes G2, G12 (Jupare C 2001) and G15 (Oued Bared) characterized by similar low (GY) and G8 characterized by the highest ($NS\ m^{-2}$) which were negatively connected to PC2. Genotypes G9, G10, G11 were logically and negatively connected with PC3 because of their short duration of days to heading. These results were consistent with our ANOVA results and with the work of Guendouz et al. (2013b) which predicts that the TKW was an important factor

Table 10: Correlations of variables and coordinates of genotypes in first's 3 components

	PC1	PC2	PC3
Variables			
GY	-0.055	0.807 [©]	-0.422
PH	0.779 [©]	0.036	0.156
DH	0.124	0.424	0.862 [©]
$NS\ m^{-2}$	-0.579	-0.648 [©]	0.121
NGS	-0.716 [©]	0.652	0.086
TKW	0.894 [©]	0.062	-0.134
Genotypes			
G1	0.726 [©]	-0.034	-0.047
G2	0.030	-1.195 [©]	-0.532
G3	0.284	2.345 [©]	0.982
G4	1.720 [©]	0.741	-0.272
G5	-1.743 [©]	1.706	-0.259
G6	-2.383 [©]	1.346	1.410
G7	-2.359 [©]	-0.374	0.773
G8	-1.366	-2.940 [©]	0.775
G9	0.326	-0.342	-1.195 [©]
G10	-0.317	1.375	-2.170 [©]
G11	0.284	-0.660	-0.786 [©]
G12 (jupare c 2001)	-0.631	-1.147 [©]	-0.494
G13 (Boussallem)	1.738 [©]	-0.102	-0.110
G14 (Boutaleb)	3.233 [©]	-0.029	1.785
G15 (Oued Bared)	0.457	-0.690 [©]	0.140

©: connected to component

in the prediction of GY and that the long duration of DH had a negative effect on the GY.

The relations of measured traits and genotypes tested with 3 first's components are graphically summarized in Figure 2.

3.8. Hierarchical clustering analysis (AHC)

3.8.1. For traits

The six variables examined were separated into 03 groups (Figure 3). The first group consisted of a number of spikes m⁻²; group-II included thousand kernels weight, number of grains spike⁻¹ and the grain yield and group-III consisted by plant height, days to heading. Our data reflected the tendency of each variable group in a cluster to be closely related to each other. Therefore, the results of the study showed that the number of grains spike⁻¹ and thousand kernels weight were the traits most related to the grain yield.

3.8.2. For genotypes

Figure 4 showed that genotypes tested were separated into 03

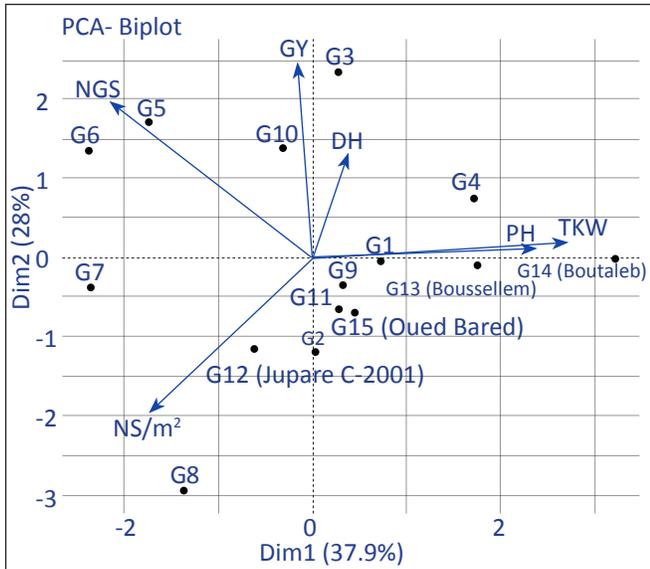


Figure 2: Biplot of genotypes and traits studied with 3 first's components

groups, the group-I composed from advanced lines G7, G8 for their very high number of spikes m^{-2} . Advanced line G3 followed G13 (Boussellem) were regrouped in group-II, its characterized by their very lower number of spikes m^{-2} . Group-III was formed by 02 sub-groups; sub-group A composed of advanced lines G4, G10 which follow the local land race G14 (Boutaleb) this sub-group was characterized by a more or less low number of spikes m^{-2} , the subgroup B formed by the advanced lines G1, G2, G5, G6, G9, G11 which followed the introduced genotype G12 (Jupare-C2001) and the local landrace (Oued Bared) for its number of spikes m^{-2} more or less plant height (Table 11).

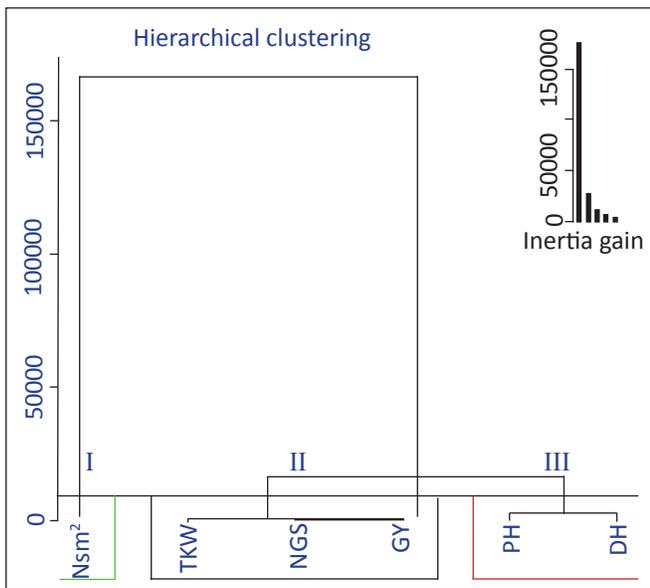


Figure 3: Similarity levels of the estimated variables using Hierarchical clustering analysis

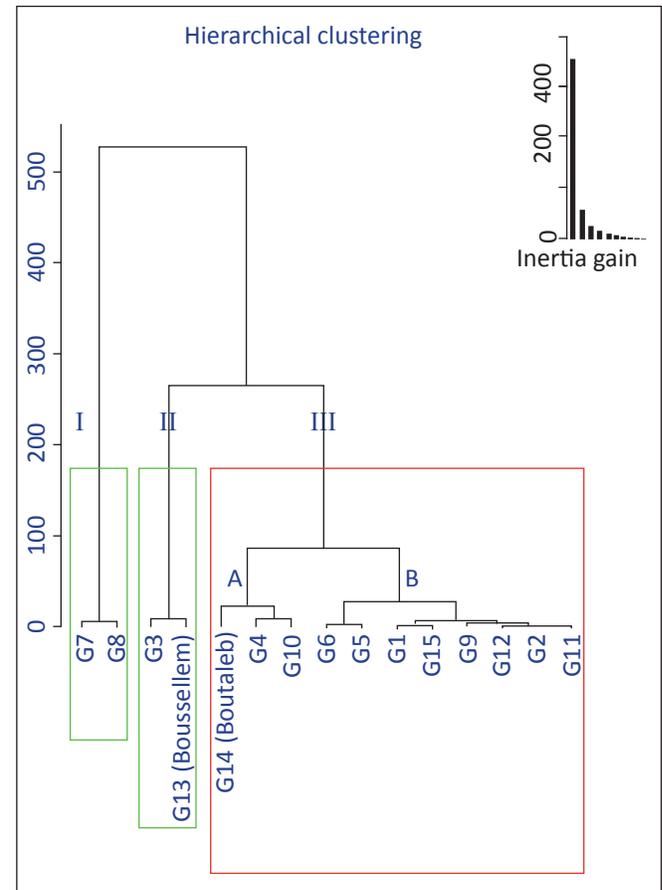


Figure 4: Similarity levels of genotypes tested using Hierarchical clustering analysis

Table 11: The most important characteristics of durum wheat by each statistical method

Variables	Statistical analysis							Total of scores
	ANOVA	SC	MLR	SR	PA	PCA	CAH	
DH	*					*		2
PH	*							2
NS m^{-2}			*	*	*			3
NGS	*	*	*	*	*		*	6
TKW	*		*	*	*	*	*	6

SC: Simple correlation; MLR: Multiple linear regression; SR: Stepwise regression; PA: Path analysis; PCA: Principal components analysis; HCA: Hierarchical clustering analysis

4. Conclusion

ANOVA showed that the genotype effect was significant for the majority of traits studied, G10 was shown to be the most performing. MLR revealed that NGS, NS m² and TKW contributed significantly to the GY changes. PA showed that NGS, NS m² and TKW had a direct and significant effect on GY. PCA showed that TKW and negatively DH were the most important factors traits in GY. On the basis of this results, NGS and TKW were the best selection criteria for better grain yield under semi-arid conditions.

5. References

Anonymous, 2019. Food outlook - Biannual Report on Global Food Markets, FAO–November 2019. Rome. Accessed on Tuesday, September 1, 2020.

Anonymous, 2018. Statistiques serie B-Ministere de l'agriculture et du developpement rural. MARD. Accessed on Saturday, September 12, 2020.

Anonymous, 1998. Costat 6.400, 1998. Copyright © 1998–2008, CoHort Software798 Lighthouse Ave BMP 320, Monterey, CA 93940, USA, Available at: <http://www.cohort.com>. Accessed on Sunday, November 15, 2020.

Anonymous, 2020. R Core team. R: A language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing, Vienna, Austria. Available at: <http://www.R-project.org>. Accessed on Saturday, December 05, 2020.

Aycicek, M., Yildirim, T., 2006. Path coefficient analysis of yield and yield components in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. Pakistan Journal of Botany 38, 417–424.

Dewey, D.R., Lu, K.H., 1959. A correlation and path coefficient analysis of components of crested wheat grass seed production. Agronomy Journal 51, 515–518.

Draper, N.R., Smith, H., 1981. Applied regression analysis. 2nd edition. Wiley series in probability and mathematical statistics. John Wiley & Sons. N.Y., 709.

Eisen, M.B., Spellman, P.T., Brown, P.O., Botstein, D., 1998. Cluster analysis and display of genome-wide expression ilatteriiis. Proceedings of the National Academy of Science USA 95, 14863–14868.

Everitt, B.S., 1993. Cluster analysis. Wiley, New York, NY.

Everitt, B.S., Dunn, G., 1992. Applied multivariate data analysis. Oxford University Press, New York, NY.

Farshadfar, E., 2004. Multivariate principles and procedures of statistics. Taghbostan Pub. Kermanshah, Iran, 734.

Farih, B., Oulmi, A., Ali, G., 2021. 2021. Study of the drought tolerance of some durum wheat (*Triticum durum* Desf.) genotypes growing under semi-arid conditions in Algeria. International Journal of Bio-resource and Stress Management 12(2), 137–141. <https://doi.org/10.23910/1.2021.2171a>.

