

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Université Ferhat Abbas Sétif 1
Faculté des Sciences de la
Nature et de la Vie



جامعة فرحات عباس، سطيف 1
كلية علوم الطبيعة و الحياة

DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES

N°...../SNV/2021

THÈSE

Présentée par

RABTI Abou-bakr

Pour l'obtention du diplôme de

DOCTORAT EN SCIENCES

Filière: AGRONOMIE

Spécialité: PRODUCTION VÉGÉTALE

THÈME

**Changements des caractères morpho-physiologiques
induits par la sélection artificielle du blé dur (*Triticum durum*
Desf.) en Algérie.**

Soutenue publiquement le 10/07/2021

DEVANT LE JURY

Président	MEKHOLOUF Abdelhamid	Pr. UFA Sétif 1
Directeur	BENMAHAMMED Amar	Pr. UFA Sétif 1
Co-directeur	BENBELKACEM Abdelkader	Dr. Inraa-Constantine
Examineurs	HAZMOUNE Tahar	Pr. Univ 20 Août. Skikda
	FELLAHI Zine El Abidine	MCA. UMBEI. BBA
Invité	BOUZERZOUR Hamenna	Pr. UFA Sétif 1

Laboratoire de Valorisation des Ressources Biologiques Naturelles (LVRBN)

REMERCIEMENTS

Louanges à « ALLAH » le tout puissant et le miséricordieux qui a orienté mes sens vers les bons choix et les bons réflexes afin que ce modeste travail aboutit à sa bonne fin.

Je tiens tout d'abord à remercier mon directeur de thèse le Professeur **Benmahammed Amar**, de l'université Sétif -1, qui m'a fait l'honneur de m'encadrer. J'ai pu apprécier les qualités d'un homme de science et de pédagogie mais aussi des qualités humaines qui m'ont permis de travailler en toute sérénité et confiance. Je lui suis particulièrement reconnaissant et redevable pour le temps et l'énergie qu'il m'a toujours accordé pour me transmettre des conseils, des orientations et surtout une sagesse dont le moindre qu'en puisse dire et celle des grands maîtres, je peux m'estimer très privilégiée. Veuillez bien trouver ici l'expression profonde de mon estime.

Je tiens aussi à exprimer ma gratitude à mon co-directeur le Docteur **Benbelkacem Abdelkader**, de l'INRA Constantine, qui a été au cours de toute la période de préparation de ce travail une source d'inspiration, d'encouragement et de soutien sans précédent. Veuillez trouvez ici l'expression de mon profond respect.

Mes vifs remerciements vont au Professeur **Mekhlouf Abdelhamid** de l'université Sétif-1 qui m'a fait l'honneur de présider le jury et à Messieurs ; le Professeur **Hazmoune Tahar** de l'université de Skikda et le Docteur **Fellahi Zine El Abidine** de l'université de Bordj Bouariridj d'avoir pris sur leur temps pour lire, examiner et juger ce modeste travail.

Je voudrais exprimer mes sincères remerciements et ma gratitude au Professeur **Bouzerzour Hamenna**, qui m'a apporté une aide précieuse et m'a rendu une grande faveur pour l'achèvement de ce travail et que sans sa contribution ce travail ne sera abouti. Je lui serai reconnaissant toute ma vie.

Je voudrais exprimer aussi mes remerciements chaleureux et particuliers à mon cher ami et collègue Monsieur **Fellahi Zine El Abidine** d'avoir été

toujours à mes côtés par ses aides et ses conseils pendant la réalisation de ce travail et même bien avant. Merci infiniment.

Je tiens également à remercier sincèrement et profondément toute l'équipe de l'ITGC Sétif ; l'ex-directeur Monsieur **Sersoub Djamel** et le directeur actuel Monsieur **Louahdi Nacereddine**, les ingénieurs chercheurs particulièrement Messieurs Bachir Adel, M'hani Ameer et Harkati Bachir ainsi que le reste du personnel et ouvriers de m'avoir accueillie et mis à ma disposition les moyens nécessaires et indispensables pour mener à bon terme mes essais pendant deux années consécutives. Je les remercie tous considérablement.

Je tiens à remercier le personnel de l'ITGC du Khroub et plus particulièrement Monsieur **Zeltni Abdesslam** qui m'a fourni les moyens et les facilitations relatives au travail du terrain.

Mes remerciements les plus sincères sont aussi adressés à l'équipe de l'INRAA-UR Sétif et plus spécialement Messieurs **Hannachi Abderrahmane**, **Guendouz Ali** et **Benidir Mohammed** pour leur aide, leurs conseils et leur savoir et savoir faire dont ils m'ont toujours fait part. Je leur suis particulièrement redevable et reconnaissant.

Je ne saurais oublier de remercier le CNCC avec tout son personnel pour l'aide précieuse et inconditionnelle et plus particulièrement celle du directeur Monsieur **Hadj Sahraoui Abdelkrim** et Monsieur **Boutalbi walid**.

Je remercie l'équipe de mon laboratoire, le laboratoire de valorisation des ressources biologiques et naturelles de l'université de Sétif-1 pour avoir mis à ma disposition les moyens nécessaires afin de réaliser les travaux et mesures expérimentaux de ma thèse. Je mentionne surtout monsieur **Oulmi Abdelmalek** qui m'a donné des aides précieuses.

Je remercie mes amis et proches Djaafri Abdelghani, Guerroudj Mourad, Kassouer Tayeb, Thabet, Khawla, Ramzi et Sara qui m'ont aidé à réaliser les mesures expérimentales sur le champ et au laboratoire mais aussi à la maison.

Je tiens à adresser des remerciements particuliers à ma femme d'avoir été à mes côtés pendant les meilleurs mais surtout pendant les durs moments, un soutien que je n'oublierai jamais. Merci du fond du cœur.

Je remercie ma chère mère et que quoi que je dis, ne saurais exprimer envers elle ma reconnaissance pour sa patience, son appui sans faille. Je n'oublie pas non plus de dédier cette humble œuvre à l'âme pure de mon père, en lui souhaitant miséricorde et pardon. Je remercie par la même occasion tous les membres de ma famille.

Par peur d'afficher une liste non exhaustive de tous ceux que le destin à mis sur mon chemin et qu'ils n'ont pas hésité à apporter leur touche, quelle qu'elle soit, dans ce modeste travail ; je leur dis merci infiniment.

Abou-bakr

ملخص

يوضح هذا العمل توصيف 58 صنفاً قديماً وحديثاً من القمح الصلب مزروع تحت الظروف البيئية لجنوب البحر الأبيض المتوسط. أجريت التجربة بتصميم القطاعات العشوائية الكاملة في محطتي سطيف و الخروب التابعتين للمعهد التقني للزراعات الواسعة (ITGC-AES) خلال الموسم الزراعيين 2016/2015 و 2017/2016. أشارت النتائج إلى تأثيرات متوسطة عام، نمط جيني، موقع وموقع x عام معبرة لجميع الميزات الثمانية عشر المقاسة. أشارت النتائج إلى أن متوسط أداء الأصناف الحديثة تفوق على نظيراتها القديمة من حيث المردود الحبي، عدد السنابل، وزن السنبل، عدد الحبات للمتر المربع، مؤشر الحصاد، خصوبة السنابل و عدد الأوراق الخضراء عند الحصاد (stay green). في حين تفوقت الأصناف القديمة على الحديثة من حيث إنتاجية القش، التأخير عند الإنبال، طول النبات ومساحة الورقة العلم. يعتبر صنف Simeo، الذي سجل محصول حبوب مرتفع نسبياً قدره 22.71 ق / هكتار وأظهر اختلافات طفيفة نسبياً في المحصول على مدار المواسم (P = 47.65) هو أحسن نمط جيني من حيث الأداء والاستقرار. أشارت معاملات ارتباط بيرسون و تحليلات المسار في كلا مصدرَي الجرمولازم إلى التأثير القوي على المردود الحبي لكل من الكتلة الحيوية، عدد السنابل، خصوبة السنبل و مؤشر الحصاد. أظهر تحليل المكون الرئيسي أن الأصناف القديمة مختلفت وراثياً عن تلك المحسنة مما يشير إلى أنها تمثل مجموعة جينية هامة لصفات مفيدة كطول النبات و مردود القش. يُقترح استخدام الاختلافات بين كلا مصدرَي الجرمولازم بشكل مفيد في برامج التربية لتحسين المردود، الاستقرار و المرونة لدى الأصناف المستقبلية في مواجهة تغير المناخ.

الكلمات المفتاحية: *Triticum durum*، التقدم الجيني، المقاومة، النمط المثالي، هندسة، الاختيار

Résumé

L'objectif de ce travail est la caractérisation de 58 variétés de blé dur anciennes et modernes cultivées dans les conditions du sud de la Méditerranée. L'expérience a été menée dans un dispositif en blocs complètement randomisés sur deux sites (ITGC-AES de Sétif et Khroub) et pendant deux saisons de culture, 2015/16 et 2016/17. Les résultats de cette étude indiquent des effets moyens année, génotype, site et des interactions sites x années significatifs pour l'ensemble des 18 caractères analysés. Les résultats indiquent qu'en moyenne des saisons et des sites, les variétés modernes ont surpassé les anciennes en termes de rendement en grain, nombre d'épis, poids des épis, nombre de grains par mètre carré, indice de récolte, fertilité des épis et teneur en chlorophylle. Les anciennes variétés ont surpassé les variétés modernes en termes de rendement en paille, tardivité, hauteur et surface de la feuille étendard. Dans la présente étude, la variété Simeto, qui a enregistré un rendement en grain relativement élevé de 22.71 q/ha, présentant des variations de rendement relativement faibles au fil des saisons (indice P= 47.65) est le meilleur génotype de par sa performance et sa stabilité. Les coefficients de corrélation de Pearson ont indiqué, chez les deux sources de germoplasme, la forte influence de la biomasse, du nombre d'épis, de la fertilité des épis et de l'indice de récolte sur le rendement en grains. L'analyse en composantes principales a révélé que les anciennes variétés sont génétiquement différentes des variétés améliorées, suggérant que les anciennes variétés représentent un pool génétique utile pour des caractères comme la hauteur de la plante et le rendement en paille. Il est suggéré que les différences entre les deux sources de germoplasme soient utilisées utilement en sélection pour améliorer le potentiel de rendement, la stabilité et la résilience au changement climatique des futures variétés.

Mots clés : *Triticum durum*, progrès génétique, tolérance, idéotype, architecture, sélection

Abstract

This work reports on the characterization of 58 old and modern durum wheat varieties grown under south Mediterranean conditions. The experiment was conducted in a randomized complete block design at two locations (ITGC-AES of Setif and Khroub, Algeria), during the 2015/16 and 2016/17 cropping seasons. The results indicated significant year, genotype, site main effects and sites x year interaction for almost all 18 characters analyzed. The results indicated that, averaged across seasons and locations, modern varieties outperformed the old ones in terms of grain yield, spike number, spike weight, number of kernels per square meter, harvest index, spike fertility and stay green. Old varieties outperformed the modern ones in terms of straw yield, lateness, tallness and flag leaf area. Simeto variety, which recorded a relatively high grain yield of 22.71 q / ha, exhibit relatively small grain yield variations over the seasons (P index = 47.65) is the best genotype in terms of performance and stability. Pearson's correlation coefficients indicated that, in both sources of germoplasm, the strong influence of biomass, spike number, spike fertility and harvest index on grain yield. Principal component analysis revealed that the old varieties are genetically different from the improved ones suggesting that old varieties represent a useful gene pool for traits as plant height and straw yield. Differences between both sources of germoplasm are suggested to be used usefully in breeding to enhance yield potential, stability and resilience to changing climate of the future varieties.

Mots clés : *Triticum durum*, progrès génétique, tolérance, idéotype, architecture, sélection

LISTE DES ABREVIATIONS

ACP	: Analyse en composantes principales
ACSAD	: Arab Center for the Studies of Arid zones and Dry lands
ANOVA	: Analysis of Variance
BIO	: Biomasse aérienne accumulée à maturité
CCI	: Chlorophyll Content Index
Chl	: Teneur en Chlorophylle
CIMMYT	: Centro International de Mejoramiento de Maíz y Trigo
CNCC	: Centre National de Contrôle et de Certification des Semences et Plants
CNRA	: Centre Algérien de la Recherche Agronomique Scientifique et Economique
DPV	: Durée de la Phase Végétative
FAO	: Food and Agriculture Organization of the United Nations
FAOSTAT	: Food And Agriculture Organization Statistics Division
HI	: Indice de Récolte
HT	: Hauteur de la végétation
IC	: Intégrité de la membrane Cellulaire
ICARDA	: International Center of Agricultural Research in Dry Areas
IDGC	: Institut de Développement des Grandes Cultures
IGC	: International Grains Council
INRAA	: Institut National de la Recherche Agronomique d'Algerie
ITGC	: Institut Technique des Grandes Cultures
LE	: Longueur de l'épi
MBB	: Mohamed Ben Bachir
MADR	: Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural
Mrb	: Oum Rabie

NE : Nombre d'Epis
NGE : Nombre de Grains par Epi
NGM : Nombre de Grains par Mètre carré
ONM : Office National de la Météorologie
PHT : Hauteur de la plante
PLL : Poids du chaume
PMG : Poids de Mille Grains
PNE : Poids des épis
Ppds : Plus petite différence significative
RDT : Rendement en grains
RDT_{eco} : Rendement Economique
SPAD : Soil and plant analysis device
SF_{fe} : Surface de la feuille étendard
TCV : Température du Couvert Végétal
TRE : Teneur Relative en Eau

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Phylogénie des espèces de blés (Schuhwerk, <i>et al.</i> , 2011).....	3
Figure 2. Lieux de production, routes d'échanges et d'utilisation du blé dur dans le monde (Ammar, 2015).....	4
Figure 3. Evolution du nombre de variétés de céréales inscrites au catalogue officiel (CNCC, 2015).....	10
Figure 4. Aires d'adaptation des nouvelles variétés mises à disposition des agriculteurs (CNCC, 2015).....	10
Figure 5. Pluies et températures moyennes mensuelles enregistrées au cours des deux campagnes 2015/16 et 2016/17 sur les sites ITGC du Khroub et de Sétif (ONM 2018).	26
Figure 6. Fréquence des différentes classes de la durée de la phase végétative chez l'ensemble du germoplasme étudié.....	46
Figure 7. Fréquence des différentes classes du contenu en chlorophylle des deux sources de germoplasme étudiées.....	53
Figure 8. Valeurs moyennes de la CHL des variétés récentes (bleu) et anciennes (rouge) des deux sources de germoplasme étudiées.....	54
Figure 9. Valeurs moyennes du pourcentage de dommages cellulaires des variétés récentes (bleu) et anciennes (rouge) des deux sources de germoplasme étudiées.	55
Figure 10. Interaction site x années de la biomasse aérienne extériorisée par les sites expérimentaux de Sétif et du Khroub.....	57
Figure 11. Valeurs moyennes de la biomasse aérienne produite par les variétés récentes (bleu), anciennes (rouge), moyenne des récentes (R), moyenne des anciennes (A) et moyenne générale (G) des sources de germoplasme étudiées.....	58
Figure 12. Interaction site x années du poids des épis (PE) du germoplasme étudié.	60
Figure 13. Valeurs moyennes de la variable poids des épis produite par les variétés récentes (bleu), anciennes (rouge), moyenne des récentes (R), moyenne des anciennes (A) et moyenne générale (G) des sources de germoplasme étudiées.....	61
Figure 14. Interaction site x années de la paille (PLL) produite du germoplasme étudié.....	63
Figure 15. Valeurs moyennes de la paille produite par les variétés récentes (bleu), anciennes (rouge), moyenne des récentes (R), moyenne des anciennes (A) et moyenne générale (G) des sources de germoplasme étudiées.....	63

Figure 16. Valeurs moyennes de la hauteur de la plante des variétés récentes (bleu), anciennes (rouge), moyenne des récentes (R), moyenne des anciennes (A) et moyenne générale (G) des sources de germoplasme étudiées.....	65
Figure 17. Interaction génotype x années : Valeurs moyennes de la hauteur de la plante des variétés récentes (bleu), anciennes (vert) de l'année 2016 et des variétés récentes (rouge), des anciennes (noire) de l'année 2017 des sources de germoplasme étudiées.....	66
Figure 18. Interaction génotype x années : Valeurs moyennes de la hauteur de la plante des variétés récentes (bleu), anciennes (rouge) des sources de germoplasme étudiées.....	66
Figure 19. Valeurs moyennes du rendement économique des variétés récentes (bleu), anciennes (rouge), moyenne des récentes (R), moyenne des anciennes (A) et moyenne générale (G) des sources de germoplasme étudiées.....	68
Figure 20. Interaction site x années : Valeurs moyennes du rendement économique des 58 variétés étudiées.	69
Figure 21. Valeurs moyennes de la variable indice de récolte des variétés récentes (bleu), anciennes (rouge), moyenne des récentes (R), moyenne des anciennes (A) et moyenne générale (G) des sources de germoplasme étudiées.....	70
Figure 22. Valeurs moyennes de la variable indice de récolte des variétés récentes (bleu), anciennes (rouge), moyenne des récentes (R), moyenne des anciennes (A) et moyenne générale (G) des sources de germoplasme étudiées.....	73
Figure 23. Valeurs moyennes de la surface de la feuille étendard des variétés récentes (bleu), variétés anciennes (rouge), moyenne des récentes (R), moyenne des anciennes (A) et moyenne générale (G) des sources de germoplasme étudiées.	75
Figure 24. Interaction génotype x années : Variation des valeurs moyennes de la surface de la feuille étendard des variétés récentes (bleu), anciennes (vert) de l'année 2016 et des variétés récentes (rouge), des anciennes (noire) de l'année 2017.....	79
Figure 25. Interaction génotype x années : Valeurs moyennes de la surface de la feuille étendard des variétés récentes (bleu) et anciennes (rouge) lors des deux campagnes étudiées.....	80
Figure 26. Valeurs moyennes du rendement en grains des variétés récentes (bleu), variétés anciennes (rouge), moyenne des récentes (R), moyenne des anciennes (A) et moyenne générale (G, vert) des sources de germoplasmes étudiées.....	81

Figure 27. Valeurs moyennes du nombre d'épis/m ² des variétés récentes (bleu), variétés anciennes (rouge), moyenne des récentes (R), moyenne des anciennes (A) et moyenne générale (G) des sources de germoplasme étudiées.	83
Figure 28. Valeurs moyennes du nombre de grains/épi des variétés récentes (bleu), variétés anciennes (rouge), moyenne des récentes (R), moyenne des anciennes (A) et moyenne générale (G) des sources de germoplasme étudiées.	85
Figure 29. Valeurs moyennes du nombre de grains/m ² des variétés récentes (bleu), variétés anciennes (rouge), moyenne des récentes (R), moyenne des anciennes (A) et moyenne générale (G) des sources de germoplasme étudiées.	87
Figure 30. Valeurs moyennes du poids de mille grains des variétés récentes (bleu), variétés anciennes (rouge), moyenne des récentes (R), moyenne des anciennes (A) et moyenne générale (G) des sources de germoplasme étudiées.	89
Figure 31. Performances inter environnements du rendement en grains des variétés stables (faible σ^2E , à gauche) et des variétés instables (σ^2E élevée, à droite) et moyenne variétale des 4 environnements.	91
Figure 32. Performances inter environnements du rendement en grains des variétés valorisantes (faible indice P, à gauche) et des variétés non valorisantes (Indice P élevé, à droite) du milieu et moyenne variétale des 4 environnements.	93
Figure 33. Performances du rendement en grains des variétés divergentes pour l'indice STI (site de Sétif).....	95
Figure 34. Performances du rendement en grains des variétés divergentes pour l'indice STI (site du Khroub).	96
Figure 35. Performances du rendement en grains des variétés divergentes pour l'indice YSI (site de Sétif).	96
Figure 36. Performances du rendement en grains des variétés divergentes pour l'indice YSI (site du Khroub).....	97
Figure 37. Moyennes des variétés anciennes en % de celles des variétés récentes pour les différents caractères mesurés.....	101
Figure 38. Moyennes des variétés anciennes en % de celles des variétés récentes pour les différents caractères mesurés bien représentés sur PC1.....	118
Figure 39. Ecart des différents caractères mesurés, relatifs aux moyennes de MBB, de Guemgoum (ancienne), Waha et Ofanoto (récentes), variétés les plus contrastées sur PC1.....	120
Figure 40. Ecart (%) ($100 * [(XPos - XNeg) / XPos]$) des différents caractères mesurés du groupe de variétés bien représentées sur PC2.	120

Figure 41. Représentation des variables mesurées, des variétés testées sur le plan formé par les axes 1 et 2 de l'analyse en composantes principales..... 122

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Superficies emblavées (106 ha) en blé dur, moyennes de la période 2005 à 2015, des principaux pays producteurs de par le monde (Ammar, 2015).	5
Tableau 2. Moyennes, de la période 2005 à 2015, de la production (Prod, 103 t) et du rendement (RDT, t/ha) du blé dur des principaux pays producteurs (Ammar, 2015)...	6
Tableau 3. Gamme variétale acquise par L'ITGC et mises en production des semences.....	10
Tableau 4. Liste des 58 variétés récentes et anciennes de blé dur évaluées au cours des campagnes 2015/16, 2016/17 sur les deux sites expérimentaux des stations ITGC de Sétif et du Khroub.	31
Tableau 5. Squelette de l'analyse de la variance des données collectées à partir des expérimentations de 58 variétés de blé dur évaluées au cours des campagnes 2015/16, 2016/17 sur les deux sites expérimentaux des stations ITGC de Sétif et du Khroub.....	38
Tableau 6. Carrés moyens de l'analyse de la variance de la durée de la phase végétative (DPV, j) et de la tolérance au stress abiotique mesurée par la teneur relative en eau (TRE, %), la température de la canopée (TCV, °C), le contenu en chlorophylle (CHL, CCI) et la stabilité membranaire (IC, %).	43
Tableau 7. Valeurs caractéristiques de la durée de la phase végétative des germoplasmes local, introduit et de l'ensemble.....	45
Tableau 8. Valeurs caractéristiques des tests de la tolérance au stress abiotique des germoplasmes ancien et récente et l'ensemble.....	53
Tableau 9. Carrés moyens de l'analyse de la variance de la biomasse aérienne (BIO, q/ha), du poids des épis (PNE, q/ha), de la paille produite(PLL, q/ha), de la hauteur de la végétation (PHT, cm), du rendement économique (RDT éco, q/ha), de l'indice de récolte (HI, %) de la surface de la feuille étandard (SFE, cm ²) et la longueur de l'épi (LE, cm) de l'ensemble du germoplasme étudié.	77
Tableau 10. Valeurs moyennes, maximales, minimales, amplitudes, coefficient de variation et plus petite différence significative de la biomasse aérienne (BIO, q/ha), du poids des épis (PNE, q/ha), de la paille produite(PLL, q/ha), de la hauteur de la végétation (PHT, cm), du rendement économique (RDTéco, q/ha), de l'indice de récolte (HI, %) de la surface de la feuille étandard (SFE, cm ²) et de la longueur de l'épi (LE, cm) des deux sources de germoplasme étudiées.	78
Tableau 11. Carrés moyens de l'analyse de la variance du rendement (q/ha), du nombre d'épis, du nombre de grains par épi, de grains par m ² et de poids de 1000 grains de l'ensemble du germoplasme étudié.....	86

Tableau 12. Valeurs moyennes, maximales, minimales, amplitudes, coefficient de variation et plus petite différence significative du rendement (RDT, q/ha), du nombre d'épis (NE), du nombre de grains par épi (NGE) et par m ² (NGM ²) et du poids de 1000 grains (PMG) des deux sources de germoplasme étudiées.	86
Tableau 13. Coefficients de corrélation de rang de Spearman's (rs) entre les caractères des variétés anciennes.	104
Tableau 14. Coefficients de corrélation de rang de Spearman's (rs) entre les caractères des variétés récentes.	105
Tableau 15. Coefficients de corrélation de Pearson (rij) liant les caractères morpho-physiologiques et le rendement en grains chez les deux sources de germoplasmes, effets directs et effets indirects (valeur >0.100) des caractères explicatifs du rendement en grain chez les deux sources de germoplasmes, effets directs et effets indirects (valeur >0.100) des caractères explicatifs du rendement en grains retenus par le modèle de la régression multiple, des variétés récentes.	113
Tableau 16. Coefficients de corrélation des variables analysées avec les principales composantes retenues de l'analyse en composantes principales.	115
Tableau 17. Coordonnées des variétés bien représentées le long de la première composante principale de l'analyse en composantes principales.	117
Tableau 18. Coordonnées des variétés bien représentées le long de la deuxième, troisième et quatrième composante principale de l'analyse en composantes principales.	121

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS

ملخص

Résumé

Abstract

LISTE DES ABREVIATIONS

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

Introduction	1
Chapitre I : Revue bibliographique	3
1 La culture du blé dur (<i>Triticum turgidum</i> L. var. durum)	3
1.1 Origines génétique et géographique.....	3
1.2 Localisation, superficies et productions.....	4
1.2.1 Mondiales.....	4
1.2.2 Algériennes.....	6
2 Amélioration du blé dur (<i>Triticum turgidum</i> L. var. durum)	7
2.1 <i>Historique</i> de l'amélioration du blé dur en Algérie.....	7
2.2 <i>Acquis</i> de l'amélioration du blé dur en Algérie.....	8
2.3 <i>Objectifs</i> de l'amélioration du blé dur en Algérie	9
2.3.1 Adaptation à l'environnement de production	9
2.3.2 Utilisation de la variabilité existante.....	12
2.4 apport de la sélection : Variétés récentes vs. anciennes.....	15
2.4.1 Rendement en grains	15
2.4.2 Composantes du rendement en grains.....	17
2.4.3 Hauteur, biomasse aérienne et indice de récolte	18
2.4.4 Durée du cycle de développement	19
2.4.5 Tolérance des stress biotiques.....	21
2.4.6 Tolérance des stress abiotiques.....	21
2.4.7 Qualité technologique.....	22
2.4.8 Typologie variétale	23
Chapitre II. Matériel et méthodes	25

1	Site, matériel végétal et dispositif expérimental	25
2	Mesures, notations et analyse des données.....	32
2.1	Durée de la phase végétative.....	32
2.2	Surface de la feuille étendard	33
2.3	Hauteur de la végétation.....	33
2.4	Longueur de l'épi.....	33
2.5	Biomasse aérienne	33
2.6	Rendement paille	34
2.7	Contenu en chlorophylle	34
2.8	Teneur relative en eau	34
2.9	L'intégrité de la membrane cellulaire (IC).....	35
2.10	Température du couvert végétal	35
2.11	Nombre et poids des épis.....	36
2.12	Poids de 1000 grains	36
2.13	Nombre de grains par épi et par m ²	36
2.14	Rendement grain.....	36
2.15	Rendement économique.....	37
2.16	Indice de récolte.....	37
3	Analyse des données.....	37
3.1	Carrés moyens des écarts	37
3.2	Variabilités intra et inter variables	39
3.3	Corrélations phénotypiques et analyse en chemin (Path analysis)	40
3.4	Stabilité des performances et indices de tolérance du stress	41
3.5	Structuration des variables et typologie variétale	42
	Chapitre III. Résultats et discussion	43
1	Variabilité des caractères.....	43
1.1	Durée de la phase végétative et tolérance des stress abiotiques.....	43
1.1.1	Durée de la phase végétative	43
1.1.2	Tolérance des stress abiotiques	49
1.2	Biomasse aérienne	56
1.3	Poids des épis	59
1.4	Paille produite	61
1.5	Hauteur de la végétation.....	64
1.6	Rendement économique.....	67

1.7	Indice de récolte.....	69
1.8	Longueur de l'épi.....	72
1.9	Surface de la feuille étendard	74
1.10	Rendement en grains	80
1.11	Nombre d'épis.....	82
1.12	Nombre de grains par épi.....	84
1.13	Nombre de grains par m ²	85
1.14	Poids de 1000 grains	88
2	Stabilité et indices de tolérance du stress	90
3	Différences entre variétés anciennes et récentes induites par la sélection	100
4	Corrélations phénotypiques et analyse en chemin (Path analysis)	102
5	Structuration des caractères et typologie variétale.....	114
	Conclusion.....	124
	Références bibliographiques.....	128

Introduction

Les travaux d'amélioration variétale des céréales, notamment en blés dur (*Triticum durum* Desf.) et tendre (*Triticum aestivum* L.) ont débuté, au début de la deuxième moitié du siècle dernier, par l'exploitation de la variabilité existante à l'intérieur des formes diversifiées existantes dites variétés-populations (Miège, 1950). Ces travaux ont isolé des souches locales plus ou moins homogènes dont certaines sont encore largement cultivées.

Vers le début des années 1970, l'avènement de la révolution verte, initiée par les travaux de CIMMYT, et dont les résultats spectaculaires apparaissent au Mexique, en Inde et au Pakistan, a conduit à l'introduction, par les services algériens de la recherche agronomique du matériel végétal de ce centre international, à des fins de sélection et d'utilisation. Cette sélection a produit un nombre important des variétés dont certaines ont été largement adoptées par la grande culture. Le fruit de cette sélection a eu des effets positifs sur la production (Benbelkacem, 2014).

Mirosavjevic *et al.*, (2016) mentionnent que l'augmentation spectaculaire des rendements en grains des céréales à paille au cours du 20^{ième} siècle est due à la fois aux progrès réalisés en matière d'amélioration génétique et aux techniques culturales adoptées. Pour faire plus de progrès dans ce domaine, il est nécessaire de déterminer les changements, causés par la sélection, qui sont intervenus dans l'architecture de la plante.

Zhou *et al.*, (2014), rapportent que connaître les changements, associés au progrès génétique induit par la sélection, est important pour déterminer les facteurs limitant l'augmentation du potentiel de rendement et développer des stratégies pour réaliser des gains génétiques futurs plus importants. Le développement de nouvelles variétés plus productives est un moyen pour réduire de la pression de la demande en céréales et réduire de la dépendance alimentaire des fluctuations d'un marché international très volatil.

Selon la FAO (2016), en 2050, la demande mondiale en blés augmentera de plus de 40% à cause de la croissance de la population, du changement climatique et l'urbanisation plus soutenue. Pour satisfaire cette augmentation de la demande alimentaire, notamment dans la région méditerranéenne, la production du blé dur doit augmenter à un rythme de 5.85% de 2017 à 2023 (<https://www.marketresearchfuture.com/reports/pasta-market-2428>). De ce fait de nouvelles variétés plus adaptées aux divers défis futurs, notamment en termes de changement climatiques doivent être développées.

Dans ce contexte Mackay *et al.*, (2016) ainsi que Iannucci et Codianni (2019) suggèrent une utilisation plus efficace de la diversité dans les programmes d'amélioration génétique. Fiore *et al.*, (2019) suggèrent que la ré-adoption des variétés anciennes en culture et/ou leur utilisation dans un programme d'amélioration génétique peut améliorer la résilience de la culture du blé dur, à cause des caractères morphologiques qui sont utiles pour faire face aux ressources limitées des zones arides et semi arides et en agriculture organique.

L'objectif de cette recherche est de comparer les caractéristiques phéno-morpho-physiologiques des variétés introduites plus récentes et des variétés populations locales. Elle vise aussi l'identification des caractéristiques désirables apportées par chaque source et qui sont susceptibles d'être prises en considération en croisements en milieux semi-arides, pour faire un saut qualitatif de rendement en grains et d'adaptation à l'environnement.

Chapitre I : Revue bibliographique

1 La culture du blé dur (*Triticum turgidum* L. var. *durum*)

1.1 Origines génétique et géographique

Le blé dur appartient à la famille des Poaceae, au genre *Triticum*, espèce *Triticum turgidum* L. var. *durum*. Le blé dur (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) est une espèce allo tétraploïde ($2n = 4x = 28$) possédant 7 paires de chromosomes homéologues associées à deux génomes différents A et B. Le génome A vient du blé sauvage *Triticum urartu* Tum. plus connu sous le nom *einkorn* (*Triticum monococcum*) de constitution génomique diploïde AA. Par contre le génome B vient de l'espèce sauvage, diploïde, *Aegilops speltaoides* Tausch. (Figure, 1 ; Schuhwerk, et al., 2011).

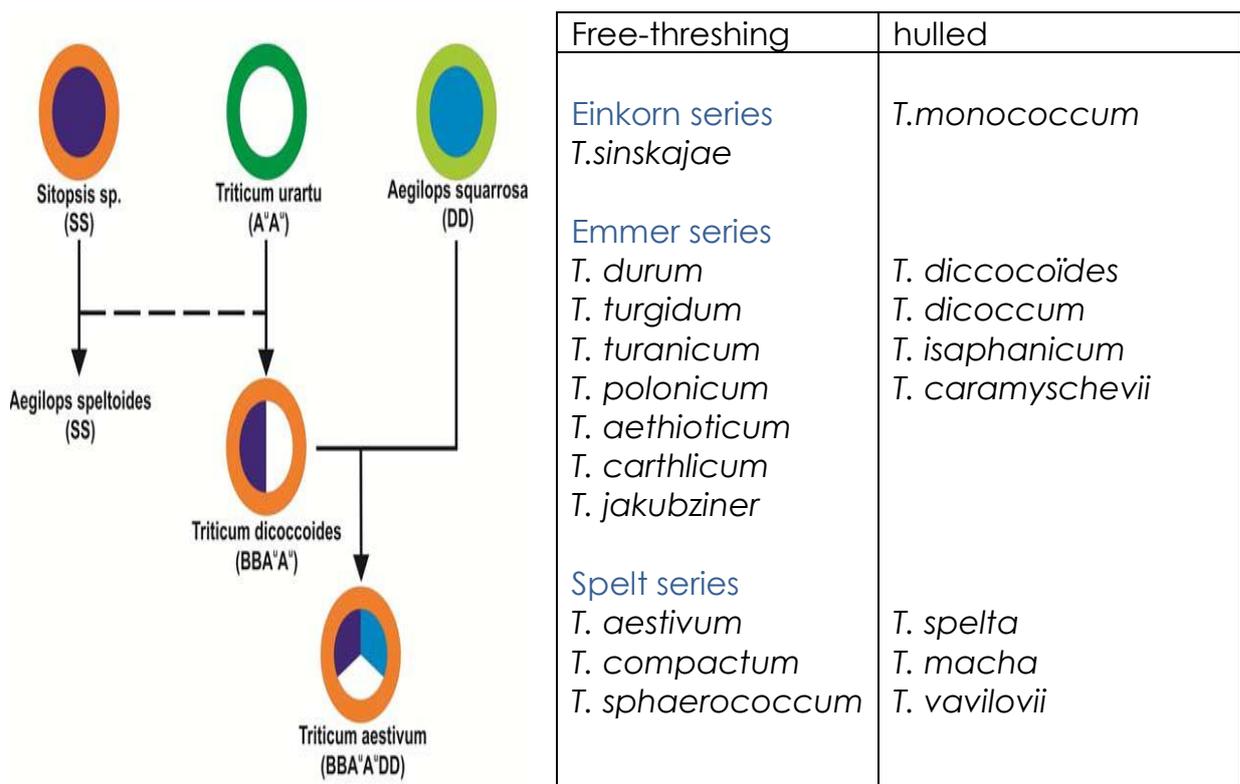


Figure 1. Phylogénie des espèces de blés (Schuhwerk, et al., 2011)

1.2 Localisation, superficies et productions

1.2.1 Mondiales

La production mondiale du blé dur (*Triticum turgidum* var. *durum* Desf.) avoisine les 36 millions de tonnes, soit 5% de la production mondiale totale des blés dur et tendre qui, au cours des 3 dernières années, a dépassé les 700 millions de tonnes (Faostat 2017, IGC, 2016). Historiquement la principale zone de culture du blé tétraploïde (*Triticum turgidum*, var. *durum* L.) est la région du pourtour de la méditerranée (Royo et al., 2009). L'avènement de nouvelles variétés plus adaptées à divers milieux a conduit à l'extension de la culture de cette espèce vers d'autres régions. En effet on rencontre actuellement la culture du blé dans les régions au climat de type méditerranéen comme l'Afrique du nord (Maroc, Algérie, Tunisie, Egypte), le sud de l'Europe (Espagne, France, Italie, Grèce), le Moyen Orient (Turquie, Syrie, Palestine), les plaines intérieures des USA, le Canada, le nord du Mexique, la Russie, le Kazakhstan, l'Australie, l'Inde et l'Argentine (Elias et Manthey, 2005 ; Ammar, 2015 ; Figure 2).

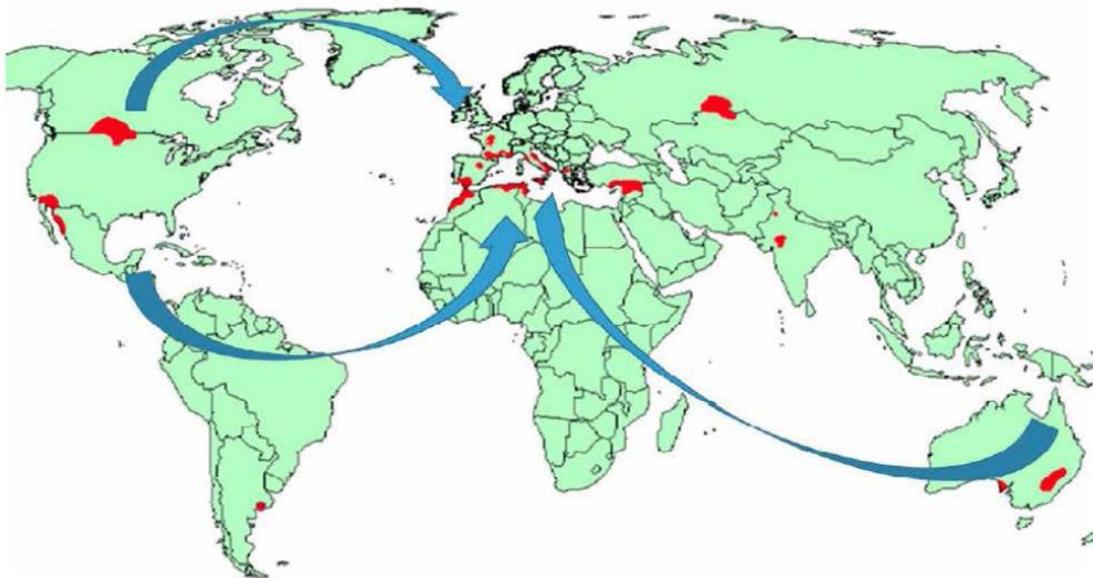


Figure 2. Lieux de production, routes d'échanges et d'utilisation du blé dur dans le monde (Ammar, 2015).

La moyenne des superficies emblavées en blé dur, des 10 dernières années, de par le monde, est de 16.9 millions d'hectares ce qui représente 7.6% de la superficie totale réservée à la culture des blés (Ammar, 2015 ; IGC, 2016). Les superficies emblavées, moyennes de la période 2005 à 2015, des principaux pays producteurs sont données au tableau 1.

Tableau 1. Superficies emblavées (106 ha) en blé dur, moyennes de la période 2005 à 2015, des principaux pays producteurs de par le monde.

Pays	Sup	Pays	Sup	Pays	Sup
Kazakhstan	2.28	Tunisie	0.67	Afghanistan	0.19
Canada	1.97	Espagne	0.63	Iran	0.17
Turquie	1.67	Russie	0.61	Pakistan	0.13
Italie	1.42	Grèce	0.49	Irak	0.11
Algérie	1.26	France	0.43	Argentine	0.09
Maroc	0.98	Mexique	0.31	Arabie Saoudite	0.07
Etats Unis	0.93	Chine	0.30	Egypte	0.05
Syrie	0.90	Australie	0.26	Chili	0.01
Inde	0.69	Ethiopie	0.25		

La production du bassin méditerranéen varie considérablement car elle est dépendante de la pluie (Tableau 2, Ammar, 2015). En Afrique du Nord et en Europe du Sud, les rendements sont fortement influencés par la sécheresse. Les besoins en blé dur des pays du bassin méditerranéen sont supérieurs à ce qu'ils produisent, ce qui fait que chaque année, plus de 5 millions de tonnes sont acheminés vers ces pays, venant pour la plupart des USA et du Canada. Parmi les pays de la Méditerranée, l'Italie est le principal producteur de blé dur avec une moyenne de 4,0 millions de tonnes. La Turquie, la France et l'Algérie suivent avec des moyennes, respectives, de 3,0, 2,0 et 2,0 millions de tonnes.

Tableau 2. Moyennes, de la période 2005 à 2015, de la production (Prod, 10³t) et du rendement (RDT, t/ha) du blé dur des principaux pays producteurs.

Pays	Prod, 10 ³ t	RDT, t/ha	Pays	Prod, 10 ³ t	RDT, t/ha
Canada	4 493	2.30	Chine	1 245	4.10
Italie	4 281	3.04	Inde	1 060	1.55
Turquie	3 030	1.82	Grèce	991	2.03
Kazakhstan	2 400	1.04	Australie	470	1.82
Etats Unis	2 305	2.47	Afghanistan	386	1.99
France	2 070	4.83	Iran	339	1.93
Algérie	2 045	1.59	Pakistan	331	2.63
Syrie	1 962	2.15	Ethiopie	321	1.38
Mexique	1 772	5.67	Egypte	280	5.69
Maroc	1 452	1.46	A. Saoudite	277	4.16
Russie	1 315	2.16	Irak	222	2.35
Espagne	1 287	2.03	Argentine	210	2.37
Tunisie	1 259	1.87	Chili	56	4.50

1.2.2 Algériennes

En Algérie, les céréales, sont devenues un produit de première nécessité, leur importance dépasse le rôle traditionnel considéré comme aliment, elles ont, aujourd'hui, un rôle social, économique et politique (Ammar, 2014). La culture de ces espèces, soumise à un climat très variable, est conduite en sec. A partir des années 1990, la superficie de la culture du blé dur se stabilise à une moyenne de 1.5 millions d'hectares, pour une superficie totale de 3.4 millions d'hectares allouée aux céréales à pailles. Pour la période allant de 1925 à 1949, Miège (1950) rapporte des valeurs variant de 1.06, en 1949 à 1.25 millions d'hectares en 1929 soit une moyenne de 1.19 millions d'hectares, pour un total des blés dur et tendre de 1.55 millions d'hectares. La production annuelle de blé dur, de la période actuelle, varie

grandement dans une fourchette allant de 1.0 à 4.0 millions de tonnes, soit une moyenne pondérale de 2.0 millions de tonnes.

2 Amélioration du blé dur (*Triticum turgidum* L. var. *durum*)

2.1 Historique de l'amélioration du blé dur en Algérie

En Algérie, il existe au moins 22 variétés botaniques différentes et à l'intérieur de ces variétés botaniques, un grand nombre de races. Ce polymorphisme avait incité Orlov et Vavilov (1921) à considérer l'Algérie, sinon comme un « centre primaire d'origine » des blés durs, ou du moins comme « un centre secondaire de diversification ». Cette diversification exige un temps assez long, ce qui suppose que le blé dur existait en Afrique du Nord avant les invasions arabes, puisqu'il avait remplacé de bonne heure l'Amidonnier dans les pays bordant la Méditerranée (Benbelkacem, 2014).

A partir de 1930, la pratique de l'amélioration par sélection généalogique appliquée aux formes plus diversifiées existantes (tardivité, mauvaise qualité des grains) n'était plus envisagée vu que ces blés d'introduction ancienne ne dépassaient pas ceux déjà obtenus. La station d'amélioration des plantes de maison carrée s'est alors orientée vers la création d'hybrides nouveaux tout en continuant à introduire des variétés nouvelles de l'extérieur. Les blés durs, par contre, ont fait l'objet d'introduction plus récente et la diversification considérable de cette espèce, en Algérie, invitait Vavilov à considérer l'Afrique du Nord comme un centre secondaire d'origine de *Triticum durum*. Les nombreuses variétés botaniques comprenant chacune de multiples races issues des croisements spontanés, ont exigé un temps assez long pour se stabiliser (Ducellier, 1930).

De 1963 à 1969 le Centre Algérien de la Recherche Agronomique Scientifique et Economique et l'INRAA continuent à maintenir les collections existantes tout en faisant un travail de recherche limité au testage de différentes variétés ou populations (INRAA-CNRA, 1970, Benbelkacem, 2014). Dès 1969, mesurant l'importance de la production céréalière, le ministère de l'Agriculture, entamait la première expérience de mise en culture de variétés

améliorées à haut rendement. La création par la suite du projet céréales était le prélude au processus de développement, et d'intensification de la production céréalière.

L'objectif essentiel du projet céréales était l'accroissement de la production avec les concours extérieurs de la FAO (projet Algérie/37), de CIMMYT, et la CCCE. Le projet céréales a hérité d'une grande partie des activités de l'INRA en matière de céréales. Ce projet donna, 3 années plus tard (1974) naissance à l'IGC (Institut des grandes cultures) puis l'IDGC (Institut de développement des grandes cultures), qui pris le relais et fut chargé de l'organisation du développement des céréales, fourrages et légumes secs.

Vers les années 70, la production céréalière en Algérie était constituée par un ensemble de populations naturelles ou de sélections à l'intérieur de ces populations tel que Bidi 17, Oued Zénati 368, Hedba 3, Mohamed Ben Bachir. Au cours de cette période, l'amélioration génétique est à ses débuts et se confinait dans la sélection massale.

L'amélioration des populations locales était l'une des préoccupations de l'ITGC dont l'objectif était l'obtention de variétés mieux adaptées aux différentes conditions de cultures auxquelles elles sont soumises. Au courant des années 1980, l'ICARDA (Centre International pour la Recherche Agronomique en Zones Sèches) a participé au développement de la recherche des grandes cultures avec l'IDGC, devenant dès lors l'ITGC (Institut Technique des Grandes Cultures).

2.2 Acquis de l'amélioration du blé dur en Algérie

Les travaux de recherche menés au niveau de l'ITGC ont permis d'isoler un nombre important de variétés qui sont actuellement proposées pour la multiplication de semence en vue de leur adoption par la grande culture. Au volet variétal s'ajoute, la mise au point d'un itinéraire technique qui donne de bons résultats en production des semences. Ainsi des rendements de pointe allant jusqu'à 55 q/ha (variété de blé tendre HD 1220),

voire 60 q/ha (variété Bousselam), ont été obtenus chez des producteurs de semences.

Actuellement 60 nouvelles variétés de blé dur, 49 de blé tendre, 32 d'orge, 20 de triticales et 12 d'avoine sont homologuées (Tableau 3). La figure 3 montre l'évolution du nombre de variétés des céréales (entre autre le blé dur) inscrites au catalogue officiel (CNCC, 2015). La figure 4 montre l'aire d'adaptation variétés des céréales par zone de production (CNCC, 2015).

2.3 Objectifs de l'amélioration du blé dur en Algérie

2.3.1 Adaptation à l'environnement de production

Le développement et la sélection de variétés performantes et adaptées aux conditions pédoclimatiques des zones semi-arides est une préoccupation importante dans le domaine de la sélection (Kadi *et al.*, 2010 ; Benmahammed *et al.*, 2010 ; Adjabi *et al.*, 2014 ; Salmi *et al.*, 2015 ; Fellahi *et al.*, 2016). L'adaptation est définie aussi comme étant la capacité d'une plante à croître et à donner des rendements satisfaisants dans des zones sujettes à des stress de périodicités connues (Rebetzke *et al.*, 2007).

L'adaptation est engendrée par la tolérance des stress des milieux de production. Mekhlouf *et al.* (2006) rapportent que les génotypes trop précoces courent le risque du gel tardif. Abbassenne *et al.* (1998) mentionnent que la tardiveté fait courir le risque du déficit hydrique et des hautes températures de fin de cycle. Arega *et al.* (2007) rapportent que les génotypes précoces présentent des valeurs au-dessus de la moyenne générale pour le rendement en grains, la biomasse aérienne, le rendement économique, le rendement en paille et le nombre d'épis par mètre carré et une faible température de la canopée. Ces résultats suggèrent que la précocité est un critère important pour l'adaptation à des milieux variables. Selon Kadi *et al.* (2010), l'effet du milieu est plus prépondérant, expliquant jusqu'à 80% de la variation totale du rendement grain, comparativement à l'effet génotype (8%) et l'interaction (12%).

Tableau 3. Gamme variétale acquise par L'ITGC et mises en production des semences.

Espèce	Var. homologuées	Var. en production semences
Blé dur	60	22
Blé tendre	49	17
Orge	32	6
Avoine	12	5
Triticale	20	3
Total	173	53

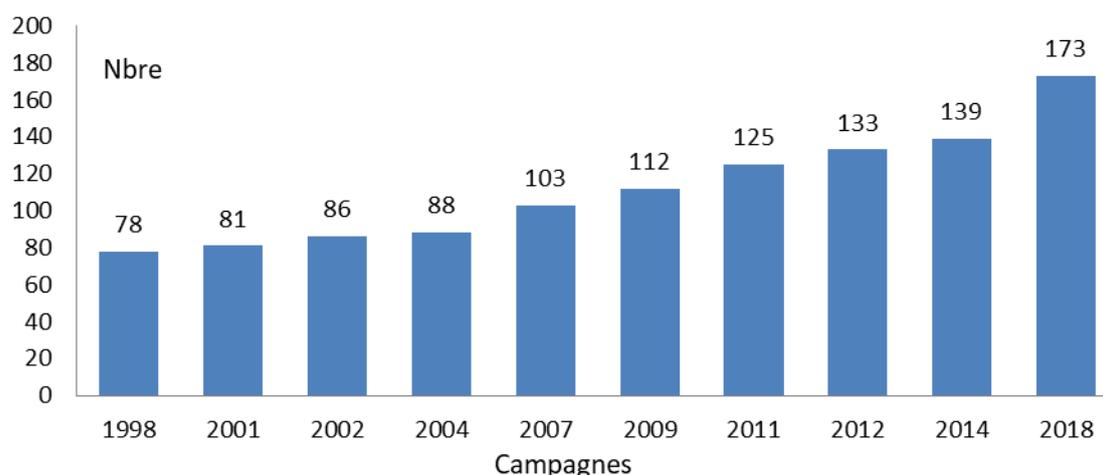


Figure 3. Evolution du nombre de variétés de céréales inscrites au catalogue officiel (CNCC, 2015).

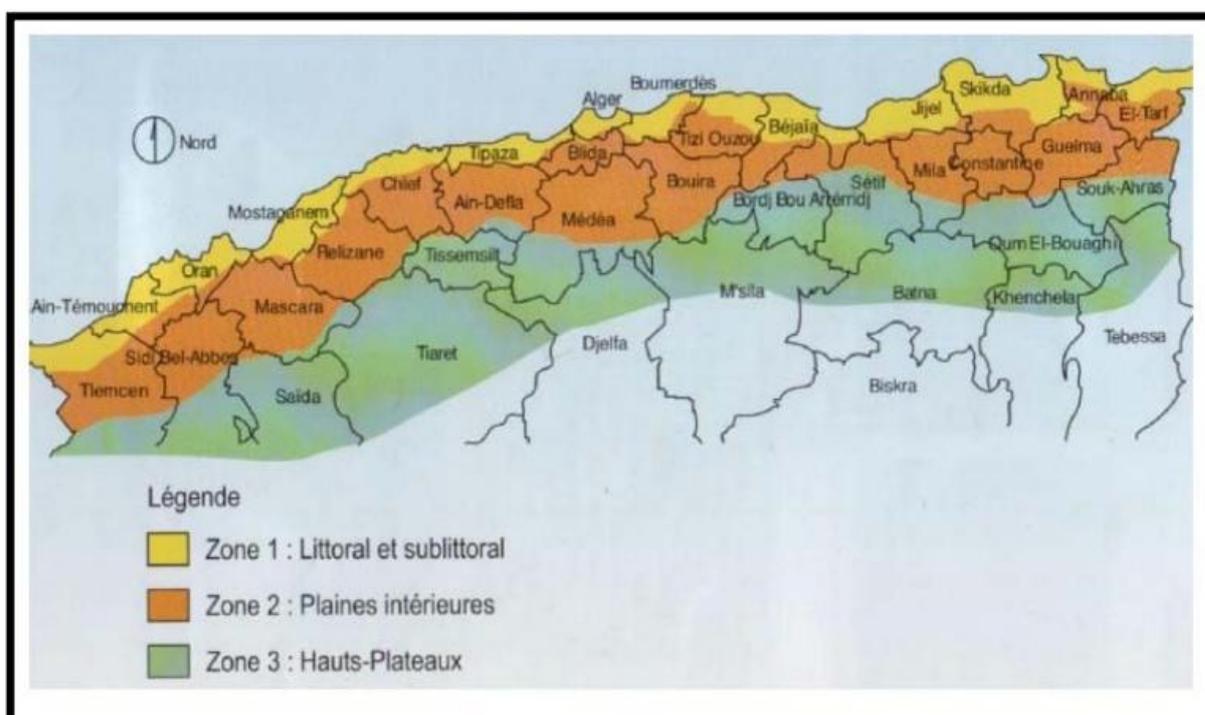


Figure 4. Aires d'adaptation des nouvelles variétés mises à disposition des agriculteurs (CNCC, 2015).

La stabilité du comportement des génotypes, face à la variation des milieux, ou adaptabilité, est une caractéristique indispensable qui doit exister chez les nouvelles obtentions (Benmahammed *et al.*, 2010 ; Haddad *et al.*, 2016). La hauteur de la plante est une importante caractéristique d'adaptation aux contraintes de l'environnement. Une hauteur élevée induit la production d'une biomasse importante, ce qui est désirable, mais ceci au détriment du rendement en grain, suite à un faible indice de récolte (Subira *et al.*, 2016 ; Rabti *et al.*, 2020). A l'inverse une réduction importante de la hauteur de la végétation, certes améliore le nombre d'épis, et le rendement mais ceci se fait au détriment de la longueur du système racinaire et la production de la paille (Hurd, 1974, Subira *et al.*, 2016 ; Rabti *et al.*, 2020).

La capacité de faire une biomasse aérienne élevée est une autre caractéristique d'adaptation aux environnements variables. Bensemmane *et al.* (2011) mentionnent que la meilleure adaptation des orges à 6 rangs est liée la production d'une biomasse aérienne, d'un poids des épis et d'un nombre de grains par m² élevés. Bensemmane (2015) suggère que la stratégie à déployer pour améliorer le rendement et l'adaptation, sous conditions semi-arides, doit être basée essentiellement sur l'utilisation, en croisements, des géniteurs qui cumulent les gènes favorables à l'expression du nombre d'épis, et de la biomasse aérienne. Belkherchouche (2015) suggère que pour maximiser l'appel des assimilât vers le grain, la sélection doit tenir compte de la taille de l'épi, de la durée de vie des glumes, de la longueur et de la densité des barbes, du rendement par m² et par épi, du poids de 1000 grains, du poids spécifique et de la longueur du dernier entre-nœud et du col de l'épi. La sélection de tels caractères contribue à cumuler chez les génotypes identifiés le potentiel de rendement et l'adaptation aux conditions sèches méditerranéennes.

L'adaptation peut prendre forme, suite à des modifications d'ordre morphologiques pour améliorer l'absorption de l'eau, et/ou diminuer la transpiration et la compétition entre organes pour les assimilats produits. Ainsi

certaines variétés réduisent de la surface foliaire et le nombre de talles, pour ajuster leur consommation en eau. Elles sont dites plantes économes. D'autres possèdent la capacité d'enrouler le limbe foliaire pour minimiser la transpiration et réduire l'effet du stress lumineux. D'autres variétés investissent dans le développement d'un système racinaire profond, pour avoir accès à des horizons plus humides, et ainsi elles s'assurent une meilleure alimentation hydrique. Ces plantes sont dites dépensières en eau (Slafer *et al.*, 2005).

La diminution du potentiel hydrique du sol en conditions de sécheresse provoque une perte importante de la turgescence au niveau de la plante. L'augmentation de la production, dans ces conditions, dépend des mécanismes de tolérance qui assurent l'hydratation cellulaire et diminuent la perte en eau en maintenant un statut hydrique favorable au développement foliaire (Slafer *et al.*, 2005). Le maintien d'un potentiel hydrique élevé est lié à l'aptitude à extraire l'eau du sol et à la capacité à limiter les pertes d'eau par transpiration (Tardieu *et al.*, 2005).

La diminution de la transpiration engendre la réduction de la photosynthèse, et donc du rendement. Cependant, il apparaît que les génotypes qui ont la capacité photosynthétique intrinsèque la moins affectée par le déficit hydrique, présentent une meilleure efficacité d'utilisation de l'eau (Condon *et al.*, 2004). Les osmolytes qui s'accumulent sous conditions de déficit hydrique, sont les sucres et la proline (Kameli et Losel, 1995). Ces osmolytes jouent un rôle important dans l'ajustement osmotique et l'adaptation de la plante au manque d'eau (Zhang *et al.*, 1998). La présence de la variabilité génétique pour l'accumulation des sucres et de la proline, sous contrainte hydrique, suggère la possibilité de sélectionner, sur la base de ces caractères, des génotypes plus tolérants au stress hydrique (Zhang *et al.*, 1998).

2.3.2 Utilisation de la variabilité existante

L'amélioration génétique de toute plante cultivée dépend essentiellement de l'ampleur de la variabilité intra population soumise à la

sélection (Falconer et Mc Kay, 1996). De ce fait, la création de la variabilité génétique est un pré requis pour que la sélection soit efficiente (Acquaah, 2007). L'estimation de la variabilité, existante dans une population, est approchée par le calcul des coefficients de la variation phénotypique et génotypique. Une variabilité importante, pour un caractère donné, suggère la possibilité d'améliorer et de réaliser du progrès sur un tel caractère, comparativement à un caractère dont la variabilité créée est étroite (Acquaah, 2007).

La partie héritable de cette variabilité est estimée par le calcul de l'héritabilité aux sens large et étroit (Acquaah, 2007). L'importance de l'héritabilité permet de prédire le comportement de la descendance, de choisir le caractère le plus héritable à utiliser comme critère de sélection, d'évaluer le gain génétique attendu après sélection et de choisir la méthode de sélection la plus appropriée (Falconer et McKay, 1996 ; Acquaah, 2007).

Des valeurs de l'héritabilité couplées avec un gain génétique élevés, suggèrent la possibilité de sélectionner au sein des populations afin de développer de nouveaux génotypes présentant des caractéristiques souhaitables, parce que les effets génétiques des tels caractères sont de nature additive et donc sont fixables chez la descendance (Fellahi *et al.*, 2013). Des valeurs élevés des coefficients de variation génotypique et phénotypique ont été enregistrés pour le rendement en grain par plante, le nombre de talles productives par plante et le nombre de grains par épi dans un germoplasme de 70 génotypes de blé tendre (Ali *et al.*, 2008).

Fellahi *et al.* (2013) ont rapporté des valeurs élevées de l'héritabilité pour le contenu en chlorophylle, la longueur de l'épi, le nombre d'épis par plant, le nombre de grains par épi, le poids de 1000 grains et le rendement en grains. Degewione *et al.* (2013) rapportent des valeurs élevées de l'héritabilité pour la précocité à l'épiaison, la hauteur de la plante, et la maturité. Hussain *et al.*, (2013) rapportent des valeurs de l'héritabilité moyennes à élevées mais variables selon les caractères et les populations F2 étudiées pour, le poids de

1000 grains, le nombre de grains par épi, la longueur de l'épi et la surface de la feuille étendard.

Les variétés qui sont plus aptes à transmettre leurs caractéristiques agronomiques à la descendance, sont proposés comme géniteurs pour améliorer les caractères d'intérêts (Hussain *et al.*, (2013). Khan *et al.* (2003) rapportent des valeurs de l'héritabilité au sens large pour la hauteur de la plante, variable de 49.83 à 88.83%, pour le nombre de talles par plant de 52.25 à 88.82%, pour la surface de la feuille étendard de 66.31 à 85.01%, pour la longueur du pédoncule de 47.72 à 84.59% et pour le rendement grain de 65.58 à 90.01%, dans des populations F2 issues de 6 croisements de blé tendre.

Le choix des parents se fait sur la base de la performance et des caractéristiques agronomiques désirables qu'on cherche à regrouper chez la descendance et qui sont d'intérêts dans l'expression du rendement et de la qualité. Hannachi (2013), analysant le potentiel génétique de six parents et de leurs quinze hybrides F1 selon le modèle de Griffing (1956), observe une variabilité appréciable entre les parents pour les caractères mesurés. Fellahi *et al.* (2013a) mentionnent l'existence d'une grande variabilité phénotypique du contenu de la chlorophylle CCI et SPAD, et une bonne corrélation entre ces deux mesures.

Hamli *et al.* (2015), étudiant le mode de transmission génétique des caractères morpho-physiologiques dont la teneur relative en eau, la déperdition d'eau des feuilles excisées, la surface de la feuille étendard et la stabilité de la membrane plasmique, chez une population F3 de blé dur (*Triticum durum* Desf.), rapportent la présence de la variabilité pour les variables analysées et la présence de transgresseurs dans le sens désiré de la sélection.

De Vita *et al.* (2007) mentionnent que le gain génétique obtenu en blé dur est associé à une amélioration du nombre de grains produit par m², à un nombre élevé d'épis et à une réduction de la hauteur du chaume. Ces

résultats suggèrent que la sélection basée sur ces caractères est plus efficace pour améliorer indirectement le rendement que le rendement lui-même. Les caractères candidats à la sélection doivent avoir de la variabilité génétique, être fortement corrélés au rendement, aussi bien sous stress qu'en absence de ce dernier, et doivent avoir une héritabilité plus élevée que celle du rendement en grains (Richards *et al.*, 2002).

2.4 apport de la sélection : Variétés récentes vs. anciennes

2.4.1 Rendement en grains

La caractéristique principale des variétés (le mot variété est utilisé pour les génotypes qui sont ou qui ont été inscrits au catalogue officiel, alors que le mot cultivar est utilisé pour les génotypes qui ont été ou qui sont inscrits et qui sont cultivés ou semés, alors que le mot génotype est utilisé pour tout matériel génétique non encore cultivé ou inscrit au catalogue) issues de la révolution verte, créées par Cimmyt, est leur haut potentiel de rendement en grains.

Au Mexique, lieu de création de ce matériel végétal, la moyenne de rendement de ce pays passe de 0.70 t/ha, vers le début des années 1950 à 4.20 t/ha, à la fin des années 1970 (Cimmyt, 1974). Des variétés de cette source furent introduites en Inde et au Pakistan où elles doublent la production nationale de ces pays, production qui passe de moins de 5 millions tonnes à plus de 30 millions de tonnes vers les années 1973 (Cimmyt, 1974).

Au cours de la même période, de nouvelles variétés de blé dur furent développées et introduites en Afrique du Nord et au Moyen Orient où elles induisent une augmentation appréciable des rendements (Cimmyt, 1974). Ces introductions, telles que Cocorit₇₁ et Joric₆₉, remplacèrent des variétés anciennes et des variétés populations locales qui se distinguent, entre autre, par un faible potentiel de rendement en grains, Ces introductions réalisent des augmentations de rendement de 0.5 à 1.5 t/ha, comparativement aux

anciennes variétés classiquement utilisées par les agriculteurs de ces régions (Cimmyt, 1974).

Trente-deux années plus tard, Mekhlouf *et al.*, (2006) comparent les rendements en grains de deux variétés, l'une récente, Waha, et l'autre ancienne, Mohammed Ben Bachir. Ces auteurs rapportent, qu'au cours de 7 campagnes sur un total de 13 campagnes étudiées, la variété Waha produit un rendement en grains significativement plus élevé que le rendement de la variété Mohammed Ben Bachir. Au cours des 6 campagnes restantes le rendement de cette variété récente est soit égale ou significativement inférieur à celui de la variété ancienne (Mekhlouf *et al.*, 2006).

Ces différences de comportement variétal furent expliquées par des différences de tolérance vis-à-vis des stress abiotiques notamment le gel printanier et le stress hydrique de fin de cycle de la culture. En effet Feyerherm et Paulsen (1981) font remarquer que les variétés récentes sont plus régulières en milieux favorables et elles le sont moins en milieux variables, suite à l'interaction du génotype avec son environnement. De ce fait l'apport des nouveaux génotypes dans les milieux variables est plus difficile à mettre en relief à cause de l'instabilité du rendement en grains (Feyerherm et Paulsen, 1981, Haddad *et al.*, 2016).

Mirosavjevic *et al.*, (2016) étudient la variation du rendement en grains, la longueur de l'épi, la date d'épiaison, le poids de 1000 grains, le poids hectolitrique et la hauteur de la plante chez des variétés d'orges cultivées entre 1977 et 2010. Les résultats indiquent que la plupart des caractères analysés sont affectés par le type de cultivar considéré, l'environnement d'évaluation et l'interaction cultivar x environnements testés.

Les résultats montrent l'existence d'une relation significative entre la performance de rendement des cultivars et l'année d'adoption de ces cultivars. Cette relation suggère un gain de rendement en grains de 46 kg/ha/an (Mirosavjevic *et al.*, 2016). De plus les rendements obtenus sont négativement corrélés à la hauteur de la plante et la date d'épiaison. La

hauteur de la plante ainsi que le poids hectolitrique des cultivars récents présentent une réduction significative comparativement aux cultivars plus anciens. Les rendements obtenus sont positivement liés au nombre de grains produit par unité de surface emblavée, au nombre d'épis et de grains par épi, alors qu'aucune tendance n'apparaît quant à l'effet de la variation du poids de 1000 grains (Mirosavjevic *et al.*, 2016).

Giunta *et al.*, (2007), en analysant le progrès génétique du potentiel du rendement de 20 variétés de blé dur sélectionnées entre 1900 et 2000 et groupées selon la période de sélection, avant 1950, entre 1950 et 1973, et récente de 1974 à 2000, rapportent que le rendement grain des cultivars développés entre 1950 et 1976 était 39% supérieur à celui des anciennes variétés, mais de 18% inférieur à celui du matériel développé à partir de 1974. Le gain génétique est associé à la précocité, au nombre de grains produits par unité de surface emblavée, à l'indice de récolte et à l'azote total absorbé par la plante. La biomasse aérienne totale et le poids individuel du grain n'ont pas été affectés par la sélection.

2.4.2 Composantes du rendement en grains

Dans une étude comparative de trois sources de germoplasme (Algérienne, Syrienne et Européenne), Amokrane *et al.*, (2002) notent que les différences sont peu marquées, entre sources de germoplasme, pour le nombre d'épis/m². Elles sont, par contre, plus évidentes pour le rendement grain, le poids de 1000 grains et l'indice de récolte, au cours de l'année où les variétés anciennes locales se sont montrées plus productives. Globalement les valeurs du rendement en grains et des composantes, des différentes sources de germoplasme, varient plus en fonction de l'environnement de production que de l'origine du germoplasme. Ces résultats suggèrent à ces auteurs de conclure que le choix d'une source plutôt qu'une autre semble difficile à faire sur la seule base du rendement en grains.

Selon Zhou *et al.*, (2007) les études abordant l'estimation du gain génétique du rendement en grains et l'identification des caractères qui lui sont associés ont été conduits en Royaume-Uni (Austin 1980,1989), en France (Brancourt-Hulmel *et al.*, 2003), en Italie (Canevara *et al.*, 1994), aux USA (Schmidt, 1984; Cox *et al.*, 1988; Donmez *et al.*, 2001), au Canada (Hucl et Baker, 1987; McCaig et DePauw, 1995), en Australie (Perry et D'Antuono, 1989; Siddique *et al.*, 1989), en Argentine (Slafer et Andrade, 1989, 1993; Calderini *et al.*, 1995), au Mexique (Waddington *et al.*, 1986; Sayre *et al.*, 1997; Ortiz-Monasterio *et al.*, 1997), et en Inde (Kulshrestha et Jain, 1982).

Le gain génétique du rendement en grains a été de 1.5%, en milieux favorables, au Mexique, de 1950 à 1985. Il a été de 0.4% en UK de 1830 à 1986 et de 1.0% de 1920 à 1989 en Argentine. La plupart de ces études indiquent que l'augmentation du rendement en grains est associée à l'amélioration de l'indice de récolte et du nombre de graines produites par unité de surface emblavée. L'amélioration de l'indice de récolte fait suite à la réduction de la hauteur de la plante, alors que celle du nombre de grains par m² est due à la fertilité de l'épi (Slafer and Andrade, 1989) ou à l'augmentation simultanée de la fertilité et du nombre d'épis par m², avec peu de variation de la biomasse aérienne (Donmez *et al.*, 2001). Zhou *et al.*, (2007) rapportent un gain génétique annuel allant de 0.48 à 1.23% soit l'équivalent de l'intervalle allant de 32.07 à 72.11 kg/ha/an de blé, entre 1960 et 2000, en Chine.

2.4.3 Hauteur, biomasse aérienne et indice de récolte

Amokrane *et al.*, (2002) rapportent que les variétés anciennes locales se sont distinguées, une année sur deux, des variétés d'origines syrienne et Européenne par une production de biomasse aérienne élevée. Les différences entre sources apparaissent aussi pour la hauteur des plantes qui est plus élevée chez les variétés anciennes locales.

Pecetti *et al.* (1996) comparent 238 anciennes variétés Algériennes et Tunisiennes de type *mediterraneum* à 265 anciennes variétés d'origines Syrienne et Jordanienne de type *syriacum*, sous environnement semi-aride

méditerranéen du nord de la Syrie. Les résultats indiquent que le germoplasme de type *syriacum* se distinguent par un rendement en grains plus important, un cycle de développement assez court, une durée de remplissage relativement longue, une courte paille, une faible vigueur de croissance précoce et une meilleure tolérance du déficit hydrique.

Fiore *et al.*, (2019) rapportent que la réduction de la hauteur associée à un potentiel élevé de rendement en grains et une maturité précoce sont les principaux traits ciblés par la sélection du blé dur au cours de siècle passé. Amokrane *et al.*, (2002) notent que la réduction de la taille des plantes, en réponse aux contraintes du milieu, est plus élevée en valeur chez les variétés anciennes hautes que chez les variétés récentes semi-naines. Sous stress, les variétés anciennes perdent 40 cm alors que les variétés récentes n'en perdent que 10 cm uniquement, soit l'équivalent de 36 et 15% en valeur relative. Malgré ces différences de l'effet du stress hydrique sur la taille de la plante, les variétés anciennes restent, sous stress, significativement plus hautes ou de même hauteur que les variétés récentes (Amokrane *et al.*, 2002).

Fiore *et al.*, (2019) mentionnent que les variétés anciennes divergent des variétés récentes par la hauteur de la plante plus élevée chez les variétés populations, associée à un cycle de développement plus long induisant une tardivité à maturité et un faible indice de récolte. En réponse à l'amélioration de l'itinéraire technique (irrigation, fertilisation azotée) et en milieux à hauts potentiels, ces variétés versent et produisent une biomasse aérienne excessive.

2.4.4 Durée du cycle de développement

Dans la mesure où la durée du cycle de développement est variable selon les conditions environnementales, les variétés récentes produites par Cimmyt présentent une grande variabilité pour cette caractéristique, tout en étant largement plus précoces que les variétés anciennes (Cimmyt, 1974). Ainsi pour les régions au climat de type méditerranéen, tout en étant précoces, les variétés récentes doivent présenter une longue durée levée-

épiaison, pour éviter le gel tardif, associée à une courte durée de la phase épiaison maturité physiologique pour minimiser les effets du déficit hydrique et des hautes températures, généralement plus omniprésentes en fin de cycle de la culture (Mekhlouf *et al.*, 2006). Dans ces environnements, au climat semi- aride à aride, la réduction du cycle de développement de la variété est une stratégie d'échappement des stress de fin de cycle chez le blé dur.

Dans ce contexte, les travaux de Mekhlouf *et al.*, (2006) suggèrent que la réduction de la durée du cycle de développement n'est pas toujours satisfaisante dans les régions similaires aux hautes plaines orientales algériennes, où le stress abiotique se manifeste sous forme de gel tardif printanier, qui coïncide avec l'anthèse et de déficit hydrique et hautes températures en fin de cycle de la plante, qui interviennent, en partie, au cours du remplissage du grain.

En effet les résultats de ces auteurs semblent indiquer qu'une grande précocité au stade épiaison est pénalisante à cause du gel mais bénéfique en présence de manifestation du déficit hydrique et des hautes températures de fin de cycle. Ainsi, ils suggèrent la recherche de l'association entre tardiveté au stade épiaison et précocité au stade maturité. Cette association semble absente chez les deux variétés étudiées, Waha étant précoce à l'épiaison et à maturité, alors que Mohammed Ben Bachir est tardif à ces deux stades repères (Mekhlouf *et al.*, 2006).

Ceci est confirmé par les résultats de Amokrane *et al.*, (2002), Rabti *et al.*, (2020), Haddad *et al.*, (2021) qui rapportent que les variétés locales anciennes se distinguent nettement des génotypes d'origines européenne et syrienne par une longue durée de la phase végétative. Analysant les liaisons inter-caractères, Amokrane *et al.*, (2002) montrent que le rendement grain est tributaire de la biomasse aérienne, qui est elle-même dépendante de la durée de la phase végétative. Celle-ci fait varier, selon l'environnement, la contribution des composantes du rendement et de la hauteur des plantes à la formation de la biomasse aérienne.

Ceci suggère que la durée de cette phase est une importante source de l'instabilité des rendements et qu'il est nécessaire de fixer sa durée-seuil pour favoriser l'échappement des contraintes climatiques, au pic de l'avènement, dans la région des hauts plateaux. D'après ces auteurs, ce seuil est tributaire de la réponse des variétés aux stimuli environnementaux, comme le cumul des degrés-jours, la photopériode et les températures vernalles. De plus les résultats de cette étude montrent que le germoplasme local est plus sensible à ces stimuli comparativement aux deux autres sources étudiées.

Hoogendoorn (1985) rapporte que les gènes contrôlant la tardiveté sont associés à la réponse à la photopériode et aux températures vernalles alors que ceux contrôlant la précocité sont plutôt liés à l'alternativité. Amokrane *et al.*, (2002) suggèrent que les variétés récentes d'origines européenne et syrienne sont plus indiquées pour introduire l'insensibilité aux stimuli environnementaux (photopériode et températures vernalles) chez les variétés anciennes locales pour réduire de la durée de la phase de remplissage du grain.

2.4.5 Tolérance des stress biotiques

Fiore *et al.*, (2019) mentionnent que les variétés anciennes montrent de la tolérance aux stress biotiques.

Au cours des quarante dernières années, les variétés locales de blé ont été remplacées par des cultivars modernes, bien qu'elles puissent présenter de grandes adaptations aux extrêmes climatiques et une tolérance aux stress abiotiques et biotiques (Fiore *et al.*, 2019).

2.4.6 Tolérance des stress abiotiques

Les résultats de Amokrane *et al.*, (2002) montrent des différences pour la teneur relative en eau en faveur des variétés récentes d'origine syrienne (Icarda). Les variétés récentes d'origine européenne se distinguent par une vitesse élevée de perte d'eau par unité de surface foliaire et un degré de dessèchement du feuillage plus prononcé. Les variétés anciennes locales ont

une température du couvert végétal plus réduite que celle enregistrée chez les variétés récentes d'origines syrienne et européenne.

Les résultats de Amokrane *et al.*, (2002) montrent que l'expression de la tolérance au froid est différente selon la nature du test utilisé. Le test de la couronne, effectué sur plantule, indique que les variétés anciennes locales sont résistantes, alors que les variétés récentes syriennes se montrent plus sensibles. Les notations des dégâts de gel sur épi montrent un comportement contraire, suggérant que les deux tests expriment deux formes de tolérance peu liées. Le premier test est plus indicateur de la tolérance au froid hivernal, alors que le second test mesure la tolérance (échappement) à un stade plus avancé.

En effet, les résultats des dégâts de gel sur épi montrent que le matériel local est aussi sensible que le matériel syrien ou européen, pour peu qu'il soit exposé à cette contrainte. La tolérance des variétés anciennes locales à ce type de contrainte, souvent rapportée dans la littérature, n'est en fait que l'échappement. En effet, lorsque l'avènement du gel printanier est assez tardif, les géotypes précoces peuvent y échapper et faire des bons rendements, à l'inverse des variétés tardives, qui sont certes plus sujettes aux effets pénalisants du déficit hydrique et des hautes températures de fin de cycle.

Fiore *et al.*, (2019) mentionnent qu'au cours des quarante dernière années, le semis des variétés populations locales a été remplacé par celui des variétés modernes ou récentes. Les variétés anciennes présentent une large adaptation à la variation climatique et montrent de la tolérance aux stress abiotiques.

2.4.7 Qualité technologique

Bennett et Smith (1975) rapportent que la présence de la translocation 1B/1R est associée à une réduction de la qualité technologique du grain. Oak et Tamhankar (2017) comparent le géotype de blé dur B662 qui se distingue par la présence de la translocation 1B/1R à 5 autres géotypes qui ne portent

pas cette translocation pour les caractéristiques de la qualité technologique. Leurs résultats montrent que la présence de la translocation 1B/1R induit une diminution du contenu en gluten, une réduction du volume de sédimentation et un faible indice de gonflement (swelling index) qui font que B662 n'est pas tout indiqué pour la fabrication des pâtes alimentaires (Pasta) , notamment à cause de la réduction du volume de sédimentation.

Oak et Tamhankar (2017) attirent l'attention sur l'utilisation excessive des génotypes de blé dur récents, portant la translocation 1B/1R, en croisement, pour ne pas réduire de la qualité de leur pâte. Friebe *et al.*, (1987) croisent la variété de blé tendre Veery qui porte la translocation 1B/1R avec la cultivar de blé dur Cando non porteur de cette translocation. Ils réussissent à isoler une lignée tétraploïde (à 28 chromosomes) homozygote pour la translocation 1B/1R. Ceci rendit le transfert de cette translocation au blé dur plus aisé.

2.4.8 Typologie variétale

Les résultats de Amokrane *et al.*, (2002) montrent que, quel que soit l'environnement de production, les variétés qui extériorisent un haut rendement en grains se distinguent généralement par l'association des caractères suivants : biomasse aérienne, poids des épis/m², poids de l'épi, indice de récolte élevés et hauteur de la plante et durée de la phase végétative réduites.

Les résultats de l'étude de Mirosavjevic *et al.*, (2016) portant sur la comparaison des cultivars anciens et récents d'orge indiquent que les cultivars extériorisant un rendement en grains élevé sont précoces et court de paille, suite à l'association négative entre le rendement et ces deux caractéristiques. La hauteur de la plante des variétés récentes présente une tendance à la réduction comparativement à celle des variétés anciennes, à un rythme de 0.32 cm par année d'adoption, pour se stabiliser à une valeur de 70 cm. Zhou *et al.*, (2007) mentionnent que le récent cultivar chinois, Yumai 18, classé premier dans la zone de semis en Chine depuis plus de 7 ans

après 1995, se distingue par une maturité précoce, petite taille, remplissage rapide des grains, tolérance aux maladies, et une grande adaptabilité.

Rajaram et van Ginkel (1996) mentionnent que l'utilisation de Norin 10 et Kavkaz sont la source des facteurs qui ont contribué à l'amélioration du rendement en grains des variétés récentes de Cimmyt. Norin 10 a apporté les gènes de nanismes Rht-B1b et Rht-D1b et Kavkaz la translocation 1B/1R. En effet selon ces auteurs, la plupart des variétés récentes contiennent un segment chromosomique Transloqué du bras long du chromosome 1R du seigle vers le bras long du chromosome 1B du blé, dite translocation 1B/1R. Les variétés portant cette translocation se distinguent par un haut rendement en grains et résistance élevée aux maladies en milieux favorables. Bennett et Smith (1975) rapportent que la présence de la translocation 1B/1R est associée à une réduction de la qualité technologique du grain.

Chapitre II. Matériel et méthodes

1 Site, matériel végétal et dispositif expérimental

L'expérimentation a été conduite sur deux sites, relevant des stations expérimentales de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) de Sétif et du Khroub, au cours des campagnes 2015/16 et 2016/17. Le site expérimental de Sétif est situé aux coordonnées géographiques 36° 9' N et 5° 21' E à une altitude de 1081 m. Le site du Khroub est situé aux coordonnées géographiques 36° 38' N et 4° 17' E à une altitude de 640 m. La pluie et les températures enregistrées au cours des deux campagnes d'étude sont données en figure 5. Les quantités de pluies enregistrées sur les deux sites et au cours des deux campagnes sont de 316.6 mm à Sétif et 335.0 mm au Khroub, en 2015/16 ; 187.9 mm à Sétif et 234.7 mm au Khroub, en 2016/17. La différence entre les deux campagnes apparaît au cours de la période mars-avril- mai qui fut pluvieuse en 2015/16 et sèche en 2016/17. Ceci induit un déficit, entre les deux campagnes, de près de 100 mm sur les deux sites. Globalement le site du Khroub est plus arrosé que celui de Sétif.

Du point de vu température, dont la distribution est bimodale, élevée en été et basse en hiver, et comparativement au site de Sétif, le site du Khroub est relativement plus doux au cours des deux campagnes d'étude. Ceci s'explique par la différence d'altitudes qui caractérise les deux sites et suggère que le démarrage de la végétation se fait plus tôt sur le site du Khroub que sur celui de Sétif. Avril, mai et juin connaissent une élévation importante de la température de l'air, passant du dessous de 10 °C à plus de 20 °C (Figure 5). Ce phénomène brusque la végétation à terminer son cycle, raccourcissant la durée de la phase de remplissage du grain qui représente, souvent, moins de 20 % de la durée totale du cycle (Haddad, 2010). Ce phénomène est plus remarquable en deuxième année qu'en première année à cause de l'amplitude thermique plus marquée entre les températures hivernales et printanières (Figure 5).

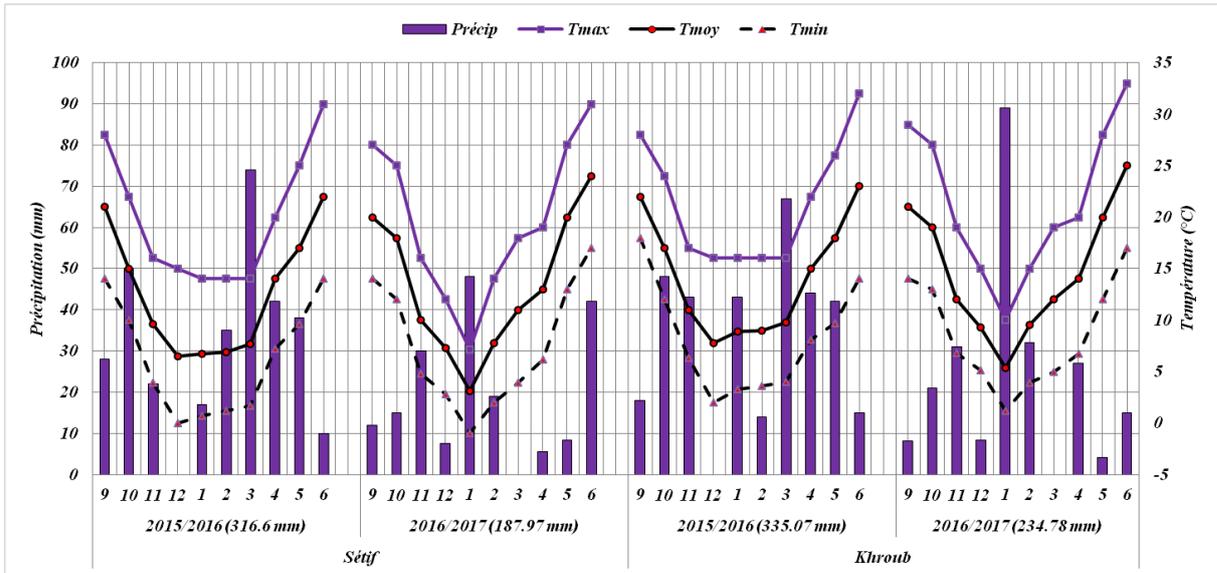


Figure 5. Pluies et températures moyennes mensuelles enregistrées au cours des deux campagnes 2015/16 et 2016/17 sur les sites ITGC du Khroub et de Sétif (ONM 2018).

L'expérimentation fut conduite dans un dispositif en blocs complètement randomisés avec 3 répétitions. La parcelle élémentaire est matérialisée par 2 rangs de 2 m de long, espacés de 20 cm, soit une surface semée de 0.8 m². L'expérimentation est mise en place sur une parcelle dont les techniques culturales adoptées sont celles préconisées et appliquées par l'ITGC des deux sites. Le précédent cultural est une jachère travaillée. Le premier labour est réalisé au mois de mars, avec une charrue à soc réversible. Le labour profond est repris par deux fois, espacées dans le temps, avec un cover-crop 8/16.

Dans les deux sites, l'essai est fertilisé avec 100 kg ha⁻¹ de superphosphate avant le semis et 70 kg ha⁻¹ d'urée à 35% au stade tallage. Le désherbage est effectué manuellement, juste après l'apport de l'engrais azoté au mois de mars. Les dates de semis furent les 09/12/2015 et 15/12/2016 à Sétif et les 20/12/2015 et 26/12/2016, au Khroub, respectivement pour la première et seconde année d'études.

Le site du Khroub se caractérise par un sol brun à la surface et brun-ocre en profondeur, de texture argileuse à argilo-limoneuse, le taux d'argile

varie de 30 à 39%, ces sols ont une caractéristique spécifique : forte rétention en eau, apparition en période sèche des fissures de retrait. Les caractéristiques chimiques indiquent que le sol est basique avec un pH alcalin (8.30-8.40) et moyennement riche en calcaire dont la teneur est de 12%. La teneur en matière organique est faible (0.95-1.25 %). La teneur en azote dépasse 0.05%, les teneurs en P₂O₅ et K₂O sont très faibles, ce qui nécessite une correction. Le site du Khroub se caractérise par un climat continental semi-aride à hiver froid et à été chaud et sec. Ce site se caractérise par des terres vallonnées, assez fertiles avec quelques risques de gel tardif et de sécheresse en fin de cycle (Derbal, 2003).

Le site de Sétif 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 %. 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).

L'expérience comporte, comme matériel végétal, 58 variétés dont 11 anciennes et 47 récentes (Tableau 4). Une description succincte des populations dont sont issues les anciennes variétés locales est donnée ci-dessous.

BLE Adjini : Ce nom désigne une population comprenant de nombreux types cultivés qui appartiennent à des variétés botaniques différentes telles que *leucomelan* Al., *melanopus* A., et *apulicum* Körn. Cette population se caractérise par un épi très compact, ovale, souvent recourbé et à barbes déjetées, de couleur noire. Elle est appréciée par son grain court, bossu, de couleur ambrée et claire (Erroux, 1991). La sélection généalogique pratiquée dans les populations cultivées surtout à l'Est constantinois a donné lieu à un certain nombre de lignées pures, en particulier l'Adjini19 (Erroux, 1991). Cette sélection est sensible à l'excès d'humidité et elle est sensible à la rouille noire, mais elle est estimée par les industriels et les agriculteurs pour ses qualités semoulières.

BLE BELIOUNI : Ce nom s'applique à des blés ayant soit un épi rouge lisse, soit un épi rouge velu, soit un épi blanc, mais toujours de forme allongée droite, de même largeur au sommet et à la base, barbes noires ou roussâtres. Le grain est gros, ambré et très estimé par les industriels et les agriculteurs pour ses qualités semoulières. Cette population appartient à la variété botanique *T. durum* Desf. Var. *erythromelan* Korn. Le Beliouni rouge répandant à la définition adoptée Ducellier (1930) présente des épis glabres, quoique des types à épi rouge et velu, appartenant à la variété botanique (*T. durum* Desf. Var. *apulicum* Korn.), existent.

BLE BIDI OU BAHİ : Ce nom désigne un ensemble de blés particulièrement bien adaptés aux terres noires et fraîches de l'Est algérien. Leurs épis blancs, glabres triangulaires, courts, légèrement aplatis, portent des barbes noires divergentes, produisent des grains assez gros, ambrés (*T. durum* Desf, var. *leucomelan* Al.). L'appellation Bidi, très répandue à l'Est, notamment entre Constantine et Guelma, s'applique à des blés très appréciés dans la région et parmi lesquels la sélection généalogique a sorti de nombreux types, dont Oued Zénati 368 et Bidi 17 sont les deux lignées qui ont été retenues de nos jours, après avoir été en compétition avec beaucoup d'autres comme Bidi 3, Bidi 26 (Erroux, 1991). Les blés Bidi, Bahi, ou Gounod sont particulièrement bien adaptées aux terres noires et fraîches de l'Est Algérien, à ces populations se rattachent les Mahmoudi de Tunisie qui ne doivent pas être confondus avec les Mahmoudi algériens. De cette population divergent les sélections italienne Senatore et Capelli et Tunisiennes Chili93 et Mahmoudi981.

BLE DJENAH KHOTAÏFA : Ce nom signifie aile d'hirondelle, il désigne une population de blé dur aux épis noirs violacés sur fond roux, prenant un aspect bigarré. Cette population est aussi connue sous le nom de Kahla. Cette appellation faisant appel à la couleur de l'épi s'applique à tous les blés présentant une teinte noire plus ou moins marquée sur tout ou partie de l'épi. Ce terme recouvre de nombreuses variétés botaniques (var. *coerulescens*

Bayle, var. *provinciale* Al, var. *obscurum* Korn. Ect...). Les Madona, Kohili, kahla et Jenah Khetifa sont considérés comme synonymes.

BLE DE MONTGOLFIER : Ce nom désigne un mélange de lignées dont les épis sont de formes lisses, à grain ambré, appartenant à la variété botanique *T. durum* Desf., var. *erythromelan* Korn. La sélection d'un épi plus ou moins allongé donne la variété Gloire de Montgolfier (Rahouia, Tiaret). Ducellier (1930) rapprochait ce blé du blé rouge de Médéa. A côté des formes typiques (var. *erythromelan* Korn.), le blé de Montgolfier est un mélange répandu dans la région de Montgolfier, où il est très apprécié, malgré sa susceptibilité à la rouille noire et la verse. Il comporte la plupart du temps de nombreuses impuretés appartenant entre autres aux variétés botaniques telles que var. *murciens* Korn. (Épi rouge glabre, barbes rouges, grain rouge) ; var. *alexandrinum* Korn. (Épi rouge glabre, barbes noires, grain rouge) et var. *apulicum* Korn. (Épi rouge velu, barbes noires, grain ambré).

BLE HEDBA : d'une population de mélanges locaux, connue sous divers noms comme blé Chavin, blé de Médéa, blé Djoul, blé Pélissier ou encore de blé de Séville (Scofield, 1902 ; Laumont et Erroux, 1961). Hedba³ est une sélection tirée par Ducellier (1930) est un blé dur à épi triangulaire, allongé, lisse, blanc, noircissant sur le dos des glumes, à barbes fortes et noires et à grain ambré clair, translucide. L'aire d'adaptation de cette variété est large couvrant l'algérois et le constantinois. Relativement tardive et très haute de paille, elle est sensible à l'échaudage et à la rouille noire. C'est une variété d'une grande qualité semoulière qui contribua à l'amélioration de la qualité des pâtes des variétés Italiennes (Scofield, 1902).

BLE LANGLOIS 1527: Ce nom désigne la sélection faite par Ducellier (1930) dans un mélange de diverses formes de blés connu sous le nom blé rouge de Tlemcen. Ce mélange appartient à la variété botanique *Triticum durum* Desf. Var. *erythromelan* Korn. Cette variété était en vogue au cours des années 1920-1922 (Ducellier, 1930), puis sa culture fut confinée aux régions de Média, Berrouaghia, Tiaret et le nord de Sétif et d'El-Eulma à Saint-Arnaud.

Cette sélection redoute la sécheresse et sa sensibilité à l'échaudage a été plusieurs fois signalée. Elle est assez tolérante au froid mais sensible à la rouille noire dont elle souffert fortement au cours de la campagne 1935-1936. Malgré un chaume plus puissant que celui des blés rouges de Tlemcen dont elle est tirée, ce blé possède une paille élevée sensible à la verse ; d'autre part ses rendements relativement inférieurs, bien qu'assez réguliers, l'ont fait délaissé malgré la beauté de ses grains semouliers.

BLE MOHAMMED BEN BACHIR : Ce nom désigne une population localisée dans la région nord de Sétif. Cette population de blés estimés par sa qualité et sa productivité, et caractérisé par un épi rouge, velu, triangulaire, souvent compact à barbes noires. Le grain est de couleur ambrée appartenant à la variété botanique *Triticum durum* Desf., var. *apulicum* Korn. Scofield (1902) donnait comme synonyme de Mohamed ben Bachir, le terme Makouwi (originaire de la Mecque), et rappelait que le nom Hamra fait allusion à la couleur rouge de l'épi de ce blé. La lignée MBB 8037 est une sélection de cette population, elle fut multipliée à partir de 1931.

BLE OUED ZENATI 368: C'est une sélection tirée de la population des blés Bidi, vers les années 1930, et adoptée vers les années 1936. Elle appartient à la variété botanique *Triticum durum* Desf. Var. *leucomelan* Al. Plus précoce que le blé Hedba 3, l'Oued Zénati 368 s'en distingue surtout par son bon comportement vis-à-vis de la rouille noire. Par ailleurs, ses exigences hydriques et culturales plus grandes, le désignent surtout pour les régions de bonne pluviométrie et les terres fraîches, fertiles et bien travaillées. Il fournit un grain très peu sensible au mitadinage et bon semoulier avec des rendements plus élevés que ceux fournis par Hedba 3.

Tableau 4. Liste des 58 variétés récentes et anciennes de blé dur évaluées au cours des campagnes 2015/16, 2016/17 sur les deux sites expérimentaux des stations ITGC de Sétif et du Khroub.

N0	Variété	Pedigree	Origine
1	Adjini	Sélections de Ducellier dans les populations locales de Constantine	Al
2	Ammar 1	Lgt3/Bicre// cham1//origt3/4/Bicre/3/Ch1//Gav/Starke	Ic
3	Ammar 6	Lgt3/Bicre// cham1//origt3/4/Bicre/3/Ch1//Gav/Starke	Ic
4	Beliouni	Sélection dans les populations locales	Al
5	Beni Mestina	Lahn/cham12003	Al
6	Bidi 17	Sélection obtenue à Guelma dans les populations locales de Bidi	Al
7	Bolenga	H-89092/H-89136//SOISSONS[4208][4337]	Es
8	Bousselam	Can 2109//jo/aa/3/s15/cr	Al
9	Canizzo	Capeiti/ Valnova//Patrizio /Valforte	It
10	Capeiti 8	Cappelli/eiti	It
11	Carrioca	H 114,18 x mondur	Es
12	Cham 3	DS15/crane//Geier	Ic
13	Chen 's'	Shwa's'/yav's'	Ci
14	Ciccio	Appulo/Valnova//Valforte/Patrizio	It
15	Cirta	Hedba/Gdo vz 619	Al
16	Colosséo	Mexa's mutant/Creso	It
17	Core	Platani/gianni	It
18	Djenah Khoutaifa	Sélection dans les populations locales	Al
19	Eider	Can 2109//jo's'/aa's'/3/s15/cr's'	Ic
20	Gecal		Fr
21	Gloire de montgolfier	Sélection dans les populations locales	Al
22	GTA dur	Gta 's'/ dur 69//Egret's' /3/Win	Ci
23	Guemgoum Rkhem	Sélection dans les populations locales	Al
24	Hedba3	Sélection de Ducellier dans les populations locales	Al
25	Haurani	landrace Jordanie	Jor
26	Inrat 69	Mahmoudi/kyperounda	Tu
27	Irïde	Altar 84/ares	It
28	Karim	Jo's'/AA//fg's'	Tu
29	Kebir	Ovi/cp//fg's' 12889	Ic
30	Kyperounda		Chy
31	Langlois	Sélection à Tasselent; une des formes des blés rouges de Tlemcen	Al
32	Manssoura	Chinese spring/MBB	Al
33	Massara	Mrb3/4/bye*2/Ttc//Zb/W/3/Cit	Ic
34	Massinissa	Ofanto/Bousselam	Al
35	Maestrale	IRIDE/SVEVO	Fr
36	MBB	Sélection dans les populations locales	Al
37	Megress	Ofanto//Waha/MBB	Al
38	Mexicali 75	Gdovz469/3/Jo's'//61.130/Lds	Ci
39	Mimono (Mimoune)	D 8241; D-8241; D8241	Ma
40	Odiseo	SVEVO/LE-24 SVEVO/LED-24	It
41	Ofanto	Appulo/Adamello	It
42	Ardente	DUM303/preliminary77//664	Fr
43	Orjaune	Miradur/idyn81-04	Fr
44	Oued Zénati368	Sélection multipliée à partir de 1931	Al
45	Mrb	Jori c69/haurani27	Ic
46	Poggio	D 87020/ e 879050	Ic
47	Polonicum /ZB	Sélection dans les populations locales	Al
48	Sahel 77	Cr//T.dic V.vernum/Gll	It
49	Saoura	Belikh//Gediz/Bit	Ci
50	Sarragola	Irïde/line_spb_0114	Ic
51	Simeto	Capeiti 8/valnova	It
52	Sétifis	Bousselam/ofanto	Al
53	Sigus	Ter1/3/stj3//bcr/lks4	Ci
54	Cyprus	Gdovz512/cit//ruff/fg/3/gdovz449	Chy
55	Tadjdid	Ofanto/Bousselam	Al
56	Vitron	Turkey77/3/Jori/Anhinga//Flamingo	Es
57	Waha	Plc/Ruff//Gta/Rtte	Ic
58	Wahbi	Bidi 17/Waha//Bidi 17	Al

Ic= Icarda, it= Italie, Es= Espagne, Fr= France, Al= Algérie, Ci= CIMMYT, Ma= Maroc, Tu= Tunisie, Chy= Chypre

BLE POLONICUM : Kwiatek *et al.*, (2016) rapportent que *Triticum polonicum* (Polish wheat) est une des espèces de blés tétraploïdes, dont entre autres *T. dicoccon* (Emmer wheat), *T. durum* (macaroni or hard wheat), *T. carthlicum* (Persian wheat), et *T. turanicum* (Khorasan wheat). Cette espèce est de moindre importance comparativement à *T. durum*, et on rencontre sa culture dans certaines régions d'Afrique du nord, d'Ethiopie, en Pologne et aux USA. *Triticum polonicum* est surtout cultivé pour les bonnes caractéristiques nutritionnelles de son grain. La variété présente encore en Algérie dérive de cette espèce de blé tétraploïde.