Guendouz, A., Djoudi, M., Guessoum, S., Maamri, K., Fellahi, Z., Hannachi, A., Hafsi, M., 2013a. Durum wheat (*Triticum durum* Desf.) evaluation under semi arid conditions in eastern Algeria by path analysis. Journal of Agriculture and Sustainability 3(1), 56–64.

Guendouz, A., Guessoum, S., Maamri, K., Benidir, M., Hafsi, M., 2013b. Performance of ten durum wheat (*Triticum durum* desf.) cultivars under semi arid conditions (North Africa-Algeria). Indian Journal of Agricultural Research 47(4), 317–322.

Hannachi, A., Fellahi, Z., Bouzerzour, H., Boutekrabt, A., 2013. Correlation, path analysis and stepwise regression in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) under rainfed conditions. Journal of Agriculture and Sustainability 3(11), 122–131.

Iftikhar, R., Khaliq, I., Ijaz, M., Rashid, M.A., 2012. Association analysis of grain yield and its components in spring wheat (*Triticum aestivum* L.). American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences 12(3), 389–392.

Khan, A.S., Ashfaq, M., Asad, M.A., 2003. A correlation and path coefficient analysis for some yield components in bread wheat. Asian Journal of Plant Sciences 2(8), 582–584.

Leilah, A.A., Al-Khateeb, S.A., 2005. Statistical analysis of wheat yield under drought conditions. Journal of Arid Environments 61(3), 483–496.

Mansouri, A., Oudjehih, B., Benbelkacem, A., Fellahi, Z., Bouzerzour, H., 2018. Variation and relationships among agronomic traits in durum wheat [*Triticum turgidum* (L.) Thell. ssp. *turgidum* conv. *durum* (Desf.) MacKey] under South Mediterranean growth conditions: stepwise and path analyses. International Journal of Agronomy, 1–11.

Moghaddam, M., Ehdaie, B., Waines, J.G., 1998. Genetic variation for and interrelationships among agronomic traits in landraces of bread wheat from south western Iran. Indian Journal of Genetics and Plant Breeding 52(1), 73–81.

Mohammadi, M., Karimizadeh, K., Kazem Shafazadeh, M., Sadeghzadeh, B., 2011. Statistical analysis of durum wheat yield under semi-warm dryland condition. Australian Journal of Crop Science 5(10), 1292–1297.

Sawyer-Steven, F., 2009. Analysis of variance: the fundamental concepts. Journal of manual & Manipulative Therapy 17(2), 27E–38E.

Singh, S.P., Diwivedi, V.K., 2002. Character association and path analysis in wheat (*Triticum aestivum* L.). Agricultural Sciences Digest 22(4), 255–257.

Shamsi, K., Petrosyan, M., Noor-Mohammadi, G., Haghparast, A., Kobraee, S., Rasekhi, B., 2011. Differential agronomic responses of bread wheat cultivars to drought stress in the west of Iran. African Journal of Biotechnology 10(14), 2708–2715.

Sharma, J.R., 1998. Stastical and biometrical techniques in plant breeding new age. International (P) Limited Publishers, New Delhi, 432.

Snedecor, G.W., Cochran, W.G., 1981. Statistical Methods, seventhed. Iowa State University Press, Iowa, USA.

Zakizadeh, M., Esmaeilzadeh, M., Kahrizi, D., 2010. Study on genetic variation and relationship between plant characteristics and grain yield in long spike bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes using multivariate analysis. Iranian Journal of Crop Sciences 12(2), 18–30.





Efficiency of Numerical Images Analysis in Selection of Durum Wheat [*Triticum turgidum* (L.) ssp. *durum* (Desf.) Husn.] Genotypes Growing under Semi-arid Conditions in Algeria

Benalia Frih¹, Abdelmalek Oulmi¹, Ali Guendouz²

10.18805/ag.DF-398

ABSTRACT

Background: This study was conducted during the 2020/2021 cropping season at Setif Agricultural Experimental Station, it aims to assess the efficiency of using numerical image analysis (NIA) in the selection of durum wheat genotypes in semi-arid areas.

Methods: The genetic materials used in this study consist of 11 advanced lines and 4 genotypes of which 3 are local landraces used as control to evaluate their performance, the genotypes tested were sown in a randomized block design (RDB) with three replications. Each plot consisted of 6 lines of 10 m long spaced of 0.2 m width makes 12 m² as plot area.

Result: Analysis of variance showed that all the parameters measured numerically (senescence and total reflectance) had a very high genotypic significance. The chlorophyll content at full heading showed a very highly significant genotypic effect. Thousand kernels weight, number of spikes per meter square, number of days to heading and plant height had a significant genotypic effect. The correlation study showed that all senescence parameters were significantly correlated. A significant and negative correlation was observed between chlorophyll contents; average of velocity and total reflectance. Grain yield was highly and significantly correlated with thousand kernels weight and number of spikes per meter square. Number of spikes per meter square was significantly and positively correlated with average of velocity and negatively correlated with sum of temperatures at mid-senescence. Number of days to heading was significantly and negatively correlated with senescence average and maximum of senescence average. A significant correlation was observed between plant height and sum of temperatures at mid-senescence.

Key words: Chlorophyll contents, Durum wheat, Grain yield, Reflectance, Semi-arid, Senescence.

INTRODUCTION

Durum wheat [*Triticum turgidum* (L.) ssp. *durum* (Desf.) Husn.] is the 10th most important crop worldwide with an annual production of over 40 million tons (Sall *et al.*, 2019). The largest producer is the European Union, with 9 million tonnes in 2018, followed by Canada, Turkey, United States, Algeria, Mexico, Kazakhstan, Syria and India (Tedone *et al.*, 2018). Durum wheat [*Triticum turgidum* (L.) ssp. *durum* (Desf.) Husn.] is one of the most cultivated cereals in the Mediterranean basin, where drought is a limiting factor for its production (Royo *et al.*, 1998), it's mostly grown under rain-fed conditions, where drought and heat stress usually constrain yield potential during the grain filling period (Simane *et al.*, 1993).

Senescence is a universal phenomenon in living organisms and the word senescence has been used by scientists working on a variety of systems, such as yeast, fruit fly, worm, human being and plants. However, the meaning of the word senescence to scientists working on different organisms can be different and the difference can be subtle in some cases and very obvious in some other cases (Hafsi and Guendouz, 2012). Senescence is subject to strong environmental and genetic regulation and prior to visual yellowing and chlorosis up to 50% of leaf chlorophyll may be lost (Buchanan-Wollaston *et al.*, 2005; Borrill *et al.*, 2019). Photosynthesis is the primary source of dry matter production and grain yield in crop

¹Department of Biology and Plant Ecology, VRBN Laboratory, Farhat Abbas Sétif University 1, Algeria.

²National Institute of Agronomic Research of Algeria (INRAA), Sétif Unit, Algeria.

Corresponding Author: Benalia Frih, Department of Biology and Plant Ecology, VRBN Laboratory, Farhat Abbas Sétif University 1, Algeria. Email: benaliafrih@gmail.com

How to cite this article: Frih, B., Oulmi, A. and Guendouz, A. (2022). Efficiency of Numerical Images Analysis in Selection of Durum Wheat [*Triticum turgidum* (L.) ssp. *durum* (Desf.) Husn.] Genotypes Growing under Semi-arid Conditions in Algeria. *Agricultural Science Digest*. 42(5): 548-554. DOI: 10.18805/ag.DF-398.

Submitted: 27-08-2021 **Accepted:** 02-12-2021 **Online:** 06-01-2022

plants, the improvements of leaf photosynthesis have occurred with the advance of breeding high-yielding cultivars (Jiang *et al.*, 2002).

The breeding of new cereal grain varieties requires methods that are rapid and preferably non-destructive, to assess the quality of grain in early generations. Near infrared (NIR) spectroscopy has great potential to meet these requirements for the durum wheat breeder (Sisons *et al.*, 2006). Our study aim to test the efficiency of the use of flag leaf senescence parameters, total reflectance and the chlorophyll contents as selection criteria for durum wheat genotypes growing under semi-arid conditions.

MATERIALS AND METHODS

The study site

This study was conducted during the 2020/2021 cropping season at Setif Agricultural Experimental Station (ITGC-AES, 36°12'N and 05°24'E and 1.081 m asl, Algeria).

Plant material

The genetic material used in this study consists of 11 advanced lines and 4 genotypes of which 3 are local landraces and used as control to evaluate the performance of the experimental material (Table 1).

Experimental device

The genotypes tested were sown at November 19 with sowing density adjusted to 300 grains m⁻² in a randomized block design (RBD) with three replications. Each plot consisted of 6 lines of 10 m long spaced of 0.2 m width which makes 12 m² as plot area.

Parameters measured

The following parameters were measured:

Physiologic traits

1. Senescence parameters: (Sa%; Vsa; Vmax; ΣT_{50s})

We have followed the evolution of leaf senescence during 13 dates of assessment from flowering until 100% of leaf senescence (S1-S13) by Numerical Image Analysis (NIA) according to Guendouz and Maamri (2011), Leaves were photographed on black surface, between 11:00 and 12:00 solar time with a color digital camera (Canon, Power Shot A460, AiAF, CHINA). Images were stored in a JPEG (Joint Photographic Expert Group) prior to downloading onto a PC computer and analyzed using IPP (Image Pro Plus, Version 4, Media Cybernetics, Silver Spring, MA, USA) software. The percentage of senescence (S) was calculated foreach date of observation and for each genotype studied using Digimizer software (Fig 1) by calculating the percentage of

senescent zone from the total of leaf surface S(%) = (senescent area of flag leaf/flag leaf area)*100 (S1-S13). The 13 dates of assessment will be expressed subsequently in cumulative temperatures $\Sigma T^{\circ}C$ ($\Sigma 1-\Sigma 13$). In the base of these values the following parameters were calculated:

a. Average of senescence (Sa %) is the average of the following percentage of senescence in the following dates:

$$Sa \% = (S1+S2+\dots+Sn)/n$$

n= Number of dates.

b. Average of velocity Vsa (%/°C):

• The velocity of senescence (Vs) was calculated every date of senescence values:

$$Vs = (S_{n+1} - S_n) / (\Sigma TC_{n+1} - \Sigma TC_n)$$

ΣTC =Sum of temperatures in the date of senescence value.

• Average of velocity Vsa is the average of the following velocity of the following dates:

$$Vsa = (Vs1+Vs2+\dots+Vsn)/n$$

c. Maximum of the senescence velocity (Vmax) is the highest velocity unregistered.

d. Sum of temperatures at mid-senescence (ΣT_{50s}): estimated from the curve:

$S = f(\Sigma T^{\circ}C_s)$ (Fig 2) as the sum of temperatures corresponding to S=50%.