BLE GUEMGOUM RKHEM : Ce nom désigne un blé dur à grain long qui était largement cultivé dans la région de Tiaret. Son origine génétique est peu connue. Hannachi *et al.*, (2013) rapportent que cette variété se distingue par des effets d'aptitude générale à la combinaison positifs et significatifs pour plusieurs caractères dont la hauteur, la longueur du col de l'épi, la longueur de l'extrusion, la longueur de l'épi, la biomasse aérienne, la paille et le poids de 1000 g.

2 Mesures, notations et analyse des données

Pour ce faire la méthodologie suivie, en ce qui concerne les notations et mesures est celle rapportée par plusieurs auteurs dont entre autres Bahlouli (2008), Belkherchouche (2015), Bensemane (2015), Hannachi (2017), Fellahi (2017), Salmi (2019) et Kirouani (2019).

2.1 Durée de la phase végétative

La durée de la phase végétative (DPV) est déterminée en nombre de jours calendaires comptés à partir du 1^{er} janvier à la date de réalisation de 50% de l'épiaison. La date d'épiaison est indiquée par la sortie des barbes de la gaine de la dernière feuille complètement développée. La durée de cette phase végétative est un indicateur du degré de précocité.

2.2 Surface de la feuille étendard

La longueur et la plus grande largeur de la feuille étendard ont été mesurées sur un échantillon de 5 feuilles, du brin maître, prises au hasard au stade épiaison. La surface moyenne de la dernière feuille entièrement développée a été estimée selon Spagnoletti-Zeuli et Qualset (1990) :

$$SF_{FE}(\text{cm}^2) = 0.607 (L \times l),$$

Où SF_{FE} = surface moyenne de la feuille étendard (cm^2), L = longueur moyenne de la feuille étendard (cm), l = largeur moyenne de la feuille étendard (cm), et 0.607 = coefficient de régression de la surface estimée à partir du papier grammage sur celle déduite par le produit ($L \times l$).

2.3 Hauteur de la végétation

La hauteur de la plante est mesurée juste avant la récolte de la culture. Elle est prise en cm du sol à la strate moyenne des épis par parcelle élémentaire.

2.4 Longueur de l'épi

La longueur de l'épi, d'un échantillon de 5 épis des maître-brins, est mesurée à partir du premier article jusqu'au sommet de l'épi, barbes non incluses. La moyenne de l'échantillon de 5 épis est prise comme valeur de la parcelle élémentaire.

2.5 Biomasse aérienne

La biomasse aérienne est déterminée à partir de la récolte d'un échantillon de végétation d'un segment de rang long de 1 mètre linéaire. Le poids de l'échantillon est reconverti en q/ha et représente la valeur parcellaire de cette variable.

2.6 Rendement paille

Le rendement en paille (PLL, q/ha) a été estimé par la différence, entre la biomasse aérienne et le rendement en grains, dérivés à partir du bottillon de végétation fauché d'un segment de rang de 1 m de long par parcelle élémentaire :

$$\text{PLL (q/ha)} = \text{BIO (q/ha)} - \text{RDT (q/ha)}.$$

2.7 Contenu en chlorophylle

Le contenu en chlorophylle de la feuille étendard est mesurée à l'aide d'un chlorophylle-mètre de type Minolta SPAD 502, et exprimée en unité arbitraire ou CCI (Chlorophyll Content index). La mesure est faite sur un échantillon de trois feuilles par parcelle élémentaire.

2.8 Teneur relative en eau

La teneur relative en eau (TRE) a été mesurée sur la dernière feuille entièrement développée pour déterminer l'état hydrique des plantes selon la méthode de Barrs et Weartherly (1962). La feuille échantillonnée par traitement est coupée au niveau de la base du limbe et directement pesée pour avoir le poids de la matière fraîche (PF). Elle est ensuite placée dans un tube à essai contenant de l'eau, mise à l'abri de la lumière et à la température ambiante du laboratoire pendant 4 heures, pour atteindre l'état turgide. On détermine le poids turgide (PT), puis on sèche l'échantillon dans une étuve, à 65°C pendant 12 heures pour obtenir le poids sec (PS). La teneur relative en eau est déduite par la formule suivante :

$$\text{TRE (\%)} = \frac{\text{PF} - \text{PS}}{\text{PT} - \text{PS}} \times 100,$$

Où TRE= teneur relative en eau foliaire (%), PF= poids frais foliaire (mg), PS= poids sec foliaire (mg), et PT= poids turgide foliaire (mg).

2.9 L'intégrité de la membrane cellulaire (IC)

Le test de l'intégrité cellulaire est effectué sur les deux dernières feuilles entièrement développées (feuilles étendards). Deux feuilles sont prises au hasard par traitement. Ces échantillons sont lavés à l'eau courante. Les feuilles sont découpées en morceaux de 1cm de long. Un échantillon de 10 morceaux 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 peuvent influencer sur les résultats du test. Trois tubes sont utilisés par traitement.

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 par le stress hydrique est estimé, selon la procédure décrite par Bajji *et al.*, (2001) et Azimzadeh et Azimzadeh (2011) comme suit:

$$\%Inj = (EC1/EC2)*100$$

Où %Inj est le % de cellules endommagées par le stress hydrique, EC1, et EC2 sont respectivement les conductivités du traitement avant et après passage au bain marie.

2.10 Température du couvert végétal

La température de la canopée (CT, °C) a été déterminée au stade épiaison, à raison de trois lectures prises entre 11 00 et 14 00 h par parcelle élémentaire en utilisant un thermomètre à infrarouge de type 'Sixth Sense LT300 infrared thermometer.

2.11 Nombre et poids des épis

Le nombre d'épis est déterminé par comptage des épis de l'échantillon de végétation récolté pour estimer la biomasse aérienne. Le nombre compté est reconverti au m² (NE, ha). La moyenne des trois comptages est prise comme la valeur parcellaire analysée. Le poids des épis est déterminé par pesage des épis récoltés.

2.12 Poids de 1000 grains

Le poids de mille grains est déterminé après la récolte mécanique de l'expérimentation, suite au comptage et pesage de 250 graines par parcelle élémentaire. Les valeurs trouvées sont reconverties en g pour 1000 grains (PMG, g).

2.13 Nombre de grains par épi et par m²

Les nombre de grains par épi (NGE) et par m² (NGM²) sont dérivés par calcul à partir des valeurs parcellaires du rendement en grains (RDT, q/ha) et du poids de mille grains (PMG, g), en utilisant les formules suivantes :

$$\mathbf{NGM^2 = [RDT (q/ha) \times 1000]/PMG (g)}$$

$$\mathbf{NGE = NGM^2/NE}$$

2.14 Rendement grain

Le rendement en grains est estimé suite au battage des épis provenant de l'échantillon de végétation récolté pour déterminer la biomasse aérienne. Les valeurs trouvées sont reconverties en q/ha et leur moyenne utilisée comme valeur parcellaire dans l'estimation de l'indice de récolte et du rendement en paille. Le rendement (RDT, q/ha) est aussi estimé par la récolte mécanique de l'essai et fait l'objet de l'analyse de la variance.

2.15 Rendement économique

Le rendement économique est calculé comme la somme du rendement en grains plus 30% du rendement en paille, d'après Annichiarico *et al.* (2005), par la formule :

$$\text{RDT}_{\text{eco}} (\text{q/ha}) = \text{RDT} (\text{q/ha}) + 0.3 * \text{PLL} (\text{q/ha})$$

2.16 Indice de récolte

L'indice de récolte (HI, %) est déterminé en utilisant les valeurs parcellaires du rendement en grains et de la biomasse aérienne estimées de l'échantillon de végétation récolté d'un segment de rang de 1 m de long. Il est calculé par la formule suivante :

$$\text{HI} (\%) = \text{RDT} (\text{q/ha}) / \text{BIO} (\text{q/ha}).$$

3 Analyse des données

3.1 Carrés moyens des écarts

Les données collectées ont été soumises à une analyse de la variance combinée pour tester les effets campagne, site, génotype et leurs interactions (Tableau 6). Les effets site, campagne et l'interaction site x campagnes ont été testés relativement à l'effet répétitions hiérarchisées à l'effet site x campagne. L'effet génotype et les interactions génotype x sites et génotype x campagnes ont été testés relativement à l'interaction génotype x campagnes x sites. Cette dernière interaction est testée relativement à la résiduelle (Tableau 6).

Tableau 5. Squelette de l'analyse de la variance des données collectées à partir des expérimentations de 58 variétés de blé dur évaluées au cours des campagnes 2015/16, 2016/17 sur les deux sites expérimentaux des stations ITGC de Sétif et du Khroub.

Source	Ddl	CME	F. test
An (A)	1	M1	M1/M4
Site(S)	1	M2	M2/M4
A x S	1	M3	M3/M8
Rep/AxS	8	M4	M4/M9
Gen (G)	57	M5	M5/M8
Local vs récent	1	M6	M6/M10
G x A	57	M7	M7/M9
G x S	57	M8	M8/M9
G x A x S	57	M9	M9/M10
Résiduelle	456	M10

Le modèle additif du dispositif à trois facteurs (année, site et génotype) est le suivant :

$$Y_{ijklr} = \mu + G_i + A_j + S_k + Br(A_j, S_k) + G \times A_{ij} + G \times S_{ik} + A \times S_{jk} + A \times S \times G_{ijk} + e_{ijklr}$$

Où :

1. Y_{ijklr} = observation faite sur le génotype G_i , de l'année A_j , du site S_k et du bloc B_{jkr}
2. μ = moyenne générale
3. G_i = effet moyen génotype
4. A_j = effet moyen année
5. S_k = effet moyen site
6. $Br(A_j, S_k)$ = effet blocs hiérarchisés aux années x sites
7. $G_i \times A_j$ = interaction année x génotypes
8. $G_i \times S_k$ = interaction site x génotypes
9. $A_j \times S_k$ = interaction année x sites
10. $A_j \times S_k \times G_i$ = interaction année x sites x génotypes
11. e_{ijklr} = résiduelle pondérée.

3.2 Variabilités intra et inter variables

La variabilité observée au sein de chaque variable mesurée est décrite en utilisant les statistiques descriptives telles que la moyenne générale, les moyennes maximales, et minimales, l'amplitude et le coefficient de variation phénotypique. L'amplitude est déduite comme la différence entre les moyennes maximale et minimale, alors que le coefficient de variation phénotypique est calculé comme suit :

$$\text{CV}(\%) = (100 * \sqrt{\sigma^2_p}) / \text{moyenne générale},$$

✓ où σ^2_p est la variance phénotypique de la variable analysée

La variance phénotypique est déduite comme suit :

$$\sigma^2_p = \sum(x_i - x_{..})^2 / (n - 1)$$

✓ où x_i est la moyenne du génotype i , $x_{..}$ est la moyenne de l'ensemble des génotypes évalués et n est le nombre de génotypes testés.

Les coefficients de variation inférieurs à 10% sont jugés comme faibles, ceux entre 10% et 20% sont moyens et ceux supérieurs à 20% sont indicateurs d'une variabilité élevée, comme rapporté par Hannachi (2017) ainsi que Fellahi (2017). Les statistiques descriptives sont calculées pour l'ensemble des génotypes testés et par source de germoplasme (local vs introduite). La plus petite différence significative est calculée au seuil de 5% ($P_{pds5\%}$) et utilisée pour comparer les différences entre génotypes pour les différentes variables mesurées. La comparaison des moyennes des variables mesurées des deux sources de germoplasme (locale et récentes) est faite sur la base du calcul du contraste à un degré de liberté.

3.3 Corrélations phénotypiques et analyse en chemin (Path analysis)

L'étude des relations entre les différentes variables mesurées a été faite sur la base du calcul, fait par source et pour les deux sources de germoplasme, des coefficients de corrélations phénotypes de rangs de Sperman's (r_s), utilisant les moyennes standardisées. Ces coefficients sont calculés selon la formule suivante :

$$r = \text{Cov } XY / (\sigma X * \sigma Y),$$

où X et Y sont les classements des génotypes pour la paire de variables analysées ; Cov XY, σX , et σY sont respectivement la covariance entre les variables X et Y, et l'écart type de ces variables. La signification des coefficients de corrélations phénotypiques est testée par rapport aux valeurs de la table du r, avec n-2 ddl et au seuil de 5% de probabilité (Steel et Torrie, 1982).

Les coefficients de corrélation liant le rendement en grains, pris comme variable dépendante, avec les autres variables mesurées, prises comme variables indépendantes, sont répartis en effets directs et indirects utilisant la procédure décrite par Akintunde (2012) :

$$r_{ij} = \sum r_{ik} * p_{kj},$$

avec r_{ij} = coefficient de corrélation liant la variable indépendante i à la variable dépendante j; r_{ik} = coefficient of corrélation liant les variables indépendantes i et k; p_{kj} = effet direct exercé par la variable i sur la variable dépendante 'j'. $\sum r_{ik} * p_{kj}$ = sommation de l'effet direct de la variable i et des effets indirects via les n variables indépendantes incluses dans le modèle retenu de la régression multiple.

L'effet résiduel, mesurant la contribution des facteurs non contrôlables est obtenu comme suit: effet résiduel = $\sqrt{(1-r^2)}$ où: $r = \sum p_{ij} * r_{ij}$, et p_{ij} , et r_{ij} sont définies plus haut.

3.4 Stabilité des performances et indices de tolérance du stress

Le degré de stabilité de la variable rendement en grains est abordé par le calcul de l'indice de P de Lin *et al.* (1988) qui est calculé comme suit :

$$P_i = \sum (Y_{ij} - M_j)^2 / 2n$$

Où Y_{ij} = rendement du génotype i dans l'environnement j , M_j = rendement du génotype le plus performant dans l'environnement j , n = nombre d'environnements testés. L'indice P est un paramètre statistique qui mesure la stabilité de type agronomique qui caractérise les génotypes valorisant la fertilité du milieu.

La stabilité du rendement grain a été mesurée aussi par la variance environnementale (σ^2E) proposée par Lin *et al.*, (1986) et qui est dérivée comme suit :

$$\sigma^2E = \sum (Y_{ij} - Y_{i.})^2 / (n-1)$$

où Y_{ij} = rendement du génotype i dans l'environnement j , $Y_{i.}$ = moyenne des rendements du génotype i sur l'ensemble des environnements tests, n = nombre d'environnements tests.

La variance environnementale est un paramètre statistique qui mesure la stabilité de type biologique ou statique. Ce paramètre caractérise les génotypes valorisant peu la fertilité du milieu.

En plus de l'indice P_i , décrit ci-dessus et utilisé comme indice de tolérance du stress, deux autres indices, l'indice de tolérance du stress (STI) et l'indice de tolérance du stress du rendement (YSI) sont calculés pour chaque source de germoplasme:

$$STI = (Y_p \times Y_s) / \bar{p}^2$$

$$YSI = Y_s / Y_p,$$

où X_{ij} est le rendement en grains de la $i^{\text{ème}}$ variété dans le $j^{\text{ème}}$ environnement, M_j est le rendement de la meilleure variété dans l'environnement j^{th} , n est le nombre d'environnements testés ; Y_s , Y_p et \bar{Y}_p sont, respectivement, les moyennes variétales mesurées sous stress, en absence de stress et la moyenne de l'ensemble des variétés en absence de stress (Lin and Binns, 1988; Benmahammed *et al.*, 2010).

3.5 Structuration des variables et typologie variétale

La structuration des variables mesurées chez les génotypes évaluées est abordée par l'analyse en composantes principales (ACP). Cette technique statistique permet de réduire le nombre de variables mesurées et analysées en composantes principales plus facilement interprétables. En effet ces composantes principales sont formées par des sous ensemble de variables qui caractérisent des sous ensembles de génotypes.

Les analyses statistiques ont été faites en utilisation les logiciels Cropstat 7.2 (2007) pour l'analyse de la variance combinée et Past 3. (Hammer *et al.*, 2001) pour les analyses de corrélations, en composantes principales. Pour éviter l'effet de différence d'échelles de mesure des variables analysées, ces analyses ont été faites avec les données centrées et réduites des caractères montrant un effet génotype significatif.

Chapitre III. Résultats et discussion

1 Variabilité des caractères

1.1 Durée de la phase végétative et tolérance des stress abiotiques

1.1.1 Durée de la phase végétative

L'analyse de la variance indique des effets année (A), site (S), génotype (G) et interaction A x S x G significatifs (Tableau 6). L'effet génotype est de loin le plus important, absorbant 43.51% de la variation présente dans les données de cette variable, suivi des effets site et année qui expliquent, respectivement, 17.98 et 18.49 % de la variation, soit un total de 79.98%. L'interaction de second ordre absorbe 2.28%. Ces résultats suggèrent que la durée de la phase végétative varie essentiellement en fonction du génotype, du site et de l'année, alors que les interactions entre ces facteurs sont négligeables.

Tableau 6. Carrés moyens de l'analyse de la variance de la durée de la phase végétative (DPV, j) et de la tolérance au stress abiotique mesurée par la teneur relative en eau (TRE, %), la température de la canopée (TCV, °C), le contenu en chlorophylle (CHL, CCI) et la stabilité membranaire (IC, %).

Source	Ddl	DPV	TRE	TCV	CHL	IC
An (A)	1	3586.78**	7889.25**	373.26 ^{ns}	3253.66**	351.22 ^{ns}
Site(S)	1	3487.60**	414.31 ^{ns}	7502.41**	1255.82*	10325.70**
A x S	1	85.53*	1426.55*	908.76*	752.97 ^{ns}	27708.50**
Rep/AxS	8	16.25**	251.44**	134.96**	159.22**	347.92**
Gen (G)	57	148.10**	33.70 ^{ns}	6.36**	226.38**	246.22*
G x A	57	11.41 ^{ns}	32.82 ^{ns}	4.24 ^{ns}	24.54 ^{ns}	125.67 ^{ns}
G x S	57	7.84 ^{ns}	34.18 ^{ns}	3.15 ^{ns}	38.11 ^{ns}	101.26 ^{ns}
G x A x S	57	7.75**	35.64 ^{ns}	3.17 ^{ns}	26.60 ^{ns}	136.32*
Résiduelle	456	4.67	34.76	2.71	24.11	82.80

DPV= Durée de la phase végétative (jours), TRE= teneur relative en eau (%), TCV= température du couvert végétal (°C), CHL= teneur en chlorophylle (SPAD), IC= intégrité cellulaire (%)

Pour l'ensemble du germoplasme évalué, en moyenne des deux campagnes d'étude, la DPV varie de 117.88 j, sur le site du Khroub, à 122.36 j sur le site de Sétif. Elle varie de 122.39 j au cours de la campagne 2015/16 à 117.85 jours en 2016/17, avec une plus petite différence significative (Ppds) de 0.70 j. La différence de 4.48 jours, entre sites, s'explique plus par la différence

d'altitude, 640 m au Khroub, vs 1081 m à Sétif, soit 368.0 m. En effet les différences d'altitude engendrent des différences de somme de températures accumulées ce qui affecte la durée de la DPV. Il en est de même pour la différence entre années qui est de même ordre de grandeur, soit 4.54 jours. Dans ce contexte Royo *et al.* (2018) rapportent un effet site significatif expliquant 77.0% de la variation observée de la DPV. Les sites concernés sont très divergents pour la latitude (19°N Cimmyt, Obregon, Mexico vs 41°N Irtá, Lleida, Espagne). L'effet année et les interactions sont plus modérés alors que l'effet site s'explique, selon ces auteurs par les différences de températures et de photopériodes qui sont associées à la latitude (Royo *et al.*, 2018). Kirouani (2019), analysant un jeu de 14 variétés divergentes de blé dur, rapporte des valeurs moyennes de 100.9 et 151.2 jours pour la DPV des campagnes 2015 et 2016, et 103.6, 124.7 et 137.4 jours, pour la DPV moyenne des sites d'Oued Smar, Khémis Miliana et de Sétif.

Kirouani (2019) rapporte une amplitude intrasite et inter campagnes plus importante au niveau de Khemis Miliana (43 jours) et Sétif (27.6 jours), qu'au niveau d'Oued Smar (4.5 jours). Cette amplitude semble trouver une explication partielle dans l'altitude du site et de son éloignement de l'influence maritime. Les environnements dont le climat est relativement plus rigoureux allongent la durée du cycle, à l'inverse, les environnements, dont le climat est relativement plus doux, qui accélèrent le rythme de développement de la végétation, et de ce fait raccourcissent de la durée de la phase végétative.

A cet effet Abbassenne *et al.*, (1998) rapportent une variation inter années de 3 jours pour la durée de la phase végétative chez les génotypes précoces (904/Logh) et de 19 jours chez les génotypes plus tardifs (Waha). Laala *et al.*, (2017) rapportent que les moyennes de la durée de la phase végétative changent en valeurs, d'un environnement à un autre, chez un génotype donné, mais généralement on observe rarement des inversions dans le classement des génotypes considérés.

Dans la présente étude, et en moyenne des 2 années et des sites, la DPV varie d'un minimum de 116.00 jours, moyenne observée du génotype Ciccio (#14) à 129.42 jours, moyenne du génotype Adjini (#1), autour d'une moyenne globale de 120.12 jours, une amplitude de 13.42 jours et un coefficient de variation de 2.92% (Tableau 7). Ces valeurs caractéristiques varient chez le germoplasme introduit de 116.00 jours pour la variété Ciccio (#14) à 123.50 jours chez la variété Poggio (# 46), autour d'une moyenne générale de 118.79 j, une amplitude de 7.50 jours et un CV% de 1.57%.

Tableau 7. Valeurs caractéristiques de la durée de la phase végétative des germoplasmes local, introduit et de l'ensemble.

	Type de germoplasme		
	Ensemble (n=58)	Introduit (n=47)	Local (n=11)
Moy	120.12	118.79	125.84
Max	129.42	123.50	129.42
Min	116.00	116.00	119.50
Amplitude	13.42	7.50	9.92
CV%	2.92	1.57	2.52

Chez le germoplasme local, ces valeurs sont de 119.50 jours pour la variété Belioni (# 4) à 129.42 pour la variété Adjini (# 1) autour d'une moyenne de 125.84 jours, une amplitude 9.92 jours et un CV% de 2.52% (Tableau 8). A ce sujet Dotlacil *et al.*, (2003), comparant les variétés locales aux introductions, pour la durée de la phase végétative, notent que le CV% varie de 2.7% à 4.5% pour les deux ensembles de variétés testées dans deux périodes d'études (ensemble I et II). Ces valeurs de CV% sont presque le double de celles trouvées dans la présente étude. Ces valeurs de CV sont jugées par ces auteurs comme étant élevées.

Ces résultats indiquent que le germoplasme introduit se caractérise par une réduction moyenne de la DPV de 7.05 jours, relativement au germoplasme local. Cette valeur moyenne de 7.00 jours est similaire à celle rapportée par Dotlacil *et al.*, (2003), comparant les variétés anciennes locales à celles introduites au niveau européen. En prenant les extrêmes (entre le

matériel introduit et le local), la réduction est plus importante, puisque la différence entre la variété la plus précoce (Ciccio, récente) et la plus tardive (Adjini, ancienne locale) est de 13.42 jours (Figure 6). La figure 6 suggère que la sélection de la durée de la phase végétative du blé dur s'est faite dans le sens de la réduction vu que 67.24% des individus analysés présentent une DPV de moins de 120.0 jours.

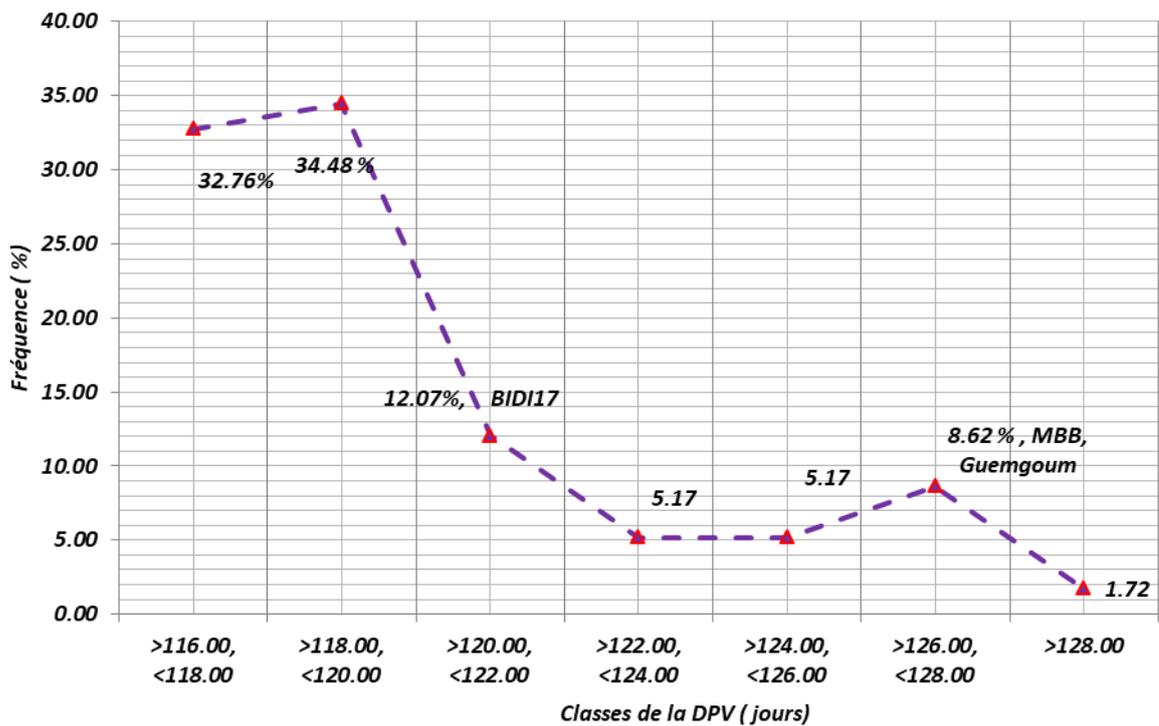


Figure 6. Fréquence des différentes classes de la durée de la phase végétative chez l'ensemble du germoplasme étudié.

L'intérêt de la sélection pour la précocité est probablement l'échappement et la minimisation des effets du manque d'eau et des hautes températures de fin de cycle. A cet effet, Mekhlouf *et al.*, (2006), comparant le comportement du cultivar ancien standard MBB à celui de Waha, variété relativement plus récente, rapportent que si la précocité est désirable en milieu semi-aride pour échapper le déficit hydrique et les hautes températures de fin de cycle, elle fait courir le risque du gel printanier tardif sur les hauts plateaux. Selon Álvaro *et al.*, (2008), la sélection de la précocité à la floraison du blé dur en Espagne a réduit la DPV de 8 jours. Ce chiffre est

très voisin de la valeur trouvée dans la présente étude qui est de 7.05 jours. Cette réduction n'est que de 2 jours chez le matériel végétal Italien selon Motzo et Giunta, (2007).

Selon Royo *et al.*, (2014) la DPV chez les variétés anciennes locales varie aussi en fonction de leur origine géographique. La durée de cette phase végétative augmente progressivement des zones les plus chaudes et sèches vers les zones plus froides et humides. Cette affirmation semble être partiellement confirmée par les résultats de la présente étude où Bidi17, variété ancienne locale adaptée des zones de faibles altitude, à température douce (Guelma) est précoce (120.08 j), comparativement à MBB, Guemgoum, Gloire de Montgolfier, qui sont plus tardives (+125.00 j) et adaptées à des zones d'altitudes froides, comme Sétif et Tiaret (Figure 6).

A ce sujet les résultats de Dotlacil *et al.*, (2003) indiquent que les variétés de blé dur adaptées au sud-est européen sont plus précoces comparativement aux variétés adaptées au nord-ouest européen, qui sont plus tardives. Amokrane *et al.*, (2002) rapportent que les variétés locales anciennes se distinguent nettement des génotypes d'origines européenne et syrienne par une longue durée de la phase végétative. Villegas *et al.*, (2016) mentionnent que la floraison du blé dur est génétiquement contrôlée par trois groupes de loci qui induisent la sensibilité à la photopériode (gènes *Ppd*), à la vernalisation (gènes *vrn*) et la précocité *per se* (Earliness *per se* genes ou *Eps*).

La vernalisation est l'acquisition, par la plante, de la capacité à fleurir, une fois exposée au froid. Selon leur besoins en froid les plantes sont classées en type d'hiver et de printemps. Ainsi les blés de type hiver présentent des besoins élevés en vernalisation, à l'inverse, les blés de type printemps ont des besoins faibles ou nuls. Les besoins en vernalisation sont sous contrôle génétique des gènes *Vrn-1*. Le blé dur porte une copie homologue des gènes *Vrn-1*, désignés *Vrn-A1* et *Vrn-B1*, qui sont localisés, respectivement, sur les bras longs des chromosomes 5A et 5B (Fu *et al.*, 2005).

Selon Worland *et al.* (1998), la majorité des variétés élites de blé dur présente de faibles besoins en vernalization (insensibilité à la vernalization), mais portent des variants d'allèles fonctionnels contrôlant la réponse à la photopériode. Les variétés de la présente étude sont donc de type printemps, dont les différences de précocité sont causées par les différences en termes d'allèles aux loci *Ppd* et *Eps*. Les variétés sensibles à la photopériode fleurissent une fois exposés aux jours longs (période lumineuse au cours des 24 heures), notamment à partir du stade végétatif épi 1 cm, qui représente la fin de la phase végétative et le début de la phase reproductive.

Les variétés insensibles à la photopériode fleurissent indépendamment de la durée du jour et de ce fait peuvent être cultivées sous environnements à jours longs ou courts. L'emploi de ce type de variétés est avantageux sous climat chaud et sec, notamment en fin de cycle, où la précocité est recherchée pour minimiser des effets des contraintes abiotiques qui caractérisent ce type de climat (Worland *et al.*, 1996). Chez le blé dur, la sensibilité à la photopériode est contrôlée par les loci *Ppd-A1* et *Ppd-B1*, qui sont localisés sur les chromosomes 2AS et 2BS (Laurie, 1997).

La sélection pour l'insensibilité à la photopériode chez les blés a été d'un grand apport pour l'adaptation de ces espèces à un large éventail d'environnements et au succès de la révolution verte par suite de sélection des variétés précoces à la floraison (Borlaug, 1995). L'insensibilité à la photopériode est aussi accompagnée d'un avantage de 35% de rendement, selon Worland *et al.*, (1998). Elle résulte de mutations génétiques aux loci *Ppd-1* situés sur les génomes A et B. Les allèles dominants confèrent l'insensibilité à la longueur de la durée du jour, alors que les allèles récessifs contrôlent la sensible à ce stimulus (Dyck *et al.*, 2004).

Par convention les noms des allèles contrôlant l'insensibilité à la photopériode sont suivis par un **a** minuscule (*Ppd-A1a*), alors que le type sauvage induisant la sensibilité est suivi par un **b** minuscule (*Ppd-A1b*, Mc

Intosh *et al.*, 2003). Wilhelm *et al.*, (2013) rapportent deux larges délétions (1027 et 1117 pb), désignées GS-100 et GS-105, respectivement, à l'intérieur du gène *Ppd-A1* du blé dur. Ces délétions suppriment une région commune de la séquence de l'allèle sauvage. La présence de l'une quelconque de ces délétions hâte la floraison, ce qui conduit à conclure que ces délétions sont la cause de l'insensibilité à la photopériode chez le blé tétraploïde (Wilhelm *et al.*, 2013). Les gènes affectent la floraison du blé indépendamment des gènes *Vrn* et *Ppd* (Worland, 1998). Ils interviennent lorsque les exigences en *Vrn* et *Ppd* sont satisfaites. Cependant, Il existe actuellement peu d'informations sur leur identité et mécanisme de contrôle chez sur le blé (Zikhali et Griffiths, 2015).

La composition des variétés locales anciennes algériennes en termes de ces gènes (*Vrn*, *Ppd* et *Eps*) mérite d'être étudiée car elle n'est pas connue. Hoogendoorn (1985) rapporte que les gènes contrôlant la tardiveté sont associés à la réponse à la photopériode et aux températures vernales alors que ceux contrôlant la précocité sont plutôt liés à l'alternativité. Amokrane *et al.*, (2002) suggèrent que les variétés récentes d'origines européenne et syrienne sont plus indiquées pour introduire l'insensibilité aux stimuli environnementaux (photopériode et températures vernales) chez les variétés anciennes locales pour réduire de la durée de la phase de remplissage du grain et ainsi échapper aux stress de fin de cycle omniprésents en zones semi-arides.

1.1.2 Tolérance des stress abiotiques

L'analyse de la variance des valeurs des tests mesurant la tolérance des stress abiotiques indique un effet année significatif pour la TRE et la CHL et non significatif pour la TCV et l'IC. Les effets site et génotype sont significatifs pour la TCV, la CHL et l'IC et non significatifs pour la TRE (Tableau 6). Ces résultats indiquent que le test de la TRE n'est d'aucune valeur pratique pour cette étude, soit à cause de la méthodologie utilisée (précision, échantillonnage, stade végétatif) ou au peu de variabilité, de cette

caractéristique, présente chez le matériel végétal analysé. La variabilité observée semble beaucoup plus d'ordre environnementale. Ces résultats indiquent aussi que les valeurs prises par la TCV, la CHL et l'IC varient selon le site et le génotype et que ces différences sont aussi bien d'ordre génétique qu'environnementale.

Les valeurs moyennes, calculées sur l'ensemble des variétés étudiées, sont de 24.52 et 31.09°C pour la TCV, 36.65 et 39.34 cci pour la CHL et 62.69 et 54.99% pour l'IC, respectivement pour les sites du Khroub et de Sétif. Les valeurs de la ppds5% de ces variables sont de 2.03°C, 2.21 cci et 3.26%. Ces résultats suggèrent qu'au stade épiaison, le couvert végétal du site de Sétif était soumis à une vague de chaleur de 6.57°C plus élevée que celle que subit le site du Khroub. Le site de Sétif présente une instabilité membranaire plus élevée que le site du Khroub. En effet le pourcentage de dommages cellulaires est de 45.01% à Sétif alors qu'il n'est que de 37.31% au Khroub. Paradoxalement le couvert végétal reste plus vert, avec un avantage de 2.79 cci, à Sétif qu'au Khroub, malgré la charge de la vague de chaleur.

La comparaison des valeurs moyennes prise par la TCV indique peu de différence entre les variétés récentes introduites et anciennes locales, dont les moyennes de la TCV sont de 27.81 et 27.77°C, respectivement. Les valeurs maximales de cette variable, pour les deux sources de germoplasme, dans l'ordre cité ci-dessus, sont de 29.88 et 28.73°C. Le matériel ancien reste relativement plus frais, avec 1.15°C en moins, que le germoplasme récent. Ceci engendre des amplitudes légèrement différentes de 3.33 et 2.03°C pour les deux sources de germoplasme, avec des CV% de 2.66 et 2.58% (Tableau 8).

Parmi les 47 variétés récentes, 36% de cet effectif ont une TCV moyenne incluse dans la tranche [26.00-27.50°C]. Parmi ces variétés on trouve Sahel (# 48), Saoura (# 49), Sigus (# 86) et Iride (# 57) dont la TCV moyenne est de 26.55, 26.62, 26.73 et 26.83°C, respectivement. Parmi les 11 variétés anciennes, 5 variétés, soit 45%, présentent une TCV moyenne incluse

dans cette tranche. Ces variétés sont Gloire de Montgolfier (#21), oued Zénati 368 (# 44), Hedba3 (# 24), Mohamed Ben Bachir (# 36) et Polonicum (# 47), dont la TCV moyenne est de 26.70, 27.10, 27.12, 27.15 et 27.26°C, respectivement.

Dans la classe des]27.50-29.00°C] sont inclus 57% de l'effectif des variétés récentes soit 27 variétés. Dans ce groupe on trouve, en entre autres, Gecal (# 20), Syprus(# 54), INRAT69 (# 26), Ciccio (# 14), et Bousselam (# 8), avec des TCV moyennes 27.52, 27.55, 27.67, 28.00 et 28.01°C, respectivement. Les 6 variétés anciennes restantes présentent une TCV incluse dans cette tranche de valeurs. Ces variétés sont Adjini (# 1), Djenah Khotifa (# 18), Langlois (# 31), Beliouni (# 4), Guemgoum Rkhem (# 23) et Bidi17 (# 6), dont la TCV moyenne est de 28.00, 28.14, 28.31, 28.48, 28.54 et 28.73°C, respectivement. Dans la tranche des valeurs >29.00°C de la TCV, ne figurent que trois variétés récentes, soit 6% de l'effectif de ce type de germoplasme, et qui sont Ammar6 (# 3), Ammar1 (# 2), et Kébir (# 29), dont la TCV moyenne est de 29.33, 29.43 et 29.88°C, respectivement.

Amit Gautam *et al.*, (2015) rapportent des valeurs moyennes de la TCV qui varient de 20.2 à 24.9°C. La comparaison de ces valeurs avec celles observées dans la présente étude met en relief la sévérité de l'intensité du stress thermique auquel est soumise la culture du blé dur sur les plaines intérieures et hautes plaines de l'Est algérien. De faibles valeurs de la TCV sont suggestives d'un meilleur statut hydrique de la plante grâce à la présence de moyens d'accès à l'humidité du sol pour dissiper l'excès de chaleur par transpiration (système racinaire et/ou contrôle stomatique). Les résultats de Amokrane *et al.*, (2002) rapportent que les variétés anciennes ont une température du couvert végétal plus réduite que celle enregistrée chez les variétés récentes.

Selon Ramirez et Kelly (1998), l'amélioration de la tolérance vis-à-vis des stress abiotiques chez le blé dur est compliquée par l'absence de modèles d'évaluation fiables et reproductibles qui peuvent tester un grand nombre de

lignées de manière routinière. Karimizadeh *et al.*, (2012) utilisent la température de la canopée et sa déviation de la température de l'air ambiant comme mesure du degré de tolérance aux stress abiotiques, notamment le statut hydrique de la plante testée. Une faible TCV a été utilisée comme critère de sélection vis-à-vis du déficit hydrique (Karimizadeh et Mohammadi, 2011) et du stress thermique (Amani *et al.*, 1996). Fischer *et al.*, (1998) montrent que la déviation de la TCV de celle de l'air ambiant est associée positivement au rendement en grains.

La stabilité de la chlorophylle est une caractéristique associée à la tolérance et l'adaptation au stress thermique (Bahlouli *et al.*, 2005). Selon Fokar *et al.* (1998), le contenu en chlorophylle diminue après l'anthèse mais plus fortement chez les génotypes sensibles au stress thermique que chez ceux qui sont résistants. Comparativement à la valeur seuil prise par la Ppds5%, qui est de 4.22 cci, la différence entre les moyennes du CHL des sources de germoplasme récentes et ancienne, 38.56 vs 35.58 cci, n'est pas significative (Tableau 8).

La différence est, par contre, significative entre les valeurs maximales, 48.47 vs 40.78 cci, suggérant la présence de variétés dont la durée de vie de la feuille étendard est plus longue chez le germoplasme récente que chez le germoplasme ancien local (Tableau 9, Figures 7 et 8). La variabilité intra germoplasme est plus importante chez le matériel récent (amplitude de 19.34 cci et un CV de 11.76%) que chez le matériel local ancien (amplitude 9.23 cci et un CV de 6.29%, (Tableau 8, Figures 7 et 8).

Les variétés qui ont de faibles valeurs de la CHL sont Capeiti (# 10) et Carioca (# 11), variétés récentes dont les moyennes sont de 29.13 et 29.84 cci et la variété ancienne Guemgoum Rkhem (# 23) dont la moyenne est de 31.55 cci. Les variétés qui ont des valeurs élevées de la CHL sont Iride (# 27), Sarragola (# 50), et Megress (# 37), toutes les trois sont des variétés récentes dont les valeurs moyennes respectives sont de 45.89, 46.08 et 48.47 cci (Figure 8).

Tableau 8. Valeurs caractéristiques des tests de la tolérance au stress abiotique des germoplasmes ancien et récente et l'ensemble.

	Germoplasme	Moy	Max	Min	Amplitude	CV%	Ppds5%
TCV (°C)	Ensemble (n=58)	27.81	29.88	26.55	3.33	2.62	
	Récent (n=47)	27.81	29.88	26.55	3.33	2.66	
	Ancien (n=11)	27.77	28.73	26.70	2.03	2.58	1.46°C
CHL (cci)	Ensemble (n=58)	38.00	48.47	29.13	19.34	11.43	
	Récent (n=47)	38.56	48.47	29.13	19.34	11.76	
	Ancien (n=11)	35.58	40.78	31.55	9.23	6.29	4.22 cci
IC (%)	Ensemble (n=58)	58.84	68.59	48.54	20.04	7.70	
	Récent (n=47)	57.91	64.20	48.54	15.66	7.41	
	Ancien (n=11)	62.80	68.59	58.79	9.80	5.27	9.54%

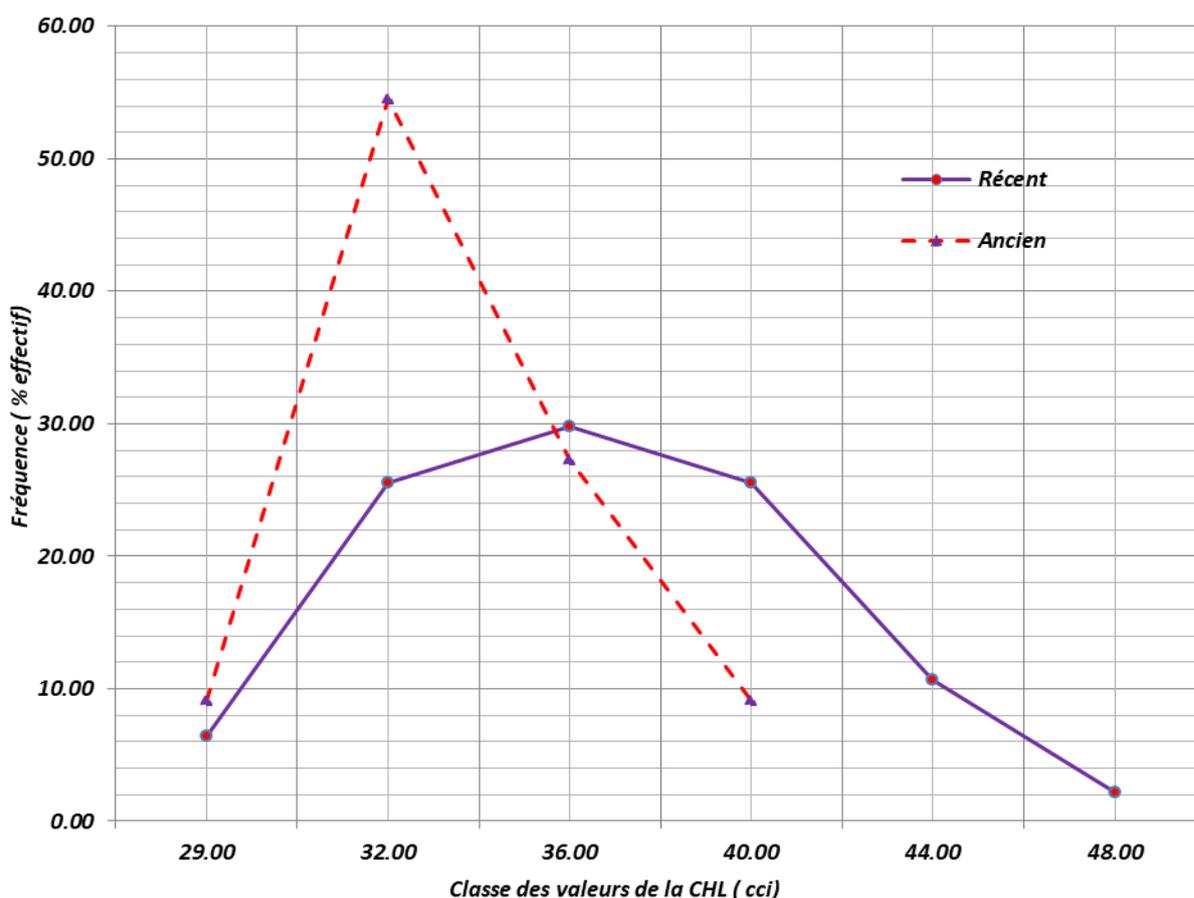


Figure 7. Fréquence des différentes classes du contenu en chlorophylle des deux sources de germoplasme étudiées.

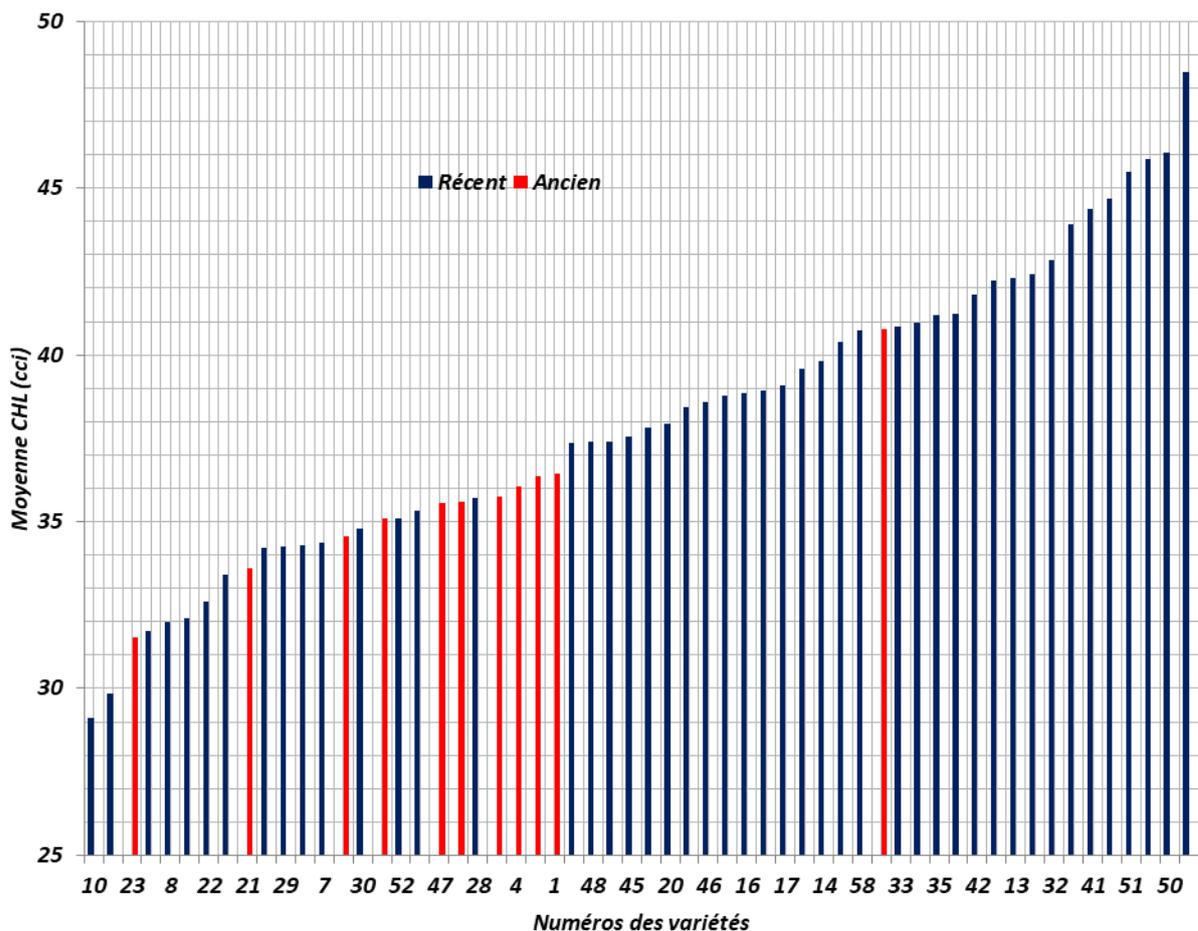


Figure 8. Valeurs moyennes de la CHL des variétés récentes (bleu) et anciennes (rouge) des deux sources de germoplasme étudiées.

L'intégrité cellulaire donne une mesure de la quantité d'électrolytes qui s'échappent passivement de la cellule endommagée par le stress thermique. La quantité d'électrolyte perdue, par la cellule, est une mesure du degré de tolérance des hautes températures, plus cette valeur est élevée plus le génotype considéré est sensible (Fokar *et al.*, 1998; Ibrahim et Quick, 2001 et Pask *et al.*, 2012). Comparativement à la Ppds5%, qui est de 9.54 %, la différence entre les moyennes de l'IC des sources récentes et anciennes de germoplasme, 62.80 vs 57.91 %, n'est pas significative.

Ceci suggère que globalement les échantillons des deux sources de germoplasme étudiées, présentent le même degré de tolérance vis-à-vis du stress thermique. Les différences apparaissent à l'intérieur de chaque source entre les valeurs maximales et minimales, qui sont de 15.66% et 9.80%,

respectivement pour les variétés récentes et anciennes, dont les CV% sont de 7.41 et 5.27% (Tableau 8). La figure 9 montre la distribution des valeurs moyennes des dommages cellulaires subis par les différentes variétés des deux germoplasmes.

L'analyse de cette figure suggère que globalement le matériel végétal ancien est relativement plus sensible aux stress abiotiques que le germoplasme récent (Figure 9). En effet les variétés les plus sensibles aux stress sont des variétés anciennes, Oued Zénati 368 (# 44), Gloire de Montgolfier (# 21) et Djenah El Khotaiifa (# 18), dont les valeurs prises par les dommages cellulaires sont respectivement de 65.96, 66.35 et 68.59%.

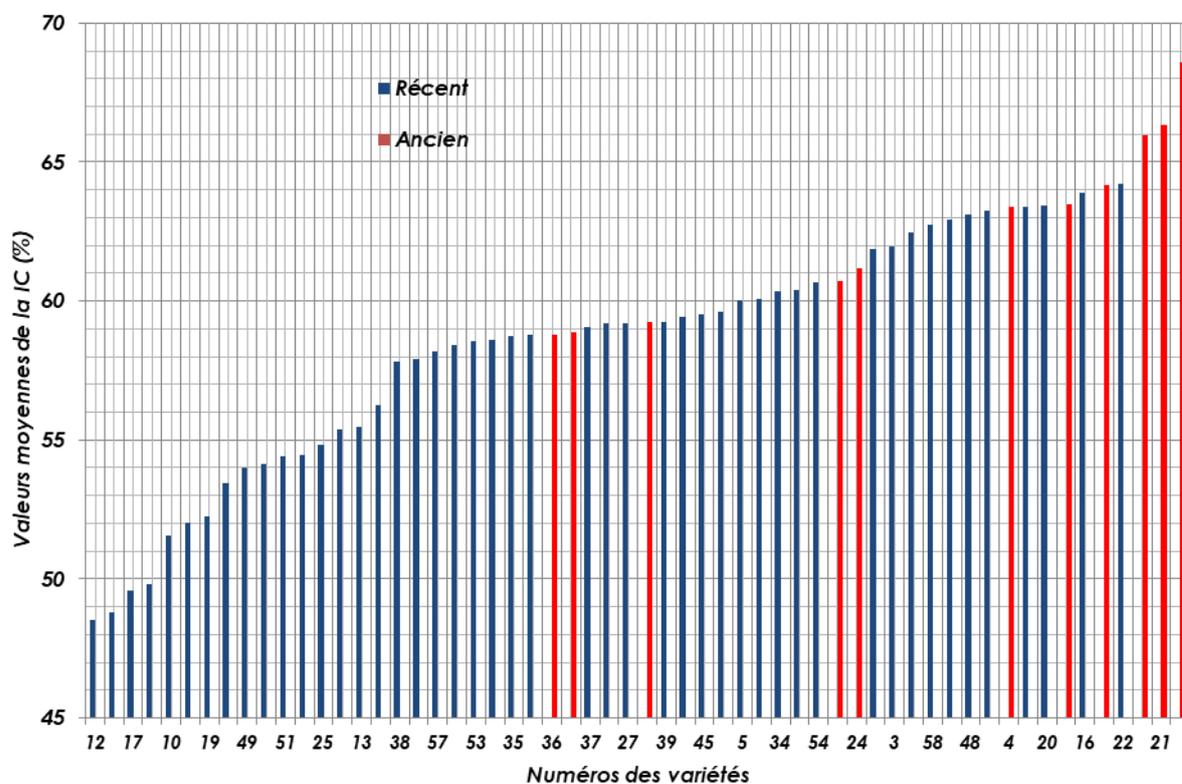


Figure 9. Valeurs moyennes du pourcentage de dommages cellulaires des variétés récentes (bleu) et anciennes (rouge) des deux sources de germoplasme étudiées.

Par contre les variétés les plus tolérantes sont des variétés récentes, Cham 3(# 12), Carioca (# 11) et Core (# 17), dont les valeurs prises par les dommages cellulaires sont respectivement de 48.54, 48.80 et 49.59%. On note

cependant que certaines variétés anciennes, telles que MBB (# 36), Langlois (# 31) et Polonicum (# 47) sont aussi tolérantes que certaines variétés récentes, telles que Vitron (# 56), Megress (# 37) et Iride (# 27). Les valeurs moyennes de ces variétés varient de 58.9 à 59.23% (Figure 9).

1.2 Biomasse aérienne

L'analyse de la variance des valeurs de la biomasse aérienne indique uniquement des effets année et site significatifs, alors que l'effet principale génotype ne l'est pas ainsi que les interactions entre des ces trois facteurs (Tableau 9). L'analyse de l'effet année montre que la campagne 2015/2016 a été plus favorable à l'extériorisation de la biomasse aérienne avec une moyenne de 66.30 q/ha que la campagne 2016/17 dont la moyenne de la biomasse aérienne est de 55.26 q/ha, contre une ppds5% de 4.5 q/ha. L'analyse de l'effet site indique que le site du Khroub a été plus favorable à l'expression de la biomasse aérienne avec une moyenne de 65.77 q/ha que le site de Sétif qui a produit une moyenne de 49.78 q/ha, la ppds5% étant de 4.5 q/ha.

L'étude de l'interaction site x années indique que les deux sites présentent des capacités similaires de production de la biomasse aérienne au cours de la campagne 2015/2016, avec respectivement 61.57 q/ha pour Khroub contre 59.57 q/ha pour Sétif, la ppds5% étant de 6.36 q/ha. Par contre au cours de la campagne suivante, 2016/2017, le site du Khroub augmente sa capacité de production de la biomasse aérienne de 8.4 q/ha, à une moyenne de 69.97 q/ha, alors que le site de Sétif voit sa capacité de production de la biomasse aérienne réduite de 18.84 q/ha, à une moyenne de 40.54 q/ha (Figure 10).

Les différences d'altitudes, de températures et de cumuls de pluviométrie enregistrées entre sites expliquent en partie les différences de capacité de production de la biomasse et sa variation entre années. A ce sujet, Villegas *et al* (2001) rapportent que les conséquences de la sécheresse

sur le schéma d'accumulation de biomasse ont été supérieures aux effets de l'année.

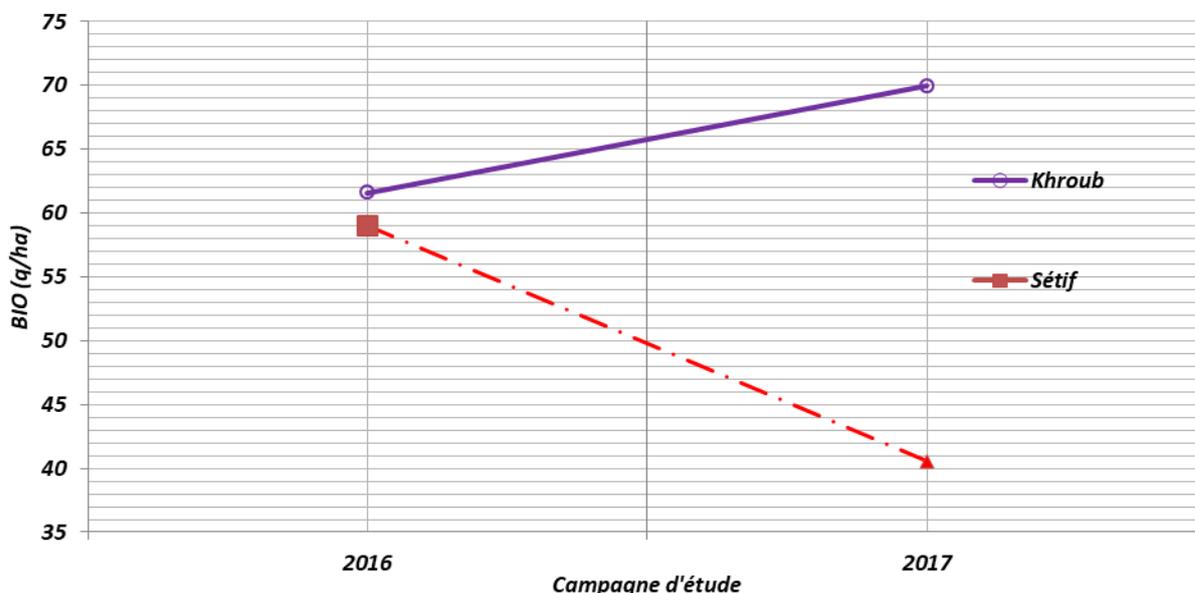


Figure 10. Interaction site x années de la biomasse aérienne extériorisée par les sites expérimentaux de Sétif et du Khroub.

Comparativement à la moyenne générale de la biomasse aérienne de l'ensemble du germoplasme, les moyennes variétales ne sont pas statistiquement différentes. Cependant l'analyse de l'amplitude entre les moyennes extrêmes indique des différences significatives au-delà de 20.00 q/ha contre la valeur seuil de la ppds5% qui est de 12.64 q/ha (Tableau 10). La tendance globale indiquée par la figure 11 suggère que les variétés anciennes sont plus aptes à produire une biomasse aérienne plus élevée que les variétés récentes (A= 61.90 q/ha, vs R=56.96 q/ha).

Cette tendance est indiquée par les performances des variétés anciennes telles que Djenah El Khotaiifa (# 18), Langlois (# 31) et Oued Zénati 368 (# 44) dont les moyennes de la biomasse aérienne sont respectivement de 66.29, 66.43 et 72.29 q/ha (Figure 11). On note aussi que parmi les variétés récentes certaines possèdent la capacité de faire une biomasse aérienne équivalente de celle des meilleures variétés anciennes, du moins sous les conditions de cette expérimentation. En effet les variétés récentes Waha (#

57) et Ofanto (# 41) présentent des moyennes de biomasse aérienne (66.11 et 67.92 q/ha, respectivement) non significativement différentes de celles des meilleures variétés anciennes ci-dessus évoquées (Tableau 10, Figure 11).

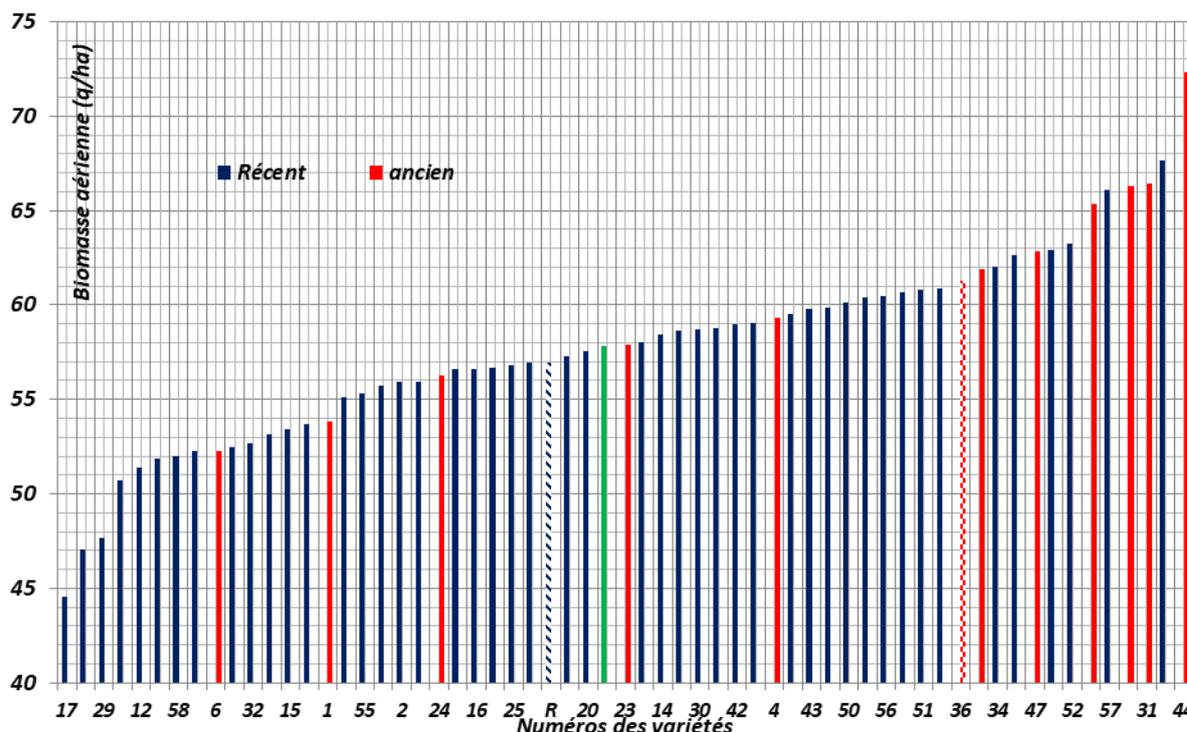


Figure 11. Valeurs moyennes de la biomasse aérienne produite par les variétés récentes (bleu), anciennes (rouge), moyenne des récentes (R), moyenne des anciennes (A) et moyenne générale (G) des sources de germoplasme étudiées.

On note aussi que certaines variétés anciennes se distinguent par une faible capacité de production de biomasse similaire à celles des variétés récentes les moins bonnes pour cette caractéristique. La comparaison de la biomasse aérienne des variétés anciennes Bidi 17 (# 6) et Adjini (# 1), dont les moyennes de biomasse sont respectivement de 52.26 et 53.86 q/ha, aux moyennes des variétés récentes, Core (# 17), Eider(# 19) et Kébir (# 29), qui sont respectivement 44.56, 47.07 et 47.67 q/ha, est un exemple de ce comportement (Tableau 11, Figure 11). La biomasse aérienne produite ne discrimine donc pas nettement entre les variétés anciennes locales et les variétés récentes introduites ou sélectionnées localement. A ce sujet Maeoka *et al.*, (2020) rapportent dans une étude portant sur la comparaison

entre des variétés anciennes et modernes de blé tendre en réponse à l'engrais dans le sillon que la biomasse des tiges était similaire entre les deux types de germoplasmes. *Álvaro et al.*, (2008) mentionnent que la réduction de la biomasse végétale est une conséquence directe de l'incorporation des gènes de nanismes.

1.3 Poids des épis

L'analyse de la variance des valeurs prises par la variable poids des épis indique un effet génotype et l'interaction site x années significatifs (Tableau 9). L'analyse de l'interaction site x années (Figure 12) indique un comportement contrasté des deux sites au cours des deux campagnes d'étude. En effet, en 2016, les deux sites expérimentaux du Khroub et de Sétif extériorisent des capacités de production d'épis équivalentes, avec des moyennes respectives, de 28.35 et 34.24, soit un écart de 5.89 et une Ppds5% de 5.92 q/ha. Par contre au cours de l'année suivante, le site du Khroub montre une meilleure capacité de production des épis comparativement au site de Sétif, dont les moyennes respectives sont de 36.6 et 25.84 q/ha, soit un écart de 10.81 q/ha, à l'avantage du site du Khroub (Figure12).

Cela peut être expliqué par la répartition plus au mois régulière des pluies reçues en 2017 par le site du khroub pendant les trois mois qui précèdent le stade de maturité physiologique (Avril, mai et juin) surtout le mois d'avril qui était un peu humide avec 26 mm ce qui permet à la végétation de profiter de cette précipitation pour réaliser ultérieurement un bon remplissage du grain, et par conséquence un poids des épis élevé. Par contre, et bien que la quantité de pluie tombée à Sétif pendant les trois derniers mois de la même année était supérieure à celle tombée au khroub (70.6 mm contre 45 mm), sa répartition était irrégulière où une quantité minimale a été tombée durant les mois d'avril et mai ne dépassant pas les 15 mm correspondant à la phase critique du remplissage du grain, avec un mois de juin pluvieux atteignant les 55.5 mm qui a survécu sur des épis chétifs ayant à peine atteint leur maturité.

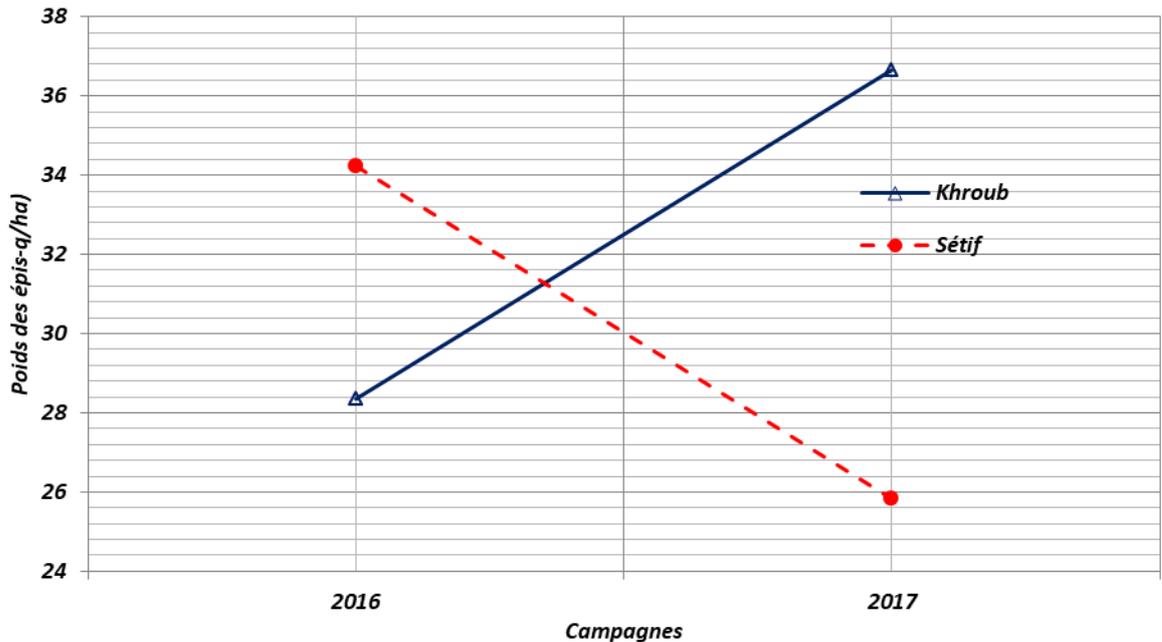


Figure 12. Interaction site x années du poids des épis (PE) du germoplasme étudié.

L'analyse des valeurs variétales du poids des épis indique des différences significatives entre les différentes variétés intra et inter sources de germoplasme. La moyenne globale (G) du germoplasme pour cette variable est de 31.27 q/ha, avec des variations allant d'un minimum de 22.05 q/ha mesuré chez la variété Adjini (#1) à un maximum de 41.14 q/ha mesuré chez la variété Ofanto (#41) et une amplitude 19.10 q/ha pour une ppds5% de 7.64 q/ha (Figure 13).

La comparaison des moyennes représentatives des variétés anciennes (27.80 q/ha) et récentes (32.08 q/ha) indique une différence non significative de 4.18 q/ha contre une Ppds5% de 7.64 q/ha. La distribution des valeurs moyennes variétales (Figure 13) indique cependant que les variétés anciennes notamment Adjini (22.5 q/ha, #1), Guemgoum Rkhem (24.77q/ha, #23), Hedba3 (25.20 q/ha, #24), MBB (26.53 q/ha, #36), Djenah El khotaiïfa (26.91q/ha, #18), Polonicum (26.93 q/ha, #47) se distinguent globalement par une moindre capacité de production des épis en comparaison des variétés

plus récentes telles que Ofanto (41.14 q/ha, #41), Waha (38.91q/ha, #57), Massinissa (38.34 q/ha, #34) et Sarragola (37.70 q/ha, #50, Figure 13).

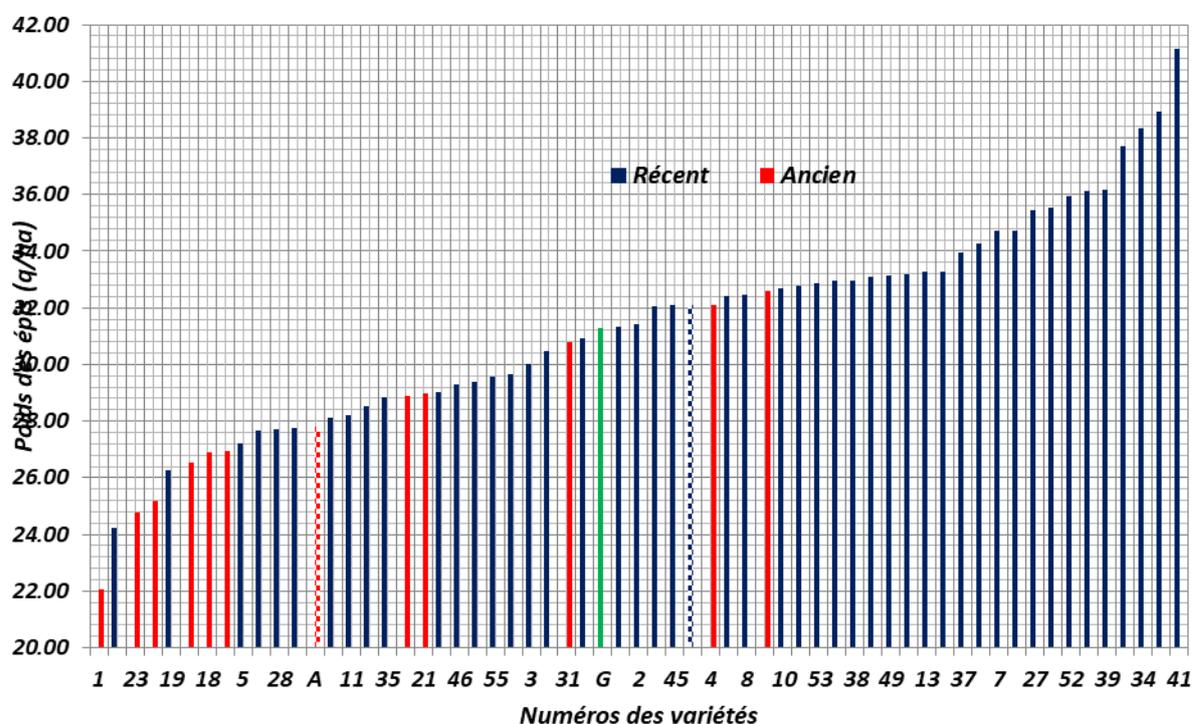


Figure 13. Valeurs moyennes de la variable poids des épis produite par les variétés récentes (bleu), anciennes (rouge), moyenne des récentes (R), moyenne des anciennes (A) et moyenne générale (G) des sources de germoplasme étudiées.

Certaines variétés récentes telles que Core (24.21q/ha, #17), Eider(26.28 q/ha, #19) et Benimestina (27.23 q/ha, #5) sont aussi moins bonnes pour cette variable que les variétés anciennes ci-dessus citées. Cependant les variétés anciennes Oued Zénati 368 (32.59 q/ha, #44), Beliouni (32.10 q/ha, #4), et Langlois (30.81 q/ha, #31) rivalisent avec certaines variétés récentes comme Bouselam (32.48 q/ha, #8), Inrat 69 (32.42 q/ha, #26) et Mrb (32.08 q/ha, #45, Figure 13).

1.4 Paille produite

L'analyse de la variance des valeurs prises par la paille produite indique des effets année, site et génotype significatifs et l'interaction site x années significative (Tableau 9). La campagne 2015/16 a permis une meilleure

production de la paille, moyenne des 58 génotypes évalués, que la campagne 2016/17, dont les moyennes respectives sont de 29.00 et 24.07 q/ha, avec une ppds5% de 1.47 q/ha. L'analyse de l'effet site indique, qu'en moyenne des deux campagnes et des 58 génotypes, le site expérimental du Khroub a été plus favorable à l'extériorisation de cette variable que le site de Sétif, dont les moyennes respectives, sont de 33.32 et 19.75 q/ha, la Ppds5% étant de 1.47 q/ha.

L'analyse de l'interaction site x années (Figure 14) indique un comportement contrasté des deux sites au cours des deux campagnes d'étude. En effet, au cours des deux campagnes le site du Khroub montre une stabilité remarquable de production de la paille avec des moyennes non significativement différentes de 33.22 et 33.43 q/ha, respectivement pour 2016 et 2017. Par contre le site de Sétif se montre très instable, affichant une production moyenne de paille de 24.78 en 2016, production qui chute à 14.71 q/ha, la campagne suivante (Figure 14). Au cours des deux campagnes, le site de Sétif montre une capacité de production de la paille significativement plus réduite que celle du site du Khroub. La ppds5% est 2.08 q/ha. L'analyse des valeurs variétales de la paille produite indique des différences significatives entre variétés de la même source ou de sources différentes. La moyenne globale (G) du germoplasme pour cette variable est de 26.54 q/ha, avec des variations allant d'un minimum de 19.91 q/ha mesuré chez la variété Kébir (#29) à un maximum de 39.71q/ha mesuré chez la variété Oued Zénati 368 (#44) et une amplitude 19.80 q/ha pour une ppds5% de 6.60 q/ha (Figure 15, Tableau 10).

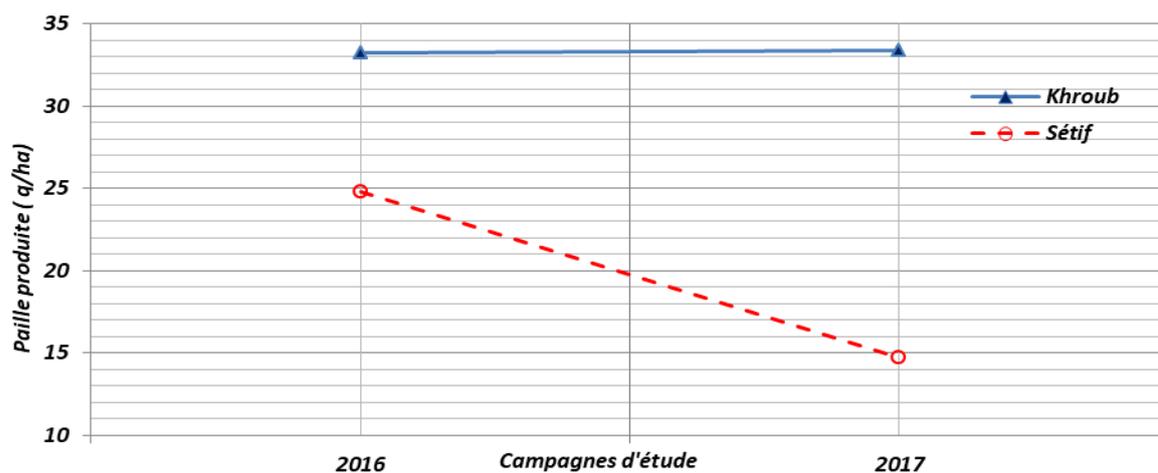


Figure 14. Interaction site x années de la paille (PLL) produite du germoplasme étudié.

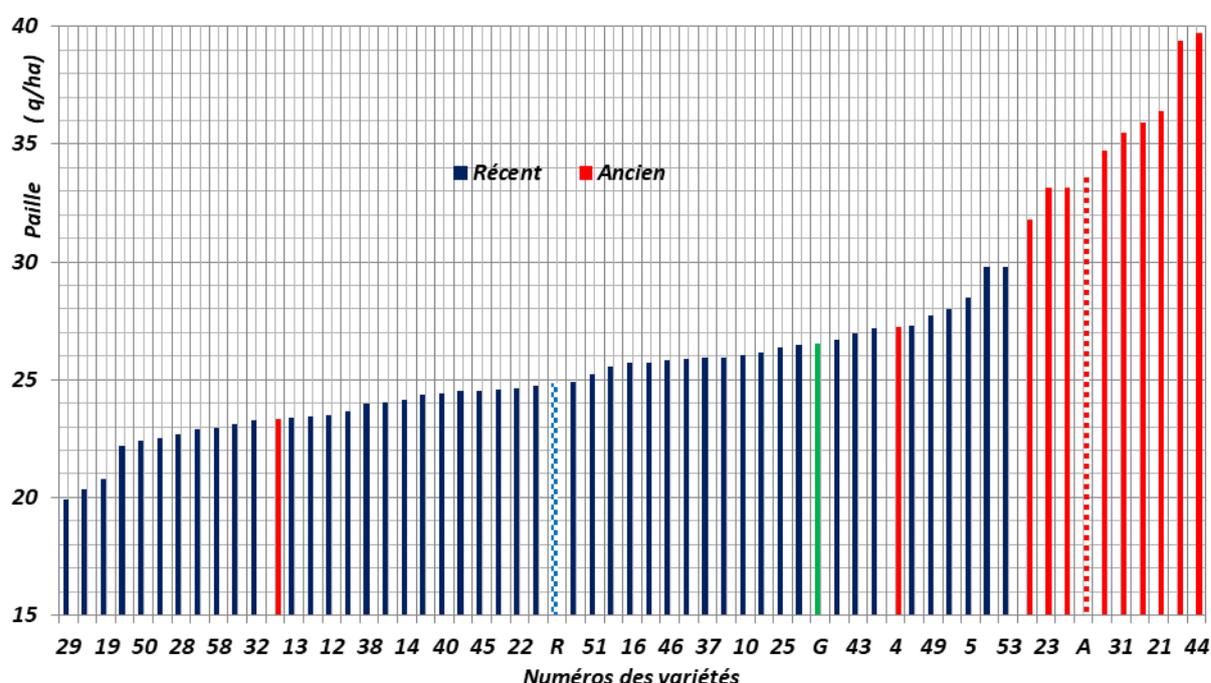


Figure 15. Valeurs moyennes de la paille produite par les variétés récentes (bleu), anciennes (rouge), moyenne des récentes (R), moyenne des anciennes (A) et moyenne générale (G) des sources de germoplasme étudiées.

La comparaison des moyennes représentatives des variétés anciennes (33.68 q/ha) et récentes (24.87 q/ha) indique une différence significative de 8.81 q/ha contre une Ppds5% de 6.60 q/ha. Cette différence suggère que globalement les variétés anciennes sont aptes à produire plus de paille que les variétés récentes. La distribution des valeurs moyennes variétales (Figure 15) indique cependant que les variétés anciennes notamment Beliouni (27.26

q/ha, #4), et Bidi 17 (23.35 q/ha, #6) se distinguent globalement par une moindre capacité de production de paille en comparaison avec les variétés plus récentes telles que Sigus (29.79 q/ha, #53) et Sahel (29.6 q/ha, #48, Figure 15, Tableau 10).

1.5 Hauteur de la végétation

L'analyse de la variance de la hauteur de la végétation indique des effets année, site et génotype significatifs, ainsi que l'interaction génotype x année (Tableau 9). Comme pour la production de la paille la campagne 2015/16 s'est caractérisée par une meilleure expression de la hauteur de la végétation avec une moyenne des 58 génotypes évalués, 81.48 cm, alors que la moyenne de la campagne 2016/17 n'est que de 58.62 cm, soit une différence de 22.86 cm pour une ppds5% de 3.42 cm. L'analyse de l'effet site indique, qu'en moyenne des deux campagnes et des 58 génotypes, le site expérimental du Khroub a été plus favorable à l'extériorisation de la hauteur de la plante que le site de Sétif, dont les moyennes respectives, sont de 74.44 et 65.65 cm, avec un écart de 8.79 cm, en faveur du site du Khroub et une Ppds5% de 3.42 cm.

L'analyse de l'effet génotype indique des différences significatives entre variétés de la même source ou de sources différentes. La moyenne globale (G) du germoplasme est de 70.05 cm (Tableau 10), avec des variations allant d'un minimum de 60.1 cm mesuré chez la variété Odesséo (#40) à un maximum de 99.31 cm mesuré chez la variété Djenah El Khotaïfa (#18), et une amplitude de 39.30 cm pour une ppds5% de 6.40 cm (Tableau 10, Figure 16). La comparaison des moyennes de la hauteur des variétés anciennes (85.52 cm) et récentes (66.43) indique une différence significative de 19.09 cm contre une Ppds5% de 6.60 cm. Cette différence suggère que globalement les variétés anciennes sont plus hautes que les variétés récentes (Figure 16). Cependant certaines variétés anciennes telles que Beliouni (70.64 cm, #4), et Bidi 17 (66.10 cm, #6) se distinguent par une hauteur proche de celle des variétés récentes comme Setifis (66.25 cm, #52) et Benimestina

(69.63 cm, #5, Figure 16, Tableau 10). La signification statistique de l'interaction génotype x années suggère que les différences pour la hauteur de la végétation, entre les variétés anciennes et récentes, s'amoindrissent en environnement non favorable pour s'exprimer pleinement sous conditions favorables (Figures 17 et 18).

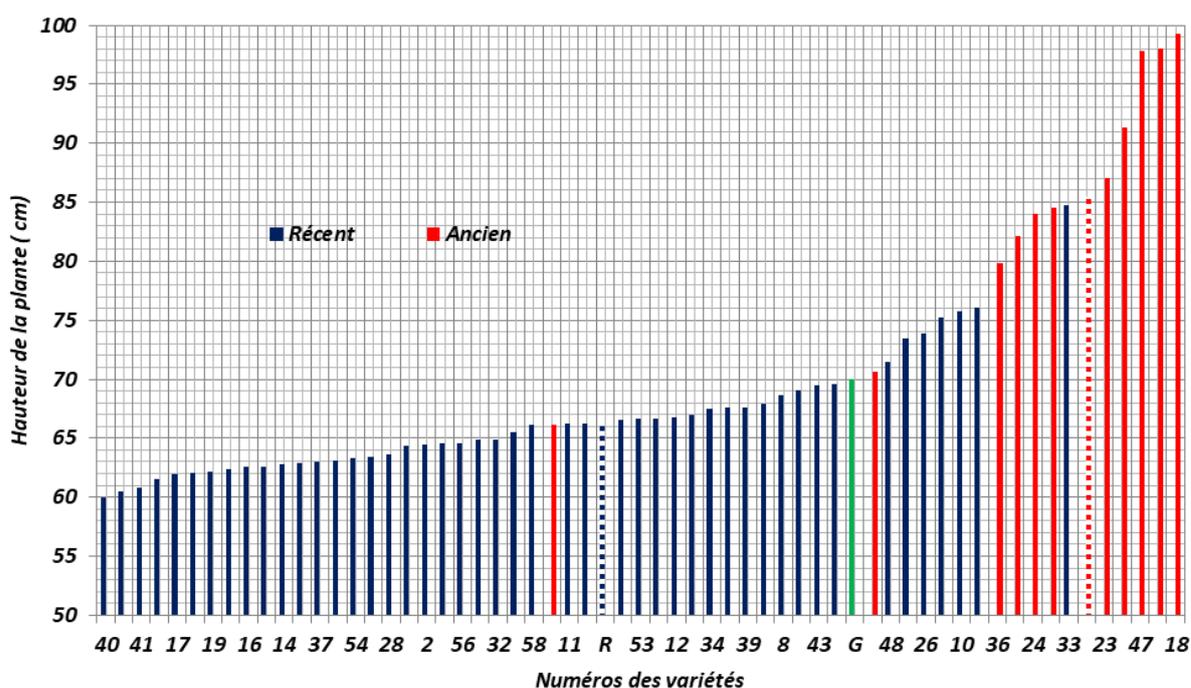


Figure 16. Valeurs moyennes de la hauteur de la plante des variétés récentes (bleu), anciennes (rouge), moyenne des récentes (R), moyenne des anciennes (A) et moyenne générale (G) des sources de germoplasme étudiées.

A ce sujet les résultats obtenus par Mohammadi *et al* (2015) montrent que la hauteur des plantes est un trait important responsable de l'interaction GE observée. Eid (2009) rapporte que la hauteur de la plante chez le blé est fortement affectée par la sécheresse, Cependant, les variétés adaptées aux environnements de stress hydrique sont généralement de petite taille, par rapport à celles qui se sont adaptées aux conditions d'humidité optimales (Foulkes *et al.*, 2004). De Vita *et al.*, (2007) rapportent que la réduction progressive de la hauteur des plantes associée à un indice de récolte élevé représente l'objectif principal de l'amélioration du blé dur en Italie.

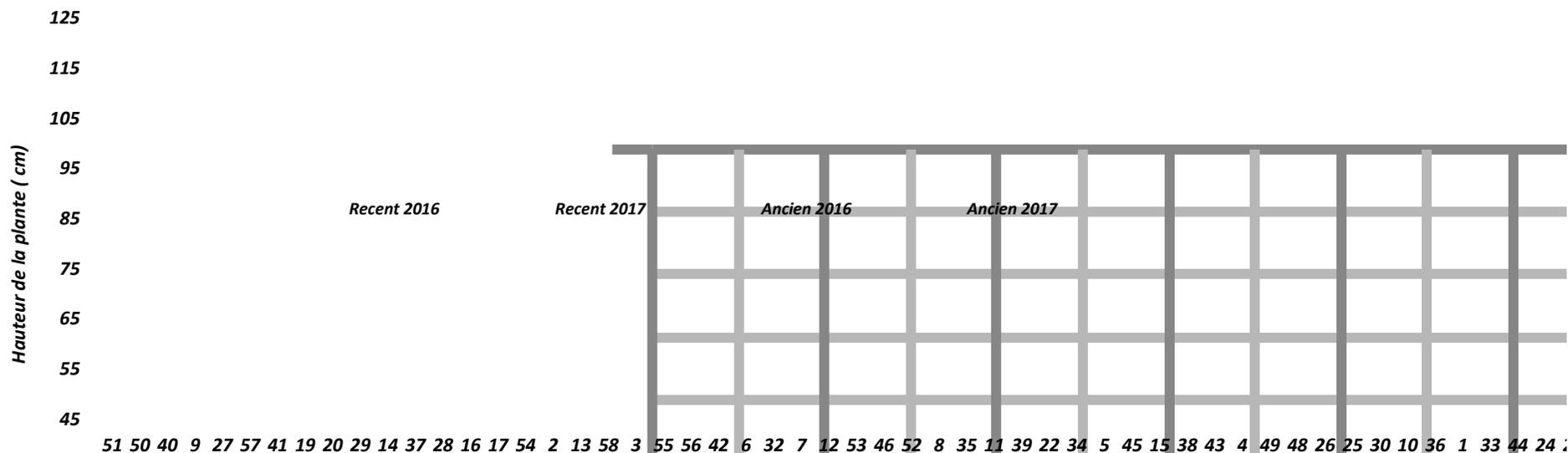


Figure 17. Interaction génotype x années : Valeurs moyennes de la hauteur de la plante des variétés récentes (bleu), anciennes (vert) de l'année 2016 et des variétés récentes (rouge), des anciennes (noire) de l'année 2017 des sources de germoplasme étudiées.

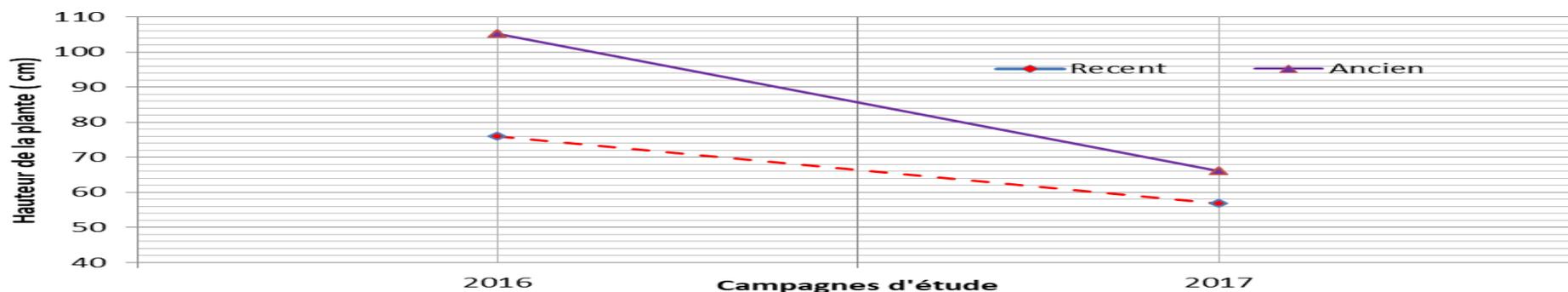


Figure 18. Interaction génotype x années : Valeurs moyennes de la hauteur de la plante des variétés récentes (bleu), anciennes (rouge) des sources de germoplasme étudiées.

1.6 Rendement économique

L'analyse de la variabilité du rendement économique indique un effet site significatif et des interactions site x années et site x années x génotypes significatives (Tableau 9). En effet en moyenne des deux sites et des 58 génotypes évalués, les moyennes du rendement économique des deux campagnes 2015/16 et 2016/17 sont respectivement de 26.17 et 25.2 q/ha, avec une Ppds5% de 2.97 q/ha. Les moyennes des sites du Khroub et de Sétif sont de 27.94 et 23.45 q/ha avec une ppds5% de 2.97 q/ha. L'absence d'un effet génotype significatif suggère peu de différences entre les différentes sources pour le rendement économique. En effet comparativement à la moyenne générale qui est de 25.70 q/ha, les moyennes des variétés récentes et anciennes sont respectivement de 25.93 et 24.70 q/ha pour une ppds5% de 6.56 q/ha (Tableau 10).

La répartition de cette variable est indiquée en figure 19. Cette figure indique que les extrêmes pour les variétés récentes sont les génotypes Core (20.64 q/ha, # 17) et Ofanto (33.65 q/ha, # 41), et ceux des variétés anciennes sont les génotypes Adjini (21.33 q/ha, # 1) et Oued Zénati 368 (29.05 q/ha, # 44). Le peu de différence entre sources de germoplasme pour cette caractéristique est aussi suggéré par la répartition homogène des variétés anciennes à l'intérieur de l'échantillon des variétés récentes (Figure 19).

L'étude de l'interaction site x années indique un comportement contrasté des deux sites en fonction des années. En effet au cours de la campagne 2015/16, les deux sites extériorisent des capacités similaires de rendement économique avec des moyennes de 24.19 et 28.16 q/ha, respectivement pour les sites du Khroub et de Sétif, soit un écart de 3.97 q/ha pour une ppds5% de 4.20 q/ha. Par contre au cours de la campagne suivante, la capacité de production du site du Khroub augmente à 31.68 q/ha, alors que celle du site de Sétif diminue à 18.75 q/ha soit un écart inter sites de 12.93 q/ha (Figure 20).

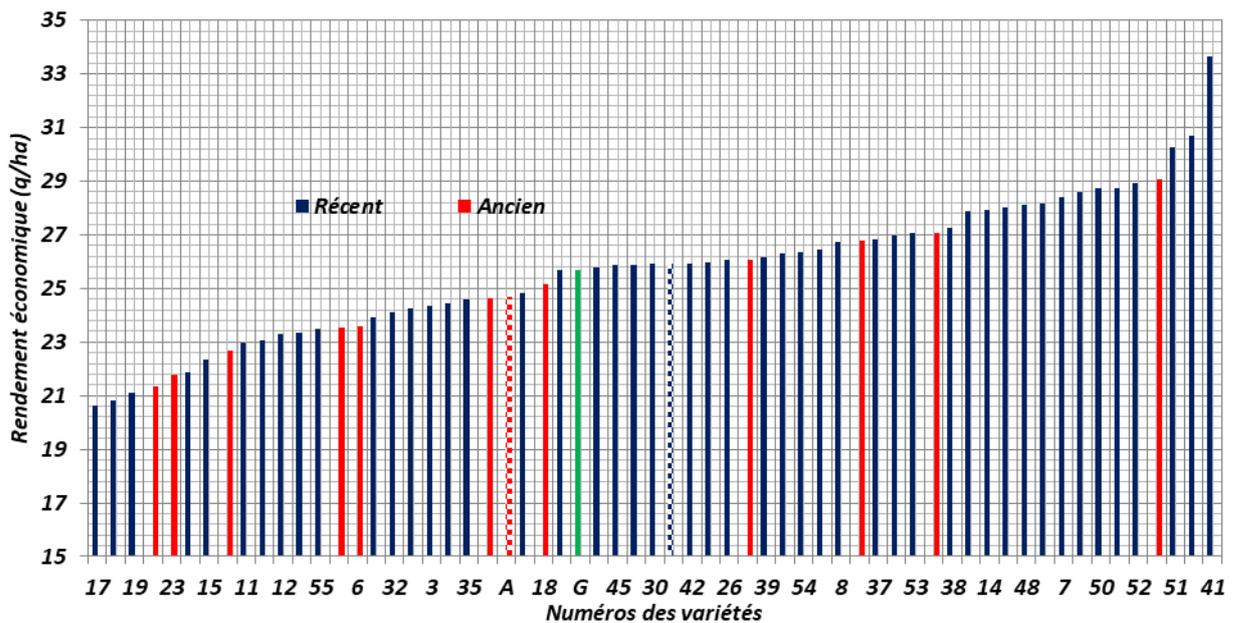


Figure 19. Valeurs moyennes du rendement économique des variétés récentes (bleu), anciennes (rouge), moyenne des récentes (R), moyenne des anciennes (A) et moyenne générale (G) des sources de germoplasme étudiées.

Ce comportement contrasté est dû à l'influence des conditions météorologiques qui ont été divergentes entre les deux sites expérimentaux pendant la deuxième année et plus exactement pendant les trois derniers mois de la campagne qui coïncident avec les phases critiques de la production de la biomasse ainsi que le commencement de la conversion de la biomasse en gain qui définit ensuite le rendement en grain.

Ces conditions étaient favorables au site du khroub pour l'expression d'un bon développement végétatif et un bon remplissage du grain sachant que le rendement économique est calculé comme la somme du rendement en grains plus 30% du rendement en paille, ceci est donné par une bonne répartition des pluies précipitées pendant cette période avec une quantité plus au moins suffisante, contrairement aux conditions de Sétif qui ont connu moins de précipitation pendant avril et mai puis une quantité considérable en juin, moment de la maturité physiologique, Ce qui peut nuire plus à la culture qu'elle n'en profite.

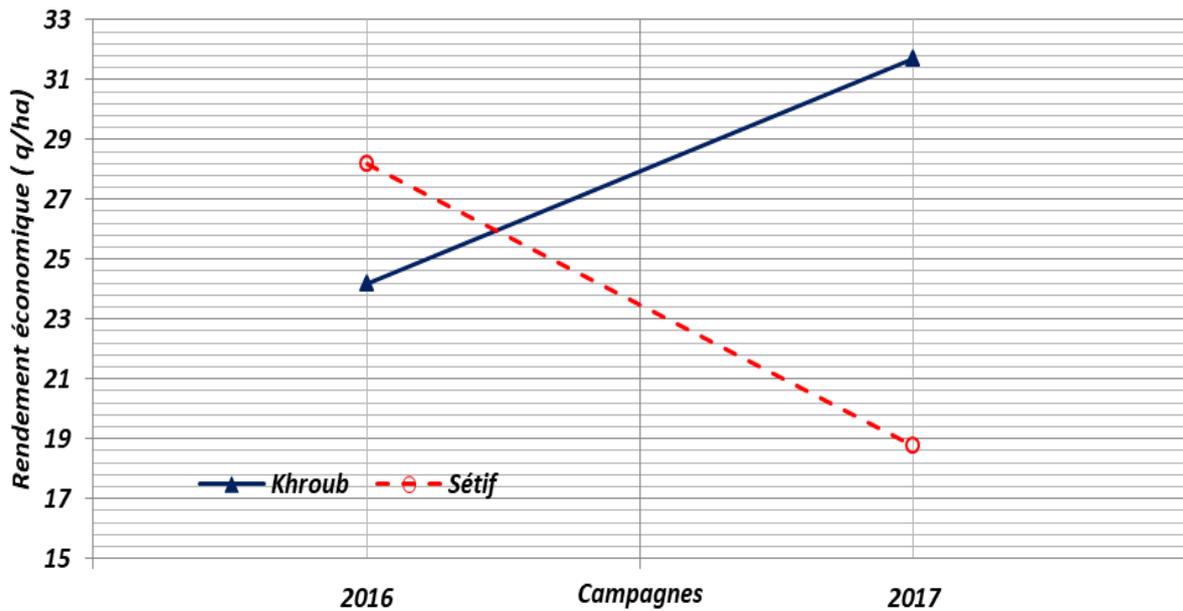


Figure 20. Interaction site x années : Valeurs moyennes du rendement économique des 58 variétés étudiées.