2. Total reflectance: R(t) (at full heading)

With the same images (using to calculate senescence), we calculate reflectance using Mesurim_pro_02 software (Guendouz and Maamri, 2011), this software can measure the reflectance at Red, Blue, Green band and total reflectance. We used the total reflectance for our work (Fig 3).

3. Chlorophyll contents CC (at full heading)

Chlorophyll contents (CC) of the flag leaf was measured using digital chlorophyll meter (CCM) with (cci) units, this device allows measuring the absorbance of light in the leaf.

Table 1: Varieties and their pedigrees.

Genotype	Pedigrees
G1	RASCON_37/GREEN_2/9/USDA595/3/D67.3/RABI//CRA/4/ALO/5/...
G2	MINIMUS_6/PLATA_16//IMMER/3/SOOTY_9/RASCON_37/9/...
G3	CMH77.774/CORM//SOOTY-9/RASCON-37/3/SOMAT-4
G4	CNDO/PRIMADUR//HAI-OU-17/3/SNITAN/4/SOMAT-3/
G5	RASCON_37/GREEN_2/9/USDA595/3/D67.3/RABI//CRA/4/ALO/5/...
G6	SILVER_14/MOEWEE//BISU_1/PATKA_3/3/PORRON_4/YUAN_1/9/...
G7	GUANAY/HU ALITA /10/PLATA_10/6/MQUE/4/USDA573/...
G8	BCRIS/BICUM//LLARETA INIA/3/DUKEM_12/2*RASCON_21/5/R
G9	Simeto/3/Sora/2*Plata_12//SRN_3/Nigris_4/5/Toska_26/...
G10	Oss1/StjS5/5/Bicrcderaal/4/BEZAIZSHF//SD19539/Waha/3/St
G11	Stj3/Bcr/Lks4/3/Ter-3/4/Mgnl3/Aghrass2
G12	Jupare C 2001
G13	Boussellem
G14	Boutaleb
G15	Oued Bared

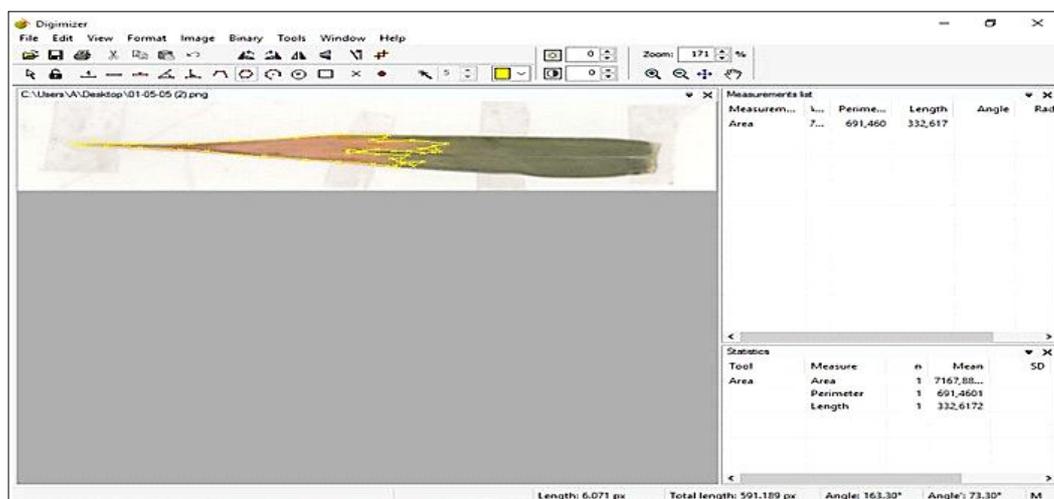


Fig 1: Estimation of senescence by Digitizer software.

Agronomic traits (at maturity)

Grain yield (GY)

The cereal yield performances of the different cultivars were measured at maturity in quintals per hectare (Qs. ha⁻¹) by measuring the grain yield in one linear meter and converting it into quintals per hectare. Thousand kernels weight (TKW) (g). Number of spikes per meter square (NSm⁻²). Number of days to heading (DH) (days) calculated from sown date 19/11/2020. Plant height (PH) cm.

5. Data analysis

All statistical analyses will be performed by Costat 6.400 (1998) software.

RESULTS AND DISCUSSION

Analysis of variance (ANOVA)

Agronomic traits

ANOVA (Table 2) showed that genotypic effect was significant ($p < 0.05$; 0.001) with thousand kernels weight (TKW), number of spikes per meter square, days to heading and plant height (PH). Grain Yield average ranged from 2.87 Q.ha⁻¹ for G11 to 13.59 Q.ha⁻¹ for Boutaleb with genotypic mean of 6.34 Q.ha⁻¹. Thousand kernels weight arranged from 30.91 g for G8 to 46.69 g for G9 with 39.40 g as genotypic mean. Comparing to general mean, high values of TKW was observed with the local landraces Boutaleb (44.96 g). NSm⁻² ranged from 178.33 s.m⁻² for G4 to 320 s.m⁻² for Boutaleb with a genotypic mean of 255.77 s.m⁻². The number of days to heading ranged from 136 days for advanced lines G1, G2, G8, G10 and Jupare C 2001 to 147 for Boutaleb local landrace with 140.6 as genotypic mean. Plant height ranged from 56.11 cm for G4 to 67.38 cm for G10 with a mean of 62.76, local landrace Boutaleb registered a high plant height (66.16 cm).

Physiologic traits

For all genotypes studied, the senescence function with sums of temperatures after flowering was of sigmoid type.

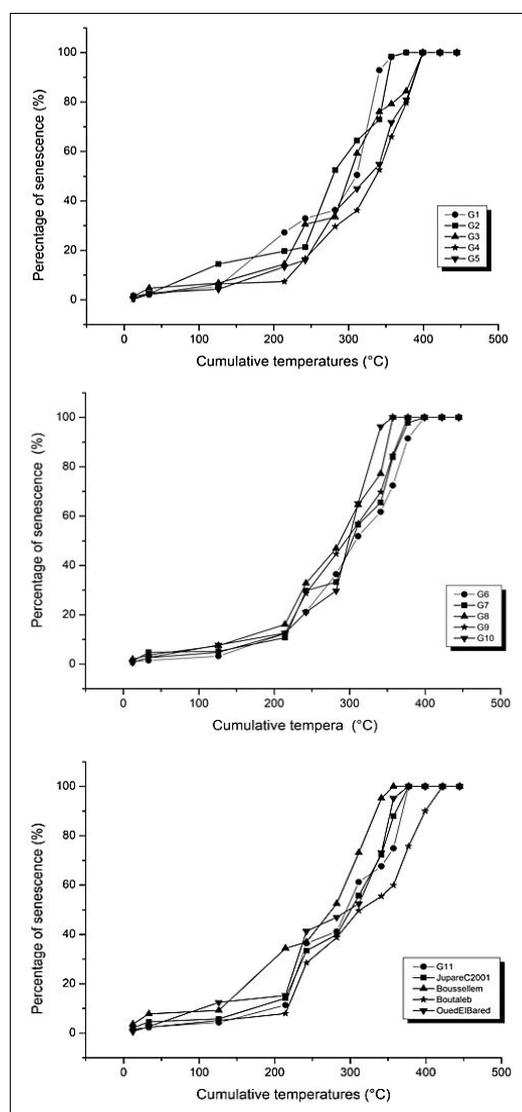


Fig 2: Senescence functions with sums of temperatures after flowering of the 15 genotypes studied.

$\Sigma T50_s$ the sums of temperatures corresponding to S= 50% (mid-senescence) differed markedly amongst genotypes, as shown in (Fig 2). ANOVA showed that genotype effect was highly significant ($P<0.001$) with all senescence parameters calculated Sa; Vsa; Vmax and $\Sigma T50_s$, total reflectance R (t) and chlorophyll contents at full heading (Table 3). Senescence average (Sa) ranged from 29.68% for advanced line G4 to 44.76% for advanced line G2 with genotypic mean of 38.76%. Average of velocity (Vsa) arranged from 0.319%/°C for G3 to 0.429%/°C for Boussemlem with a genotypic mean of 0.379%/°C. Vmax ranged from 0.792%/°C for Boutaleb to

1.593%/°C for G2 with genotypic mean of 1.139%/°C. $\Sigma T50_s$ arranged from 276.44°C for Boussemlem to 337.13°C for G4 with genotypic mean of 302.25°C. The local landrace Boutaleb witch was the best yielding genotype registered the low Sa% (32.49%), a low value of Vs% parameter (0.347%/°C), a low value of Vmax (0.792%/°C) and a high value of $\Sigma T50_s$ (311.91°C) comparing to genotypic means. The genotypes with lowest values of senescence average (Sa%) and highest values of sum of temperatures at mid-senescence were the most tolerant and adapted genotypes (Hafsi and Guendouz, 2020). At full heading,

Table 2: Analysis of variance of agronomic traits.

Genotypes	Agronomic traits				
	GY (Qs.ha ⁻¹)	TKW (g)	NSm ²	DH (days)	PH (cm)
G1	7.00 (bc)	41.98 (bc)	236.66 (bcde)	136 (d)	62.72 (cd)
G2	3.96 (bc)	35.62 (ef)	213.33 (de)	136 (d)	61.50 (d)
G3	7.05 (bc)	40.83 (bcd)	220.00 (cde)	142 (c)	61.88 (d)
G4	2.88 (c)	36.80 (de)	178.33 (e)	142 (c)	56.11 (e)
G5	4.70 (bc)	36.10 (e)	220.00 (cde)	142 (c)	61.27 (d)
G6	6.16 (bc)	31.88 (fg)	240.00 (bcde)	142 (c)	61.27 (d)
G7	6.89 (bc)	34.36 (efg)	253.33 (abcde)	142 (c)	57.66 (e)
G8	4.45 (bc)	30.91 (g)	268.33 (abcd)	136 (d)	61.16 (d)
G9	6.61 (bc)	46.69 (a)	310.00 (ab)	142 (c)	65.55 (abc)
G10	8.69 (ab)	41.98 (bc)	268.33 (abcd)	136 (d)	67.38 (a)
G11	2.95 (c)	44.47 (abc)	285.00 (abcd)	142 (c)	67.22 (a)
Jupare C 2001	7.89 (bc)	41.98 (bc)	255.00 (abcd)	136 (d)	63.61 (bcd)
Boussemlem	4.75 (bc)	40.39 (cd)	291.66 (abc)	142 (c)	63.94 (bcd)
Boutaleb	13.59 (a)	44.96 (ab)	320.00 (a)	147 (a)	66.16 (ab)
Oued El Bared	7.59 (bc)	43.27 (abc)	276.66 (abcd)	146 (b)	63.88 (bcd)
Mean	6.34	39.40	255.77	140.6	62.76
Min	2.87	30.91	178.33	136	56.11
Max	13.59	46.69	320	147	67.38
Genotype effect	ns	***	*	***	***
LSD (5%)	5.672	4.162	76.53	1.526	3.167
CV %	53.45	6.30	17.89	6.4901e-8	3.017

ns: Non-significant; *: Significant ($P<0.05$); Very highly significant ($P<0.001$).