1.7 Indice de récolte

L'analyse de la variance de l'indice de récolte indique des effets site, année et génotype significatifs ainsi que l'interaction site x années (Tableau 9). En moyenne des deux sites et des 58 variétés les moyennes des deux années d'étude sont de 29.56 et 32.67% respectivement pour 2016 et 2017, avec une ppds5% de 3.42%. En moyenne des deux années et des 58 variétés les moyennes des deux sites expérimentaux sont de 26.64 et 35.29%, respectivement pour le site du Khroub et celui de Sétif, avec une ppds5% de 3.42%.

Ces résultats indiquent que l'année 2017 a été plus favorable à l'expression de l'indice de récolte sur le site du Khroub que sur celui de Sétif. L'analyse de l'interaction site x années indique qu'au cours de la campagne 2015/16 le site du Khroub s'est distingué par une faible valeur moyenne de l'indice de récolte (23.10%) significativement plus réduite que la valeur moyenne du site de Sétif (35.42%, écart de 12.33%, ppds5% de 4.84%). Par contre au cours de la campagne suivante, 2016/17, le site du Khroub

augmente sa moyenne à la valeur de 30.17% alors que le site de Sétif réussit une performance similaire à celle observée au cours de la campagne précédente (35.16%). L'analyse de l'effet génotype indique que la moyenne générale de l'expérimentation est de 30.97%. La moyenne minimale est de 19.3%, valeur moyenne de la variété Guemgoum Rkhem (# 23) et la valeur moyenne maximale est de 38.35% de la variété Karim (# 28). L'amplitude est de 18.62% et la ppds5% est de 4.36% (Tableau 10). La moyenne des variétés récentes est de 32.64% alors que celle des variétés anciennes est de 23.85% soit un écart inter source de germoplasme de 8.81%.

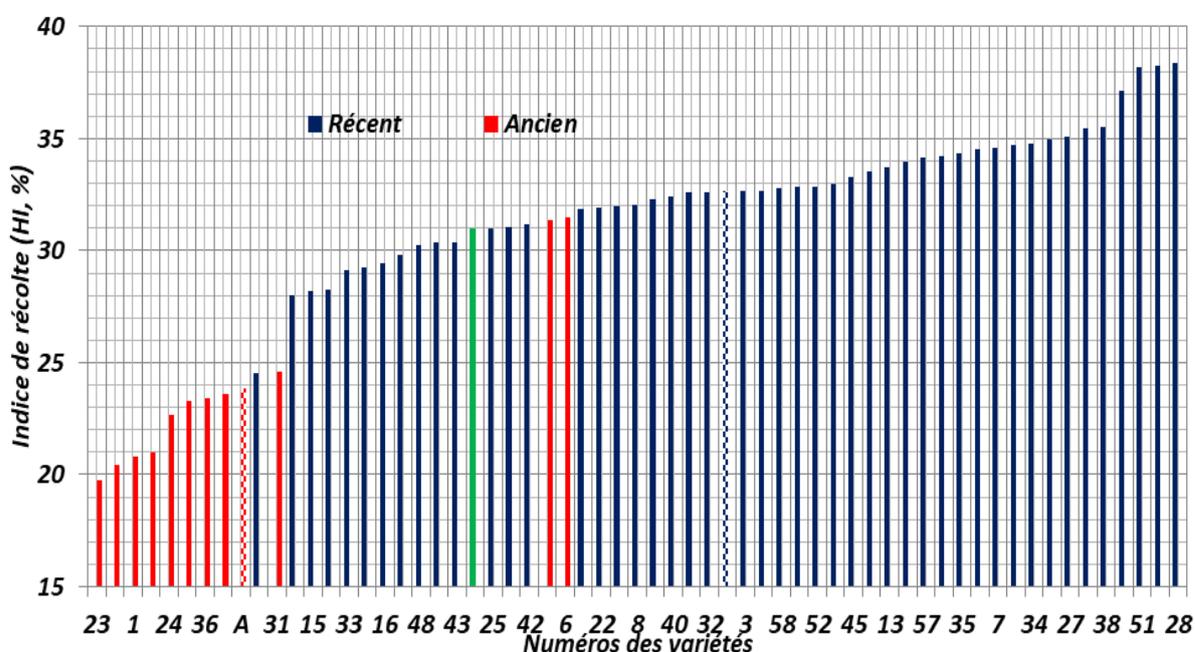


Figure 21. Valeurs moyennes de la variable indice de récolte des variétés récentes (bleu), anciennes (rouge), moyenne des récentes (R), moyenne des anciennes (A) et moyenne générale (G) des sources de germoplasme étudiées.

Ces résultats suggèrent que le matériel végétal local se différencie globalement du matériel végétal plus récent par un faible indice de récolte (Tableau 10, Figure 21). Cependant on note l'existence de certaines variétés anciennes comme Bidi 17(31.46%, # 6) et Beliouni (31.37%, # 4) qui extériorisent des valeurs de l'indice de récolte proches de celles qui caractérisent les variétés récentes comme Eider(31.87, # 19) ou Kébir (31.12%, # 29). Selon Pan et Deng (2007), l'indice de récolte est un indicateur d'évaluation important du

niveau de rendement des cultures et de l'effet de la culture. HI a une capacité héréditaire plus élevée, mais est influencé par la pratique agronomique. Certains facteurs, tels que les caractéristiques photosynthétiques des cultures, la structure du faisceau vasculaire, les caractères de l'épi, le niveau d'azote, la teneur en humidité, etc. y ont une grande influence. Selon une étude menée par Hay (1995) les valeurs des variétés modernes des cultures céréalières les plus intensivement cultivées se situent entre 0,4 et 0,6.

Dans la plupart des cas, l'amélioration de l'indice de récolte est une conséquence de l'augmentation de la densité de la population céréalière associée à un poids de grain individuel stable. Dai *et al* (2016) dans une étude qui vise comme objectif de déterminer s'il existe des différences de rendement en paille et d'indice de récolte (HI) entre et au sein des régions et/ou des classes de blé rapportent que les différences dans la quantité de précipitations et les cultivars ont été les principaux contributeurs à la variation détectée au sein des classes de blé.

L'augmentation progressive observée de l'indice de récolte de blé au cours des dernières décennies est principalement le résultat de l'introduction de gènes nains qui ont réduit la longueur de la paille et augmenté le potentiel de rendement en grains et la réponse aux engrais azotés en raison de la verse réduite (Dai *et al.*, 2016). Selon Dai *et al.* (2016) les valeurs HI représentatives des variétés modernes de blé se situent généralement entre 0,3 et 0,6. Ces dernières sont de loin très supérieures à celles trouvées dans la présente étude qui sont comprises entre 0.29 et 0.38 pour les variétés modernes.

Engel *et al.* (2003) ont rapporté des effets significatifs des cultivars, des régimes hydriques et des niveaux de l'azote sur le HI dans le blé de force roux de printemps. HI était également connu pour être affecté par les stress abiotiques et les dates de semis (Akram, 2011., Donaldson *et al.*, 2001).

Dai *et al.* (2016) rapportent que les facteurs environnementaux, notamment la température de l'air et les précipitations, exercent une influence sur le HI et les rendements. Les différences climatiques entre les sites, en particulier l'humidité disponible, peuvent donc contribuer de manière significative à la variabilité des paramètres HI et de rendement au sein de la classe de blé.

1.8 Longueur de l'épi

La longueur de l'épi présente des effets année, site et génotype significatifs, ainsi que l'interaction site x années (Tableau 9). Les moyennes prises par cette variable sont de 7.49 cm en 2016 et 6.45 cm en 2017, avec une ppds5% de 0.29 cm. Les moyennes des sites expérimentaux du Khroub et de Sétif sont respectivement de 7.34 cm et 6.60 cm. L'analyse de l'interaction site x années indique que l'écart inter sites (1.00 cm) de la longueur de l'épi est plus élevé en 2016 comparativement à l'écart observé en 2017 (0.49 cm), pour une ppds5% de 0.41 cm. Les moyennes observées sont de 7.99 et 6.99 pour Khroub et Sétif, en 2016, et 6.70 et 6.21 cm, en 2017, pour les deux sites, dans l'ordre cité ci-dessus. La ppds5%, dans ce cas, est de 0.41 cm. Ceci suggère une interaction de nature non cross over ou de nature quantitative, selon Baker (1969). La distribution des valeurs moyennes de la longueur de l'épi varie, de part et d'autre, de la moyenne générale de 6.98 cm, d'un minimum de 5.89 cm, moyenne de la variété Inrat 69 (# 26) à un maximum de 8.53 cm, moyenne de la variété Polonicum (# 47). L'écart entre les valeurs extrêmes est de 2.64 cm pour une ppds5% de 0.53 cm (Tableau 10, Figure 22).

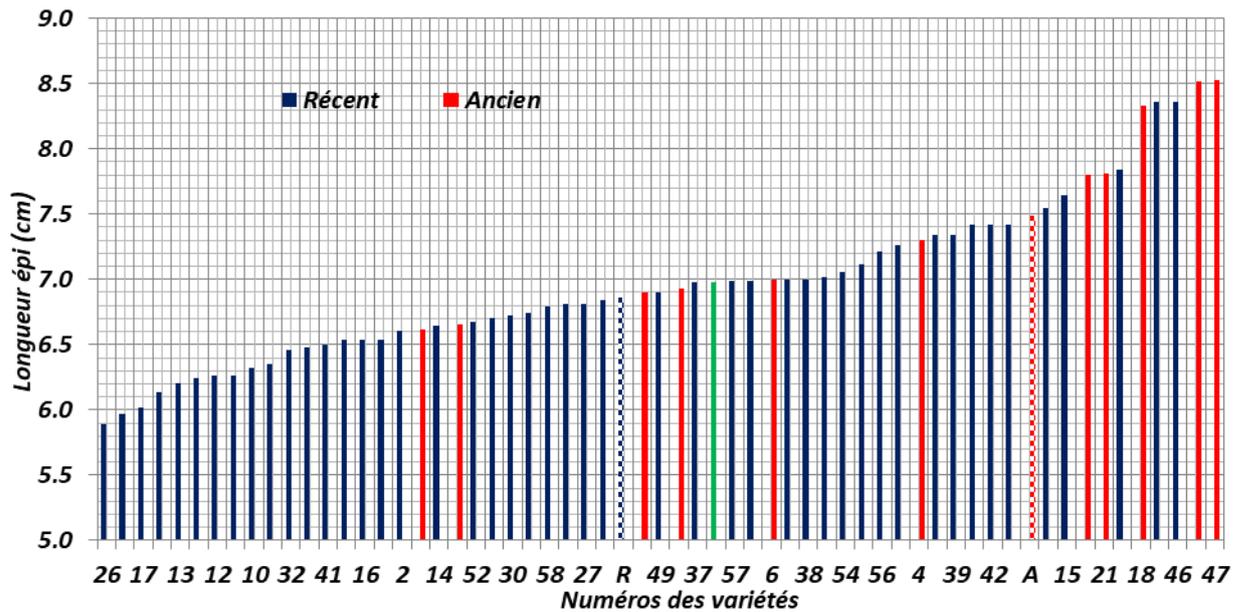


Figure 22. Valeurs moyennes de la variable indice de récolte des variétés récentes (bleu), anciennes (rouge), moyenne des récentes (R), moyenne des anciennes (A) et moyenne générale (G) des sources de germoplasme étudiées.

La comparaison de la moyenne des variétés anciennes (7.49 cm) à la moyenne des variétés récentes (6.86 cm) indique un écart inter-sources de 0.63 cm pour une ppds5% de 0.56 cm, suggère un avantage significatif des variétés anciennes par rapport aux variétés récentes pour cette caractéristique (Tableau 10, Figure 22). La lecture de la figure 22 indique cependant l'existence de la variabilité au sein des deux sources de germoplasme pour la longueur de l'épi. En effet les variétés anciennes dont les épis sont les plus longs sont Djenah el Khotaiifa (8.33 cm, #18), Langlois (8.51 cm, # 31), et Polonicum (8.52 cm, # 47) et celles dont l'épi est court sont Adjini (6.61 cm, #1), MBB (6.65 cm, # 36), et Hedba3 (6.90 cm, # 24). La variabilité existe aussi au sein des variétés récentes, vu que certaines variétés telles que Mrb (7.84 cm, #45), Orjaune (8.36 cm, # 43), et Poggio (8.36 cm, # 46) ont un long épi. Maniee *et al* (2009) rapportent des valeurs moyennes des génotypes de blé dur anciennes et modernes testés pour la longueur de l'épi variant de 6.10 à 13.77 cm avec une moyenne de 7.90 cm. Ces dernières sont nettement plus élevées de ce qui a été enregistré dans la présente étude. La différence entre le coefficient de variation phénotypique et génotypique est

petite suggérant l'effet minime de l'environnement sur son expression, ce qui ne corrobore pas avec les résultats de la présente étude qui présentent un effet significatif de l'interaction site x années. Mohammadi *et al* (2018) suggèrent que les relations entre les caractères en 2011/12 n'étaient pas similaires à celles de 2010/11, ce qui indiquait une réponse différentielle des génotypes aux saisons de culture.

1.9 Surface de la feuille étendard

L'analyse de la variance de la surface de la feuille étendard indique des effets principaux année, site et génotype significatifs ainsi que les interactions site x années, génotype x années et génotype x années x sites (Tableau 9). Ces résultats suggèrent l'existence de différences significatives entre variétés, sites et années pour cette caractéristique. Le comportement variétal de ce caractère est aussi dépendant du couple année x site. Les valeurs moyennes observées par année sont de 28.92 et 12.83 cm² pour les campagnes 2015/16 et 2016/17, respectivement montrant un écart inter campagnes de 16.08 cm² et une ppds5% de 1.54 cm². La campagne 2015/16 s'est montrée plus favorable au développement d'une surface de la feuille étendard plus grande. Le site du Khroub a développé une surface foliaire plus élevée que celle mesurée sur le site de Sétif. Les valeurs moyennes de ces deux sites sont respectivement de 24.52 et 17.22 cm² pour le Khroub et Sétif, avec un écart inter sites de 7.30 cm² et une ppds5% de 1.54 cm². L'analyse de l'interaction site x années montre que la surface foliaire développée a fortement décliné au cours de la deuxième année d'étude, et d'une manière plus importante sur le site du Khroub que sur le site de Sétif. En effet, sur le Site du Khroub, la surface foliaire moyenne chute d'une valeur de 35.12 cm² en 2016 à une valeur de 13.92 cm², soit un écart inter- années de 21.20 cm², alors que sur le site de Sétif, cet écart n'est que 11.00 cm², pour des moyennes de 22.73 et 11.73 cm² développées au cours des campagnes 2015/16 et 2016/17, respectives et une ppds5% de 2.18 cm².

Les valeurs moyennes variétales varient, de part et d'autre, d'une moyenne générale de 20.87 cm, d'une valeur minimale de 16.93 cm² de la

variété Eider(# 19) à une valeur maximale de 28.42 cm² mesurée chez la variété Oued Zénati 368 (# 44), soit une amplitude de 11.49 cm pour une ppds5% de 3.68 cm² (Figure 23, Tableau 10). Comparant les moyennes des variétés anciennes (22.36 cm²) aux variétés récentes (20.53 cm²), l'écart entre sources de germoplasme n'est que de 1.83 cm² à comparer à une ppds5% de 3.68 cm², ce qui suggère que les deux sources divergent globalement peu pour cette caractéristique.

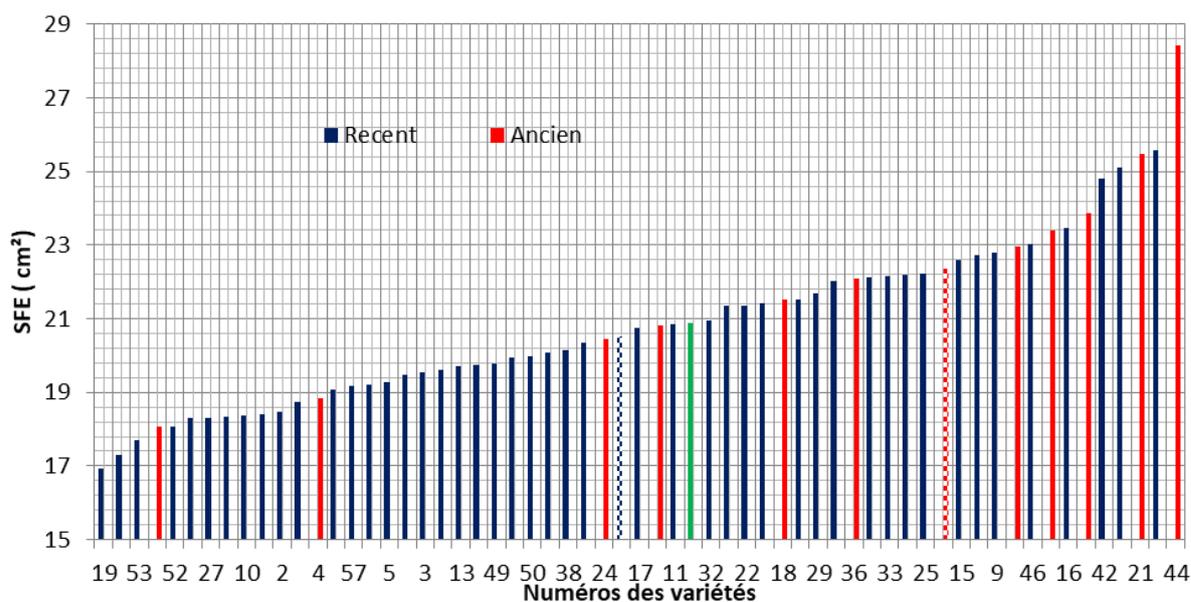


Figure 23. Valeurs moyennes de la surface de la feuille étendard des variétés récentes (bleu), variétés anciennes (rouge), moyenne des récentes (R), moyenne des anciennes (A) et moyenne générale (G) des sources de germoplasme étudiées.

On note cependant une variabilité appréciable à l'intérieure de chaque source. En effet les valeurs moyennes des variétés anciennes varient d'un minimum de 18.08 cm² (Bidi17,# 6) à un maximum de 28.42 cm² (Oued Zénati 368,#44). Les moyennes des variétés récentes varient d'un minimum de 15.82 cm² (ider, #19) à un maximum de 25.56 cm² (Inrat69,#26, Tableau 10, Figure 23). Ces amplitudes sont largement significatives en comparaison à la ppds5% de 3.68 cm². La signification statistique de l'interaction génotype x années suggère que les différences entre variétés, de la surface de la feuille étendard, et entre les variétés anciennes et récentes, sont relativement plus

faibles en environnement non favorable et deviennent plus importantes sous conditions favorables (Figures 24 et 25).

Tableau 9. Carrés moyens de l'analyse de la variance de la biomasse aérienne (BIO, q/ha), du poids des épis (PNE, q/ha), de la paille produite(PLL, q/ha), de la hauteur de la végétation (PHT, cm), du rendement économique (RDT éco, q/ha), de l'indice de récolte (HI, %) de la surface de la feuille étandard (SFE, cm²) et la longueur de l'épi (LE, cm) de l'ensemble du germoplasme étudié.

Source	Ddl	BIO	PNE	PLL	PHT	RDTeco	HI	SFE	LE
An (A)	1	4410.39*	0.35ns	4232.92**	90859.40**	160.35ns	2021.15*	45092.40**	186.35**
Site(S)	1	44467.80**	1055.21ns	32070.30**	13427.40**	3499.36**	13034.00**	9251.27**	96.72**
A x S	1	31417.10**	12120.80**	4603.08**	0.46ns	12420.20**	2337.33*	4513.75**	10.91ns
Rep/AxS	8	663.39**	573.43**	71.13ns	382.28**	289.96**	384.79**	78.01**	2.77**
Gen (G)	57	327.27ns	178.37**	242.29**	1162.71**	84.24ns	256.07**	65.36**	4.93**
G x A	57	143.64ns	52.38ns	38.94ns	310.28**	44.48ns	39.19ns	36.25*	0.54ns
G x S	57	170.21ns	90.81ns	31.34ns	53.82ns	47.26ns	31.63ns	22.89ns	0.69ns
G x A x S	57	239.27ns	87.44ns	65.17ns	61.28**	64.317*	28.47*	20.23**	0.47ns
Résiduelle	456	179.93	67.61	38.40	32.23	45.32	19.44	12.54	0.50

BIO= Biomasse aérienne (q/ha), PNE= poids des épis (q/ha), PLL= poids du chaume (q/ha), PHT= Hauteur de la plante (cm), RDTeco= Rendement économique (q/ha), HI= Indice de récolte (%), SFE= Surface de la feuille étandard (cm²), LE= Longueur de l'épi (cm)

Tableau 10. Valeurs moyennes, maximales, minimales, amplitudes, coefficient de variation et plus petite différence significative de la biomasse aérienne (BIO, q/ha), du poids des épis (PNE, q/ha), de la paille produite (PLL, q/ha), de la hauteur de la végétation (PHT, cm), du rendement économique (RDTéco, q/ha), de l'indice de récolte (HI, %) de la surface de la feuille étendard (SFE, cm²) et de la longueur de l'épi (LE, cm) des deux sources de germoplasme étudiées.

Caractère	Germoplasme	Moyenne	Maximum	Minimum	Amplitude	CV%	Ppds5%
BIO (q/ha)	Global (n=58)	57.78	72.29	44.56	27.72	9.04	
	Récent (n=47)	56.96	67.62	44.56	23.06	8.26	
	Ancien (n=11)	61.29	72.29	52.26	20.03	9.91	12.64
PE (q/ha)	Global (n=58)	31.27	41.14	22.05	19.10	12.33	
	Récent (n=47)	32.08	41.14	24.21	16.93	11.05	
	Ancien (n=11)	27.80	32.59	22.05	10.55	11.68	7.64
PLL (q/ha)	Global (n=58)	26.54	39.71	19.91	19.80	16.93	
	Récent (n=47)	24.87	29.79	19.91	9.88	8.82	
	Ancien (n=11)	33.68	39.71	23.35	16.36	14.48	6.60
HT (cm)	Global (n=58)	70.05	99.31	60.01	39.30	14.05	
	Récent (n=47)	66.43	84.73	60.01	24.72	7.33	
	Ancien (n=11)	85.52	99.31	66.10	33.21	12.70	6.40
RDT _{Eco} (q/ha)	Global (n=58)	25.70	33.65	20.64	13.01	10.31	
	Récent (n=47)	25.93	33.65	20.64	13.01	10.31	
	Ancien (n=11)	24.70	29.06	21.34	7.72	9.72	6.56
HI (%)	Global (n=58)	30.97	38.35	19.73	18.62	14.92	
	Récent (n=47)	32.64	38.35	24.56	13.79	8.62	
	Ancien (n=11)	23.85	31.46	19.73	11.73	16.93	4.36
SFE (cm ²)	Global (n=58)	20.87	28.42	16.93	11.49	11.18	
	Récent (n=47)	20.53	25.56	16.93	8.63	9.98	
	Ancien (n=11)	22.36	28.42	18.08	10.34	13.25	3.68
LE (cm)	Global (n=58)	6.98	8.53	5.89	0.64	9.19	
	Récent (n=47)	6.86	8.36	5.89	0.56	8.17	
	Ancien (n=11)	7.49	8.53	6.62	0.74	9.83	0.56

BIO= Biomasse aérienne (q/ha), PNE= poids des épis (q/ha), PLL= poids du chaume (q/ha), PHT= Hauteur de la plante (cm), RDTeco= Rendement économique (q/ha), HI= Indice de récolte (%), SFE= Surface de la feuille étendard (cm²), LE= Longueur de l'épi (cm).

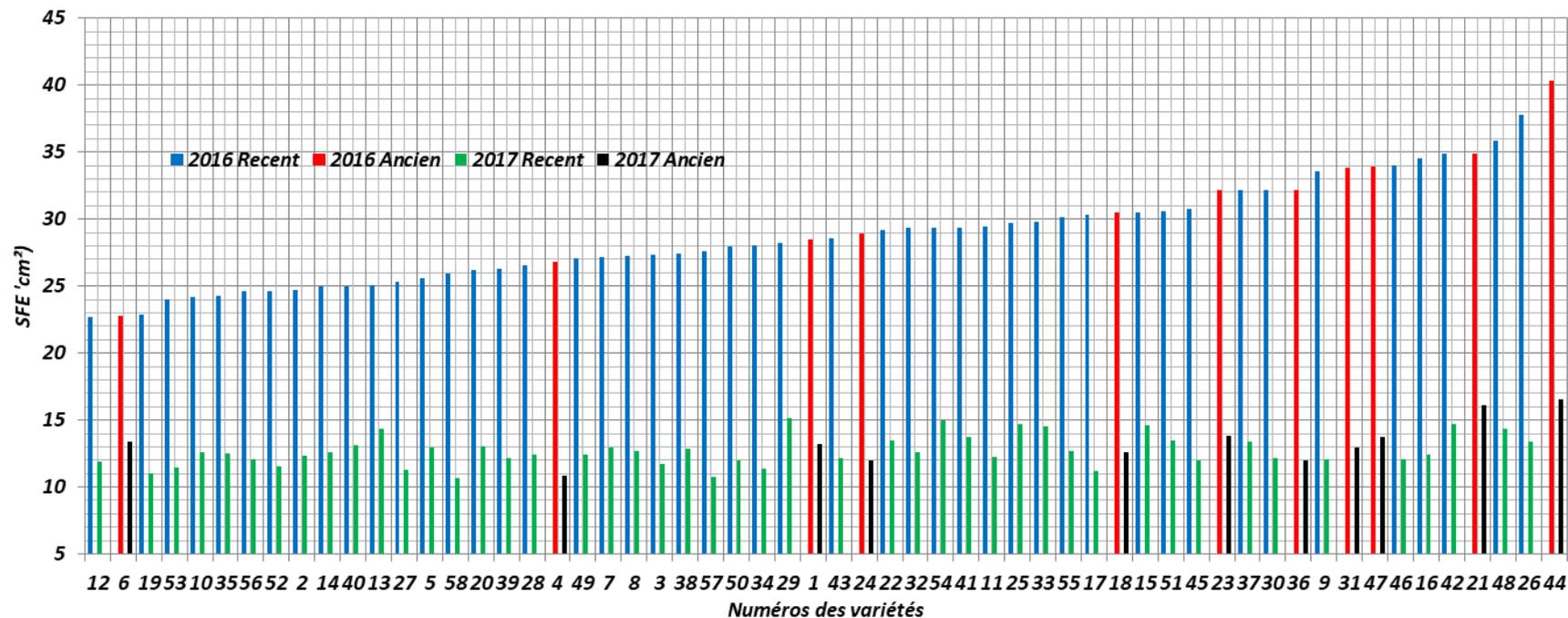


Figure 24. Interaction génotype x années : Variation des valeurs moyennes de la surface de la feuille étendard des variétés récentes (bleu), anciennes (vert) de l'année 2016 et des variétés récentes (rouge), des anciennes (noire) de l'année 2017.



Figure 25. Interaction génotype x années : Valeurs moyennes de la surface de la feuille étandard des variétés récentes (bleu) et anciennes (rouge) lors des deux campagnes étudiées.

1.10 Rendement en grains

L'analyse de la variance du rendement en grains présente un effet génotype significatif ainsi que des interactions site x années et génotype x sites x années significatives (Tableaux 11, 12, Figure 26). Les rendements moyens des deux années sont de 17.47 et 17.99 q/ha, respectivement pour 2016 et 2017, soit un écart inter années non significatif de 0.51 q/ha pour une ppds5% de 3.00 q/ha. Les moyennes de rendement des sites expérimentaux sont de 17.94 et 17.53 q/ha, respectivement pour le site du Khroub et celui de Sétif. L'écart de rendement inter sites est non significatif, prenant une valeur de 0.41 q/ha pour une ppds5% de 3.00 q/ha.

L'analyse de l'interaction site x années indique des comportements très contrastés des deux sites au cours des deux années étudiées. En effet lors de la première année, le site de Sétif se montre plus favorable à l'extériorisation du rendement, avec 20.72 q/ha contre 14.23 q/ha pour le site du Khroub, soit un écart de rendement inter sites de 6.49 q/ha contre une ppds5% de 4.25 q/ha. Par contre, au cours de l'année qui suit, on observe le comportement inverse où c'est le site du Khroub qui se montre favorable à l'expression d'un

bon rendement en grains comparativement au site de Sétif. Les moyennes de rendement en grains sont de 21.66 et 14.34 q/ha, respectivement pour Khroub et Sétif ; soit un écart de rendement inter sites de 7.32 q/ha, pour une ppds5% de 4.25 q/ha.

Les différences entre les moyennes de l'ensemble du germoplasme (3.97 q/ha), des variétés anciennes (14.50 q/ha) et des variétés récentes (18.47 q/ha) restent inférieures au seuil de signification représenté par la ppds5% qui est 5.16 q/ha (Tableau 12). Ces résultats suggèrent l'absence de différences significatives entre les moyennes de rendement des variétés anciennes et des variétés récentes.

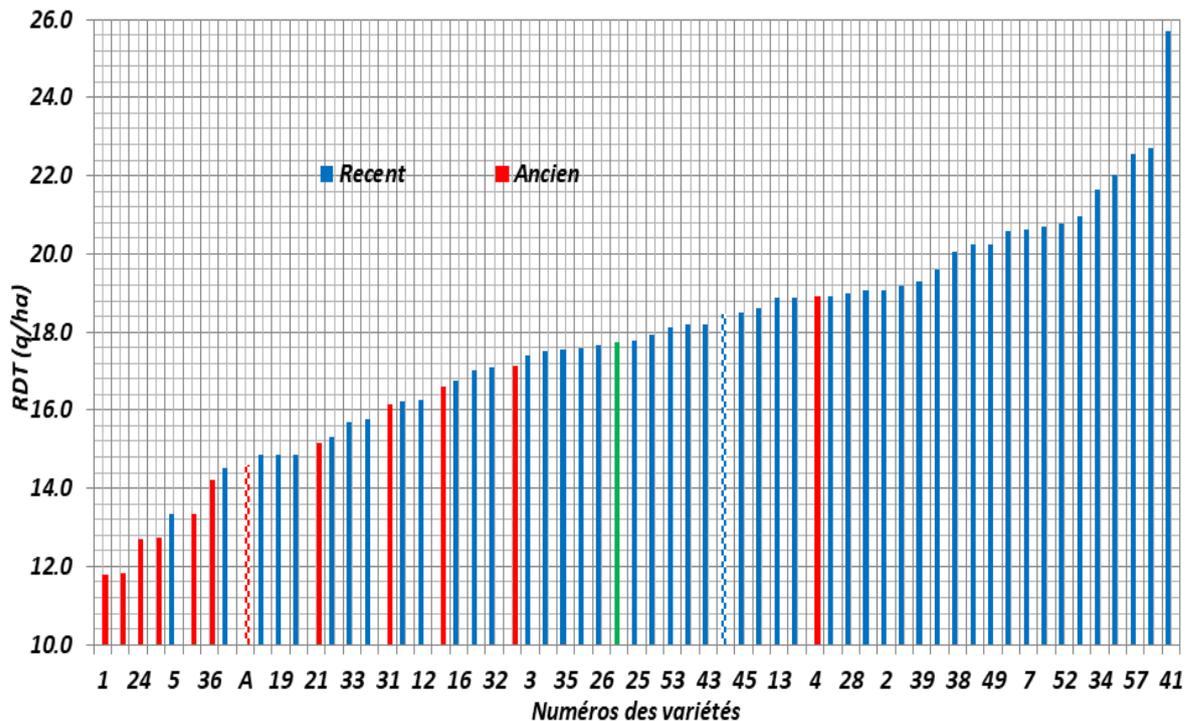


Figure 26. Valeurs moyennes du rendement en grains des variétés récentes (bleu), variétés anciennes (rouge), moyenne des récentes (R), moyenne des anciennes (A) et moyenne générale (G, vert) des sources de germoplasmes étudiées.

La tendance suggérée par la figure 26, indique cependant que les variétés anciennes, en moyenne, présentent un potentiel de rendement en grains moins élevé que les variétés récentes, dont le maximum de rendement est de 25.70 q/ha (Ofanto, # 4). En plus l'amplitude entre les moyennes

extrêmes des variétés anciennes est relativement plus faible (7.10 q/ha) que celle entre les extrêmes des variétés récentes (12.37 q/ha, Tableau 12, Figure 26). Le maximum de rendement en grains affiché par les variétés anciennes est de 18.90 q/ha, représentant la performance de la variété Beliouni (# 4, Figure 26). L'analyse de l'interaction génotype x sites x années indique un comportement variétal très varié. Ainsi certaines variétés se montrent très instables d'un environnement à l'autre (environnement dans le sens site x années) alors que d'autres se montrent plutôt plus régulières

1.11 Nombre d'épis

L'analyse de la variance du nombre d'épis par m² indique des effets principaux année, site et génotype significatifs ainsi que l'interaction site x années (Tableaux 11, 12, Figure 27). Ces résultats suggèrent l'existence de différences significatives entre variétés, sites et années pour cette caractéristique. Les valeurs moyennes observées par année sont de 157.22 et 297.02 épis/m² respectivement pour les campagnes 2015/16 et 2016/17, avec un écart inter campagnes de 139.08 épis/m² et une ppds5% de 27.59 épis/m². La campagne 2016/17 s'est montrée plus favorable à la production des épis. Le site du Khroub a extériorisé un nombre d'épis/m² plus élevé que le site de Sétif. Les valeurs moyennes de ces deux sites sont respectivement de 250.58 et 203.57 épis/m² pour le Khroub et Sétif, avec un écart inter sites de 47.11 épis/m² et une ppds5% de 27.59 épis/m².

L'analyse de l'interaction site x années montre que les deux sites produisent des nombres d'épis/m² équivalents au cours de la campagne 2015/16, avec des moyennes de 143.98 pour Khroub et 170.47 pour Sétif (écart non significatif de 26.48 pour une ppds5% de 39.01 d'épis/m²). Au cours de la campagne suivante (2016/17), la production des épis augmente sur les deux sites (357.37 épis/m², au Khroub contre 236.65 à Sétif), mais de manière plus importante sur le site du Khroub que sur le site de Sétif (écart inter sites significatif de 120.72 épis/m², en faveur du site du Khroub, pour une ppds5% de 39.01 d'épis/m²) engendrant une interaction site x années significative.

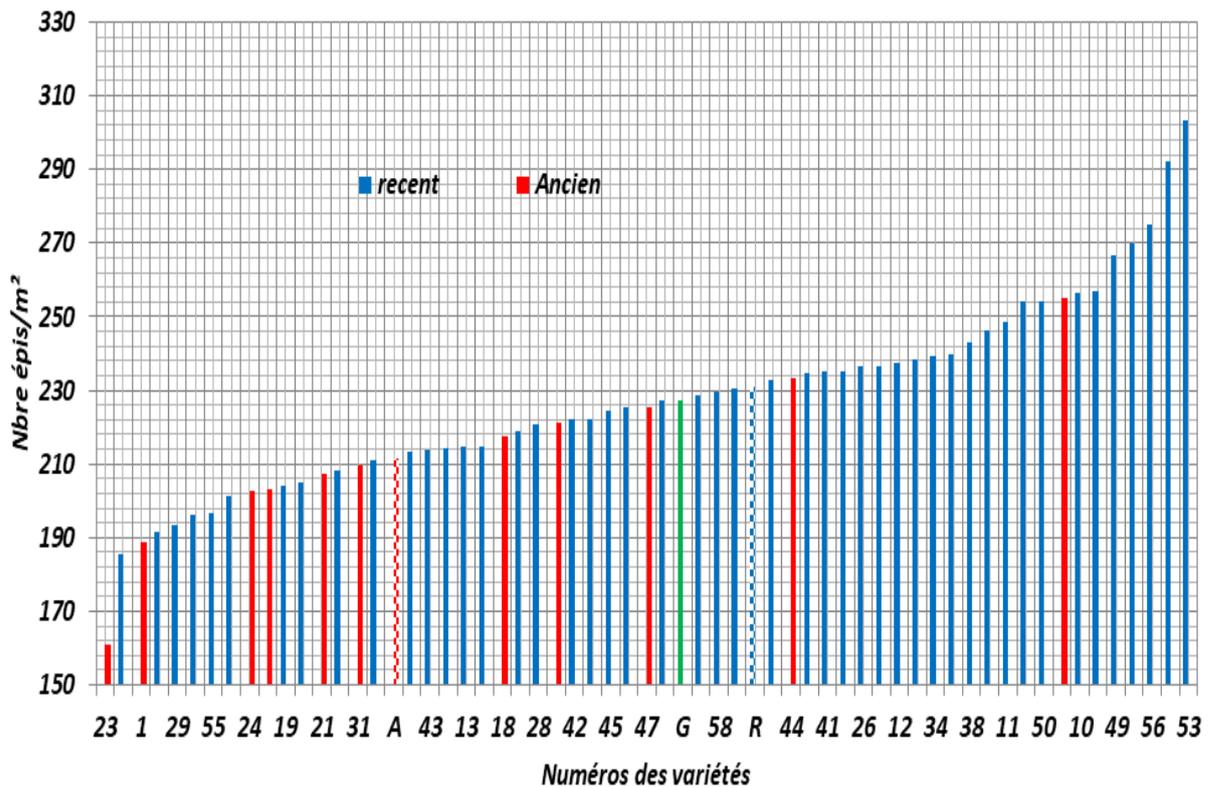


Figure 27. Valeurs moyennes du nombre d'épis/m² des variétés récentes (bleu), variétés anciennes (rouge), moyenne des récentes (R), moyenne des anciennes (A) et moyenne générale (G) des sources de germoplasme étudiées.

Les valeurs moyennes variétales varient, de part et d'autre, de la moyenne générale de 227.12 épis/m², d'une valeur minimale de 160.82 épis/m² de la variété Guemgoum Rkhem (# 23) à une valeur maximale de 303.54 épis/m² de la variété Sigus (# 53), soit une amplitude de 142.71 épis/m² avec une ppds5% de 49.47 épis/m² (Tableau 13, Figure 27). La comparaison des moyennes des variétés récentes (230.80 épis/m²) à celle des variétés anciennes (211.42 épis/m²) indique un écart inter sources de germoplasme non significatif de 19.38 épis/m². Les variétés occupant les positions extrêmes sont Mansoura (# 32), avec 185.42 épis/m² et Sigus (# 53), avec 303.54 épis/m², chez les variétés récentes. Chez les variétés anciennes ces valeurs moyennes sont 160.83 épis/m² chez Guemgoum Rkhem (# 23) et de 255.00 épis/m², chez Belioni (# 4). Les écarts intra source de germoplasme sont de 118.13 et 94.17 épis/m² chez les variétés récentes et anciennes respectivement, suggérant

plus de variabilité chez les variétés récentes pour cette caractéristique (Tableau 13, Figure 27).

1.12 Nombre de grains par épi

L'analyse de la variance du nombre de grains/épi indique uniquement des effets principaux année et génotypes significatifs (Tableau 12). Ces résultats suggèrent l'existence de différences significatives entre variétés et années pour cette caractéristique. Les valeurs moyennes observées par année sont de 27.31 et 17.80 grains/épi, respectivement pour les campagnes 2015/16 et 2016/17, avec un écart inter campagnes de 09.52 grains/épi et une ppds5% de 2.00 grains/épi. La campagne 2015/16 s'est montrée plus favorable à la fertilité épi. Les valeurs moyennes par site sont 21.82 grains/épis pour le site du Khroub et de 23.29 grains/épi pour le site de Sétif. L'écart inter sites est non significatif et de 1.47 grains/épi et une ppds5% de 2.00 grains/épi.

La moyenne générale du nombre de grains/épi est de 22.56 grains/épi. La valeur minimale de cette variable est observée chez Guemgoum Rkhem (15.42 grains/épi, # 23) et la valeur maximale est notée chez Ofanto (28.15 grains/épi, # 41). L'amplitude entre ces valeurs extrêmes est de 13.03 grains /épi comparée à la ppds5% de 3.71 grains/épi (Tableau 13, Figure 28). La comparaison de la moyenne des variétés anciennes (19.41 grains/épi) à celle des variétés récentes (23.30 grains /épi) indique un écart inter sources de germoplasme significatif de 3.89 grains/épi, en faveur des variétés récentes, pour une ppds5% de 3.71 grains /épi. Cet écart significatif suggère que les variétés anciennes se caractérisent par une faible fertilité comparativement aux variétés récentes. On note cependant que certaines variétés anciennes comme Beliouni (# 4) et Bidi 17 (# 6) se distinguent par des valeurs du nombre de grains par épi proches de celles qui caractérisent les variétés récentes (Figure 28).

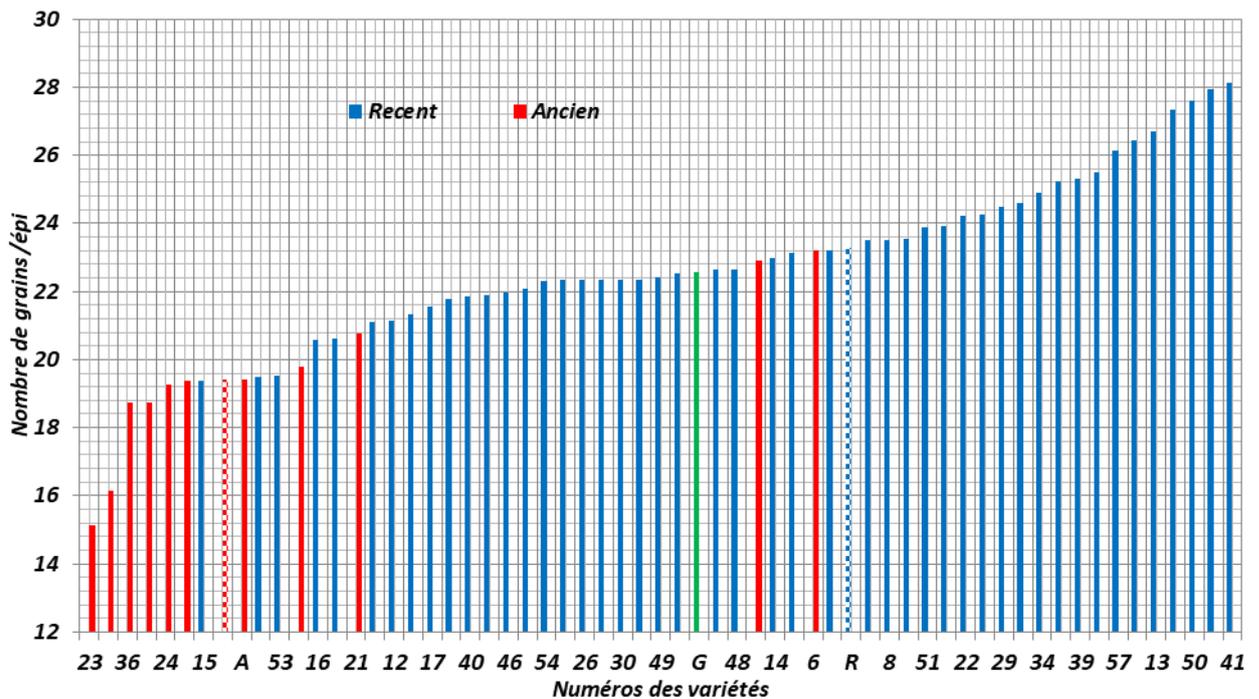


Figure 28. Valeurs moyennes du nombre de grains/épi des variétés récentes (bleu), variétés anciennes (rouge), moyenne des récentes (R), moyenne des anciennes (A) et moyenne générale (G) des sources de germoplasme étudiées.

1.13 Nombre de grains par m²

L'analyse de la variance du nombre de grains/m² indique des effets principaux année et génotypes significatifs, ce qui suggère l'existence de différences significatives entre variétés et années pour cette caractéristique (Tableau 12). Les valeurs moyennes observées par année sont de 4277.16 et 5322.59 grains/m², respectivement pour les campagnes 2015/16 et 2016/17, avec un écart inter campagnes de 1045.43 grains/m² et une ppds5% de 641.10 grains/m². La campagne 2016/17 s'est montrée plus favorable au nombre de grains/m². Les valeurs moyennes par site sont 5013.19 grains/m² pour le site du Khroub et de 4586.55 grains/m² pour le site de Sétif. L'écart inter sites est non significatif et de 426.64 grains/m² et une ppds5% de 641.10 grains/m².

Tableau 11. Carrés moyens de l'analyse de la variance du rendement (q/ha), du nombre d'épis, du nombre de grains par épi, de grains par m² et de poids de 1000 grains de l'ensemble du germoplasme étudié.

Source	Ddl	RDT (q/ha)	NE (/m ²)	NGE	NGM ²	PMG (g)
An (A)	1	46.99ns	3400230.00**	15741.40**	190169000**	9117.62**
Site(S)	1	29.49ns	386189.00**	374.62ns	31672600ns	677.91*
A x S	1	8297.76**	942732.00**	10.37ns	356102000**	2184.68**
Rep/AxS	8	295.27**	24919.70**	131.01**	13451100**	167.54**
Gen (G)	57	98.04**	8204.18**	87.65**	8449600**	99.38**
G x A	57	30.12ns	4997.37ns	24.54ns	2540900ns	11.80ns
G x S	57	38.24ns	3734.91ns	22.52ns	2621580ns	11.66ns
G x A x S	57	39.83*	3663.09ns	20.61ns	3073720*	11.77*
Résiduelle	456	27.92	3029.98	20.33	2040130	8.05

RDT= Rendement en grains (q/ha), NE= Nombre d'épi (/m²), NGE= Nombre de grains par épi, NGM²= Nombre de grains par mètre carré, PMG= Poids de mille grains (g).

Tableau 12. Valeurs moyennes, maximales, minimales, amplitudes, coefficient de variation et plus petite différence significative du rendement (RDT, q/ha), du nombre d'épis (NE), du nombre de grains par épi (NGE) et par m² (NGM²) et du poids de 1000 grains (PMG) des deux sources de germoplasme étudiées.

Caractère	Germoplasme	Moy	Max	Min	Ampl	CV%	Ppds5%
RDT (q/ha)	Global (n=58)	17.74	25.70	11.80	13.91	16.11	
	Récent (n=47)	18.47	25.70	13.33	12.37	13.26	
	Ancien (n=11)	14.60	18.90	11.80	7.10	16.19	5.16
NE (/m ²)	Global (n=58)	227.12	303.54	160.83	142.71	11.51	
	Récent (n=47)	230.80	303.54	185.42	118.13	11.01	
	Ancien (n=11)	211.42	255.00	160.83	94.17	11.52	49.47
NGE (/épi)	Global (n=58)	22.56	28.15	15.12	13.03	11.98	
	Récent (n=47)	23.30	28.15	19.38	8.77	9.44	
	Ancien (n=11)	19.41	23.20	15.12	8.08	12.49	3.71
NGM ² (/m ²)	Global (n=58)	4799.87	6629.28	2359.05	4270.23	17.48	
	Récent (n=47)	5006.93	6629.28	3605.49	3023.79	14.31	
	Ancien (n=11)	3915.15	5306.57	2359.05	2947.52	19.60	1433.13
PMG (g)	Global (n=58)	37.23	47.37	31.97	15.40	7.73	
	Récent (n=47)	37.23	43.70	31.97	11.73	7.13	
	Ancien (n=11)	37.25	47.37	33.80	13.57	10.32	2.81

RDT= Rendement en grains (q/ha), NE= Nombre d'épi (/m²), NGE= Nombre de grains par épi, NGM²= Nombre de grains par mètre carré, PMG= Poids de mille grains (g).

La moyenne générale du nombre de grains/m² est de 4799.87 grains/m². La valeur minimale de cette variable est observée chez Guemgoum Rkhem (2359.05 grains/m², # 23) et la valeur maximale est notée chez Sarragola (6629.28 grains/m², # 50). L'amplitude entre ces valeurs extrêmes est de 4270.23 grains/m² comparée à la ppds5% de 1433.13 grains/m² (Tableau 13, Figure 30). La comparaison de la moyenne des variétés anciennes (3915.15 grains/m²) à celle des variétés récentes (5006.93 grains /m²) indique un écart inter sources de germoplasme significatif de 1091.78 grains/m², en faveur des variétés récentes, pour une ppds5% de 1433.12 grains/m².