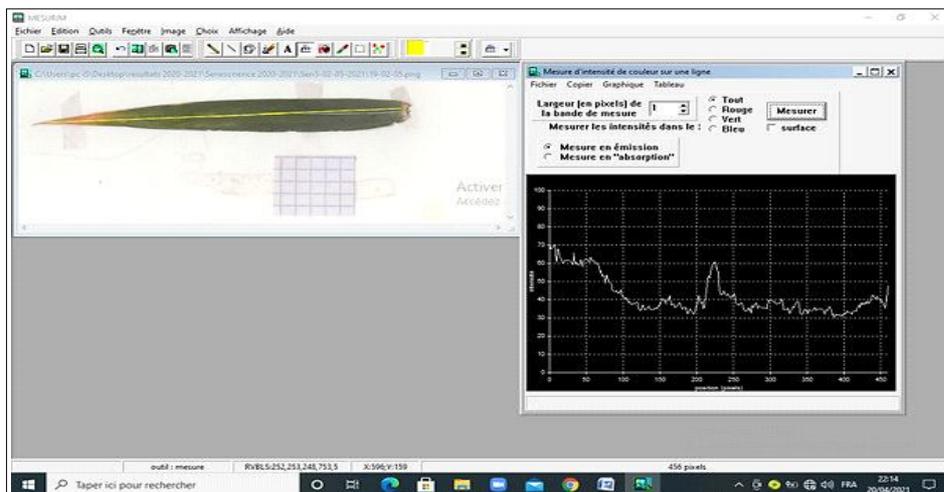


Fig 3: Reflectance calculating in total band using Mesurim_pro_02 software.

R(t) was ranged from 32.74% for G7 to 40.77% for G3 with genotypic mean of 36.37%, Boutaleb registered a low value of R(t) (35.85%) comparing to mean. Chlorophyll content was ranged from 26.65 cci for Oued El Bared to 40.81 cci for G4 with genotypic mean of 33.05 cci. The diversity of the yield is a consequence of the variation of the duration rather than the variation of the rate of the photosynthetic activity; the delay of the senescence is a good parameter of selection of the cereals which must be followed (Hafsi and Guendouz, 2020).

Correlations among traits

Correlations among agronomic traits

The study of the correlations among agronomic traits (Table 4) showed that grain yield was high significantly ($P < 0.01$; 0.001) and positively correlated with thousand kernels weight and number of spikes per meter square ($r = 0.38^{**}$; 0.61^{***}). A high and significant ($P < 0.01$; 0.001) and positive correlation was observed between thousand kernels weight and number of spikes per meter square and plant height ($r = 0.39^{**}$; 0.61^{***}). Number of spikes per meter square was significantly ($P < 0.05$) and positively correlated with plant height ($r = 0.34^*$). Several works have proven the high correlation between grain yield and some agronomic traits (Guendouz *et al.*, 2012; Aissaoui and Fenni, 2021 and Mansouri *et al.*, 2018).

Correlations among physiologic traits

The study of the correlations among senescence parameters (Table 3) showed that senescence average (Sa) was highly and significantly ($p < 0.01$; 0.001) correlated with average of Velocity of senescence (Vsa) and maximum of Velocity (Vmax) ($r = 0.47^{**}$; 0.73^{***} respectively) and very highly and negatively correlated with sum of temperatures at 50% of senescence (ΣT_{50_s}) ($r = -0.74^{***}$). Velocity of senescence average (Vsa) was significantly ($p < 0.01$; 0.001) correlated with maximum of velocity ($r = 0.40^{**}$) and negatively correlated with sum of temperatures at mid-senescence and Total reflectance R (t) ($r = -0.63^{***}$; -0.39^{**}). Reflectance at total band R (t) was significantly ($P < 0.05$) and negatively correlated with chlorophyll contents ($r = -0.35^*$), the decrease of leaf reflectance increase the photosynthetic capacity of leaves by increasing radiations absorbed by chlorophyll pigments (Guendouz and Hafsi, 2016). Chlorophyll tends to decline more rapidly than carotenoids when plants are under stress or during leaf senescence (Gitelson and Merzlyak, 1994).

Correlation among physiologic and agronomic traits

Days to heading was high significantly ($p < 0.01$) and negatively correlated with senescence average and maximum of velocity ($r = -0.38^{**}$; $r = -0.41^{**}$) this results imply that precocity increases senescence rate, velocity average

Table 3: Analysis of variance of physiologic traits.

Genotypes	Senescence parameters				Total reflectance	Chlorophyll contents
	Sa (%)	Vsa (%/°C)	Vmax (%/°C)	ΣT_{50_s} (°C)	R(t) (%)	CC (cci)
G1	44.66 (b)	0.327 (m)	1.412 (b)	310.37 (c)	36.87 (c)	29.00 (de)
G2	44.76 (a)	0.382 (h)	1.593 (a)	278.97 (i)	38.73 (b)	30.18 (de)
G3	39.03 (g)	0.319 (n)	0.887 (i)	301.72 (ef)	40.77 (a)	30.21 (de)
G4	29.68 (l)	0.335 (l)	0.837 (j)	337.73 (a)	36.84 (c)	40.81 (a)
G5	32.52 (k)	0.348 (k)	1.059 (f)	327.69 (b)	36.45 (cd)	29.71 (de)
G6	35.32 (j)	0.370 (i)	0.954 (gh)	307.4 (d)	35.63 (def)	31.40 (cde)
G7	38.83 (h)	0.405 (f)	1.149 (e)	302.72 (e)	32.74 (g)	37.73 (ab)
G8	38.95 (g)	0.403 (g)	1.425 (b)	288.47 (h)	35.98 (cde)	32.15 (cde)
G9	40.53 (e)	0.415 (e)	0.941 (h)	295.14 (g)	36.17 (cde)	36.12 (abc)
G10	37.31 (i)	0.357 (j)	1.041 (f)	299.81 (f)	34.93 (f)	33.83 (bcd)
G11	40.06 (f)	0.420 (c)	1.254 (d)	295.14 (g)	35.71 (def)	35.90 (abc)
Jupare C 2001	41.59 (d)	0.417 (d)	0.975 (g)	299.81 (f)	35.61 (def)	38.16 (ab)
Boussellem	41.65 (d)	0.429 (a)	1.380 (c)	276.44 (j)	35.25 (ef)	34.16 (bcd)
Boutaleb	32.49 (k)	0.347 (k)	0.792 (k)	311.91 (c)	35.85 (def)	29.66 (de)
Oued El Bared	44.02 (c)	0.422 (b)	1.380 (c)	300.42 (f)	37.98 (b)	26.65 (e)
Mean	38.76	0.379	1.139	302.25	36.37	33.05
Min	29.68	0.319	0.792	276.44	32.74	26.65
Max	44.76	0.429	1.593	337.73	40.77	40.81
Genotype effect	***	***	***	***	***	***
LSD _(5%)	0.093	0.002	0.024	2.189	0.925	5.533
CV %	0.14	0.29	1.30	0.43	1.52	10.01

***: Very highly significant ($P < 0.001$).

Table 4: Correlations among physiologic and agronomic traits.

	Sa	Vsa	Vmax	∑T50s	R (t)	CC	GY	TKW	NSm ²	DH	PH
Sa	1										
Vsa	0.47**	1									
Vmax	0.73***	0.40**	1								
∑T50s	-0.74***	-0.63***	-0.61***	1							
R(t)	0.19	-0.39**	0.07	-0.01	1						
CC	-0.22	0.19	-0.28	0.11	-0.35*	1					
GY	-0.05	-0.13	-0.28	0.05	-0.04	-0.02	1				
TKW	0.19	0.10	-0.20	-0.07	0.14	-0.08	0.38**	1			
NSm ²	0.14	0.35*	-0.01	-0.30*	-0.27	0.07	0.61***	0.39**	1		
DH	-0.38**	0.04	-0.41**	0.29	0.02	-0.12	0.18	0.28	0.20	1	
PH	0.24	0.21	0.02	-0.34*	0.01	-0.29	0.27	0.61***	0.35*	0.03	1

*Significant (P<0.05); **Highly significant (P<0.01); ***Very highly significant (P<0.001).

had a positive significance (P<0.05) correlation with number of spikes per meter square ($r = 0.35^*$), sum of temperatures a mid-senescence was significantly (P<0.05) and negatively correlated with number of spikes per meter square and plant height ($r = -0.30^*$; -0.34^*) (Table 4). These results are relatively adequate with those of Guendouz *et al.*, (2013) who suggested more or less similar correlations with some agronomic traits.

CONCLUSION

This study confirms the efficiency of the use of flag leaf senescence, total reflectance and chlorophyll contents at full heading as selection criteria for durum wheat in semi-arid areas using numerical image analysis (NIA). ANOVA showed that genotype effect was significant for thousand kernels weight, number of spikes per meter square, number of days to heading and plant height. Genotype effect were also significant for all senescence parameters, total reflectance and chlorophyll contents at full heading. The study of the correlations showed that grain yield was high significantly and positively correlated with thousand kernels weight and number of spikes per meter square, in addition all senescence parameters were significantly correlated. The negative correlation between chlorophyll contents and total reflectance at full heading suggest that the decrease of leaf reflectance increase the photosynthetic capacity of leaves by increasing radiations absorbed by chlorophyll pigments. The negative correlation between number of days to heading and senescence average and maximum of velocity implies that precocity increases senescence rate.

Conflict of interest

Authors declare that they have no conflict of interest.

REFERENCES

Aissaoui, M.R. and Fenni, M. (2021). Effect of supplemental irrigation on bread wheat genotypes yield under Mediterranean semi-arid conditions of north-eastern Algeria. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*. 74(1): 9431-9440.

- Borrill, P., Harrington S.A., Simmonds, J. and Uauy, C. (2019). Identification of transcription factors regulating senescence in wheat through gene regulatory network modelling. *Plant Physiology*. 180(3): 1740-1755. <http://dx.doi.org/10.1104/pp.19.00380>.
- Buchanan Wollaston, V., Page, T., Harrison, E., Breeze, E., OkLim, P., GilNam, H., Lin, J.F., Wu, S.H., Swidzinski, J., Ishizaki, K. and Leaver, C.J. (2005). Comparative transcriptome analysis reveals significant differences in gene expression and signaling pathways between developmental and dark/starvation-induced senescence in Arabidopsis. *Plant Journal*. 42(4): 567-585. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3113X.2005.02399.x>.
- Costat 6.400, (1998). Copyright©1998-2008, CoHort Software798 Lighthouse Ave BMP 320, Monterey, CA 93940, USA, Email: info@cohort.com, URL <http://www.cohort.com>.
- Gitelson, A.A. and Merzlyak, M.N. (1994). Spectral reflectance changes associate with autumn senescence of *Aesculus hippocastanum* L. and *Acer platanoides* L. leaves. Spectral features and relation to chlorophyll estimation. *Journal of Plant Physiology*. 143: 286-292.
- Guendouz, A. and Maamri, K. (2011). Research note evaluating durum wheat performance and efficiency of senescence parameter usage in screening under Mediterranean conditions. *Electronic Journal of Plant Breeding*. 2(3): 400-404.
- Guendouz, A., Guessoum, S., Maamri, K. and Hafsi, M. (2012). The effect of supplementary irrigation on grain yield, yield components and some morphological traits of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars. *Advance in Environmental Biology*. 6(2) : 564-572.
- Guendouz, A., Guessoum, S., Maamri, K., Benidir, M. and Hafsi, M. (2013). Performance of ten durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars under semi arid conditions (North Africa -Algeria-). *Indian Journal of Agricultural Research*. 47(4): 317-322.
- Guendouz, A. and Hafsi, M. (2016). Effect of supplementary irrigation on reflectance and some physiological properties of durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *Revue Agriculture*. 12: 86-99.
- Hafsi, M. and Guendouz, A. (2012). Some Aspects of Leaf Senescence, Senescence, [Tetsuji Nagata (Ed.)], ISBN: 978-953-51-0144-4, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/senescence/someaspects-of-leaf-senescence>.

- Hafsi, M. and Guendouz, A. (2020). Leaf senescence in wheat: A drought tolerance measure, plant science - Structure, anatomy and physiology in plants cultured *in vivo* and *in vitro*, Ana Gonzalez, María Rodriguez and Nihal Gören Sađlam, IntechOpen, <http://doi.org/10.5772/intechopen.89500>.
- Jiang, H., Wang, X.H., Deng, Q.Y., Yuan, L.P. and Xu, D.Q. (2002). Comparison of some photosynthetic characters between two hybrid rice combinations differing in yield potential. *Photosynthtica*. 40: 133-137.
- Mansour, A., Oudjehih, B., Benbelkacem, A., Fellahi, Z. and Bouzerzour, H. (2018). Variation and relationships among agronomic traits in durum wheat [*Triticum turgidum* (L.) Thell. ssp. *Turgidum* conv. *Durum* (Desf.) Mackey] under south mediterranean growth. *International Journal of Agronomy* Volume 2018, Article ID 8191749, 11 pages. <https://doi.org/10.1155/2018/8191749>.
- Royo, C., Michelena, A., Carrillo, J.M., Garcý'a, P., Juan -Aracil, J. and Soler, C. (1998). Spanish Durum Wheat Breeding Program. In: SEWANA (South Europe, West Asia and North Africa) Durum Research Network. [Nachit, M.M., Baum, M., Porceddu, Monneveux, Picard, E (eds)], *Proceedings of the SEWANA Durum Network Workshop*, 20-23 March 1995. ICARDA: Aleppo, Syria, pp 80-87.
- Sall, A., Chiari, T., Legesse, W., Seid-Ahmed, K., Ortiz, R., van Ginkel, M. (2019). Durum wheat (*Triticum durum* Desf.): origin, cultivation and potential expansion in Sub-Saharan Africa. *Agronomy* 9: 263. <https://doi.org/10.3390/agronomy9050263>.
- Simane, B., Struik, P.C., Nachit, M.M. and Peacock, J.M. (1993). Ontogenetic analysis of yield components and yield stability of durum wheat in water-limited environments. *Euphytica*. 71: 211-219.
- Sissons, M., Osborne, B., Sissons, S. (2006). Application of near infrared reflectance spectroscopy to a durum wheat breeding programme. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*. 14(1): 17-25. <https://doi.org/10.1255%2Fjnirs.582>.
- Tedone, L., Alhajj Ali, S., De Mastro, G. (2018). Optimization of Nitrogen in Durum Wheat in the Mediterranean Climate: The Agronomical Aspect and Greenhouse Gas (GHG) Emissions. In *Nitrogen in Agriculture-Updates*; [Amanullah, K., Fahad, S., (Eds.)]; InTech: London, UK; Volume 8, pp. 131-162.



Effect of Reflectance Index (RGB) and Chlorophyll Contents on Yielding of Some Durum Wheat [*Triticum turgidum* L. ssp. *Durum* (Desf.) Husn.] Genotypes Growing under Semi-arid Conditions in Algeria

B. Frih¹, A. Guendouz², A. Oulmi¹, S. Benkadja³, H. Bendada⁴, S. Selloum⁴

10.18805/ag.DF-437

ABSTRACT

Background: We aim to determine the effects of RGB reflectance index and chlorophyll contents on yielding of 15 durum wheat genotypes growing under semi-arid conditions.

Methods: The genotypes tested were sown in a random block design with three replications. The following traits were measured from the head, number of days to heading, RGB reflectance index by numerical images analysis of flag leaves and using Mesurim Pro (version 2.8) software and Chlorophyll contents. Grain yield, thousand kernels weight, number of spikes per meter square and plant height were measured at maturity.

Result: ANOVA showed that genotype effect significant for all traits. The local landrace Boutaleb witch was the best yielding genotype registered a low red reflectance index and an average green reflectance index, blue reflectance index and chlorophyll contents. The study of the correlations revealed that chlorophyll contents was significantly and negatively correlated with reflectance index at red and blue bands and very significantly and positively correlated with reflectance index at green band. PCA showed that grain yield was affected by number of spike per mete square, a negative relation was observed between chlorophyll contents and RGB reflectance index.

Key words: Chlorophyll, Grain yield, Reflectance, RGB, Semi-arid.

INTRODUCTION

Durum wheat [*Triticum turgidum* L. ssp. *durum* (Desf.) Husn.] is one of the most essential cereal species and is cultivated worldwide over almost 17 million ha, with a global production of 38.1 million tonnes in 2019 (Ioannis *et al.* 2020). Canada is the largest cultivator in the world, followed by Italy and Turkey (Pastaria International, 2015). However, the largest consumers are the Mediterranean countries, where most of the production process takes place. The main environmental constraints limiting the cultivation of durum wheat in the Mediterranean Basin are drought and extreme temperatures (Nachit *et al.*, 2004). Algeria, with these topographical and bioclimatic characteristics which show a diversity of landscapes and cropping systems, cereal growing is the predominant speculation of agriculture. It covers an annual area of approximately 3.6 million hectares of the useful agricultural areas (UAA) (MADR, 2012). Solar radiation impinging on the leaf surface is either reflected, absorbed or transmitted. The nature and amounts of reflection, absorption and transmission depend on the wavelength of radiation, angle of incidence, surface roughness and the differences in the optical properties and biochemical contents of the leaves (Guendouz *et al.* 2013). Pigments are integrally related to the physiological function of leaves. Chlorophylls absorb light energy and transfer it into the photosynthetic apparatus. Carotenoids (yellow pigments) can also contribute energy to the photosynthetic system.

¹Department of Biology and Plant Ecology, VRBN Laboratory, Farhat Abbas Sétif University, Algeria.

²National Institute of Agronomic Research of Algeria (INRAA), Sétif Unit, Algeria.

³Department of Agronomy, VRBN Laboratory, Farhat Abbas Sétif University, Algeria.

⁴Technical Institute of Field Crops, Setif, Algeria.

Corresponding Author: B. Frih, Department of Biology and Plant Ecology, VRBN Laboratory, Farhat Abbas Sétif University, Algeria. Email: benaliafrih@gmail.com

How to cite this article: Frih, B., Guendouz, A., Oulmi, A., Benkadja, S., Bendada, H. and Selloum, S. (2022). Effect of Reflectance Index (RGB) and Chlorophyll Contents on Yielding of Some Durum Wheat [*Triticum turgidum* L. ssp. *Durum* (Desf.) Husn.] Genotypes Growing under Semi-arid Conditions in Algeria. *Agricultural Science Digest*. 42(6): 696-702. DOI: 10.18805/ag.DF-437.

Submitted: 09-12-2021 **Accepted:** 24-03-2022 **Online:** 26-04-2022

(Demmig-Adams and Adams, 1996). When light strikes a leaf, part of the light is reflected towards the observer. The amount energy reflected at each light frequency is named reflectance spectrum, sometimes abbreviated by spectra or by reflectance. Reflectance depends on leaf surface properties and internal structure, as well as by the concentration and distribution of biochemical components. In the visible spectrum, (VIS, between 400 and 700 nm)

reflectance depends mainly on the presence of photosynthetic pigments such as chlorophyll. In the near infrared domain (NIR, between 700 and 13000 nm), where there are no strong absorption features, the magnitude of reflectance is governed by structural discontinuities encountered in the leaf. The shortwave infrared region (SWIR, between 1300 nm and 3000 nm), (Peñuelas *et al.* 1998). This study aim to determine the effects of red, green, blue reflectance index (RGB) and chlorophyll contents on yielding of 15 [*Triticum turgidum* L. ssp. *durum* (Desf.) Husn.] genotypes growing under semi-arid conditions in the eastern of Algeria.

MATERIALS AND METHODS

The study site

This study was conducted during the 2020/2021 cropping season at Setif Agricultural Experimental Station (ITGC-AES, 36°12'N and 05°24'E and 1.081 m asl, Algeria).

Plant material

The genetic material used in this study consists of 11 advanced lines and 4 genotypes which 3 were local landrace used as control to evaluate their performance (Table 1).

Experimental device

The genotypes tested were sown at November 19, 2020 with sowing density adjusted to 300 grains.m⁻² in a random block design with three replications, each plot consisted of 6 lines of 10 m long spaced of 0.2 m witch make 12 m² as plot area. R.G.B reflectance index (Red, Green and Blue) was evaluated by numerical image analysis (NIA) according to Guendouz and Maamri (2011), Bendada *et al.* (2021) and Frih *et al.* (2022); Leaves were photographed on black surface, between 11:00 and 12:00 solar time with a color digital camera (Canon, Power Shot A460, AiAF, CHINA). Images were stored in a JPEG (Joint Photographic Expert Group) prior to downloading onto a PC computer and analyzed using Mesurim Pro (version 2.8) software (Fig 1).

Chlorophyll contents (CC) of the flag leaf was measured using digital chlorophyll meter (CCM) with (cci) units, this device allows measuring the absorbance of light in the leaf. Agronomic traits were measured at maturity: Grain yield (GY) the cereal yield performances of the different cultivars were measured at maturity in quintals per hectare (Qs. ha⁻¹) by measuring the grain yield in one linear meter and converting it into quintals per hectare. Thousand kernels weight (TKW) (g). Number of spikes per meter square (NSm²). Number of days to heading (DH) (days) calculated from sown date November 19, 2020 and plant height (PH) (cm).