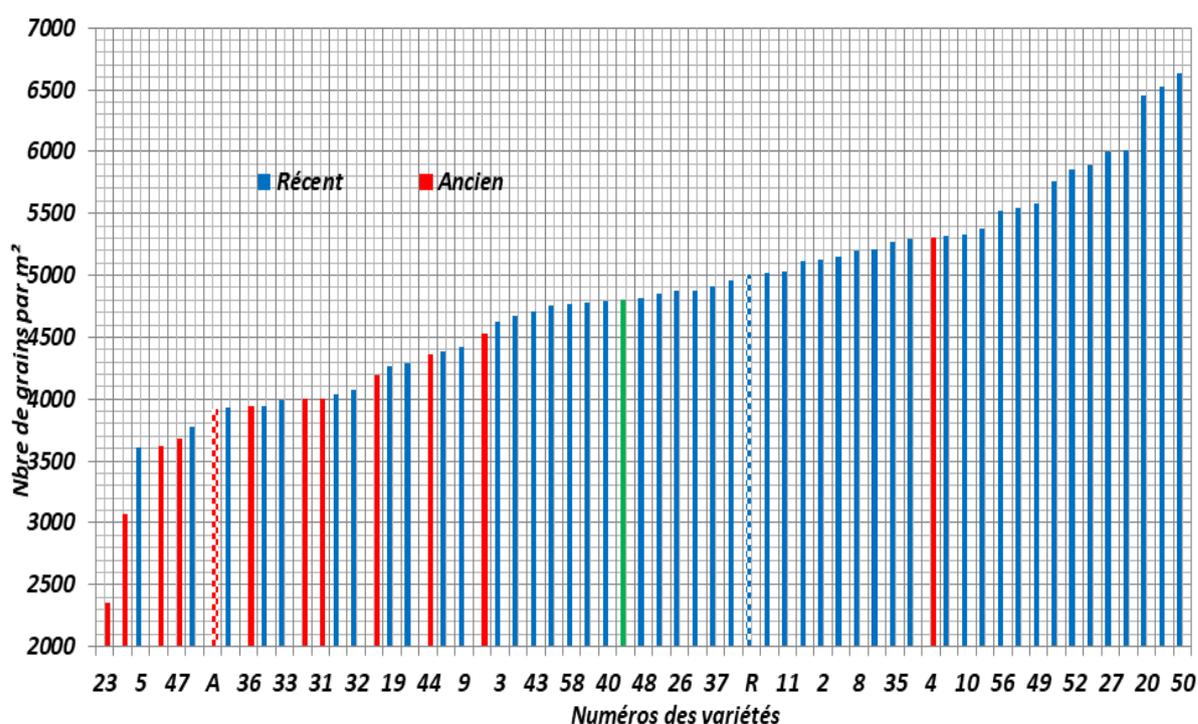


Figure 29. Valeurs moyennes du nombre de grains/m² des variétés récentes (bleu), variétés anciennes (rouge), moyenne des récentes (R), moyenne des anciennes (A) et moyenne générale (G) des sources de germoplasme étudiées.

Comme pour le nombre de grains/épi, cet écart significatif suggère que les variétés anciennes se caractérisent par une faible production de grains/m² comparativement aux variétés récentes. On note cependant que la variété ancienne Beliouni (# 4) se distingue par une moyenne du nombre de grains par m² proche des moyennes qui caractérisent les variétés récentes

(Figure 31). Chez les variétés récentes la valeur minimale de 3605.49 grains/m² est mesurée chez Benimestina (# 5) et la valeur maximale de 6629.28 grains/m² chez Sarragola (#50). L'amplitude entre ces valeurs extrêmes est de 3023.79 grains/m², pour une ppds5% de 1433.13 grains/m². Chez les variétés anciennes la valeur minimale de 2359.05 grains/m² est mesurée chez Guemgoum Rkhem (#23) et la valeur maximale de 5306.57 grains/m² chez Beliouni (#4). L'amplitude entre ces valeurs extrêmes est de 2947.52 grains/m², pour une ppds5% de 1433.13 grains/m² (Tableau13, Figure 29).

1.14 Poids de 1000 grains

L'analyse de la variabilité du poids de 1000 grains montre des effets année, site et génotype significatifs ainsi que des interactions site x années et génotype x sites x années (Tableau 12). Les moyennes annuelles sont de 40.85 et 33.61 g, respectivement pour les campagnes 2015/16 et 2016/17, soit un écart inter années de 7.24 g et une ppds5% de 2.26 g. L'écart entre les moyennes des sites qui sont de 36.21 et 38.21 g, respectivement pour le Khroub et Sétif, est de 1.97 g et non significatif.

Ces résultats indiquent que la campagne 2015/16 a été plus favorable au poids de 1000 grains qui s'est exprimé de manière similaire sur les deux sites. L'analyse de l'interaction site x années indique un avantage significatif de 5.52 g, du site de Sétif, au cours de la campagne 2015/16, dont la moyenne est de 43.61 g comparativement au site du Khroub dont la moyenne est de 38.09 g. La ppds5% est de 3.20 g.

L'écart entre sites de la campagne 2016/17 n'est pas significatif, ce qui explique la présence de l'interaction significative. Les moyennes de la seconde campagne des sites du Khroub et de Sétif sont de 34.39 et 32.83 g, respectivement. La moyenne générale du poids de 1000 grains, calculée sur l'ensemble des 58 génotypes, les deux sites et les deux campagnes est de 37.23 g. Cette moyenne n'est pas significativement différente de la moyenne

des variétés anciennes (37.25 g) et ni de celle des variétés récentes (37.23 g). L'amplitude intra source de germoplasme est 11.72 g chez les variétés récentes et de 13.67 g chez les variétés anciennes, pour une ppds5% égale à 2.81 g (Tableau 13, Figure 30).

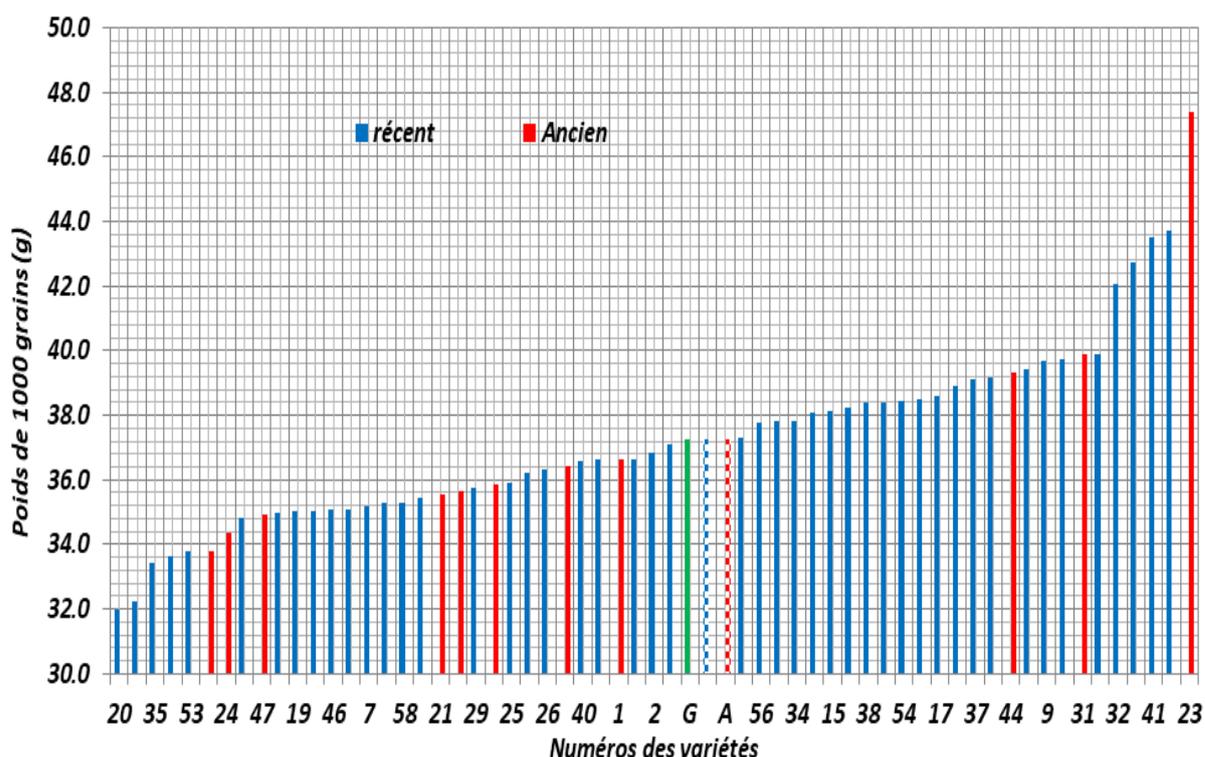


Figure 30. Valeurs moyennes du poids de mille grains des variétés récentes (bleu), variétés anciennes (rouge), moyenne des récentes (R), moyenne des anciennes (A) et moyenne générale (G) des sources de germoplasme étudiées.

Aucune tendance n'est observée du point de différence génétique du poids de 1000 grains entre les deux sources de germoplasme étudiées. En effet la figure 30 indique une répartition homogène des variétés anciennes à l'intérieure des variétés récentes. Les plus faibles poids de 1000 grains sont le fait des variétés Gecal (#20), Carioca (#11), Mistral (#35) et Sarragola (#50) entre autres, dont les moyennes respectives sont de 31.97, 32.25, 33.42, et 33.63 g. Les poids de 1000 grains les plus élevés sont le fait des variétés Mansoura (#32), Collosséo (#16), Ofanto (#41), Simeto (#51) et Guemgoum (#23) entre autres, dont les moyennes respectives sont de 42.07, 42.73, 43.50, 43.70 et 47.37 g.

2 Stabilité et indices de tolérance du stress

L'instabilité/stabilité des performances de rendement en grains est quantifiée par la variance environnementale (σ^2E) qui mesure la stabilité statique (Benmahammed *et al.*, 2008) et par l'indice P de la supériorité phénotype qui mesure la stabilité agronomique (Benmahammed *et al.*, 2008). Les performances de rendement des 10% des variétés se distinguant pour les valeurs extrêmes de la σ^2E sont schématisées en figure 31.

Les 6 variétés présentant une faible σ^2E sont toutes des sélections récentes. Elles sont relativement les plus stables parmi les 58 génotypes évalués. Ces 6 variétés sont Cham 3 (# 12), dont le rendement en grains varie, d'un environnement à l'autre, de 14.57 à 16.91 q/ha, avec une moyenne, intersites, de 16.26 et une σ^2E de 0.40 q²/ha ; Eider(# 19), dont le rendement varie de 13.09 à 17.35 q/ha ; avec 14.86 q/ha de moyenne et une σ^2E égale à 3.61 q²/ha ; Chen's (# 13), dont le rendement varie de 15.66 à 20.41q/ha, une moyenne de 18.88 q/ha et une σ^2E de 4.88 q²/ha ; Benimestina (# 5), dont le rendement varie de 11.57 à 16.30 q/ha, une moyenne de 13.33 q/ha et une σ^2E de 5.10 q²/ha ; Cirta (# 15), dont le rendement varie de 11.63 à 17.00 q/ha, avec une moyenne de 14.85 q/ha et une σ^2E de 5.21 q²/ha, et Simeto (# 51), dont le rendement inter sites varie de 20.10 à 25.27 q/ha, avec une moyenne de 22.71 q/ha et une σ^2E de 6.09 q²/ha (Figure 31).

Parmi les 6 variétés présentant des σ^2E les plus élevées, figurent deux variétés anciennes (Beliouni, # 4 et Oued Zenati 368, # 44) et 4 variétés récentes. Elles sont relativement les plus instables parmi les 58 génotypes évalués. Ces 6 variétés sont Beliouni (# 4), dont le rendement en grains varie de 12.83 à 26.37 q/ha, avec une moyenne de 18.90 q/ha et une σ^2E de 48.90 q²/ha ; Orjaune (# 43), dont le rendement varie de 12.47 à 28.65 q/ha, avec 18.20 q/ha de moyenne et une σ^2E égale à 54.99 q²/ha ; Oued Zenati 368 (# 44), dont le rendement varie de 8.33 à 25.48 q/ha, avec une moyenne de 17.14 q/ha et une σ^2E de 61.28 q²/ha ; Sahel (# 48), dont le rendement varie

de 11.45 à 29.94 q/ha, avec une moyenne de 19.20 q/ha et une σ^2E de 76.82 q²/ha ; Ofanto (# 41), dont le rendement varie de 6.55 à 39.14 q/ha, avec une moyenne de 25.70 q/ha et une σ^2E de 91.50 q²/ha et Vitron (# 56), dont le rendement varie de 12.27 à 34.3 q/ha, avec une moyenne de 20.59 q/ha et une σ^2E de 104.20 q²/ha (Figure 31). Ces résultats indiquent que les variétés les plus stables, de par la σ^2E , sont les moins performantes et répondent peu à la fertilité du milieu, comparativement aux variétés instables de par ce paramètre.

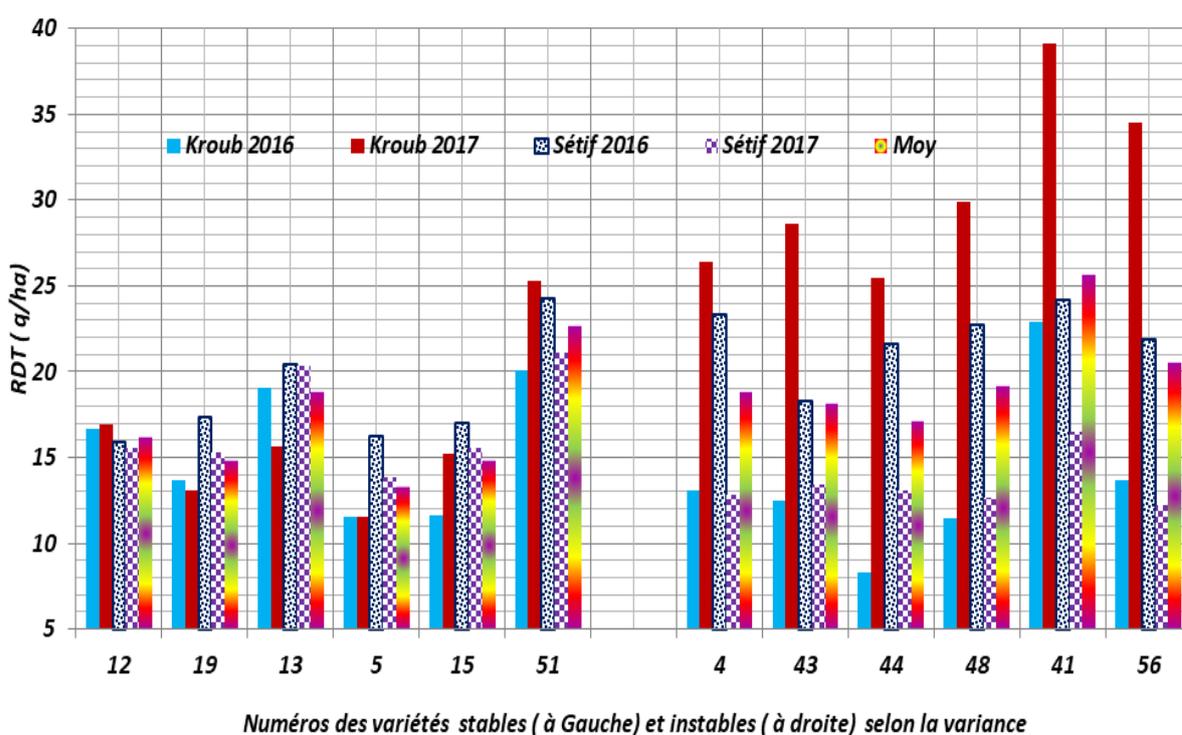


Figure 31. Performances inter environnements du rendement en grains des variétés stables (faible σ^2E , à gauche) et des variétés instables (σ^2E élevée, à droite) et moyenne variétale des 4 environnements.

Les performances de rendement des 10% des variétés se distinguant par les valeurs extrêmes de l'indice P sont schématisées en figure 32. Les 6 variétés présentant un faible indice P sont toutes des sélections récentes. Ces variétés sont celles qui tirent le maximum de chaque environnement testé parmi les 58 génotypes évalués. En fait ces variétés se distinguent par un rendement qui s'écarte le moins du rendement du meilleur génotype de chaque environnement.

Ces 6 variétés sont Ofanto (# 41), dont le rendement en grains varie, d'un environnement à l'autre, de 16.55 à 39.14 q/ha, avec une moyenne, intersites, de 25.70 q/ha et une valeur de l'indice P de 7.11 q²/ha ; Simeto (# 51), dont le rendement varie de 20.10 à 25.27 q/ha ; avec 22.71 q/ha de moyenne et un indice P de 47.65 q²/ha ; Waha (# 57), dont le rendement varie de 17.28 à 30.68 q/ha, une moyenne de 22.56 q/ha et une valeur de l'indice P de 50.63 q²/ha ; Sarragola (# 50), dont le rendement varie de 19.45 à 26.51 q/ha, une moyenne de 22.00 q/ha et un indice P de 62.35 q²/ha ; Massinissa (# 34), dont le rendement varie de 14.56 à 27.79 q/ha, avec une moyenne de 21.63 q/ha et une valeur de l'indice P de 71.05 q²/ha, et Iride (# 27), dont le rendement intersites varie de 15.33 à 27.62 q/ha, avec une moyenne de 20.95 q/ha et un indice P de valeur égale à 88.22 q²/ha (Figure 32).

Les 6 variétés présentant les valeurs les plus élevées de l'indice P sont toutes des variétés anciennes hormis, le génotype Benimestina (# 5) qui est une variété récente issue du programme de sélection participative initié par la Station du Khroub (Dr. Benbelkacem, communication personnelle). Ces variétés sont celles qui valorisent le moins les environnements tests parmi les 58 génotypes évalués. En fait ces variétés se distinguent par un rendement qui s'écarte le plus du rendement du meilleur génotype de chaque environnement.

Ces 6 variétés sont Djenah Khotaiifa (# 18), dont le rendement en grains varie, d'un environnement à l'autre, de 09.03 à 16.33 q/ha, avec une moyenne, intersites, de 13.33 q/ha et une valeur de l'indice P de 406.48 q²/ha ; Benimestina (# 5), dont le rendement varie de 11.57 à 16.20 q/ha ; avec 13.33 q/ha de moyenne et un indice P de 103.60 q²/ha ; Polonicum (# 47), dont le rendement varie de 8.72 à 17.51 q/ha, une moyenne de 12.75 q/ha et une valeur de l'indice P de 440.30 q²/ha ; Hedba3 (# 24), dont le rendement varie de 9.96 à 17.93 q/ha, une moyenne de 12.71 q/ha et un indice P de 442.41 q²/ha ; Guemgoum Rkhem (# 23), dont le rendement varie

de 06.31 à 19.70 q/ha, avec une moyenne de 11.83 q/ha et une valeur de l'indice P de 496.52 q²/ha, et Adjini (# 1), dont le rendement intersites varie de 5.94 à 21.18 q/ha, avec une moyenne de 11.80 q/ha et un indice P de valeur égale à 498.75 q²/ha (Figure 32). Ces résultats suggèrent que globalement les variétés anciennes ne possèdent pas la capacité de valoriser les environnements fertiles, à l'inverse des variétés récentes.

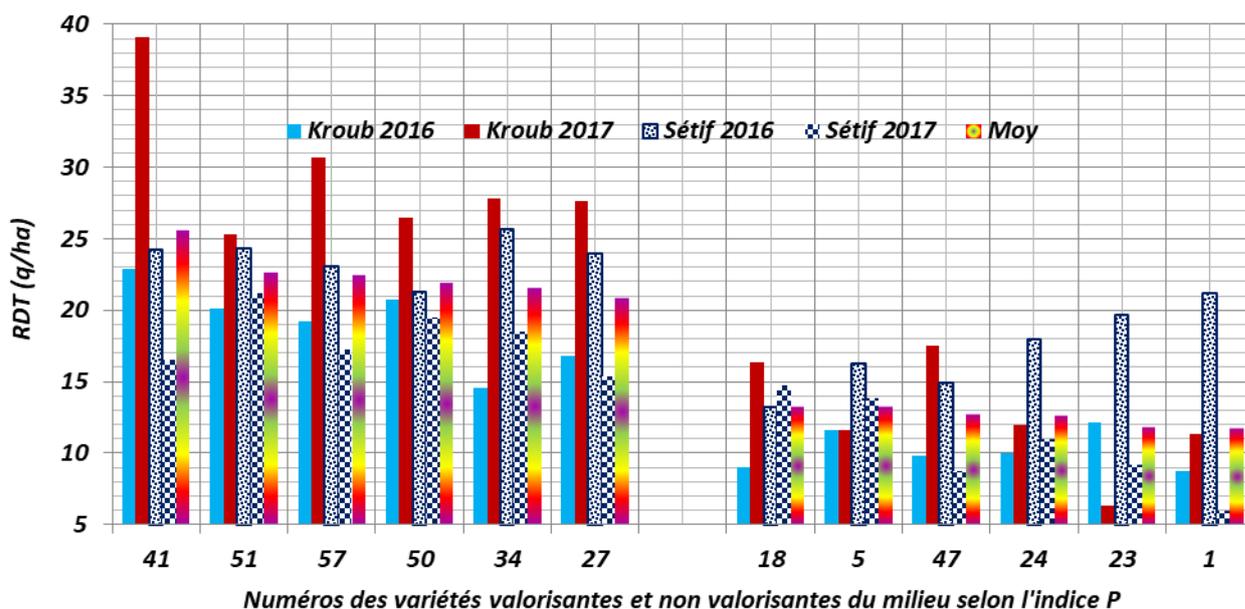


Figure 32. Performances inter environnements du rendement en grains des variétés valorisantes (faible indice P, à gauche) et des variétés non valorisantes (Indice P élevé, à droite) du milieu et moyenne variétale des 4 environnements.

Comprendre les performances de rendement des cultivars de blé dans différentes conditions environnementales est essentiel pour déterminer les objectifs de sélection et pour prédire le comportement génotypique futur (Pennacchi *et al*, 2018). La combinaison d'un rendement élevé et d'une stabilité de rendement est une caractéristique très recherchée en sélection variétale. Dans la présente étude, la variété Simeto (# 51), qui a enregistré un rendement en grain relativement élevé de 22.71 q/ha, présente des variations de rendement relativement faibles entre saisons (indice P de 47.65) et semble être le génotype le plus prometteur de par sa performance et sa stabilité. Cette variété est une sélection récente d'origine italienne datant de

1988 et inscrite au catalogue officiel algérien en 2001 dont le pedigree est Capeiti8/Valnova semée à grande échelle en Algérie dans différentes régions agro-climatiques et très appréciée par les agricultures à cause de son adaptation et son bon niveau de production, elle est précoce à l'épiaison et à une forte teneur en protéines de 15.80 % (ITGC, 2017).

La tolérance génotypique des stress abiotiques est quantifiée par les indices STI et YSI utilisant le rendement en grains comme variable explicative (Benmahammed *et al.*, 2008). Parmi les différents stress abiotiques, le stress hydrique est le facteur qui impacte négativement le plus la production céréalière. Par conséquent, le développement de variétés résistantes à la sécheresse, donnant une bonne production sous une large gamme de conditions environnementales, constituent un objectif majeur de sélection. La recherche vise à sélectionner des génotypes à haut potentiel de rendement et à production plus régulière, peu sensibles aux variations climatiques d'un lieu de production à l'autre et d'une année à une autre (Mohammadi *et al.* 2015).

A ce titre, plusieurs indices de tolérance des stress, dont le calcul est basé sur le rendement obtenu en présence et en absence de stress, sont proposés pour sélectionner de tels génotypes (Benmahammed *et al.*, 2008 ; Mohammadi *et al.* 2015). Parmi les indices les plus utilisés, figurent l'indice de la stabilité du rendement (YSI) et l'indice de tolérance du stress (STI). Ces indices permettent de classer les variétés évaluées selon leur degré de tolérance à la sécheresse, exprimé en termes de performance de rendement grain, sous stress (Y_s) et en absence de stress (Y_p) (Subhani *et al.*, 2015).

Les valeurs élevées de l'indice STI identifient des génotypes qui donnent des rendements au-dessus de la moyenne aussi bien en absence et qu'en présence de stress. Alors que les valeurs élevées de l'indice YSI discriminent nettement entre tolérance et sensibilité au stress et identifient les génotypes qui performant relativement mieux sous stress indépendamment de leurs performances en absence de stress (Talebi *et al.* 2009). Dans la présente

étude, les valeurs prises par l'indice STI, sur le site de Sétif, varient d'un minimum de 0.360 à un maximum de 1.196, autour d'une moyenne, des 58 génotypes évalués, de 0.623.

Par contre sur le site du Khroub, cette variation est de 0.205 à 1.859 avec une moyenne globale de 0.665. Les valeurs prises par l'indice YSI, sur le site de Sétif, varient d'un minimum de 0.375 à un maximum de 1.159, autour d'une moyenne des 58 génotypes évalués de 0.707. Par contre sur le site du Khroub, cette variation est de 0.327 à 1.342 avec une moyenne globale de 0.680. Les performances de rendement en grains des 10% des variétés se distinguant pour les valeurs extrêmes des indices STI et YSI sont schématisées, par site, en figures 33, 34, 35 et 36.

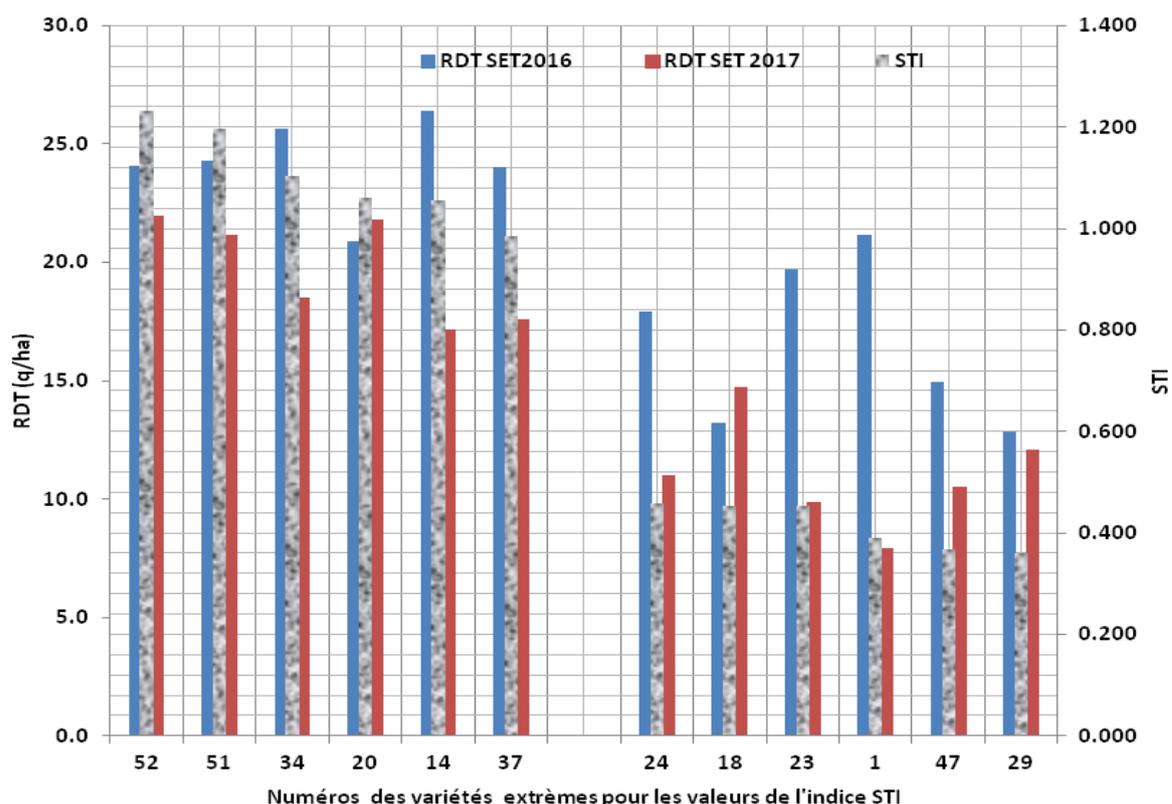


Figure 33. Performances du rendement en grains des variétés divergentes pour l'indice STI (site de Sétif).

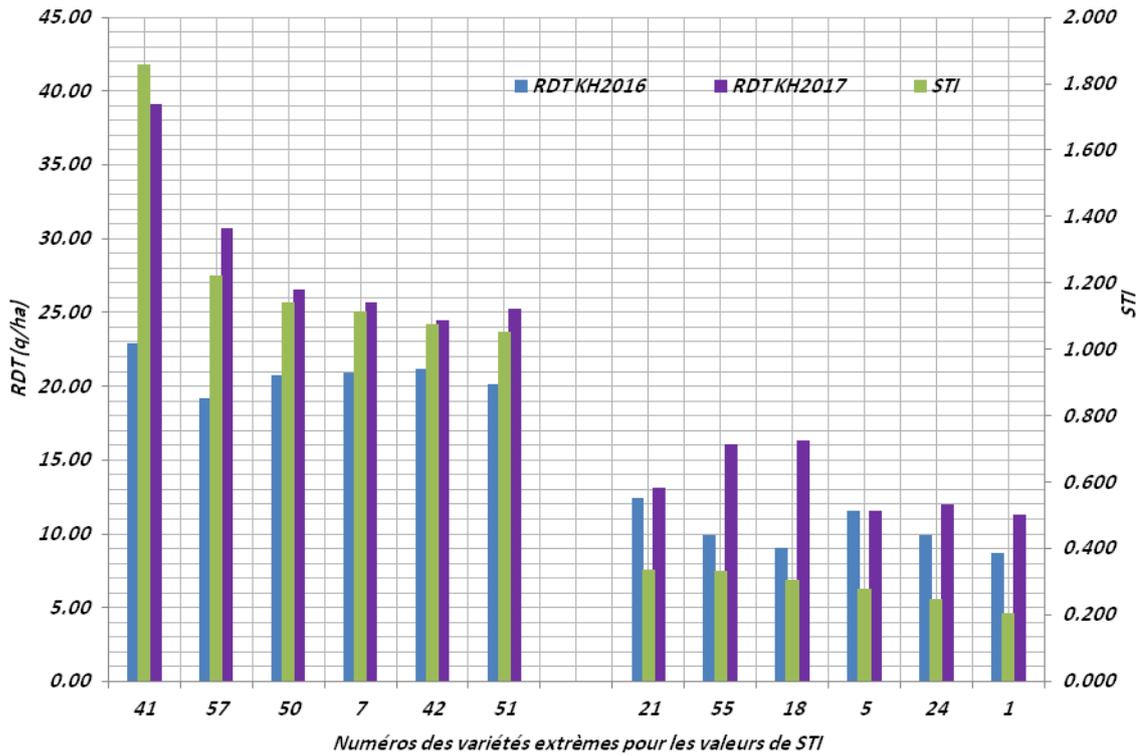


Figure 34. Performances du rendement en grains des variétés divergentes pour l'indice STI (site du Khroub).

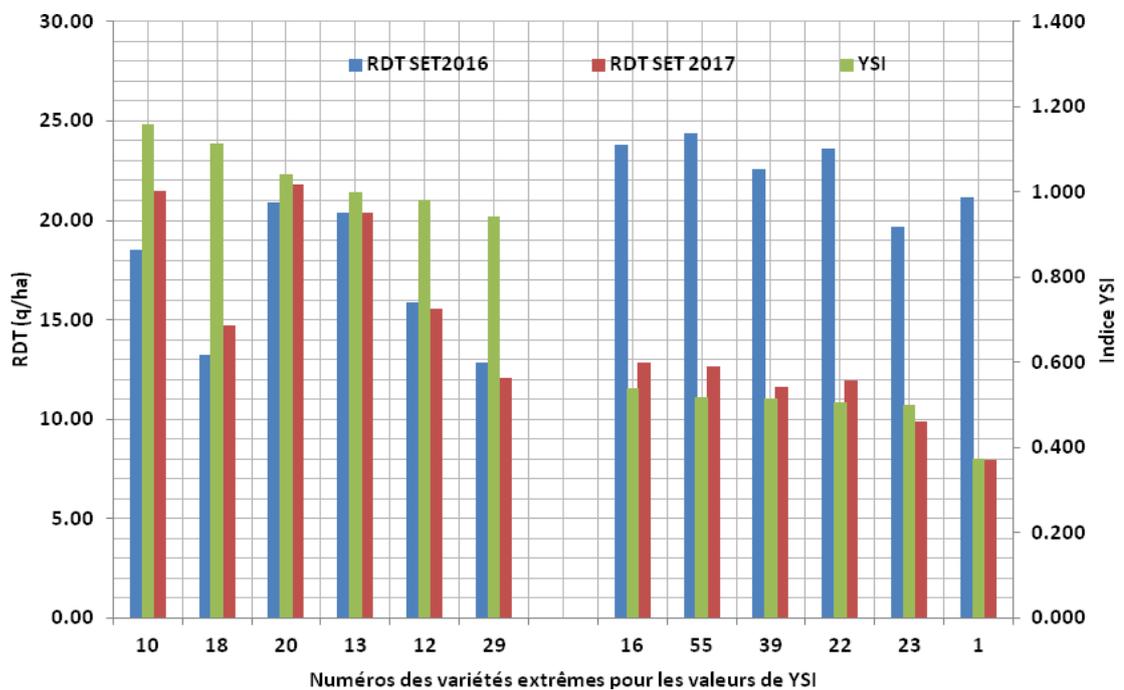


Figure 35. Performances du rendement en grains des variétés divergentes pour l'indice YSI (site de Sétif).

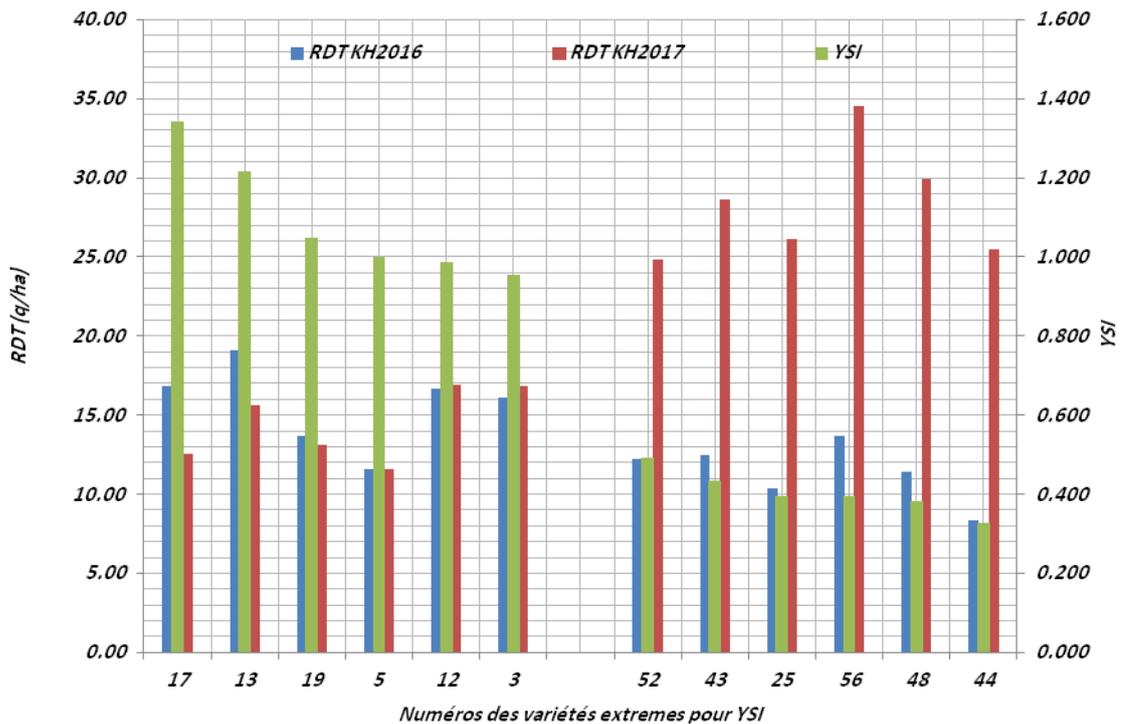


Figure 36. Performances du rendement en grains des variétés divergentes pour l'indice YSI (site du Khroub).

La sélection, à une intensité de 10%, sur la base des valeurs extrêmes de l'indice STI, débouche sur l'identification de variétés très contrastées pour le rendement en grains par site et sur les deux sites (Figures 33, et 34). La sélection des valeurs STI élevées identifie, sur le site de Sétif, les génotypes Ciccio (# 14), Gecal (# 20), Massinissa (# 34), Megress (# 37), Simeto (# 51) et Setifis (# 52) et sur le site du Khroub les génotypes Bolenga (# 7), Ofanto (# 41), Ardente (# 42), Sarragola (# 50), Simeto (# 51) et Waha (# 57) qui performant relativement bien, en terme de rendement grain, aussi bien sous stress qu'en absence de stress. De tels génotypes tolèrent donc les stress et répondent favorablement à la fertilité du milieu. Comparativement les génotypes aux faibles valeurs STI sont, sur le site de Sétif, Adjini (# 1), Djenah khotaïfa (# 18), Guemgoum (# 23), Hedba3 (# 24), Kebir (# 29) et Polonicum (# 47) et sur le site du Khroub, Adjini (# 1), Beni Mestina (# 5), Djenah khotaïfa (# 18), Gloire de Montgolfier (# 21), Hedba3 (# 24) et Tadjdid (# 55).

Hormis la variété Simeto (# 51) qui montre une adaptation générale aux deux sites, les autres variétés, aux valeurs élevées de l'indice STI, sont

spécifiques à chaque site. Ceci suggère la spécificité d'expression des stress abiotiques dans chaque site. Les moyennes de rendement grain des sélections aux valeurs élevées et faibles de l'indice STI sont respectivement de 22.0 et 13.8 q/ha, sur le site de Sétif, et de 24.7 et 11.8 q/ha sur le site du Khroub. Cette sélection basée sur l'utilisation de l'indice STI induit un gain de rendement de 8.2 q/ha à Sétif et 12.9 q/ha au Khroub, soit des gains relatifs de 46.6% et 71.3% des moyennes des 58 génotypes évalués durant deux campagnes sur les deux sites respectifs, moyennes égales à 17.6 q/ha à Sétif et 18.1 q/ha au Khroub. La répartition des génotypes criblés sur la base de l'indice STI suggère que les variétés récentes sont le plus souvent plus résistantes aux stress, résistance telle que définie par cet indice (comportement en absence et en présence du stress), alors que les variétés plus anciennes sont, le plus souvent, sensibles à ce type de stress.

Les rendements en grains des variétés sélectionnées sur la base des valeurs extrêmes de l'indice YSI sont indiqués par les figures 35 et 36 pour les deux sites. Les génotypes dont les valeurs de l'indice YSI sont les plus élevées, sur le site de Sétif, sont Capeiti (# 10), Cham 3 (# 12), Chen's (# 13), Djénah Khotaïfa (# 18), Gecal (# 20) et Kebir (# 29) et sur le site du Khroub, Ammar 6 (# 3), Beni Mestina (# 5), Cham 3 (# 12), Chen's (# 13), Core (# 17) et EEider (# 19). Les génotypes aux faibles valeurs de l'indice YSI sont, sur le site de Sétif, Adjini (# 1), Collosséo (# 16), GTA dur (# 22), Guemgoum rkhem (# 23), Mimono (# 39) et Tadjdid (# 55) et sur le site du Khroub, Haurani (# 25), Orjaune (# 43), OZ (# 44), Sahel (# 48), Setifis (# 52) et Vitron (# 56). On note que certaines variétés anciennes comme Adjini, Guemgoum et OZ se montrent sensibles au stress mesuré par l'indice YSI. Les moyennes de rendement grain des sélections des valeurs élevées et faibles de l'indice YSI sont respectivement de 17.3 et 16.9 q/ha, sur le site de Sétif et de 15.0 et 19.8 q/ha sur le site du Khroub. L'utilisation de l'indice YSI est moins effective que celle de l'indice STI, vu que le gain généré par cette sélection à Sétif est nul ($17.3-16.9 = 0.4$ q/ha) et il est négatif et assez substantiel au Khroub ($15.0-19.8 = -4.8$ q/ha).

L'analyse des relations entre les différents indices utilisés (Pi, STI et YSI) indique que l'indice Pi est négativement lié à l'indice STI (-0.831, $P < 0.010$), à la moyenne Y_s de rendement de l'ensemble des génotypes évalués sur le site défavorable (-0.462, $P < 0.010$) et à la moyenne Y_p de rendement de l'ensemble des génotypes évalués sur le site favorable (-0,923, $P < 0.010$) et à l'indice YSI (-0.571, $P < 0.010$). Ceci suggère que les faibles valeurs de l'indice Pi identifient des variétés se caractérisant par des valeurs élevées de l'indice STI et des moyennes de rendement en grains élevées aussi bien sous stress qu'en absence de stress. De telles variétés ainsi identifiées sont performantes et tolérantes aux stress.

En plus de sa liaison positive avec l'indice Pi, l'indice YSI est positivement lié à la moyenne de rendement Y_s (0.410, $P < 0.01$), négativement lié à la moyenne de rendement Y_p (-0,683, $P < 0.01$), et non significativement corrélé avec l'indice STI (-0,209, $P > 0.05$). Ceci suggère que la tolérance des stress ciblée par l'indice YSI est différente de celle ciblée par l'indice STI. De plus les valeurs élevées de l'indice YSI identifient des variétés qui se caractérisent par la capacité de minimiser la baisse de rendement en grains sous stress, indépendamment de leur rendement en absence de stress. De plus, le fait que les moyennes Y_s et Y_p des deux environnements extrêmes ne sont pas significativement liées (0,227, $P > 0.05$) indique un classement variétal différent d'un environnement à l'autre causé par l'interaction génotype x environnements significative.

Ces résultats corroborent ceux de Lin et Binns (1988) qui suggèrent que les faibles valeurs de l'indice Pi sont désirables parce qu'elles sont la caractéristique des génotypes performants et stables. Ainsi Mohammadi *et al.*, (2010) et de même Benmahammed *et al.*, (2010) proposent la sélection sur la base des valeurs élevées de l'indice STI pour identifier des génotypes performants et stables aussi bien sous conditions stressantes qu'en absence de stress. Globalement ces résultats des indices de tolérance suggèrent que les variétés anciennes (locales) sont relativement plus résistantes aux stress et

moins performantes en termes de rendement en grains que les variétés plus récentes. Les premières semblent plus adaptées aux environnements plus spécifiques aux faibles potentialités alors que les secondes présentent une adaptation plus large. Ces résultats rejoignent ceux de De vita *et al.*, (2010) qui montrent que les variétés plus récentes sont plus responsives à la fertilité des milieux que les variétés plus anciennes qui sont moins réactives.

3 Différences entre variétés anciennes et récentes induites par la sélection

La comparaison des deux sources de germoplasme incluant 11 variétés anciennes dites locales et 47 variétés récentes, évaluées au cours de deux années et sur deux sites, pour 18 caractères morpho-physiologiques, indique que l'avènement des variétés récentes apporte des gains appréciables, pour l'indice de récolte (HI,+27%), le nombre de grains /m² (NGM²,+22%), le rendement en grains (RDT, +21%), la fertilité de l'épi estimée par le nombre de grains par épi (NGE, 17%) et le poids des épis (PE,13%, Figure 37).

Le gain est juste modéré pour le nombre d'épis/m² (NE, 8%), le contenu en chlorophylle (CHL, 7%) et le rendement économique (RDT_{eco}, 5%). La sélection ne semble pas apporter des changements de la teneur relative en eau de la feuille étandard (TRE, +1%), la température de la canopée (TCV, 0%), et pour le poids de 1000 grains (PMG, 0%) (Figure 37). La sélection a induit une réduction de la durée de la phase végétative (DPV, -6%), de la biomasse aérienne produite (BIO, -8%), du pourcentage des dommages cellulaires (Inj, -8%), de la surface de la feuille étandard (SF, -9%) et de la longueur de l'épi (LE, -9%). La réduction est plus élevée pour la hauteur de la plante (HT, -29%) et pour la paille (PLL, -35%, Figure 37).

Ces résultats vont dans le même sens que ceux de plusieurs auteurs dont Shroyer et Cox, (1993); Battenfield *et al.*, (2013); De Vita *et al.*, (2010) ainsi que Fischer *et al.*, (2014) qui notent que les variétés récentes sont plus performantes que les variétés anciennes. L'avantage en rendement en grains

est associé à l'amélioration de l'indice de récolte et de la biomasse aérienne. Les variétés anciennes sont, selon Donmez *et al.*, (2001), Sanchez-Garcia *et al.*, (2015); Migliorini *et al.*, (2016) ainsi que Patijn *et al.*, (2018), plus hautes, plus tardives et moins productives. Les résultats de la présente étude indiquent une différence non significative pour la biomasse aérienne entre les deux sources de germoplasmes, suggérant que l'amélioration du rendement grain chez les variétés récentes vient de l'amélioration de la répartition de la biomasse aérienne produite.

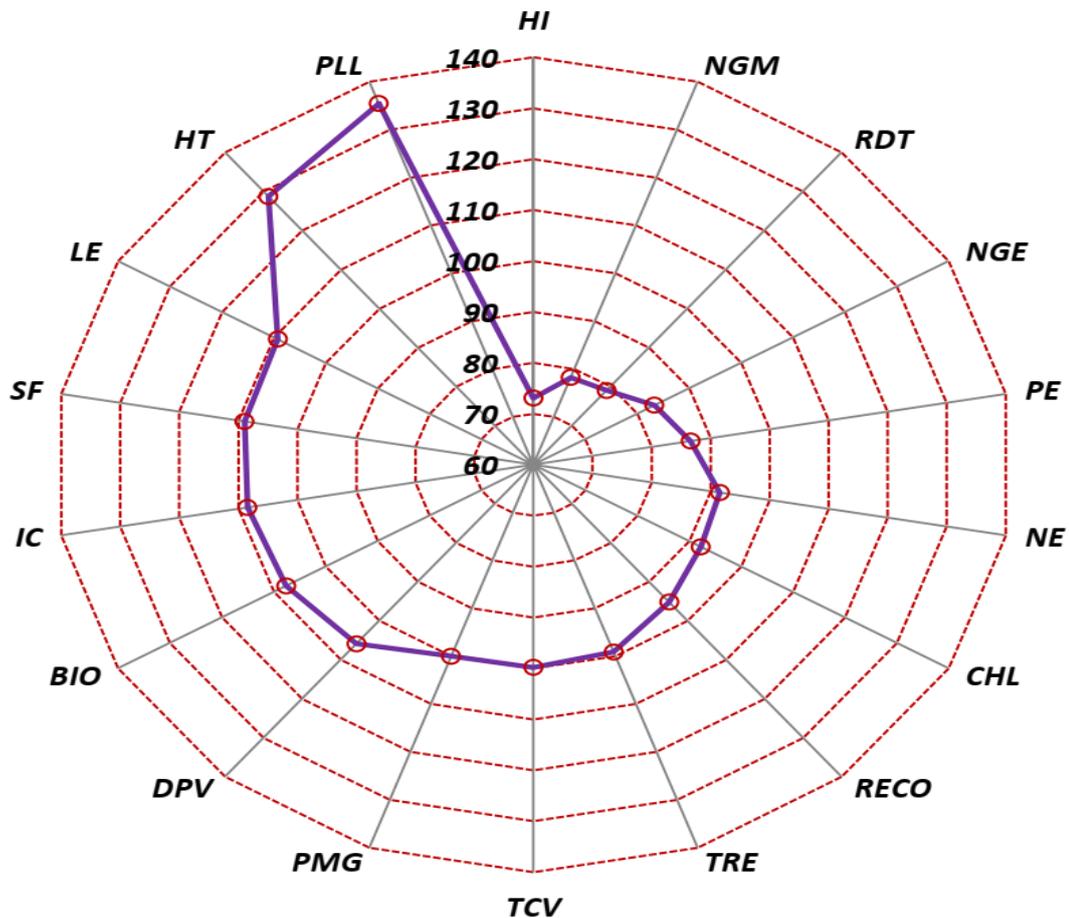


Figure 37. Moyennes des variétés anciennes en % de celles des variétés récentes pour les différents caractères mesurés.

La réduction de la durée de la phase végétative notée dans la présente étude, chez les variétés récentes, est en accord avec les résultats rapportés par Maeoka *et al.*, (2020) qui mentionnent que l'amélioration du rendement en grains chez les variétés récentes est associée à la réduction de

la durée de la phase végétative ou précocité à l'épiaison. Ces mêmes auteurs notent aussi une augmentation du nombre de grains par m², par épi, de l'indice de récolte, une réduction de la hauteur de la paille et pas de différence de biomasse aérienne chez les variétés récentes. Ceci rejoint les résultats de la présente étude. La réduction du rendement en paille notée chez les variétés récentes corrobore les résultats de Carranza-Gallego *et al.*, (2018) qui commentent que le remplacement des variétés anciennes par les variétés plus récentes a engendré une réduction de la production des résidus ce qui accélère la dégradation du sol.