All statistical analyses will be performed by Costat 6.400 (1998) and R core Team (2020)Softwares.

RESULTS AND DISCUSSION

Analysis of variance (ANOVA)

Analysis of variance (ANOVA) is a statistical tool used to detect differences between experimental group means. (Sawyer, 2009).

Agronomic traits

ANOVA (Table 2) showed that genotypic effect was significant ($p < 0.05$; 0.001) with TKW, NSm², DH and PH.GY ranged from 2.87 Qs.ha⁻¹ for G11 advanced line to 13.59 Qs.ha⁻¹ for the local landrace Boutaleb with 6.34 Qs.ha⁻¹ as genotypic mean. TKW ranged from 30.91 g for the advanced line G8 to 46.69 g for G9 with genotypic mean of 39.40 g, the high value of TKW was observed with the local landrace Boutaleb with 44.96 g. NSm² ranged from 178.33 s.m² for G4 advanced line to 320 s.m² for the local landrace Boutaleb with a genotypic mean of 255.77 s.m². DH ranged from 136 days for advanced lines G1, G2, G8, G10 and Jupare C 2001 foreign race to 147 days for Boutaleb local landrace with 140.6 days as genotypic mean. Plant height ranged from 56.11 cm for G4 to 67.38 cm for G10 with a mean of 62.76 cm local landrace Boutaleb registered a high plant height (66.16 cm).

Table 1: Varieties and their pedigrees.

Genotype	Pedigrees
G1	RASCON_37/GREEN_2/9/USDA595/3/D67.3/RABI//CRA/4/ALO/5/...
G2	MINIMUS_6/PLATA_16//IMMER/3/SOOTY_9/RASCON_37/9/...
G3	CMH77.774/CORM//SOOTY-9/RASCON-37/3/SOMAT-4
G4	CNDO/PRIMADUR//HAI-OU-17/3/SNITAN/4/SOMAT-3/
G5	RASCON_37/GREEN_2/9/USDA595/3/D67.3/RABI//CRA/4/ALO/5/...
G6	SILVER 14/MOEWEE//BISU_I/PATKA_3/3/PORRON_4/YUAN_I/9/...
G7	GUANAY /HU ALITA / 10/PLATA_10/6/MQUE/4/USDA573/...
G8	BCRIS/BICUM//LLARETA INIA/3/DUKEM_12/2*RASCON 21/5/R
G9	Simeto/3/Sora/2*Plata_12//SRN_3/Nigris_4/5/Toska_26/...
G10	Oss1/StjS5/5/Bicrcderaal/4/BEZAIZSHF//SD19539/Waha/3/St
G11	Stj3//Bcr/Lks4/3/Ter-3/4/Mgnl3/Aghrass2
G12	Jupare C 2001
G13	Boussellem
G14	Boutaleb
G15	Oued Bared

Physiologic traits

ANOVA showed that genotype effect was high significant ($P < 0.001$) for reflectance index at all bands (Red-R, Green-G, Blue-B) and chlorophyll contents (CC) (Table 3). Reflectance index at red (R) ranged from 41.86% for advanced line G6 to 48.76% for local landrace Oued El bared with 44.67% as genotypic mean. Reflectance index at green band (G) ranged from 38.23% for G7 advanced line to 44.13% for Oued El bared local landrace with genotypic mean of 40.65. Reflectance index at Blue (B) ranged from 28.77% for G10 advanced line to 33.04 % for the same local landrace (Oued El Bared) with 30.72 % as

mean for all genotypes studied. This results were very consistent with the study of Guendouz *et al* (2012a) how found that the lowest reflectance was observed at the Blue band of the spectrum from 400 to 500 nm. Chlorophyll contents ranged from 20.42 for Oued El Bared to 31.01 cci for G4 advanced line with genotypic mean of 26.58 cci. Chlorophyll tends to decline more rapidly than carotenoids when plants are under stress or during leaf senescence (Gitelson and Merzlyak, 1994). Variations in leaf chlorophyll content detectable by spectral reflectance have also been shown to be related to leaf development and senescence (Carter and Knapp, 2001). The local landrace Boutaleb witch was

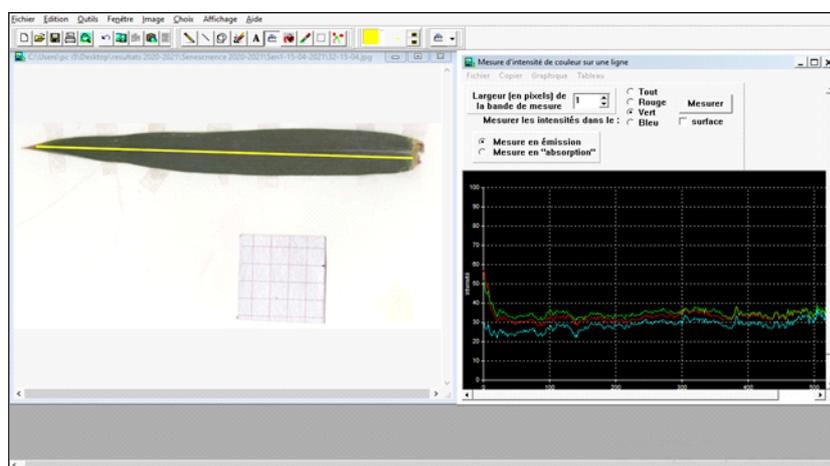


Fig 1: Reflectance calculating in R.G.B bands using Mesurim pro (version 2.8) software.

Table 2: Analysis of variance of agronomic traits.

Genotypes	Agronomic traits				
	GY (Qs.ha ⁻¹)	TKW (g)	NSm ⁻²	DH (days)	PH (cm)
G1	7.00 (bc)	41.98 (bc)	236.66 (bcde)	136 (d)	62.72 (cd)
G2	3.96 (bc)	35.62 (ef)	213.33 (de)	136 (d)	61.50 (d)
G3	7.05 (bc)	40.83 (bcd)	220.00 (cde)	142 (c)	61.88 (d)
G4	2.88 (c)	36.80 (de)	178.33 (e)	142 (c)	56.11 (e)
G5	4.70 (bc)	36.10 (e)	220.00 (cde)	142 (c)	61.27 (d)
G6	6.16 (bc)	31.88 (fg)	240.00 (bcde)	142 (c)	61.27 (d)
G7	6.89 (bc)	34.36 (efg)	253.33 (abcde)	142 (c)	57.66 (e)
G8	4.45 (bc)	30.91 (g)	268.33 (abcd)	136 (d)	61.16 (d)
G9	6.61 (bc)	46.69 (a)	310.00 (ab)	142 (c)	65.55 (abc)
G10	8.69 (ab)	41.98 (bc)	268.33 (abcd)	136 (d)	67.38 (a)
G11	2.95 (c)	44.47 (abc)	285.00 (abcd)	142 (c)	67.22 (a)
Jupare C 2001	7.89 (bc)	41.98 (bc)	255.00 (abcd)	136 (d)	63.61 (bcd)
Boussellem	4.75 (bc)	40.39 (cd)	291.66 (abc)	142 (c)	63.94 (bcd)
Boutaleb	13.59 (a)	44.96 (ab)	320.00 (a)	147 (a)	66.16 (ab)
Oued El Bared	7.59 (bc)	43.27 (abc)	276.66 (abcd)	146 (b)	63.88 (bcd)
Mean	6.34	39.40	255.77	140.6	62.76
Min	2.87	30.91	178.33	136	56.11
Max	13.59	46.69	320	147	67.38
Genotype effect	*	***	*	***	***
LSD _(5%)	5.672	4.162	76.53	1.526	3.167

*Significant ($P < 0.05$); **Significant(0.01); ***Very highly significant ($P < 0.001$).

the best yielding genotype (GY=13.59 Qs.ha⁻¹) registered the low reflectance index at Red (42.59%), a Green reflectance index, blue reflectance index and chlorophyll contents close to the average (30.09 30.25% and 24.18 cci respectively) comparing to genotypic means.

Simple linear correlation (SLC)

A simple linear correlation was used when there is only one predictor variable, matrix of simple between grain yield and its components was computed according to the formula given by Snedecor and Cochran (1981).

$$r(x,y) = \frac{[\sum xy - (\sum x)(\sum y) / n]}{\sqrt{[\sum x^2 - (\sum x)^2 / n][\sum y^2 - (\sum y)^2 / n]}}$$

r: Correlation coefficient.

x: First character.

y: Second character.

n: Total of number of observations.

Correlations among agronomic traits

The simple linear correlation (Table 4) showed that GY was highly, significantly (P< 0.01; 0.001) and positively correlated with TKW and NSm⁻² (r = 0.38**; 0.61***). A high, significant (P<0.01; 0.001) and positive correlation was observed between TKW on the one hand and NSm⁻², PH on the other hand (r = 0.39**; 0.61***). NSm⁻² was significantly (P<0.05) and positively correlated with PH (r = 0.34*). Several works have proven the high correlation between grain yield and some agronomic traits (Farih *et al.*, 2021; Guendouz *et al.*, 2012b; Aissaoui and Fenni, 2021 and Mansouri *et al.*, 2018).

Correlations among physiologic traits

The simple linear correlation (Table 4) showed that reflectance index at Red band (R) was very highly, significantly (P<0.001) and positively correlated with reflectance index at Green (G) and Blue (B) bands (0.94***; 0.70*** respectively), it is also highly, significantly (P<0.01) and negatively correlated with chlorophyll contents (-0.41**). A very high significant (P<0.001) and positive correlation was observed between reflectance index at Green band (G) and reflectance index at Blue band (B) and chlorophyll contents (0.72***; 0.49*** respectively). Chlorophyll contents was highly, significantly (P<0.01) and negatively correlated to reflectance index at blue band (B) (-0.46**). The negative and significant correlation between reflectance at Red and Blue and chlorophyll content suggest that the decrease in the photosynthetic capacity of the canopy increase leaf reflectance at Red and Blue due to the degradation of chlorophyll content (Guendouz *et al.* 2012a). In the Blue region, both chlorophylls and carotenoids have high absorbances (Penuelas and Filella, 1998). Red reflectance, especially when standardized by reflectance in a non-absorbing waveband is highly correlated with chlorophyll content (Everitt *et al.* 1985).

Principal components analysis (PCA)

The principal component analysis PCA reflects the importance of the largest contributor to total variation at each axis of differentiation (Sharma, 1998). The data presented in the Table 5 showed that the first 3 components of the

Table 3: Analysis of variance of physiologic traits

Genotypes	Physiologic traits			
	R (%)	G (%)	B (%)	CC (cci)
G1	47.20 (b)	42.07 (b)	32.31 (b)	24.59 (f)
G2	46.75 (bc)	41.75 (c)	30.91 (e)	25.48 (ef)
G3	46.48 (c)	41.86 (bc)	31.57 (cd)	26.02 (def)
G4	43.86 (f)	40.63 (e)	30.33 (fg)	31.01 (a)
G5	43.17 (g)	40.43 (ef)	30.12 (gh)	24.13 (f)
G6	41.86 (i)	39.26 (gh)	31.30 (d)	27.39(cde)
G7	41.93 (i)	38.23 (i)	28.88 (i)	29.98 (ab)
G8	44.65 (e)	40.17 (f)	30.75 (e)	28.29 (bcd)
G9	44.23 (ef)	40.40 (ef)	30.62 (ef)	29.08 (abc)
G10	43.92 (f)	40.49 (e)	28.77 (i)	25.08 (ef)
G11	43.11 (g)	39.54 (g)	29.88 (h)	28.65 (abc)
Jupare C 2001	46.31 (c)	41.10 (d)	30.27 (fg)	29.55 (abc)
Boussellem	45.32 (d)	40.56 (e)	31.80 (c)	24.87 (f)
Boutaleb	42.59 (h)	39.09 (h)	30.25 (g)	24.18 (f)
Oued El Bared	48.76 (a)	44.13 (a)	33.04 (a)	20.42 (g)
Mean	44.67	40.65	30.72	26.58
Min	41.86	38.23	28.77	20.42
Max	48.76	44.13	33.04	31.01
Genotype effect	***	***	***	***
LSD _(5%)	0.645	0.312	0.358	2.495

*** Very highly significant (P<0.001)

PCA were the most important, they accumulate alone nearly than 80% of the information on variability. Table 5 and 6 show that PC1 was positively correlated with reflectance index at R.G.B bands ($r = 0.69$; 0.71 ; 0.64 respectively), TKW ($r = 0.69$) and PH ($r = 0.63$), Boussem and Oued El Bared local landraces were the best genotypes related to

this component ($cor = 1.05$; 4.23). PC1 is also negatively correlated to CC ($r = -0.78$) with the advanced lines G4, G5, G6, G7, G8 as best related genotypes ($cor = -2.71$; -0.93 ; -1.71 ; -3.18 ; -1.52). PC2 was positively correlated with GY and NSm² ($r = 0.57$; 0.75) with G9, G11 advanced lines and Boutaleb as best related genotypes ($cor = 1.77$; 1.72 ; 3.80),

Table 4: Correlations among physiologic and agronomic traits.

	R	G	B	CC	GY	TKW	NSm ²	DH	PH
R	1								
G	0.94***	1							
B	0.70***	0.72***	1						
CC	-0.41**	0.49***	-0.46**	1					
GY	0.01	-0.01	-0.04	-0.08	1				
TKW	0.24	0.25	0.09	-0.11	0.38**	1			
NSm ²	-0.06	-0.11	-0.02	-0.04	0.61***	0.39**	1		
DH	-0.25	-0.11	0.17	-0.22	0.18	0.28	0.20	1	
PH	0.09	0.08	0.01	-0.17	0.27	0.61***	0.35*	0.03	1

*Significant ($P < 0.05$); **Highly significant ($P < 0.01$); ***Very highly significant ($P < 0.001$).

Table 5: Correlations of the traits measured with the first 3 components of the PCA.

Components	% de var	Measured traits								
		R	G	B	CC	GY	TKW	NSm ²	PH	DH
PC1	37.03	0.69	0.71	0.64	-0.78	0.45	0.69	0.46	0.63	0.24
PC2	30.22	-0.64	-0.66	-0.55	0.11	0.57	0.45	0.75	0.56	0.39
PC3	12.65	0.23	0.08	-0.31	0.25	-0.13	0.20	0.09	0.42	-0.83

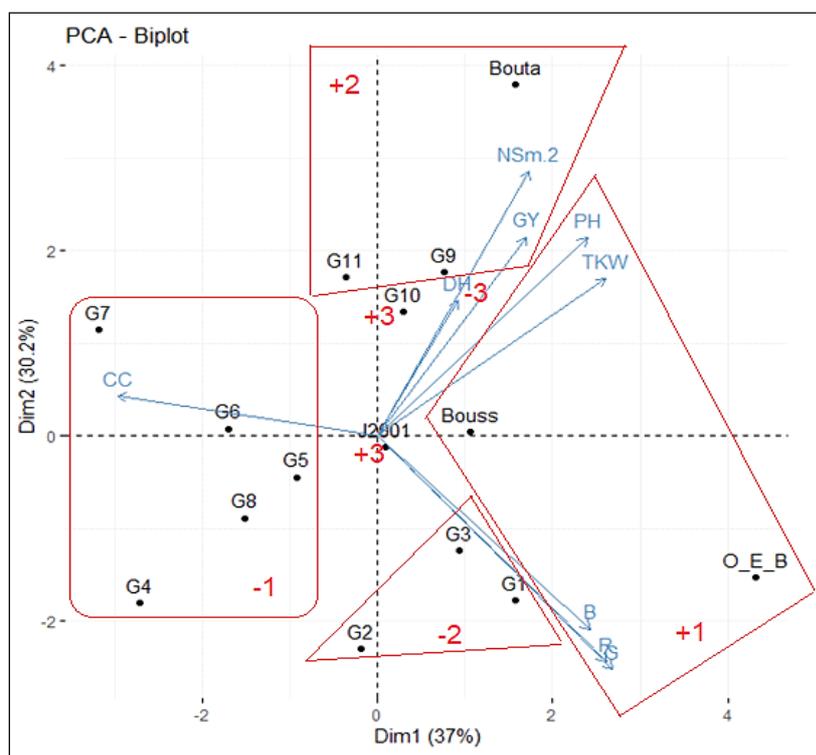


Fig 2: Biplot of the relation of the 15 genotypes studied and the measured traits with the first 3 components of the PCA.

Table 6: Coordinates of the 15 genotypes on the first 3 components of PCA.

Components	Genotypes														
	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11	J2001	Bous	Bout	O_E_B
PC1	1.56	-0.19	0.93	-2.71	-0.93	-1.71	-3.18	-1.52	0.76	0.30	-0.36	0.09	1.05	1.58	4.32
PC2	-1.78	-2.30	-1.24	-1.81	-0.44	-0.08	1.15	-0.88	1.77	1.56	1.72	-0.12	0.04	3.80	-1.53
PC3	0.75	0.84	-0.48	-0.86	-0.85	-1.28	-0.84	0.68	0.63	1.88	0.86	1.69	-0.32	-1.32	-1.39

G1,G2,G3 advanced lines were negatively related to this component. PC3 was negatively correlated with DH ($r = -0.83$), G10 advanced line and jupare C2001 foreign race were positively related to this component. The relations of measured traits and the 15 genotypes tested with the first 3 components are graphically summarized in Fig 2.

CONCLUSION

This study aim to determine the effects of RGB reflectance index and chlorophyll contents on yielding of 15 durum wheat genotypes growing under semi-arid conditions. ANOVA showed that genotype effect was significant ($P < 0.001$; 0.01 ; 0.05) for all traits studied. The local landrace Boutaleb witch was the best yielding genotype registered a low Red reflectance index and an average Green reflectance index, blue reflectance index and chlorophyll contents. The study of the correlations reveled that chlorophyll contents was significantly ($P < 0.01$) and negatively correlated with reflectance index at Red and Blue bands and very significantly ($P < 0.001$) and positively correlated with reflectance index at Green band. The negative and significant correlation between reflectance at Red and Blue and chlorophyll content suggest that the decrease in the photosynthetic capacity of the canopy increase leaf reflectance at Red and Blue due to the degradation of chlorophyll content. PCA showed that grain yield was affected by number of spike per mete square, the high values of RGB reflectance index contribute at the elevation of the weight of 1000 kernels and plant height, a negative relation was observed between chlorophyll contents and RGB reflectance index.

Conflict of interest

The authors have declared no conflict of interests exists.

REFERENCES

- Aissaoui, M.R. and Fenni, M. (2021). Effect of supplemental irrigation on bread wheat genotypes yield under Mediterranean semi-arid conditions of north-eastern Algeria. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*. 74(1): 9431-9440.
- Bendada, H., Guendouz, A., Benniou, R., Louahdi, N. (2021). Indirect selection of tolerant barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes under semi arid conditions based on the numerical images analysis indices. *Indian Journal of Agricultural Research*. 55(2): 151-156. <https://DOI.ORG/10.18805/IJARE.A-448>.
- Carter, G.A. and Knapp, A.K. (2001). Leaf optical properties in higher plants: Linking spectral characteristics to stress and chlorophyll concentration. *American Journal of Botany*. 84: 677-684.
- Costat 6.400, (1998). Copyright©1998-2008, CoHort Software798 Lighthouse Ave BMP 320, Monterey, CA 93940, USA, Email: info@cohort.com, URL: <http://www.cohort.com>.
- Demmig-Adams, B. and Adams, W.W. (1996). The role of xanthophyll cycle carotenoids in the protection of photosynthesis. *Trends in Plant Science*. 1: 21-27.