Ceci est aussi un inconvénient pour les régions semi arides où la paille est une source énergétique utilisée en alimentation du cheptel ovin. Selon Chenafi *et al.*, (2011) la réduction de la production de la paille impacte sérieusement la production animale et l'adoption de l'agriculture de conservation. La réduction de la hauteur de la paille réduit de la compétitivité de la variété contre les adventices, surtout sous conditions semi-arides où généralement l'opération de désherbage n'est pas effectuée. En effet Mason *et al.*, (2008) mentionnent que la compétitivité contre les adventices est liée à la hauteur de la paille qui est un avantage chez les variétés anciennes.

4 Corrélations phénotypiques et analyse en chemin (Path analysis)

Les corrélations de rang de Spearman (r_s) entre les caractères mesurés des variétés anciennes et des variétés récentes sont données aux tableaux 13 et 14. Chez les variétés anciennes, la DVP est négativement et significativement corrélée à l'indice de récolte ($r_{DVP/HI} = -0.673^{**}$). A l'intérieure de la variabilité disponible pour cette caractéristique chez les variétés anciennes, celles qui sont tardives au stade épiaison se caractérisent par un faible indice de récolte. La biomasse aérienne est positivement corrélée à la paille ($r_{BIO/PLL} = 0.882^{**}$), à la hauteur de la plante ($r_{BIO/HT} = 0.691^{**}$), à la surface de la feuille étendard ($r_{BIO/SF} = 0.773^{**}$) et négativement au contenu en

chlorophylle ($r_{\text{BIO/CHL}} = -0.655^{**}$). Les plantes hautes, produisant plus de paille et aux larges feuilles étendards se distinguent par une meilleure capacité de production de biomasse aérienne (Tableau 13).

Le poids des épis est positivement et significativement corrélé au nombre d'épis/m² ($r_{\text{PE/NE}} = 0.727^{**}$), au nombre de grains/épis ($r_{\text{PE/NGE}} = 0.794^{**}$), au nombre de grains par m² ($r_{\text{PE/NGM}^2} = 0.882^{**}$), au rendement en grains ($r_{\text{PE/RDT}} = 0.927^{**}$), et à l'indice de récolte ($r_{\text{PE/HI}} = 0.727^{**}$). En dehors de l'absence de liaison significative avec le PMG, le poids des épis semblent dans ce cas précis influencer le rendement et ses composantes, suggérant que les variétés locales aux gros épis et/ou produisant plus d'épis sont les plus performantes en termes de rendement en grains. Ce caractère peut servir de critère de criblage pour isoler les variétés les plus performantes en termes de rendement en grains.

La paille est positivement et significativement corrélée à la hauteur de la plante ($r_{\text{PLL/HT}} = 0.745^{**}$), à la surface de la feuille étendard ($r_{\text{PLL/SF}} = 0.809^{**}$), et négativement à la température de la canopée ($r_{\text{PLL/TCV}} = -0.664^{**}$) et au contenu en chlorophylle de la feuille étendard ($r_{\text{PLL/CHL}} = -0.682^{**}$). Ces résultats suggèrent que les variétés hautes produisent plus de paille et qu'elles sont plus tolérantes au stress hydrique et présentent un faible contenu en chlorophylle soit une moindre durée de vie de la feuille étendard.

La hauteur de la plante est positivement et significativement corrélée à la surface de la feuille étendard ($r_{\text{HT/SF}} = 0.627^{**}$), et négativement au contenu en chlorophylle de la feuille étendard ($r_{\text{HT/CHL}} = -0.664^{**}$). Le nombre d'épis/m² est positivement et significativement corrélée au nombre de grains/m² ($r_{\text{NE/NGM}^2} = 0.627^{**}$), et au rendement en grains ($r_{\text{NE/RDT}} = 0.691^{**}$). Le nombre de grains /épi présente les mêmes liaisons que le nombre d'épis/m² avec nombre de grains/m² ($r_{\text{NGE/NGM}^2} = 0.927^{**}$), et avec le rendement en grains ($r_{\text{NGE/RDT}} = 0.845^{**}$), en plus de sa liaison positive et significative l'indice de récolte ($r_{\text{NGE/HI}} = 0.800^{**}$).

Tableau 13. Coefficients de corrélation de rang de Sperman's (rs) entre les caractères des variétés anciennes.

	DPV	BIO	PE	PLL	HT	NE	NGE	NGM	PMG	RDT	HI	TCV	CHL	Inj	SF	LE
DPV		0.417	0.401	0.117	0.083	0.670	0.077	0.102	0.832	0.083	0.023	0.340	0.259	0.190	0.083	0.709
BIO	0.273		0.051	0.000	0.019	0.060	0.650	0.401	0.915	0.247	0.915	0.190	0.029	0.555	0.005	0.110
PE	-0.282	0.600		0.340	0.894	0.011	0.004	0.000	0.915	0.000	0.011	0.770	0.612	0.937	0.355	0.272
PLL	0.500	0.882	0.318		0.008	0.247	0.873	0.937	0.574	0.832	0.450	0.026	0.021	0.272	0.003	0.235
HT	0.545	0.691	0.045	0.745		0.958	0.593	0.433	0.670	0.467	0.110	0.519	0.026	0.401	0.039	0.010
NE	-0.145	0.582	0.727	0.382	0.018		0.235	0.039	0.519	0.019	0.160	0.537	0.770	0.750	0.484	0.484
NGE	-0.555	0.155	0.791	-0.055	-0.182	0.391		0.000	0.502	0.001	0.003	0.729	0.537	0.873	0.593	0.467
NGM	-0.518	0.282	0.882	0.027	-0.264	0.627	0.927		0.750	0.000	0.001	0.832	0.709	0.873	0.811	0.670
PMG	0.073	0.036	0.036	-0.191	-0.145	-0.218	-0.227	-0.109		0.873	0.709	0.401	0.631	0.537	0.450	0.574
RDT	-0.545	0.382	0.927	0.073	-0.245	0.691	0.845	0.964	0.055		0.001	0.853	0.915	0.832	0.937	0.670
HI	-0.673	0.036	0.727	-0.255	-0.509	0.455	0.800	0.836	0.127	0.864		0.709	0.180	0.212	0.537	0.790
TCV	-0.318	-0.427	-0.100	-0.664	-0.218	-0.209	0.118	0.073	0.282	0.064	0.127		0.401	0.502	0.060	0.593
CHL	-0.373	-0.655	-0.173	-0.682	-0.664	-0.100	0.209	0.127	-0.164	0.036	0.436	0.282		0.190	0.004	0.110
Inj	0.427	0.200	0.027	0.364	0.282	-0.109	0.055	0.055	-0.209	-0.073	-0.409	-0.227	-0.427		0.612	0.958
SF	0.545	0.773	0.309	0.809	0.627	0.236	-0.182	-0.082	0.255	0.027	-0.209	-0.582	-0.791	0.173		0.235
LE	0.127	0.509	0.364	0.391	0.736	0.236	0.245	0.145	-0.191	0.145	-0.091	0.182	-0.509	0.018	0.391	

Tableau 14. Coefficients de corrélation de rang de Sperman's (rs) entre les caractères des variétés récentes.

	DPV	BIO	PE	PLL	HT	NE	NGE	NGM	PMG	RDT	HI	TCV	CHL	Inj	SF	LE
DPV		0.897	0.402	0.010	0.191	0.089	0.507	0.047	0.691	0.030	0.000	0.097	0.779	0.006	0.007	0.003
BIO	0.019		0.000	0.000	0.595	0.000	0.035	0.000	0.669	0.000	0.154	0.000	0.783	0.998	0.874	0.737
PE	-0.125	0.878		0.040	0.294	0.000	0.000	0.000	0.983	0.000	0.001	0.002	0.199	0.601	0.775	0.484
PLL	0.371	0.656	0.301		0.004	0.024	0.211	0.320	0.362	0.142	0.010	0.011	0.212	0.743	0.120	0.756
HT	0.194	0.080	-0.156	0.416		0.503	0.051	0.545	0.673	0.314	0.005	0.954	0.000	0.977	0.444	0.638
NE	-0.251	0.595	0.557	0.329	0.100		0.759	0.000	0.009	0.000	0.010	0.064	0.014	0.190	0.037	0.722
NGE	-0.099	0.308	0.507	-0.186	-0.287	0.046		0.000	0.164	0.000	0.000	0.559	0.007	0.742	0.239	0.977
NGM	-0.291	0.694	0.804	0.148	-0.091	0.749	0.607		0.010	0.000	0.000	0.018	0.967	0.485	0.010	0.656
PMG	-0.059	0.064	0.003	0.136	-0.063	-0.375	-0.207	-0.374		0.683	0.793	0.891	0.278	0.942	0.002	0.327
RDT	-0.317	0.802	0.896	0.217	-0.150	0.612	0.584	0.872	0.061		0.000	0.016	0.390	0.731	0.177	0.822
HI	-0.617	0.211	0.453	-0.371	-0.404	0.373	0.574	0.658	0.039	0.714		0.654	0.326	0.121	0.013	0.116
TCV	-0.245	-0.495	-0.433	-0.366	-0.009	-0.273	-0.087	-0.342	0.021	-0.351	-0.067		0.362	0.889	0.322	0.380
CHL	0.042	0.041	0.191	-0.185	-0.551	-0.355	0.387	0.006	0.162	0.128	0.146	-0.136		0.854	0.686	0.633
Inj	0.392	0.000	0.078	0.049	0.004	-0.194	0.049	-0.104	0.011	-0.052	-0.229	-0.021	0.028		0.699	0.004
SF	0.386	0.024	-0.043	0.230	0.114	-0.304	-0.175	-0.373	0.450	-0.200	-0.361	-0.148	0.061	0.058		0.303
LE	0.419	0.050	0.105	0.047	0.071	-0.053	0.004	-0.067	-0.146	-0.034	-0.233	-0.131	0.071	0.415	0.153	

Il est à noter que la taille des échantillons ($n= 11$) pour les variétés anciennes et ($n= 47$) pour les variétés récentes fait que certains coefficients de corrélations assez faibles sont significatifs chez les variétés récentes et non significatifs chez les variétés anciennes. Le nombre de grains /m² présente des liaisons positives et significatives avec le rendement en grains ($r_{NGM^2/RDT} = 0.964^{**}$) et avec l'indice de récolte ($r_{NGM^2/HI} = 0.836^{**}$) (Tableau 13). Le rendement en grains en plus de ses liaisons déjà mentionnées il est positivement lié à l'indice de récolte ($r_{RDT/HI} = 0.864^{**}$). Le contenu en chlorophylle est négativement lié à la surface de la feuille étandard, chez les variétés anciennes (Tableau 13).

Chez les variétés récentes, la DVP est négativement et significativement corrélée à l'indice de récolte ($r_{DPV/HI} = -0.617^{**}$), au rendement ($r_{DPV/RDT} = -0.317^*$), au nombre de grains/m² ($r_{DPV/NGM^2} = -0.291^*$), et positivement liée à la paille ($r_{DPV/PLL} = 0.371^*$), au pourcentage de dommages cellulaires ($r_{DPV/INJ} = 0.392^{**}$), à la surface de la feuille étandard ($r_{DPV/SF} = 0.386^{**}$), et à la longueur de l'épi ($r_{DPV/LE} = 0.419^{**}$). A l'intérieure de la variabilité disponible pour cette caractéristique chez les variétés récentes, celles qui sont tardives au stade épiaison se caractérisent par de faibles performances de rendement en grains, du nombre de grains/m² et de l'indice de récolte. Par contre ces variétés produisent relativement plus de paille, sont plus sensibles au stress hydrique, se caractérisent par de longs épis et une feuille étandard aux larges dimensions (Tableau 14).

La BIO est négativement et significativement corrélée à la température de la canopée ($r_{BIO/TCV} = -0.495^{**}$), et positivement au poids des épis ($r_{BIO/PR} = 0.878^{**}$), à la paille ($r_{BIO/PLL} = 0.656^{**}$), au nombre d'épis/m² ($r_{BIO/NE} = 0.595^{**}$), au nombre de grains par épi ($r_{BIO/NGE} = 0.308^{**}$) au nombre de grains par m² ($r_{BIO/NGM^2} = 0.694^{**}$) et au rendement en grains ($r_{BIO/RDT} = 0.802^{**}$, Tableau 16). Ces résultats suggèrent qu'à l'intérieure de la variabilité des variétés récentes une biomasse aérienne élevée est une assurance de l'obtention de

rendements en grains et paille élevés chez les variétés criblées sur la base de cette caractéristique.

Le poids des épis est négativement et significativement corrélée à la température de la canopée ($r_{PR/TCV} = -0.433^{**}$), et positivement lié à l'indice de récolte ($r_{PE/HI} = 0.453^{**}$), au rendement ($r_{PE/RDT} = 0.896^{**}$), au nombre de grains/m² ($r_{PE/NGM^2} = 0.804^{**}$), au nombre de grains/épi ($r_{PE/NGE} = 0.507^{**}$), au nombre d'épis /m² ($r_{PE/NE} = 0.557^{**}$) et à la paille ($r_{PE/PLL} = 0.301^*$). Ces résultats indiquent que les variétés récentes aux épis lourds ou nombreux se caractérisent par un meilleur statut hydrique ce qui leur permet d'extérioriser une température de la canopée réduite et des rendements en grains et en paille élevés.

Le poids de la paille produite est négativement et significativement corrélé avec l'indice de récolte ($r_{PLL/HI} = -0.371^{**}$), et avec la température de la canopée ($r_{PLL/TCV} = -0.366^{**}$). La paille est positivement et significativement corrélée avec la hauteur de la plante ($r_{PLL/HT} = 0.416^{**}$), et avec le nombre d'épis/m² ($r_{PLL/NE} = 0.39^{**}$). Ces résultats suggèrent que chez les variétés récentes le poids de la paille est la résultante des contributions de la hauteur de la plante et du nombre d'épis/m² produit. Les variétés dont la production de la paille est élevée présentent aussi un meilleur statut hydrique et un faible indice de récolte. La hauteur est significativement et négativement corrélée au nombre de grains/épi ($r_{HT/NGE} = -0.287^*$), à l'indice de récolte ($r_{HT/HI} = -0.404^{**}$), et au contenu en chlorophylle de la feuille étandard ($r_{HT/CHL} = -0.551^{**}$)

Le nombre d'épis/m² est positivement et significativement corrélé avec le nombre de grains/m² ($r_{NE/NGM^2} = 0.749^{**}$), le rendement en grains ($r_{NE/RDT} = 0.612^{**}$), l'indice de récolte ($r_{NE/HI} = 0.373^{**}$), et négativement avec le poids de 1000 grains ($r_{NE/PMG} = -0.375^{**}$), le contenu en chlorophylle ($r_{NE/CHL} = -0.355^{**}$), et avec la surface de la feuille étandard ($r_{NE/SF} = -0.304^{**}$). Ces résultats indiquent que le nombre d'épis/m² contribue au rendement, étant une composante, mais il induit la réduction du poids de 1000 grains par compensation. Les variétés qui se caractérisent donc par un nombre d'épis/m² élevé présentent

un faible contenu en chlorophylle et une feuille étendard aux dimensions réduites.

Le nombre de grains/épi est positivement et significativement corrélé avec le nombre de grains/m² ($r_{NGE/NGM^2}=0.607^{**}$), le rendement en grains ($r_{NGE/RDT}=0.584^{**}$), l'indice de récolte ($r_{NGE/HI}=0.574^{**}$), et le contenu en chlorophylle ($r_{NGE/CHL}=0.387^{**}$). Le nombre de grains/m² présentent des liaisons positives et significatives avec le rendement en grains ($r_{NGM^2/RDT}=0.871^{**}$), l'indice de récolte ($r_{NGM^2/HI}=0.658^{**}$), et négatives avec le poids de 1000 grains ($r_{NGM^2/PMG}=-0.374^{**}$), la température de la canopée ($r_{NGM^2/TCV}=-0.341^{**}$) et avec la surface de la feuille étendard ($r_{NGEM^2/SF}=-0.373^{**}$).

Le poids de 1000 grains ne présente qu'une liaison significative et positive avec la surface de la feuille étendard ($r_{PMG/SF}=0.450^{**}$). Le rendement en grains en plus des liaisons déjà citées plus haut, il est positivement et significativement lié à l'indice de récolte ($r_{RDT/HI}=0.714^{**}$), et négativement avec la température de la canopée ($r_{RDT/TCV}=-0.351^{**}$). Ces résultats suggèrent que les meilleurs rendements sont la caractéristique des variétés présentant un indice de récolte élevé et un meilleur statut hydrique.

Les variétés récentes qui présentent une grande surface de la feuille étendard se distinguent par un faible indice de récolte suite à la corrélation négative et significative existante entre ces deux caractères ($r_{HI/SF}=-0.361^{**}$). Il en est de même que les variétés aux longs épis sont plus sensibles au stress hydrique comme le suggère la liaison entre la longueur de l'épi et le pourcentage de dommages cellulaires ($r_{INJ/LE}=0.415^{**}$).

En se basant sur les coefficients de corrélations de fortes valeurs ($>0.600^{**}$), on observe qu'une longue DPV impacte négativement l'HI des deux sources de germoplasmes. La HT contribue fortement à la formation de la biomasse aérienne chez les variétés anciennes mais ce rôle de la HT semble absent chez les variétés récentes où il est remplacé par le poids des épis. La biomasse affecte peu le rendement et ses composantes chez les

variétés locales, par contre elle marque fortement ces caractères chez les variétés récentes. La variation de la chlorophylle et la surface de la feuille étandard affecte la formation de la biomasse alors que cet effet est absent chez les variétés récentes. La production de paille est fortement impactée par la hauteur de la végétation et la surface de la feuille étandard chez les variétés locales, alors que l'effet de ces deux caractères est moins marqué chez les variétés récentes.

La spécification des cultivars les plus pratiques sur la base d'indices de caractères multiples est une nouvelle approche dans les études d'adaptation et de stabilité du blé dur (*Triticum durum* Desf.). Cette approche permet de définir le meilleur cultivar sur la base de plusieurs caractères et de plusieurs emplacements car les cultivars sont affectés par des conditions climatiques imprévisibles. Certains caractères (épis par mètre carré, longueur des épis, nombre de grains par épi, rendement des épis et teneur en chlorophylle des feuilles, entre autres) peuvent être produits à des fins de sélection primaire car ils sont influencés par des facteurs environnementaux et affectent indirectement le rendement et la qualité des grains (Kendal *et al.*, 2019).

La corrélation entre différents caractères est généralement due à la présence d'un déséquilibre de liaison, à des actions génétiques pléiotropes et à l'effet épistatique de différents gènes (Falconer, 1985). L'environnement joue également un rôle important dans la corrélation. Dans certains cas, l'environnement affecte les deux traits simultanément dans la même direction ou bien dans des directions différentes (Abinasa *et al.*, 2011). Les causes génétiques et environnementales de corrélation se combinent et donnent une corrélation phénotypique. La double nature de la corrélation phénotypique montre clairement que l'ampleur de la corrélation génétique ne peut pas être déterminée à partir de la corrélation phénotypique (Abinasa *et al.*, 2011). Les caractères les plus influencés par l'effet année sont la durée de la phase végétative, la hauteur de la végétation, la longueur du col de l'épi, le rendement, la fluorescence de la chlorophylle, le poids de

mille grains, la longueur de l'épi, la teneur relative en eau et la durée de la maturité (Mohammadi *et al.*, 2018).

Mohammadi *et al* (2018) rapportent que les relations inter-caractères entre les deux premières années d'étude n'étaient pas similaires, ce qui indiquait une réponse différentielle des génotypes aux saisons de culture. Ainsi, les corrélations positives les plus importantes ont été trouvées entre le rendement et la fluorescence de la chlorophylle ; entre le PMG, la longueur de l'épi et la longueur du col de l'épi ; entre la durée de la phase végétative, la durée de la maturité et le taux de croissance relatif ; entre la lecture SPAD, la teneur relative en eau et le nombre de grains par épi. Une forte corrélation négative existait pour le rendement avec durée de la phase végétative, la durée de la maturité et le taux de croissance relatif (Mohammadi *et al.*, 2018). Abinasa *et al.* (2011) rapportent une corrélation significative et positive de la hauteur de la plante avec la biomasse et une corrélation négative significative avec l'indice de récolte, cependant une corrélation négative mais non significative pour la hauteur de la plante avec le nombre de grains par épi et le rendement en grains a été enregistré.

Mohammadi *et al* (2018) trouvent que des relations entre les caractères en 2012/13 étaient différentes de celles des deux autres saisons. Des relations positives ont été trouvées entre le rendement, le poids de mille grains et la longueur de l'épi. Les caractères longueur de l'épi, longueur de la feuille étendard, fluorescence de la chlorophylle et teneur relative en eau étaient fortement corrélés entre eux, et la température de la canopée et la durée de la maturité avaient la corrélation la plus forte, presque absolue. Le rendement est fortement corrélée négativement avec les traits phénologiques (la durée de la phase végétative, la durée de la maturité) et la température de la canopée.

Abinasa *et al.*, (2011) ont observé une association positive significative pour le rendement en grains avec les jours pour l'épiaison, le nombre de grains par épi et l'indice de récolte. Akram *et al.* (2008) ont rapporté une

corrélation positive significative entre le nombre de grains par épi, le nombre d'épillets par épi et le rendement en grains du blé. Syme *et al* (1970) rapportent que Le rendement en grains était fortement corrélé à l'indice de récolte et au nombre de grains fixés par rapport au poids de la paille. La corrélation négative de certains caractères importants avec le rendement peut conduire à une sélection indésirable selon que l'association négative est due à la liaison ou à l'effet pléiotrope. Pour améliorer les composants de rendement avec une association négative avec d'autres, une recombinaison appropriée peut être obtenue par accouplement biparental, reproduction par mutation ou accouplement sélectif par diallèle en rompant les liaisons indésirables (Abinasa *et al.* 2011).

Abinasa *et al.* (2011) rapportent une corrélation positive modérée entre la biomasse et le nombre d'épillets par épi et une corrélation négative avec l'indice de récolte. L'indice de récolte a montré une relation négative et significative avec les jours de maturité et une corrélation positive et modérément significative avec le nombre de grains par épi. Une relation négative et significative entre la biomasse et l'indice de récolte.

Le rendement en grains a montré une corrélation positive et significative avec la période de remplissage des grains, les talles productives par plante, le nombre de grains par épi, les épillets par épi, le poids de 1000 grains, le rendement biologique et l'indice de récolte aux niveaux phénotypique et génotypique (Wolde *et al.*, 2016). Ashraf *et al.*, (2011) ont marqué, dans une étude menée sur le blé tendre, une association positive entre le nombre de talles par plante, le nombre d'épillets par épi, la longueur de l'épi, le nombre de grains par épi et le poids de 1000 grains avec le rendement en grains par plante aux niveaux génotypique et phénotypique.

Cependant, les jours à 50% de l'épiaison et la hauteur de la plante ont contribué négativement au rendement en grains aux deux niveaux. Aziz *et al.*, (2018) ont enregistré une corrélation négative entre la durée de la phase végétative et le rendement en grains dans les environnements soumis à des

contraintes thermiques mais l'absence d'une variation significative du rendement en grains dans les environnements optimaux. Les résultats de la présente étude corroborent partiellement celles obtenus par Talebi *et al.*, (2010) qui montrent qu'il y a une forte association positive du rendement en grains avec le nombre de graines / épi, la biomasse et l'indice de récolte. Tandis qu'ils sont différents par rapport aux traits qui contribuent négativement à la performance du rendement en grains qui étaient la longueur des épis et la hauteur des plantes dans différentes conditions d'humidité.

Les caractères déterminants le rendement en grains ont été approchés par le calcul des coefficients de corrélation partiels ou Path. Pour ce faire et pour éviter la colinéarité, les caractères fortement corrélés entre eux et avec le rendement en grains (rendement économique, poids des épis, poids de la paille et nombre de grains par m²) ont été retiré du modèle de la régression linéaire. De plus, comme la tendance de l'analyse des coefficients de corrélation indique une similitude entre les variétés anciennes et récentes, l'analyse en chemin a été faite uniquement en utilisant les données des variétés récentes.

En effet la comparaison des coefficients de corrélations des deux sources de germoplasmes indique l'influence prépondérante de la biomasse aérienne, du nombre d'épis, de grains par épi, la durée de la phase végétative, la température de la canopée et l'indice de récolte sur le rendement en grains (Tableau 15). Les différences de signification statistique des coefficients de corrélation sont plus liées aux degrés de liberté mis en jeu qui sont différents chez les deux sources de germoplasmes.

L'analyse en chemin indique que la BIO (0.259), le NE (0.313), le PMG (0.261), le NGE (0.307) et l'indice de récolte HI (0.418) expriment des effets directs substantiels sur le rendement en grains. Les effets directs de la TRE, la TCV la CHL, la DPV, la PHT et le % Inj sont trop faibles comparativement au facteur résiduel pour être d'utilité quelconque. Des effets indirects substantiels

sont notés via le NE pour la BIO (0.205), via la BIO (0.236) et HI (0.127) pour la NE, via la BIO (-0.185) et le NE (-0.161) pour la TVC, via la NGE (0.134) pour la CHL, via HI (-0.233) pour la DPV, via le NGE (-0.107) et HI (-0.169) pour la PHT et via le NGE (0.16) pour HI (Tableau 15). Ces résultats indiquent que les caractères BIO, NE, NGE, PMG et HI agissent principalement directement sur l'élaboration du rendement en grains, alors que les caractères physiologiques présente de faibles effets indirects via la BIO, le NE, le NGE et/ou HI. Ceci suggère l'amélioration future du rendement en grains doit être ciblée utilisant ces caractères chez les deux sources de germoplasmes, les variétés anciennes comme source génétique de la BIO, la PHT et la paille ; alors que les variétés récentes pour la fertilité de l'épi, le nombre d'épis et l'indice de récolte.

Tableau 15. Coefficients de corrélation de Pearson (r_{ij}) liant les caractères morpho-physiologiques et le rendement en grains chez les deux sources de germoplasmes, effets directs et effets indirects (valeur >0.100) des caractères explicatifs du rendement en grain chez les deux sources de germoplasmes, effets directs et effets indirects (valeur >0.100) des caractères explicatifs du rendement en grains retenus par le modèle de la régression multiple, des variétés récentes.

	r_{ij} récentes	r_{ij} anciennes	beta	BIO	NE	NGE	HI
BIO	0.756*	0.511ns	0.359		0.205		
NE	0.588*	0.430ns	0.313	0.236			0.127
PMG	0.181ns	0.373ns	0.261		-0.111		
NGE	0.565*	0.768*	0.307				0.253
TRE	0.129ns	-0.287ns	-0.021				
TVC	-0.343*	-0.380ns	-0.007	-0.185	-0.161		
CHL	0.197ns	-0.012ns	-0.004			0.134	
DPV	-0.304*	-0.643*	0.024				-0.233
PHT	-0.203ns	-0.446ns	0.085			-0.107	-0.169
INJ	0.009ns	0.008ns	0.029				
HI	0.747*	0.692*	0.418			0.186	
rtab5%	0.288 (45 ddl)	0.602 (9 ddl)					

Ns,* = corrélation non significative et significative à 5%, respectivement Facteur résiduel =0.073. HI= indice de récolte, PHT= hauteur de la plante, DPV= durée de la phase végétative, TVC= température de la canopée, PMG= poids de 1000 grains, NE = nombre d'épis/m², CHL= chlorophylle, NGE= nombre de grains par épi, INJ= % de dégâts cellulaires. BIO= biomasse aérienne.

5 Structuration des caractères et typologie variétale

Les quatre premiers axes de l'analyse en composantes principales expliquent 76.20% de la variation disponibles dans les 18 caractères soumis à l'analyse. Le pourcentage de la variation expliquée par axe est de 42.56%, 15.76%, 10.24 et 7.75%, respectivement pour les axes 1, 2, 3 et 4. Les axes retenus se caractérisent par des valeurs propres supérieures à l'unité (6.84, 2.52, 1.64, et 1.24, respectivement). Les cumuls des pourcentages de la variation expliquée sont de 42.56, 58.34, 68.55 et 76.30% pour les quatre axes retenus.

L'analyse des coefficients de corrélation des variables analysées avec les composantes principales ou axes indique que la durée de la phase végétative (DPV), la hauteur de la plante (HT), la paille produite (PLL), la longueur de l'épi (LE), le poids des épis/m² (PE), le nombre de grains par épi (NGE), le rendement en grains (RDT), le nombre de grains/m² (NGM²) et l'indice de récolte (HI) sont bien représentés par la première composante principale (PC1, Tableau 16).

PC1 est une représentation combinée de la précocité à l'épiaison, la taille de la plante, la performance de rendement en grains et la répartition de la biomasse. La durée de la phase végétative (DPV, -0.874), la hauteur de la plante (HT, -0.809), la paille produite (PLL, -0.738), et la longueur de l'épi (LE, -0.478), sont négativement corrélés avec la première composante. Par contre le poids des épis/m² (PE, 0.728), le nombre de grains par épi (NGE, 0.833), le rendement en grains (RDT, 0.866), le nombre de grains/m² (NGM², 0.872) et l'indice de récolte (HI, 0.966) sont positivement liés à la première composante principale (Tableau 16).

La température de la canopée (TCV), le nombre d'épis/m² (NE) et la biomasse aérienne (BIO) sont bien représentés par la deuxième composante principale (PC2, Tableau 16). PC2 est une représentation du statut hydrique de la feuille étendard, du nombre d'épis montés par unité de surface

emblavée et de la biomasse. La température de la canopée (TCV, -0.612) est négativement corrélée à PC₂, alors que le nombre d'épis/m² (NE, 0.52) et la biomasse aérienne (BIO, 0.514) sont positivement corrélés à PC₂ (Tableau 16).

Tableau 16. Coefficients de corrélation des variables analysées avec les principales composantes retenues de l'analyse en composantes principales.

Caractères	PC ₁	PC ₂	PC ₃	PC ₄
DPV (j)	-0.874	0.290	0.110	0.169
HT (cm)	-0.809	0.300	-0.107	-0.090
PLL (q/ha)	-0.738	0.566	0.021	-0.108
LE (cm)	-0.472	0.403	0.030	0.457
PE (q/ha)	0.728	0.557	0.253	-0.038
NGE	0.833	0.035	0.157	0.347
RDT (q/ha)	0.866	0.367	0.222	-0.122
NGM	0.872	0.414	-0.107	0.104
HI (%)	0.956	-0.128	0.088	-0.049
TCV (°C)	-0.013	-0.612	-0.269	0.114
NE (q/ha)	0.570	0.582	-0.411	-0.193
BIO (q/ha)	0.197	0.514	-0.191	-0.165
PMG (g)	-0.134	-0.153	0.710	-0.480
CHL (cci)	0.381	-0.154	0.607	0.479
SF (cm ²)	-0.526	0.262	0.544	-0.220
Inj (%)	-0.415	0.369	0.097	0.498

Le poids de 1000 grains (PMG), le contenu en chlorophylle de la feuille étendard (CHL) et la surface de la feuille étendard (SF) sont bien représentés par la troisième composante principale (PC₃, Tableau 16). PC₃ est une représentation combinée de la taille du grain, du contenu en chlorophylle et de la taille de la feuille étendard. Ces trois variables sont positivement liées à PC₃ (PMG= 0.710, CHL= 0.607, SF= 0.544, Tableau 16). PC₄ est une représentation de la stabilité membranaire et à laquelle le pourcentage de dommages cellulaires (%Inj = 0.498) est positivement lié (Tableau 16). Ainsi l'ACP structure les variables mesurées en quatre groupes : (DPV), (HT), (PLL), (LE), (PE), (NGE), (RDT), (NGM²) et (HI) ; suivi de (TCV), (NE) et (BIO) ; suivi de (PMG), (CHL) et (SF) et (%Inj).

L'analyse des coordonnées des variétés le long des composantes principales montrent comment se répartissent les différentes variétés en fonction de la structuration des variables mesurées et analysées ou typologie variétale (Figure 41). Les variétés qui présentent les coordonnées les plus élevées en valeur sur PC1 comparativement à leurs coordonnées sur PC2, PC3 et PC4 sont Guemgoum, Adjini, Djenah El Khotaïfa, Polonicum, Gloire de Montgolfier, Langlois, Hedba3, Oued Zénati368, MBB, Beni Mestina, Tadjdid, Poggio, Collosséo, Odisséo, Cyprus, Mexicali 75, Ammar1, Mistral, Mimono, Vitron, Ciccio, Chen's, Setifis, Bolenga, Gecal, Massinissa, Simeto, Iride, Waha, Sarragola et Ofanto (Tableau 17). Ces variétés se caractérisent donc surtout par le groupe de variables bien représentées sur PC1 : (DPV), (HT), (PLL), (LE), (PE), (NGE), (RDT), (NGM²) et (HI).

En fonction du signe des coordonnées, ce groupe de variétés se subdivise en deux sous-groupes : Le sous-groupe de variétés dont les coordonnées sont de signe négatives et le sous-groupe des variétés dont le signe des coordonnées est positif. Le sous-groupe dont les coordonnées sont de signe négatif est formé des variétés Guemgoum (-7.131), Adjini (-5.707), Djenah El Khotaïfa (-5.674), Polonicum (-5.582), Gloire de Montgolfier (-4.652), Langlois (-4.337), Hedba3 (-4.177), Oued Zénati368 (-4.075), MBB (-3.681), Benimestina (-2.430), Tadjdid (-1.578), Poggio (-1.535) et Collosséo (-1.515). Sur les 13 variétés qui forment ce sous-groupe, 9 sont des variétés algériennes très anciennes, datant d'avant les années 1950 (Ducellier, 1930).

Le sous-groupe des variétés dont le signe des coordonnées est positif est composé des variétés Odisséo (0.760), Cyprus (0.838), Mexicali (1.558), Ammar1 (11.587), Mistral (1.793), Mimono (2.023), Vitron (2.037), Ciccio (2.167), Chen's (2.234), Setifis (2.270), Boulenga (2.455), Gecal (2.459), Massinissa (2.573), Simeto (2.991), Iride (3.200), Waha (3.961), Sarragola (4.164) et Ofanto (4.260, Tableau 19).

Tableau 17. Coordonnées des variétés bien représentées le long de la première composante principale de l'analyse en composantes principales.

Variété	N°	PC1	PC2	PC3	PC4
Guemgoum rkhem	23	-7.131	-1.547	1.566	-1.389
Adjini	1	-5.707	-1.300	-0.659	0.294
Djenah Khotaifa	18	-5.674	2.135	-1.388	1.736
Polonicum	47	-5.582	1.749	-0.599	0.556
Gloire de Montgolfier	21	-4.652	2.494	0.401	0.532
Langlois	31	-4.337	1.639	0.505	-0.157
Hedba ₃	24	-4.177	0.027	-0.979	0.387
Oued Zénati ₃₆₈	44	-4.075	3.176	1.538	-1.197
MBB	36	-3.681	0.294	-0.387	-0.650
Beni Mestina	5	-2.430	-1.081	-1.616	-0.221
Tajdid	55	-1.578	-0.271	1.494	1.255
Poggio	46	-1.535	0.616	0.129	1.195
Collosséo	16	-1.515	-0.597	0.208	0.204
Odisséo	40	0.760	-0.677	-0.418	0.580
Cyprus	54	0.838	0.548	0.635	-0.175
Mexicali 75	38	1.558	-0.570	0.146	-0.232
Ammar ₁	2	1.587	-1.254	-0.377	1.156
Mistral	35	1.793	-1.055	-0.299	1.316
Mimono	39	2.023	0.047	0.175	1.821
Vitron	56	2.037	1.420	-1.293	-1.137
Ciccio	14	2.167	-0.540	0.587	-0.332
Chen 's'	13	2.234	-1.395	0.499	0.620
Setifis	52	2.270	2.009	-1.270	-0.653
Bolenga	7	2.455	0.708	-0.976	-0.387
Gecal	20	2.459	0.978	-0.859	2.099
Massinissa	34	2.573	1.066	0.027	-0.546
Simeto	51	2.991	0.090	2.807	-1.762
Iride	27	3.200	0.773	0.726	1.410
Waha	57	3.961	2.561	-0.617	0.423
Sarragola	50	4.164	1.646	0.523	1.894
Ofanto	41	4.260	1.158	3.157	-1.133

La comparaison de ces deux sous-groupes, par dérivation de l'écart, en %, entre les moyennes des variétés ayant des coordonnées positives (Pos) et celles ayant des coordonnées négatives (Neg) soit : % écart = $100 * [(X_{Pos} - X_{Neg}) / X_{Pos}]$, pour les caractères mesurés, indique d'importantes différences, entre les deux sous-groupes, notamment pour les caractères mieux représentés par PC1 (Figure 38).

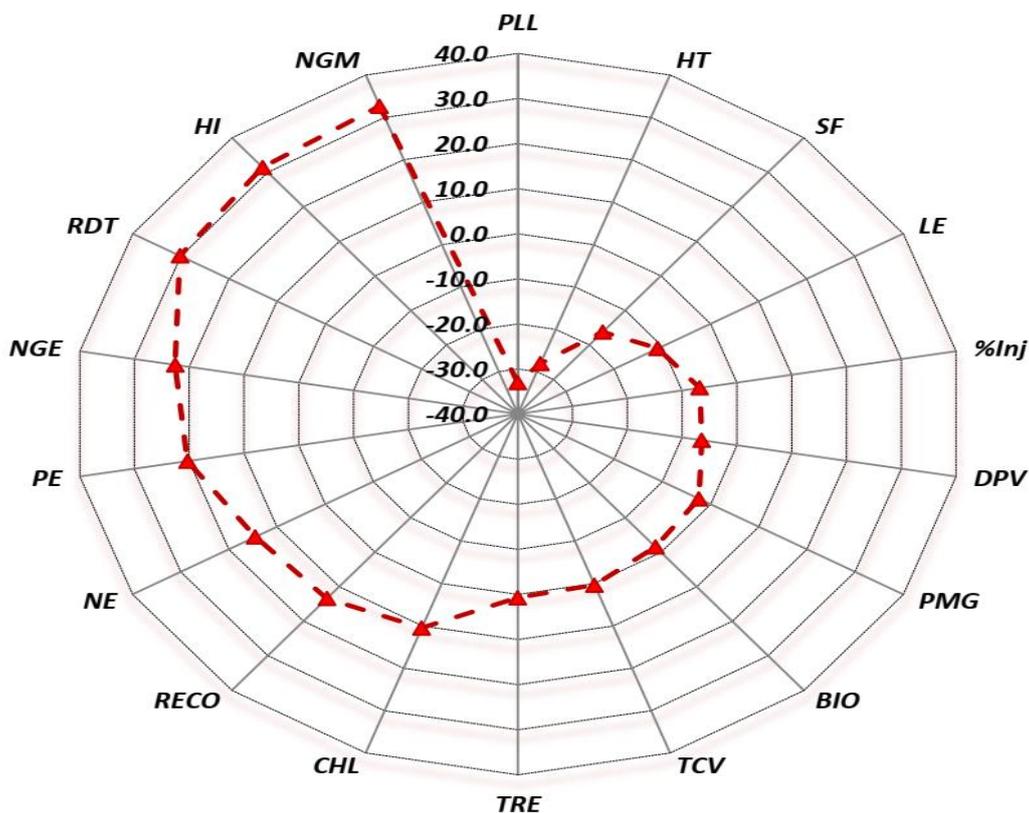


Figure 38. Moyennes des variétés aux coordonnées positives en % de celles des variétés aux coordonnées négatives pour les différents caractères mesurés bien représentés sur PC1.

Ces écarts entre les deux sous-groupes et les moyennes des caractères du sous-groupe des variétés aux coordonnées positives sont les suivantes : 32.63% et 5617.10 grains/m² pour le NGM², 31.36% et 34.71% pour HI, 30.13% et 20.50 q/ha pour le RDT, 22.54% et 24.87 grains/épi pour NGE, 20.28% et 34.91 q/ha pour PE, 14.49% et 243.10 épis/m² pour NE, 13.40% et 27.88 q/ha pour RDT_{eco}, 10.51 et 40.21 cci pour la CHL. Les écarts sont proches de zéro pour TRE, TCV BIO et PMG, dont les moyennes, respectives sont de 84.15 %, 27.73°C, 59.52 q/ha, et 36.88 g. Les écarts négatifs sont de -6.40% et 117.85 j pour la DPV, -6.76% et 58.52% pour %Inj, -10.94% et 6.77 cm pour LE, -16.26% et 19.60 cm² pour SF, -28.09% et 63.92 cm et -33.09% et 24.60 q/ha pour la PLL (Figure 38).

Ces résultats indiquent que la sélection s'est accompagnée de gains positifs pour plusieurs caractéristiques notamment la productivité exprimée par les variétés récentes. Si la réduction de la durée de la phase végétative

est désirable, en soit, en tant que paramètre permettant l'échappement aux stress de fin de cycle, elle est accompagnée par la réduction de la hauteur de la plante et de la capacité de production de la paille, caractéristiques désirables sous climats aride et semi aride. En effet ces deux caractéristiques jouent un rôle important dans l'adaptation aux environnements secs. La comparaison des écarts des variétés situées aux extrémités de PC1 (Guemgoum vs Ofanto et Waha), relativement au comportement du cultivar historique, MBB, pris comme indice 100, confirme les gains génétiques réalisés (Figure 39). Cette figure indique la similitude entre MBB et Guemgoum, hormis le poids élevé du grain chez Guemgoum et la similitude entre Waha et Ofanto, suggérant leur appartenance à des sources différentes de germoplasmes.

Les variétés qui présentent les coordonnées les plus élevées en valeur sur PC2 comparativement à leurs coordonnées sur PC1, PC3 et PC4 sont Core (-4.033), Eider(-3.627), Massara (-2.481), Kébir (-2.457), Karim (-1.757), Bidi₁₇ (-1.646), Inrat₆₉ (-1.541), Haurani (-1.085), Kyperounda (0.555), Mrb (0.728), Orjaune (1.273), GTA dur (1.354), Saoura (1.807) et Sahel (2.086, Tableau 18). Ces variétés se caractérisent surtout par les variables bien représentées sur PC2 : (TCV), (NE) et (BIO, Tableau 16). La comparaison des moyennes des caractères des variétés opposées le long de PC2 montre que le sous-groupe constitué des variétés Kyperounda, Mrb, Orjaune, GTA, Saoura et Sahel, dont les coordonnées sont positives, se distingue par des écarts positifs, appréciables, supérieurs à 8.00% pour NE (8.26%), %Inj (9.66%), LE (11.00%), NGM² (11.05%), PLL (12.50%), BIO (12.61%), RDT_{eco} (12.73%), RDT (12.82%) et PE (14.39%). Des écarts faibles sont notés pour SF (3.82%), HT (2.70%), PMG (2.18%), DPV (1.47%), CHL (-3.98%) et TCV (-5.06%). Des écarts nuls sont notés pour TRE (0.94%), NGE (0.62%) et HI (-0.83%) (Figure 40).

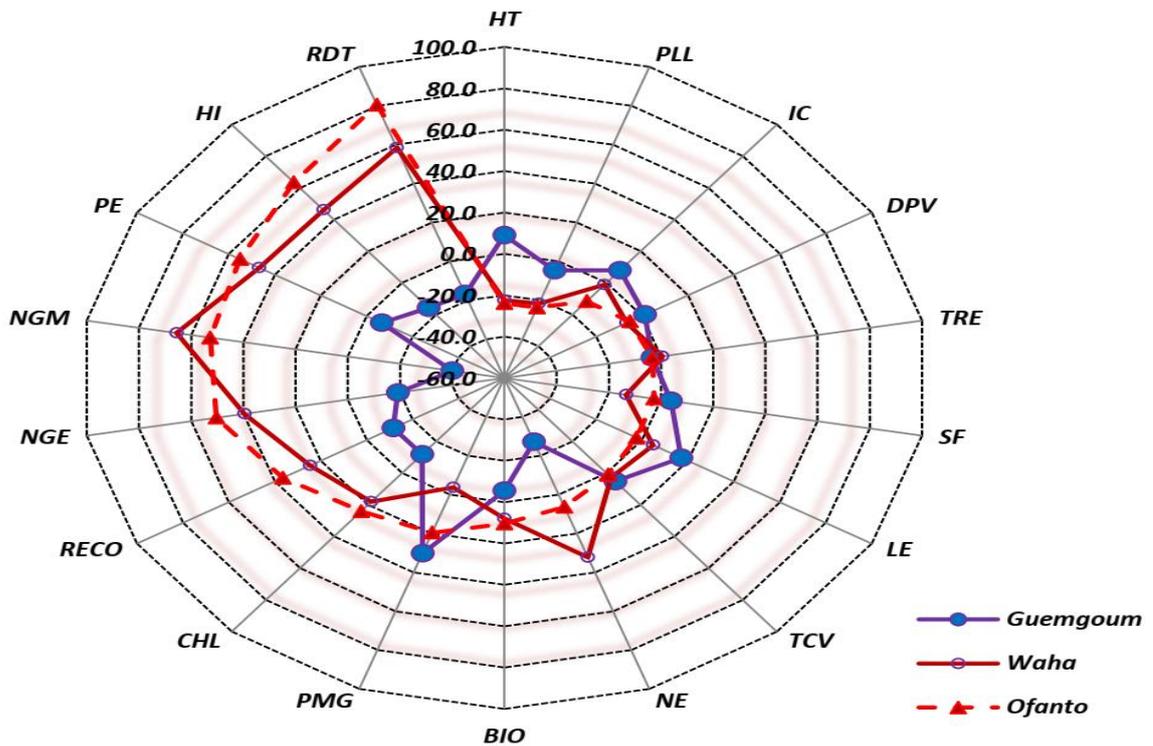


Figure 39. Ecarts des différents caractères mesurés, relatifs aux moyennes de MBB, de Guemgoum (ancienne), Waha et Ofanoto (récentes), variétés les plus contrastées sur PC1.

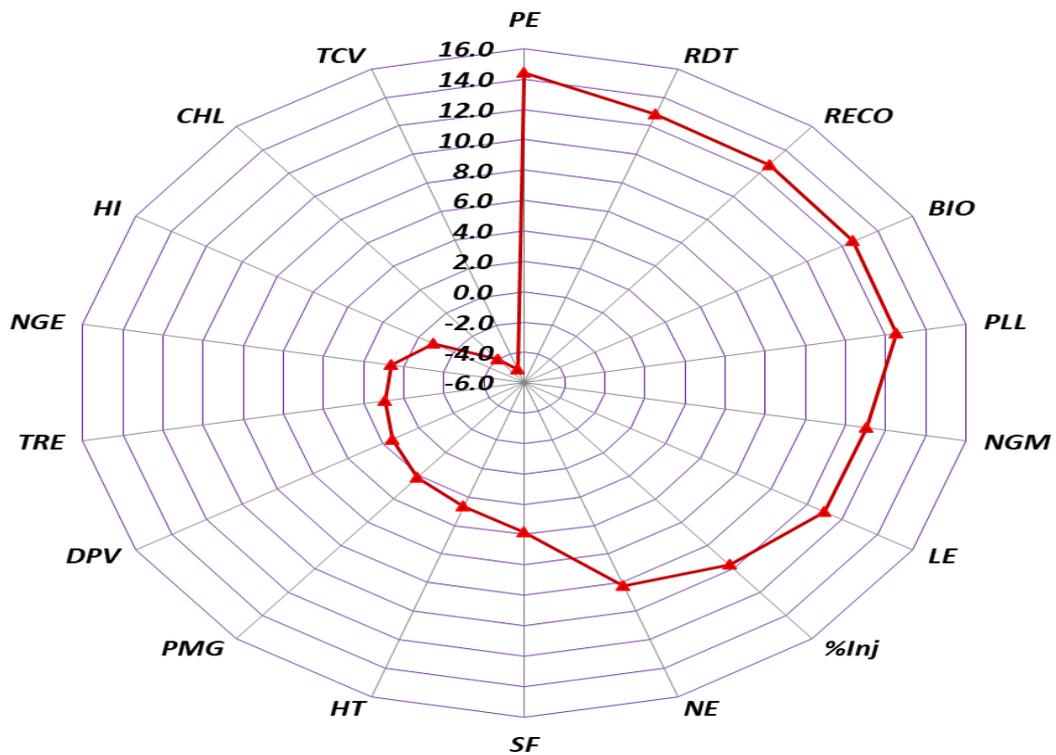


Figure 40. Ecarts (%) ($100 * [(XPos - XNeg) / XPos]$) des différents caractères mesurés du groupe de variétés bien représentées sur PC2.

Tableau 18. Coordonnées des variétés bien représentées le long de la deuxième, troisième et quatrième composante principale de l'analyse en composantes principales.