- Gitelson, A. and Merzlyak, M.N. (1994). Spectral reflectance changes associated with autumn senescence of *Aesculus hippocastanum* L. and *Acer platanoides* L. leaves - Spectral features and relation to chlorophyll estimation. *Journal of Plant Physiology*. 143: 286-292.
- Everitt, J.H., Richardson, A.J. and Gaussman, H.W. (1985). Leaf reflectance-nitrogen-chlorophyll relations in buffelgrass. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 51: 463-466.
- Filella, I., Serrano, L., Serra, J. and Penuelas, J. (1995). Evaluating wheat nitrogen status with canopy reflectance indices and discriminant analysis. *Crop Science*. 35: 1400-1405.
- Frih, B., Oulmi, A., Guendouz, A., Bendada, H., Selloum, S. (2021). Statistical analysis of the relationships between yield and yield components in some durum wheat (*Triticum durum* Desf.) genotypes growing under semi-arid conditions. *International Journal of Bio-resource and Stress Management*. 12(4): 385-392. <https://DOI.ORG/10.23910/1.2021.2431>.
- Frih, B., Oulmi, A., Guendouz, A. (2021). Efficiency of numerical images analysis in selection of durum wheat [*Triticum turgidum* L. ssp. *durum* (Desf.) Husn.] genotypes growing under semi-arid conditions in Algeria. *Agricultural Science Digest*. <https://DOI.ORG/10.18805/ag.DF-398>.
- Guendouz, A. and Maamri, K. (2011). Research note evaluating durum wheat performance and efficiency of senescence parameter usage in screening under Mediterranean conditions. *Electronic Journal of Plant Breeding*. 2(3): 400-404.
- Guendouz, A., Guessoum, S., Maamari, K., Hafsi, M. (2012a). Predicting the efficiency of using the RGB (Red, Green and Blue) reflectance for estimating leaf chlorophyll content of Durum wheat (*Triticum durum* Desf.) genotypes under semi arid conditions. *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*. 6(2): 102-106.
- Guendouz, A., Guessoum, S., Maamri, K. and Hafsi, M. (2012b). The effect of supplementary irrigation on grain yield, yield components and some morphological traits of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars. *Advance in Environmental Biology*. 6(2): 564-572.
- Guendouz, A., Guessoum, S., Maamri, K., Benidir, M., Hafsi, M. (2013). Flag leaf reflectance efficiency as indicator for drought tolerance in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) under semi arid conditions. *International Journal of Agronomy and Plant Production*. 4(6): 1204-1215.
- Ioannis, N.X., Ioannis, M., Evangelos, G.K., Elissavet, N., Aphrodite, T., Ilias D.A. and Athanasios, G.M. (2020). Durum wheat breeding in the Mediterranean region: Current status and future prospects. *Agronomy*. 10 : 432.
- MADR. (2012). Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural, Statistiques agricoles, superficies et productions, Direction des Statistiques Agricoles et des Enquêtes Economiques, Série B.
- Mansouri, A., Oudjehih, B., Benbelkacem, A., Fellahi, Z. and Bouzerzour, H. (2018). Variation and relationships among agronomic traits in durum wheat [*Triticum turgidum* (L.) Thell. ssp. *Turgidum* conv. *Durum* (Desf.) Mackey] under South Mediterranean growth. *International Journal of Agronomy* Volume. Article ID 8191749, 11 pages. <https://DOI.ORG/10.1155/2018/8191749>.
- Nachit, M.M., Elouafi, I., Rao, S.C. and Ryan, J. (2004). Durum Adaptation in the Mediterranean Dryland: Breeding, Stress Physiology and Molecular Markers. In: *Challenges and Strategies for Dryland Agriculture*. CSSA Special Publication 32; [Rao, S.C., Ryan, J., (Eds)]; Crop Science Society of America Inc.: Madison, WI, USA; American Society of Agronomy Inc. Madison, WI, USA, pp: 203-218.
- Pastaria International 6/ (2015). Geografy of the Durum Wheat Crop. Available online: http://www.openfields.it/sito/wp-content/uploads/2016/01/PASTARIA2015_N06_en-artOF.pdf (accessed on 1 June 2020).
- Peñuelas J, Filella I. (1998). Visible and near-infrared reflectance techniques for diagnosing plant physiological status. *Trends in Plant Science*. 3(4): 151-6.
- R Core Team (2020). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available at: <http://www.R-project.org>. Accessed on Saturday, December 05, 2020.
- Sawyer-Steven, F. (2009). Analysis of Variance: The Fundamental Concepts, *Journal of Manual and Manipulative Therapy*. 17(2): 27E-38E.
- Sharma, J.R. (1998). *Statistical and Biometrical Techniques in Plant Breeding*. New Age International (P) Limited Publishers. New Delhi. Pp: 432.
- Snedecor, G.W., Cochran, W.G. (1981). *Statistical Methods*, Seventh ed. Iowa State University Press, Iowa, USA.

من أجل تحديد تأثير التغيرات البيئية على مؤشرات الشيخوخة الورقية بغرض اختبار فعاليتها كمؤشرات لاختيار أصناف القمح الصلب في الظروف شبه الجافة ، تم زرع خمسة عشر صنفاً من القمح الصلب (*Triticum durum* Desf.) خلال 3 مواسم زراعية 20-2019 و 21-2020 و 23-2022 في حقول محطة التجارب الزراعية التابعة للمعهد التقني المحاصيل الكبرى ITGC بسطيف. تميزت فصول الدراسة الثلاثة بعدم الاستقرار في هطول الأمطار خلال فصول السنة الواحدة و حتى بين سنوات الدراسة حيث سجل موسم 20-2019 أفضل قيم هطول مع توزيع جيد للأوقات الممطرة. أظهرت الدراسة المورفوزراعية خلال السنتين الزراعيتين 20-2019 و 21-2020 أن عدد الحبوب في كل سنبله بالإضافة إلى وزن ألف حبة كانا من أكثر الصفات التي ساهمت في تنمية محصول الحبوب ، وكان بوطالب و G10 أكثر الأصناف مردودية خلال موسمي الدراسة $RDT_{19-20} = 37,06 - 47,37 \text{ Q.ha}^{-1}$; $RDT_{20-21} = 47,37 - 8,39 \text{ Q.ha}^{-1}$. أظهرت منحنيات تقدم الشيخوخة كدالة لدرجات الحرارة التراكمية أن المسار الزمني السيني للشيخوخة اختلف لدى جميع الأنماط المدروسة، مجموع درجات الحرارة في منتصف الشيخوخة ($\sum T50s$) اختلف بشكل ملحوظ بين الأصناف المختلفة التي تم اختبارها. Boutaleb و G1 و G10 أفضل الأصناف ربحية خلال الموسمين 2021-2020 ، 20-2022 كان لديهم شيخوخة أبطأ ، حيث سجلوا قيم متوسطة للشيخوخة (Sa) مع الانعكاس الكلي عند التسنبل (Rt) ، +/- قيم منخفضة لمتوسط سرعة الشيخوخة (Vsa) مع قيم عالية من درجات الحرارة التراكمية عند منتصف الشيخوخة ($\sum T50s$). أظهرت نتائج مراقبة تطور محتويات اليخضور ابتداءً من مرحلة التسنبل تدهوراً في هاته المحتويات خلال موسمي الزراعة. أظهرت متوسطات الانعكاس لورقة العلم خلال مرحلة التسنبل تبايناً كبيراً عند النطاقات RGB الثلاثة. بوطالب ، أفضل صنف من حيث محصول الحبوب خلال موسمي الدراسة 21-2020 و 23-2022 ؛ 13.59 ؛ 4.76 Q.ha⁻¹ أظهر قيماً منخفضة للانعكاس (R) و (G) و متوسط قيم الانعكاس (B) مع قيم متوسطة لمحتويات اليخضور خلال مرحلة الأسبال.

الكلمات المفتاحية : قمح صلب؛ المرود ؛ الشيخوخة ؛ RGB ؛ بيئة ؛ شبه جافة ؛ سطيف.

Résumé

Dans le but de déterminer l'effet des changements environnementaux sur les paramètres de la sénescence foliaire en vue tester leurs efficacité en tant qu'indicateurs pour la sélection de variétés de blé dur dans les conditions semi-arides, une quinzaine de cultivars de blé dur (*Triticum durum* Des.) ont été semés durant 03 saisons de culture 2019-20 et 2020-21 et 2022-23 dans les champs de la station expérimentale agricole de l'Institut Technique des Grandes Cultures ITGC de Sétif. Une variabilité à la fois inter saisonnière et interannuelle des précipitations a caractérisée les trois saisons d'étude, la saison 2019-20 a enregistré les meilleurs valeurs de précipitations avec une bonne répartition des temps pluviaux. L'étude morpho-agronomique de deux compagnes agricoles 2019-20 et 2020-21 a montré que le nombre de grains par épi ainsi que le poids de mille grains étaient les caractères qui ont contribué le plus dans l'élaboration du rendement en grains, Boutaleb et G10 étaient les variétés performantes durant les deux saisons d'étude ($RDT_{19-20} = 37,06 - 47,37 \text{ Q.ha}^{-1}$; $RDT_{20-21} = 47,37 - 8,39 \text{ Q.ha}^{-1}$). Les courbes de la progression de la sénescence en fonction du cumul des températures ont montrés que le cours temporel sigmoïdal de la sénescence présentait une variabilité génotypique, les sommes des températures à la mi-sénescence ($\sum T50s$) différaient nettement entre les différentes variétés testées. Boutaleb, G1 et G10 les cultivars les mieux rentables durant les deux saisons 2020-2021, 2022-23 avaient une sénescence plus lente, ils enregistraient des valeurs moyennes de la sénescence moyenne (Sa) avec la réflectance totale en plein épiaison (Rt), des valeurs +/- faibles de la vitesse moyenne de sénescence (Vsa) avec des valeurs élevées des cumules des températures à la mi-sénescence ($\sum T50s$). Les résultats du suivi de l'évolution des teneurs en chlorophylle à partir du stade épiaison ont montrés une dégradation des teneurs en chlorophylle durant les deux saisons de cultures. Les moyennes de réflectance de la feuille drapeau durant la phase épiaison ont montré une grande variabilité sur des trois bandes RGB. Boutaleb meilleur cultivar en matière de rendement en grains durant les deux saisons de culture 2020-21 et 2022-23 (13,59; 4,76 Q.ha⁻¹) a affiché de faibles valeurs de réflectance les (R) et (G) et des valeurs moyennes de réflectance (B) avec des valeurs moyennes des teneurs en chlorophylle durant la phase d'épiaison.

Mots clés : Blé dur ; rendement ; sénescence ; RGB ; environnement ; semi-aride ; Setif.

Abstract

In order to determine the effect of environmental changes on leaf senescence parameters in order to test their effectiveness as indicators for the selection of durum wheat varieties in semi-arid conditions, fifteen durum wheat cultivars (*Triticum durum* Desf.) were sown during 03 cropping seasons 2019-20 and 2020-21 and 2022-23 in the agricultural experimental station of Technical Institute of Field Crops ITGC of Sétif. Both inter-seasonal and inter-annual rainfall variability characterized the three study seasons, the 2019-20 season recorded the best rainfall values with a good distribution of rainy weather. The morpho-agronomic study of two agricultural seasons 2019-20 and 2020-21 showed that the number of grains per spike as well as the weight of a thousand grains were the characters that contributed the most in the development of grain yield, Boutaleb and G10 were the performing varieties during the two study seasons ($RDT_{19-20} = 37.06 - 47.37 \text{ Q.ha}^{-1}$; $RDT_{20-21} = 47.37 - 8.39 \text{ Q.ha}^{-1}$). The curves of the progression of senescence as a function of cumulative temperatures showed that the sigmoidal time course of senescence presented genotypic variability; the sums of temperatures at mid-senescence ($\sum T50s$) differed markedly between the different varieties tested. Boutaleb, G1 and G10 the best profitable cultivars during the two seasons 2020-2021, 2022-23 had slower senescence, they recorded average values of average senescence (Sa) with total reflectance at full heading (Rt), +/- low values of average speed of senescence (Vsa) with high values of cumulative temperatures at mid-senescence ($\sum T50s$). The results of the monitoring of the chlorophyll contents from the heading stage showed a degradation of the chlorophyll contents during the two cropping seasons. The reflectance averages of the flag leaf during the heading phase showed a great variability on the three RGB bands. Boutaleb, the best cultivar in terms of grain yield during the two cropping seasons 2020-21 and 2022-23 (13.59; 4.76 Q.ha⁻¹) displayed low values of reflectance (R) and (G) and average values of reflectance (B) with average values of chlorophyll contents during the heading phase.

Keywords : Durum wheat; yield; senescence; RGB; environment; semi-arid; Setif.