Variété	N°	PC1	PC2	PC3	PC4
Core	17	-0.155	-4.033	0.177	-1.119
Ider	19	0.600	-3.627	-0.715	1.407
Massara	33	-1.231	-2.481	0.922	-1.118
Kebir	29	-0.723	-2.450	-0.836	1.303
Karim	28	1.391	-1.757	-0.377	-0.528
Bidi ₁₇	6	0.117	-1.646	-0.523	1.411
Inrat ₆₉	25	0.664	-1.541	0.033	0.245
Haurani	25	-0.107	-1.085	-0.171	-0.582
Kyperounda	30	-0.444	0.555	-0.115	-0.424
Mrb	45	0.179	0.728	0.570	0.190
Orjaune	43	-0.042	1.273	0.869	0.808
GTA	22	0.475	1.354	-0.399	0.712
Saoura	49	1.340	1.807	-0.515	-1.021
Sahel	48	-0.901	2.086	1.875	-0.468
Carrioca	11	0.991	-0.756	-2.877	-1.444
Sigus	53	1.167	2.071	-2.439	-1.126
Cham ₃	12	0.739	-1.876	-2.430	-1.578
Beliouni	4	0.711	1.233	-1.510	0.532
Bousselam	8	0.824	0.890	-1.087	-0.709
Orde	42	-0.067	0.220	1.653	0.037
Cirta	15	-0.909	-1.030	1.699	-0.830
Mansoura	32	-0.062	-2.121	2.196	0.031
Megress	37	1.205	0.351	2.476	0.808
Capeiti	10	1.846	0.543	-2.250	-2.749
Canizzo	9	0.970	-1.292	0.827	-1.689
Ammar ₆	3	0.528	-2.138	-0.171	1.179
Wahbi	58	0.493	-1.195	-0.557	1.243

Les résultats de Afrooz *et al.*, (2014) ont montré que l'analyse en composantes principales (CP) avait regroupé les caractères mesurés en quatre composantes principales qui représentaient au total 77% de la variation totale dans des conditions non stressées et 87% dans des conditions de stress hydrique. En ce qui concerne les quatre premiers composantes principales, la longueur du pédoncule, le score agronomique, le rendement en grains, la vigueur, le poids spécifique, le nombre de jours jusqu'à la

maturité physiologique et le PMG se sont révélés être les variables les plus importantes affectant la performance du blé dur en conditions non stressées.

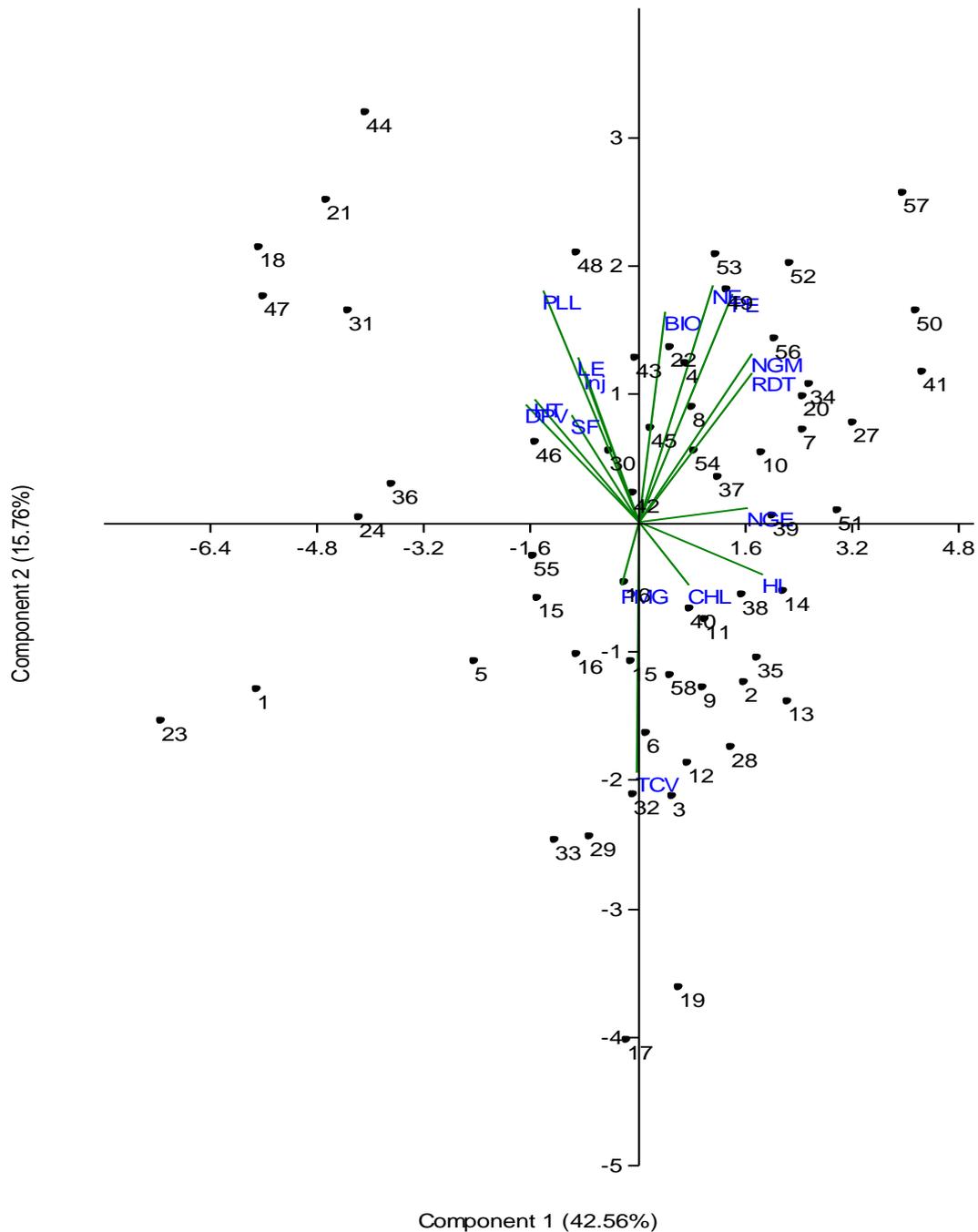


Figure 41. Représentation des variables mesurées, des variétés évaluées sur le plan formé par les axes 1 et 2 de l'analyse en composantes principales.

Dans les quatre premiers PC à l'état de stress hydrique, le score agronomique, le rendement en grains, la vigueur, les jours jusqu'à maturité physiologique, le poids spécifique et la longueur du pédoncule se sont révélés être les variables importantes dans des conditions de stress hydrique (Afrooz *et al.*, 2014). Cela met en évidence l'importance de choisir des cultivars non seulement pour une caractéristique, mais une combinaison de caractères désirables comme suggéré par Powell *et al.*, (2012).

Conclusion

Les résultats de cette étude, qui a été conduite durant les saisons de culture 2015/16 et 2016/17, divergentes pour la répartition mensuelle et saisonnière des pluies, avec 58 variétés de blé dur anciennes et modernes cultivées dans les conditions du sud de la Méditerranée, testés en deux sites, ITGC-AES de Sétif et Khroub, indiquent des effets moyens année, génotype, site et des interactions sites x années significatifs pour l'ensemble des 18 caractères analysés hormis quelques caractères et non significatifs pour les interactions génotype x année, génotype x site et génotype x année x site à l'exception de quelques caractères.

Les résultats ont indiqué que, en moyenne selon les saisons et les emplacements, les variétés modernes ont surpassé les anciennes en termes de rendement en grain, nombre d'épis, poids des épis, nombre de grains par mètre carré, indice de récolte, fertilité des épis et teneur en chlorophylle. Les anciennes variétés ont surpassé les variétés modernes en termes de rendement en paille, de la tardivité, de la hauteur et de la surface de la feuille étendard.

Les résultats indiquent que les variétés les plus stables, de par la σ^2E , sont les moins performantes et répondent peu à la fertilité du milieu, comparativement aux variétés instables de par ce paramètre et que globalement les variétés anciennes ne possèdent pas la capacité de valoriser les environnements fertiles à l'inverse des variétés récentes.

La répartition des génotypes criblés sur la base de l'indice STI suggère que les variétés récentes sont le plus souvent plus résistantes aux stress, résistance telle que définie par cet indice (comportement en absence et en présence du stress), alors que les variétés plus anciennes sont, le plus souvent, sensibles à ce type de stress.

La comparaison des deux sources de germoplasme incluant 11 variétés anciennes dites locales et 47 variétés récentes, évaluées au cours de deux années et sur deux sites, pour 18 caractères morpho-physiologiques et agronomiques, indique que l'avènement des variétés récentes apporte des gains appréciables, pour l'indice de récolte (HI,+27%), le nombre de grains /m² (NGM²,+22%), le rendement en grains (RDT, +21%), la fertilité de l'épi estimée par le nombre de grains par épi (NGE, 17%) et le poids des épis (PE,13%).

Le gain est juste modéré pour le nombre d'épis/m² (NE, 8%), le contenu en chlorophylle (CHL, %) et le rendement économique (RDT_{eco}, 5%). La sélection ne semble pas apporter de changements relatifs à la teneur relative en eau de la feuille étandard (TRE, +1%), la température de la canopée (TCV, 0%), et le poids de 1000 grains (PMG, 0%).

La sélection a induit une réduction de la durée de la phase végétative (DPV, -6%), de la biomasse aérienne produite (BIO, -8%), du pourcentage des dommages cellulaires (Inj, -8%), de la surface de la feuille étandard (SF, -9%) et de la longueur de l'épi (LE, -9%). La réduction est plus élevée pour la hauteur de la plante (HT, -29%) et pour la paille (PLL, -35%).

Les corrélations inter-caractères révèlent que les variétés locales aux gros épis et/ou produisant plus d'épis sont les plus performantes en termes de rendement en grains. Ce caractère peut servir de critère de criblage pour isoler les variétés les plus performantes en termes de rendement en grains. Les variétés aux longs épis sont plus sensibles au stress hydrique.

À l'intérieure de la variabilité des variétés récentes une biomasse aérienne élevée est une assurance de l'obtention de rendements en grains et paille élevés chez les variétés criblées sur la base de cette caractéristique. Les variétés récentes aux épis lourds ou nombreux se caractérisent par un meilleur statut hydrique ce qui leur permet d'extérioriser une température de la canopée réduite et des rendements en grains et en paille élevés.

Chez les variétés récentes le poids de la paille est la résultante des contributions de la hauteur de la plante et du nombre d'épis/m² produit. Les variétés dont la production de la paille est élevée présentent aussi un meilleur statut hydrique et un faible indice de récolte.

Les meilleurs rendements sont la caractéristique des variétés présentant un indice de récolte élevé et un meilleur statut hydrique.

La hauteur contribue fortement à la formation de la biomasse aérienne chez les variétés anciennes mais ce rôle semble absent chez les variétés récentes où il est remplacé par le poids des épis. La biomasse affecte peu le rendement et ses composantes chez les variétés locales, par contre elle marque fortement ces caractères chez les variétés récentes. La variation de la chlorophylle et la surface de la feuille étendard affecte la formation de la biomasse alors que cet effet est absent chez les variétés récentes. La production de paille est fortement impactée par la hauteur de la végétation et la surface de la feuille étendard chez les variétés locales, alors que l'effet de ces deux caractères est moins marqué chez les variétés récentes.

Les résultats de l'ACP indiquent que la sélection s'est accompagnée de gains positifs pour plusieurs caractéristiques notamment la productivité exprimée par les variétés récentes. Si la réduction de la durée de la phase végétative est désirable, en soit, en tant que paramètre permet l'échappement aux stress de fin de cycle, cette sélection a raté de cumuler dans les fonds génétiques ci-dessus mentionnés, les gènes contrôlant la hauteur de la plante et la capacité de production de la paille. Ces deux caractères jouent un rôle important dans l'adaptation aux environnements secs. La comparaison des écarts des variétés situées aux extrémités de PC1 (Guemgoum vs Ofanto et Waha), relativement au comportement du cultivar historique, MBB, confirme les gains génétiques réalisés. Les résultats indiquent la similitude entre MBB et Guemgoum, hormis la taille élevée du grain chez Guemgoum et la similitude entre Waha et Ofanto, suggérant leur appartenance à des sources différentes de germoplasme.

Une étude plus approfondie de la base génétique et physiologique du potentiel de rendement combiné et de la stabilité en utilisant ces cultivars est justifiée. Les résultats sont pertinents pour le développement de la cartographie des populations dans les programmes de sélection visant à augmenter le potentiel de rendement et la résilience climatique pour les régions semi-arides afin d'obtenir des augmentations soutenues des rendements.

Références bibliographiques

- Abbassenne, F., Bouzerzour, H. et Hachemi, L. 1998. Phénologie et production du blé dur en zone semi-aride d'altitude. *Annales INA - El Harrach, Alger*, 18: 24 - 36.
- Abdelguerfi, A. et Laouar, M., 2000. Les ressources génétiques des blés en Algérie : passé, présent et avenir. In « Blé 2000... Enjeux et Stratégie », *Actes du 1er Symposium International sur la Filière Blé, OAIC, Alger*, 7-9/02/2000, 133-148.
- Abinasa, M., Amsalu, A. and Geremew, B. 2011. Genetic variability, heritability and trait associations in durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) genotypes. *African journal of agricultural research*, 6(17).
- Acquaah, G. 2007. *Principals of Plant Genetics and Breeding*. Blackwell Publishing, Oxford, UK.
- Adjabi, A., Bouzerzour, H. and Benmahammed, A. 2014. Stability Analysis of Durum Wheat (*Triticum durum* Desf.) Grain Yield. *Journal of Agronomy*, 13(3): 131-139.
- Afrooz, G., Sabaghnia, N., Karimizadeh, R. and Shekari, F. 2014. Analysis of some agronomic traits of durum wheat under dryland and supplemental irrigation conditions. *Agriculture (Polnohospodárstvo)*, 60(4): 149–158.
- 6 Akintunde, A. 2012. Path Analysis Step by Step Using Excel. *Journal of Technical Science and Technologies*, 1(1): 9-15.
- Akram, M. 2011. Growth and yield components of wheat under water stress of different growth stages, *Bangladesh J. Agr Res*, 36(3): 455-468.

- Akram, Z., Ajmal, S.U. and Munir, M. 2008. Estimation of correlation coefficient among some yield parameters of wheat under rainfed conditions. *Pakistan J. Bot.*, 40(4): 1777-1781.
- Ali, Y., Atta., B., M. Akhtar, J., Monnenveux, P. and Lateef, Z. 2008. Genetic Variability, Association And Diversity Studies In Wheat (*Triticum Aestivum* L.) Germplasm. *Pak. J. Bot.*, 40(5): 2087-2097.
- Al-Khatib, K. and Paulsen, G.M. 1990. Photosynthesis and productivity during high temperature stress of wheat genotypes from major world regions. *Crop Sci.*, 30: 1127-1132.
- Álvaro, F., Isidro, J., Villegas, D., García del Moral, L.F. and Royo, C. 2008. Breeding effects on grain filling, biomass partitioning, and remobilization in Mediterranean durum wheat. *Agron. J.*, 100 : 361–370.
- 7 Amani, I., Fischer, R. A. and Reynolds, M. P. 1996. Canopy Temperature Depression Association with Yield of Irrigated Spring Wheat Cultivars in a Hot Climate. *Journal of agronomy and Crop Science*, 176(2): 119-129.
- Amit Gautam S. V., Prasad, S. Jajoo, A. and Ambati, D. 2015. Canopy temperature as a selection parameter for grain yield and its components in Durum wheat under terminal heat stress in late sown conditions. *Agric Res.*, 4 :238–244.
- Ammar, M. 2014. Organisation de la chaîne logistique dans la filière céréales en Algérie : Etat des lieux et perspectives. Master of Sciences, *CIHEAM-IAMM*, 127 pp.
- Ammar, K. 2015. Enhancing the Sustainability of Global Durum Wheat Production. <http://www.openfields.it/category/docs/2015>.
- Amokrane, A., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., Djekoun, A., et Mekhlouf, A. 2002. Etude comparative des variétés de blé dur (*Triticum durum*

Desf.) d'origine Algérienne, syrienne et Européenne sous climat de type méditerranéen. *Sciences et Technologie numéro spécial D* : 33-38.

Anzer, U.I., Islam, Ashok, K. Chhabra, Satyaveer, S. Dhanda and R. Munjal. 2017. Cell membrane stability- an important criterion for selection of heat tolerant genotypes in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Applied and Natural Science*, 9: 1894 – 1900.

Arega, G., Hussein, M. & Harjit, S. 2007. Selection Criterion for improved grains yields in Ethiopian durum wheat genotypes. *African Crop Science Journal*, 15(1): 25 – 31.

Ashraf, A. A., Abo Hegazy, S. R. and Taha, M. H. 2011. Genotypic and phenotypic interrelationships among yield and yield components in Egyptian bread wheat genotypes. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 4(1):9-16.

Austin, R.B. 1980. Genetic improvement in winter wheat yield since 1900 and associated physiological changes. *J Agric Sci.*, 94: 675–689.

Austin, R.B., Ford, M.A. and Morgan, C.L. 1989. Genetic improvement in the yield of winter wheat: A further evaluation. *J. Agric. Sci. (Cambridge)*, 112: 295–301.

Aziz, T., Mahmood, Z., Mahmood, K., Shazadi, A.M., Kazi, and Rasheed, A. 2018. Genotypic Variation and Genotype × Environment Interaction for Yield-Related Traits in Synthetic Hexaploid Wheats under a Range of Optimal and Heat-Stressed Environments. *Crop Sci.*, 58 : 295-303.

Bahlouli F., Bouzerzour, H. Benmahammed, A. and Hassous, K. L. 2005. Selection of high yielding and risk efficient Durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars under semi-arid conditions. *Journal of Agronomy*, 4(4): 360-365.

- Bahlouli, F., Bouzerzour, H. et Benmahammed, A. 2008. Effets de la vitesse et de la durée du remplissage du grain ainsi que de l'accumulation des assimilats de la tige dans l'élaboration du rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) dans les conditions de culture des hautes plaines orientales d'Algérie. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 12(1): 31-39.
- Barrs, H. D. and Weatherley, P. E. 1962. A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. *Australian Journal of Biological Sciences*, 15(3): 413-428.
- Battenfield, S. D., Klatt, A. R. and Raun, W. R. 2013. Genetic Yield Potential Improvement of Semi dwarf Winter Wheat in the Great Plains. *Crop Breeding & Genetics*, 53(3): 946-955.
- Belkherchouche, H., Benbelkacem, A., Bouzerzour, H. and Benmahammed A. 2015. Flag leaf and awns ablation and spike shading effects on spike yield and kernel weight of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) under rainfed conditions. *Advances in Environmental Biology*, 9: 184-191.
- Benbelkacem, A. 2014. The history of wheat breeding in Algeria. In Porceddu E. (ed.), Damania A.B. (ed.), Qualset C.O. (ed.). Proceedings of the International Symposium on Genetics and breeding of durum wheat Bari: *CIHEAM Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens*, 110: 363-370
- Benmahammed, A., Kribaa, M., Bouzerzour, H. and Djekoun, A. 2008. Relationships between F2, F3 and F4-derived lines for above ground biomass and harvest index of three barley (*Hordeum vulgare* L.) crosses in a Mediterranean-Type Environment. *Agricultural Journal*, 3(4): 313-318.

- Benmahammed, A., Kribaa, M., Bouzerzour, H. and Djekoun, A. 2008. Assessment of stress tolerance in barley (*Hordeum vulgare* L.) advanced breeding lines under semi arid conditions of the eastern high plateaus of Algeria. *Euphytica*, 172(3): 383-394.
- Benmahammed, A., Nouar, H., Haddad, L., Laala, Z., Oulmi, A. et Bouzerzour, H. 2010. Analyse de la stabilité des performances de rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous conditions semi-arides. *BASE [En ligne]*, 1(14) : 177-186
- Bennett, M. D. and Smith, J.B. 1975. Confirmation of the identification of the 1B/1R wheat-rye chromosome substitution and translocation lines. *Can. J. Genet. Cytol.*, 17: 117-120.
- Bensemmane, L., Bouzerzour, H., Benmahammed, A. and Mimouni, H. 2011. Assessment of the phenotypic variation within two-and six-rowed barley (*Hordeum vulgare* L.) breeding lines grown under semi-arid conditions. *Advances in Environmental Biology*, 5(7): 1454-1461.
- Bensemmane, L. 2015. Analyse de l'adaptation de l'orge (*Hordeum Vulgare* L.) sous conditions semi-arides. *Thèse doctorat des sciences*, Université Sétif 1, 177 pages.
- Borlaug, N.E. 1995. Wheat breeding at CIMMYT. Commemorating 50 years of research in Mexico for global wheat improvement. *Wheat Special Report*, 29: 4-6.
- Brancourt-Hulmel, M., Doussinault, G. Lecomte, C. Berard, P. LeBuanec, B. and Trottet, M. 2003. Genetic improvement of agronomic traits of winter wheat cultivars released in France from 1946 to 1992. *Crop Sci.*, 43: 37-45.

- Calderini, D.F., Dreccer, M.F. and Slafer, G.A. 1995. Genetic improvement in wheat yield and associated traits: A re-examination of previous results and the latest trends. *Plant Breed.*, 114: 108–112
- Canevara, M.G., Romani, M. Corbellini, M. Perenzin, M. and Borghi, B. 1994. Evolutionary trends in morphological, physiological, agronomical and qualitative traits of *Triticum aestivum* L. cultivars bred in Italy since 1900. *Eur. J. Agron.*, 3: 175–185.
- Carranza-Gallego, G., Guzmán, G.I., Soto, D., Aguilera, E. Villa, I., Infante-Amate, J., Herrera, A. and González de Molina, M. 2018. Modern wheat varieties as a driver of the degradation of Spanish rainfed Mediterranean agro-ecosystems throughout the 20th Century. *Sustainability*, 10: 1-23.
- 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 J Plant Sci.*, 5: 854-860.
- Chenafi, H., Hannachi, A., Touahria, O., Fellahi, Z.E.A., Makhoulouf, M. and Bouzerzour, H. 2011. Tillage and residue management effect on durum wheat [*Triticum turgidum* (L.) Thell. ssp. *turgidum* conv. *Durum* (Desf.) MacKey] growth and yield under semi- arid climate. *Advances in Environmental Biology*, 5: 3231-3240.
- Cimmyt. 1974. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. Annual Report. viii, 96 pages. Mexico, DF (Mexico).
- CNCC, 2015. Bulletin des variétés de céréales autogames. Edition 2015, 257 p.
- Condon, A., G.Richards, R. A., Rebetzke, G. J. and Farquhar G. D. 2004. Breeding for high water-use efficiency. *Journal of Experimental Botany*, 55(407): 2447–2460.

- Cox, T.S., Shroyer, J.P. Liu, B.H. Sears, R.G. and Martin, T.J. 1988. Genetic improvement in agronomic traits of hard red winter wheat cultivars from 1919 to 1987. *Crop Sci.*, 28: 756–760.
- Degewione, A., Dejene, T. and Sharif, M. 2013. Genetic variability and traits association in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. *Int. Res. J. Agri. Sci.*, 1(2): 19-29.
- Derbal, N. 2015. Etude de la variation spatio-temporelle de certaines caractéristiques technologiques de quelques variétés de blé dur cultivées en Algérie. *Mémoire de Doctorat*, Université Badji Mokhtar - Annaba, 76 p.
- De Vita, P., Nicosia, O.L.D. Nigro, F. Platani, C. Riefolo, C. Di Fonzo, N. and Cattivelli, L. 2007. Breeding progress in morpho-physiological, agronomical and qualitative traits of durum wheat cultivars released in Italy during the 20th century. *European Journal of Agronomy*, 26(1): 39-53.
- De Vita, P., Mastrangelo, A.M., Matteu, L., Mazzucotelli, E., Virzì, N., Palumbo, M., Storto, M. L., Rizza, F. and Cattivelli, L. 2010. Genetic improvement effects on yield stability in durum wheat genotypes grown in Italy. *Field Crop Research*, 119(1): 68-77.
- Dai, J., Bean, B., Brown, B., Bruening, W., Edwards, J., Flowers, M., Karow, R., Lee, C., Morgan, G., Ottman, M., Ransom, J. and Wiersma, J. 2016. Harvest index and straw yield of five classes of wheat. *Biomass and Bioenergy*, 85: 223-227.
- Donaldson, E., Schillinger, W .F. and Dofing, S.M. 2001. Straw production and grain yield relationships in winter wheat, *Crop Sci.*, 41(1): 100-106.

- Donmez, E., Sears, R.G., Shroyer, J.P. and Paulsen, G.M. 2001. Genetic gain in yield attributes of winter wheat in the Great Plains. *Crop Sci.*, 41: 1412–1419
- Dotlacil, L., Hermuth, J. and Stehno. Z. 2003. Earliness, spike productivity and protein content in European winter wheat landraces and obsolete cultivars. *Plant Soil Environ.*, 49: 67–74.
- Ducellier, L., 1921. Contribution à l'étude des espèces du genre *Triticum* cultivées dans le Nord de l'Afrique », *B. Soc. Hist. Nat. Afr. du N*, t. XII: 66-68.
- Ducellier, L. 1930. Espèces et variétés des céréales cultivées en Algérie. *Direction de l'Agriculture et de la Colonisation*, 1-62.
- Dyck, J. A., Matus-Cádiz, M., Hucl, P., Talbert, L., Hunt, T., Dubuc, J. P., Nass, H., Clayton, G., Dobb, J. and Quick, J. 2004. Agronomic Performance of Hard Red Spring Wheat Isolines Sensitive and Insensitive to Photoperiod. *Crop Science*, 44(6).
- Eid, M.H. 2009. Estimates of heritability and genetic advance of yield traits in wheat (*Triticum aestivum* L.) under drought conditions. *International Journal of Genetics and Molecular Biology*, 1(7): 115 – 120.
- Elias, E.M. and Manthey, F.A. 2005. Durum wheat breeding at North Dakota State University. Pages 939-962. C. Royo, M.M. Nachit, N. DiFonzo, J.L. Araus, W.H. Pfeiffer, and G.A. Slafer eds. *Food Products Press*. New York.
- Engel, R.E., Long, D.S. and Carlson, G.R. 2003. Predicting straw yield of hard red spring wheat, *Agron. J.*, 95(6): 1454-1460.
- Erroux, J. 1991. Le Blé. URL :<http://journals.openedition.org/encyclopedie-berbere/1766> [En ligne], mis en ligne le 01 mai 2013, consulté le 19 avril 2019.

- Falconer, D.S. 1985. *Introductions to Quantitative Genetics*. Longman, London.
- Falconer, D. S. and Mackay, T. F. 1996. *Introduction to quantitative genetics*. Harlow, U.K. Longman.
- FAO. 2016. *Climate change and food security: risks and responses*. Rome: Food Agriculture Organization, 110 pp. Available from: <http://www.fao.org/3/a-i5188e.pdf>.
- Faostat. 2017. Statistical database of the food and agriculture organization of the United Nations. <http://faostat.fao.org>.
- Fellahi, Z. 2013. Aptitude à la combinaison et héritabilité de quelques caractères agronomiques du blé tendre (*Triticum aestivum* L.). *Mémoire de Magister*, Université Saad Dahlab-Blida, 136 p.
- Fellahi, Z., Hannachi, A., Bouzerzour, H. and Boutekrabt, A. 2013a. Line × Tester Mating Design Analysis for Grain Yield and Yield Related Traits in Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.). *International Journal of Agronomy*, (2013), Article ID 201851, 9 p.
- Fellahi, Z., Hannachi, A. Bouzerzour, H. and Benbelkacem, A. 2016. Genetic control of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) traits. *Songklanakarine journal of science and technology*, 38(1): 91-97.
- Fellahi, Z., Hannachi, A., Ferras, K., Oulmi, A., Boutalbi, W., Bouzerzour, H. and Benmahammed A. 2017. Analysis of the phenotypic variability of twenty f3 biparental populations of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) evaluated under semi-arid environment. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 9(1):102-118.
- Feyerherm, A.M. and Paulsen, G.M. 1981. An analysis of temporal and regional variation in wheat yields. *Agron J.*, 73: 863-7.

- 8 Fischer, R. A., Rees, D., Sayre, K. D., Lu, Z. M., Condon, A. G. and Larque Saavedra. 1998. Wheat Yield Progress Associated with Higher Stomatal Conductance and Photosynthetic Rate, and Cooler Canopies. *Crop Science*, 38(6): 1467-1475.
- Fischer, T., Byerlee, D. and Edmeades, G.O. 2014. Crop yields and global food security. Will yield increase continue to feed the world? ACIAR Monograph No. 158. Canberra: Aust. Centre for Intern. *Agricultural Research*. Canberra, xxii + 634 pp.
- Fiore, M.C., Mercali, F. Spina, A. Blangiforti, S. Venora, G. Dellacqua, M. Lupini, A. Preiti, G. Monti, M. Enrico Pé M. and Sunseri, F. 2019. High throughput genotype, morphology and quality traits evaluation for the assessment of genetic diversity of wheat landraces from Sicily. *Plants*, 116: 1-17.
- Fokar, M., Nguyen, H. T. and Blum, A. 1998. Heat tolerance in spring wheat. I. Estimating cellular thermotolerance and its heritability. *Euphytica*, 104: 1-8.
- Foulkes, M., Verma, R., Sylvester, R., Weightman, R. and Snap, J. 2004. Traits For improved drought tolerance of winter wheat in the UK. Proceeding of the 4 th international crop science congresses. *Brisbane*, Australia.
- Friebe, B., Zeller, F. and Kunzmann, R. 1987. Transfer of the 1BL/1RS wheat-rye-translocation from hexaploid bread wheat to tetraploid durum wheat. *Theo. Appl. Genetics*, 74: 423-425.
- Fu, D., Szűcs, P., Yan, L., Helguera, M., Skinner, J., von Zitzewitz, J. and Dubcovsky, J. 2005. Large deletions within the first intron in VRN-1 are associated with spring growth habit in barley and wheat. *Mol. Genet. Genomic*, 273: 54-65.
- Gibson, L.R. and Paulsen, G.M. 1999. Yield components of wheat grown under high temperature stress during reproductive growth. *Crop Sci.*, 39: 1841-1846.

- Giunta, F., Motzo, R., and Pruneddu, G. 2007. Trends since 1900 in the yield potential of Italian-bred durum wheat cultivars. *Eur. J. Agron.*, 27: 12–24.
- Griffing, B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing system. *Aust. J. Biol. Sci.*, 9: 463-493.
- Haddad, L. 2010. Contribution à l'étude de la stabilité des rendements du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous climat méditerranéen. *Mémoire de Magister. Département Agronomie. FSNV. UFA. Sétif*. 70 pages.
- Haddad, L., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., Zerargui, H., Hannachi, A., Bachir, A., Salmi, M., Oulmi, A., Fellahi, Z., Nouar, H. and Laala, Z. 2016. Analysis of Genotype x Environment Interaction for Grain Yield in Early and Late Sowing Date on Durum Wheat (*Triticum durum* Desf.) Genotypes. *Jordan Journal of Biological Sciences*, 9(3): 139-146.
- Haddad, L., Bachir, A., Yakhlef, N., Benmahammed A. and Bouzerzour, H. 2021. Durum wheat [*Triticum turgidum* (L.) Thell. ssp. *turgidum* conv. *durum* (Desf.) MacKey] improvement during the past 70-year in Algeria: Performance assessment of a set of historical varieties under rainfed conditions of the eastern high plateaus. *Jordan Journal of Biological Sciences*. 14(3).
- Hammer, O., Harper, D. A. T. and Ryan, P. D. 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4: 1-9.
- Hamli, S., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., Oulmi, A., Kadi, K. et Addad D. (2015). Déterminisme génétique des caractères morphophysologiques liés au rendement chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) en zone semi-aride des hauts plateaux Sétifiens, Algérie. *European Scientific Journal*, 12: 146-160.

- Hannachi, A. 2013. Analyse diallèle de quelques caractères associés à l'adaptation du blé dur (*Triticum durum* Desf.) au climat semi-aride. *Mémoire de Magister, Université Saad Dahlab-Blida*, 106 p.
- Hannachi, A., Fellahi, Z., Rabti, A., Guendouz, A. and Bouzerzour, H. 2017. Combining ability and gene action estimates for some yield attributes in durum wheat (*Triticum turgidum* L var. *durum*). *J. Fundam. Appl. Sci.*, 9(3): 1519-1534.
- HAY, R. K. M., 1995. Harvest index: a review of its use in plant breeding and crop physiology. *Annals of Applied Biology*, 126: 197-216.
- Hoogendoorn, J. 1985. A reciprocal F1 monosomic analysis of the genetic control of time of ear emergence, number of leaves and number of spikelets in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Euphytica*, 34: 545-558.
- Hucl, P., and Baker, R.J. 1987. A study of ancestral and modern Canadian spring wheat. *Can. J. Plant Sci.*, 67: 87–97.
- Hussain, F., Rafiq, M., Iqbal, Z., Iqbal, J. and Chowdhry, M. A. 2013. Estimates of heritability and advance for grain yield and its components in different segregating populations of wheat. *J. Agric. Res.*, 51(4): 349- 360.
- Hurd, E.A., (1974). Phenotype and drought tolerance in wheat. *Agric. Meteo.*, 14: 39-55.
- Iannucci, A. and Codianni, P. 2019. Phenotypic parent selection within a Khorasan Wheat Collection and genetic variation in advanced breeding lines derived by hybridization with Durum Wheat. *Front. Plant Sci.*, 10:1460.
- Ibrahim, A. M. H. and Quick, J. S. 2001. Genetic control of high temperature tolerance in wheat as measured by membrane thermal stability. *Crop Science*, 41(5): 1405-1407.

- IGC, 2016. International Grains Council. World grain statistics. <http://www.igc.int/>.
- Inraa-cnra. 1970. Catalogue en ligne - SIAFEE – AgroParisTech.
- Kadi, Z., Adjel, F. and Bouzerzour, H. 2010. Analysis of the Genotype X Environment Interaction of Barley Grain Yield (*Hordeum Vulgare* L.) Under Semi-arid Conditions. *Advances in Environmental Biology*, 4(1): 34-40.
- Kameli, A. and Lôsel, D. M. 1995. Contribution of Carbohydrates and other Solutes to Osmotic Adjustment in Wheat Leaves Under Water Stress. *Journal of Plant Physiology*, 145(3): 363-366.
- Karimizadeh, R., Mohammadi, M., Sabaghnia, N. and Shefazadeh, M. K. 2012. Using different aspects of stability concepts for interpreting genotype by environment interaction of some lentil genotypes. *Aust. J. Crop. Sci*, 6: 1017–1023.
- Karimizadeh, R. and Mohammadi, M. 2011. Association of canopy temperature depression with yield of durum wheat genotypes under supplementary irrigated and rainfed conditions. *Australien Journal of Crop Science*, 5(2):138-146.
- Kendal, E. 2019. Comparing durum wheat cultivars by genotype × yield × trait and genotype × trait biplot method. *Chil. j. agric. res.*, 79: 4.
- Khan, M.U., Chowdhry, M.A., Khaliq, I. and Ahmad, R. 2003. Morphological response of various genotypes to drought conditions. *Asian. J. Pl. Sci*. 2(4): 392-394.
- Kirouani, A. 2019. Analyse de l'adaptation du blé dur (*Triticum turgidum* L. var *durum*) à différentes zones agro-climatiques. *Thèse de Doctorat des Sciences, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département Biotechnologies, Université Saad Dahlab, Blida*, 165 pages.

- Kulshrestha, V. P. and Jain, H. K. 1982. Eight years of wheat breeding in India: past selection pressures and future prospects. *Z. pflanzenzucht*, 89: 19-30.
- Kulshrestha, N., Srivastava, H. M. and Bajpai, P. K. 2002. Simultaneous selection and stability under late planted commercial cane sugar. *Indian J. Genet*, 62(2): 143-145.
- Kwiatek, M., Majka, M., Majka, J., Belter, J., Suchowilska, E. and Wachowska, U. 2016. Intraspecific polymorphisms of cytogenetic markers mapped on chromosomes of *Triticum polonicum* L.. *PLoS ONE*, 11: 1-14.
- Laala, Z., Benmahammed, A. Oulmi, A. Fellahi, Z. E. A. and Bouzerzour, H. 2017. Response to F3 Selection for Grain Yield in Durum Wheat [*Triticum turgidum* (L.) Thell. ssp. *Turgidum* conv. *durum* (Desf.) Mac Key] under South Mediterranean Conditions. *Annual Research & Review in Biology*. 21(2): 1-11.
- Laumont, P. et Erroux, J. 1961. Inventaire des blés durs rencontrés et cultivés en Algérie, Mémoires de la Société d'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord, V. 5, 94 p.
- Laurie, D.A., 1997. Comparative genetics of flowering time. *Plant Mol. Biol.*, 35: 167–177.
- Lin, C. S., Binns, M. R. Lefkovitch, L. P. 1986. Stability analysis: where do we stand? *Crop Science*, 26: 894-900.
- Lin, C. S., Binns, M. R. 1988. A method of analyzing cultivar x location x year experiments: a new stability parameter. *Theor Appl Genet.*, 76: 425-430
- Mackay, M., Street, K. and Hickey, L. 2016. Toward more effective discovery and deployment of novel plant genetic variation: reflection and future directions. *Applied mathematics and omics to assess crop genetic*

resources for climate change adaptive traits. Eds. A. Bari, A. B. Damania, M. Mackay, and S. Dayanandan. Boca Raton, FL, USA: Taylor & Francis Group, 139–150.

Maeoka, R. E., Sadras, V. O. Ciampitti, I. A. Diaz, D. R. Fritz, A. K. and Lollato, R. P. 2020. Changes in the Phenotype of Winter Wheat Varieties Released Between 1920 and 2016 in Response to In-Furrow Fertilizer: Biomass Allocation. *Front. Plant Sci.*, 10:1786.

Maniee, M., Kahrizi, D. and Mohammadi, R. 2009. Genetic variability of some morpho-physiological traits in Durum Wheat (*Triticum turgidum* var. *Durum*). *Journal of Applied Sciences*, 9(7):1383-1387.

Mason, H., Goonewardene, L. and Spaner, D. 2008. Competitive traits and the stability of wheat cultivars in differing natural weed environments on the northern Canadian Prairies. *The Journal of Agric. Science*, 146: 21-33.

McCaig, T.N., and DePauw, R.M. 1995. Breeding hard red spring wheat in western Canada: Historical trends in yield and related variables. *Can. J. Plant Sci.*, 75: 387–393.

Mc Intosh, R. A., Yamazaki, Y., Devos, K. M., Dubcovsky, J., Rogers, W. J., and Appels, R. 2003. Catalogue of Gene Symbols for Wheat. Rome: Istituto Sperimentale per la Cerealicoltura.

Mekhlouf, A., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., Hadj Sahraoui, A. et Harkati, N. 2006. Adaptation des variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) au climat semi-aride. *Sécheresse*, 17 :507-513.

Miège, E. 1950. Les principales espèces et variétés de blé cultivées en Afrique du Nord. *Revue Internationale de Botanique Appliquée et d'Agriculture Tropicale*, 329 :203-2015.

- Migliorini, P., Spagnolo, S., Torri, L., Arnoulet, M., Lazzerini, G. and Ceccarelli, S. 2016. Agronomic and quality characteristics of old, modern and mixture wheat varieties and landraces for organic bread chain in diverse environments of northern Italy. *Eur. J. Agronomy*, 79: 131–141.
- Mirosavjevic, M., Momcilovic, V. Przulj, N. Hristov, N. Acin, V. Canak, P. and Dencic, S. 2016. The variation of agronomic traits associated with breeding progress in winter barley cultivars. *Zemdirbyste-Agriculture*, 103: 267–272.
- Mohammadi, R., Roostaei, M., Ansari, Y., Aghaee, M., and Amri, A. 2010. Relationships of phenotypic stability measures for genotypes of three cereal crops. *Can. J. Plant Sci.* 90: 819-830.
- Mohammadi, M., Karimizadeh, R. and Abdipour, M. 2011. Evaluation of drought tolerance in bread wheat genotypes under dryland and supplemental irrigation conditions. *Australien Journal of Crop Science*, 5(4): 487-493.
- Mohammadi, R., Farshadfara, E. and Amri, A. 2015. Interpreting genotype x environment interactions for grain yield of rainfed durum wheat in Iran. *The crop journal*, 3: 526–535.
- Mohammadi, R., Etminan, A.R. and Shoshtari, L. 2018. Agro-physiological characterization of durum wheat genotypes under drought conditions. *Experimental Agriculture*, 55(3): 484 - 499
- Motzo, R. and Guinta, F. 2007. The Effect of breeding on the phenology of Italian durum wheats : from landraces to modern cultivars. *European Journal of Agronomy*, 26(4) : 462-470.
- Oak, M.D., and Tamhankar, S. A. 2017. 1BL/1RS translocation in durum wheat and its effect on end use quality traits. *Journal of plant biochemistry and biotechnology*, 26: 91-96.

- Orlov, A. 1921. The geographical centre of origin and the area of cultivation of durum wheat *Tr. durum* Desf. », *B. of Appl. Botan. and pl. breeding XIII th, Petrograd, 1922-1923*: 369-459.
- Ortiz-Monasterio, R., Sayre, K.D., Rajaram, S. and McMahon, M. 1997. Genetic progress in wheat yield and nitrogen use efficiency under four nitrogen rates. *Crop Sci.* 37: 898–904.
- 8.1 Pan, X. H. and Deng, Q. H. 2007. Review on Crop Harvest Index. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*,
- Pask, A. Pietragalla, J., Mullan, D., and Reynolds, M. 2012. Physiological breeding II: a field guide to wheat phenotyping. books.google.com.
- Patijn, O., Voshol, P., Battjes-Fries, M. and Nuijten, E. 2018. Health effects of ancient wheat species varieties compared to modern wheat varieties Publication number 2018-015 VG Louis Bolk Institute.
- Pecetti L., Boggini, G., Doust, M.A. and Annichiarico, P. 1996. Performance of durum wheat landraces from Jordan and Morocco in two Mediterranean environments (northern Syria and Sicily). *Journal of Genetics and Breeding*, 50:41-46.
- 9 Pennacchi, J. P., Carmo-Silva, E., Andralojc, P. J., Lawson, T., Allen, A. M., Raines, C. A. and Parry, M. A. J. 2018. Stability of wheat grain yields over three field seasons in the UK. *Food Energy Secur.*, 8 : e00147.
- Perry, M., and D'Antuono, M.F. 1989. Yield improvement and associated characteristics of some Australian spring wheat cultivars introduced between 1860 and 1982. *Aust. J. Agric. Res.*, 40: 457–472.

- 10 Powell, N., Ji, X. Ravash, R., Edlington, J. and Dolferus, R. 2012. Yield stability for cereals in a changing climate. *Functional Plant Biology*, 39(7): 539-552.
- Rabti, A., Mekaoussi R., Fellahi, Z. E. A., Hannachi, A., Benbelkacem, A., Benmahammed, A. and Bouzerzour H. 2020. Characterization of Old and Recent Durum Wheat [*Triticum turgidum* (L.) Tell. convar. *durum* (Desf.) Mackey] Varieties Assessed under South Mediterranean Conditions. *Egypt. J. Agron.*, 42(3) : 307-320.
- Rajaram, S., and van Ginkel, M. 1996. Yield potential debate: Germplasm vs. methodology or both. p. 11–18. In M.P. Reynolds *et al.* (ed.) Increasing yield potential in wheat: Breaking the barriers. *Obregon, Mexico*.
- Ram, K., Munjal, R., Sunita and Kumar, N. 2017. Evaluation of chlorophyll content index and normalized difference vegetation index as indicators for combine effects of drought and high temperature in bread. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.*, 6(3): 528–534.
- Ramirez, P. and Kelly, J. D. 1998. Traits related to drought resistance in common bean. *Euphytica*, 99:127-136
- Rebetzke, G. J., Richards, R. A., Fettell, N. A., Long, M., Condon, A. G., Forrester, R. I. and Botwright, T. L. 2007. Genotypic increases in coleoptile length improves stand establishment, vigour and grain yield of deep-sown wheat. *Field Crops Research*, 100(1): 10-23.
- 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.
- Ristic, Z., Bukovnik, U. and Prasad, P.V.V. 2007. Correlation between heat stability of thylakoid membranes and loss of chlorophyll in winter wheat under heat stress. *Crop Sci.*, 47: 2067–2073.

- Royo, C., Elias, E. and Manthey, F. 2009. Durum Wheat Breeding. In: Carena M. (eds) Cereals. Handbook of Plant Breeding, vol 3. Springer, New York, NY.
- Royo, C., Nazco, R. and Villegas, D. 2014. The climate of the zone of Mediterranean durum wheat (*Triticum durum* Desf.) landraces affects their agronomic performance. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 61: 1345-1358.
- Royo, C., Ammar, K. Alfaro, C. Dreisigacker, S. Fernando, L. Garcia del Moral, L.F. Villegas, D. 2018. Effect of *Ppd-1* photoperiod sensitivity genes on dry matter production and allocation in durum wheat. *Field Crops Research*, 221: 358–367.
- Salmi, M., Haddad, L., Oulmi, A., Benmahammed, A. et Benbelkacem, A. 2015. Variabilité phénotypique et sélection des caractères agronomiques du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous conditions semi arides. *European Scientific Journal*, 11(21): 99-111.
- Salmi, M., Benmahammed, A., Benderradji, L. Fellahi, Z. E. A., Bouzerzour, H., Oulmi, A. et Benbelkacem A. 2019. Generation means analysis of physiological and agronomical targeted traits in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cross. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 72(3): 8971-8981.
- Sanchez-Garcia, M., Alvaro, F., Peremarti, A., Martín-Sanchez, J.A. and Royo., C. 2015. Changes in bread-making quality attributes of bread wheat varieties cultivated in Spain during the 20th century. *Eur. J. Agron.*, 63: 79.
- SAS Institute, Inc. 1997. SAS user's guide: Sttistics. SAS Institute, Cary, NC.
- Sayre, K.D., Rajaram, S. and Fischer, R.A. 1997. Yield potential progress in short bread wheat in northwest Mexico. *Crop Sci.*, 37: 36–42.

- Schmidt, J.W. 1984. Genetic contribution to yield gains in wheat. p. 89–101. In W.R. Fehr (ed.) Genetic contributions to yield gains of five major crop plants. Spec. Publ. 7. CSSA, Madison, WI.
- Schuhwerk, D., Nakhforoosh, A., Kutschka, S., Bodner G. and Grausgruber H. 2011. Field-screening of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) for drought tolerance. *Tagung der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs*, 61: 147–154.
- Scofield, C. S. 1902. The Algerian durum wheats: A classified list with description. *USDA. bureau of plant industry, bulletin N°7*, 74 pages.
- Shroyer, J. P. and Cox, T. S. 1993. Productivity and adaptative capacity of winter wheat landraces and modern cultivars grown under low-fertility conditions. *Euphytica.*, 70: 27-33.
- Siddique, K.H.M., Belford, R.K. Perry, M.W. and Tennant, D. 1989. Growth, development and light interception of old and modern wheat cultivars in a Mediterranean-type environment. *Aust. J. Agric. Res.*, 40: 473–487.
- Slafer, G.A., and Andrade, F.H. 1989. Genetic improvement in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) yield in Argentina. *Field Crop Res.*, 21: 289–296.
- Slafer, G.A., and Andrade, F.H. 1993. Physiological attributes related to the generation of yield in bread wheat cultivars released at different eras. *Field Crops Res.*, 31: 351–367.
- Slafer, G. A., Araus, J. L., Royo, C. and Del Moral, L. F. G. 2005. Promising eco-physiological traits for genetic improvement of cereal yields in Mediterranean environments. *Annals of Applied Biology*, 146: 61–70.

- Spagnoletti-Zeuli, T.L. and Qualset, P. O. 1990. Flag leaf variation and the analysis of diversity in durum wheat. *Plant Breeding*, 105: 189 – 202.
- 11 Steel, R. G. D. and Torrie J. H. 1960. Principles and Procedures of Statistics. (With special Reference to the Biological Sciences.) McGraw-Hill Book Company, New York, Toronto, London, 481 S., 15 Abb.; 81 s 6 d.
- Subhani, G. M., Abdullah, J., Ahmad, J. Anwar, M., Hussain and Mahmood, A. 2015. Identification of drought tolerant genotypes of barley (*Hordeum vulgare* L.) through stress tolerance indices. *J. Anim. Plant Sci.* 25(3): 686-692.
- Subira, J., Ammar, K., Alvaro, F., Garcia del Moral, L.F., Dreisigacker, S. and Royo, C. 2016. Changes in durum wheat root and aerial biomass caused by introduction of the *Rht-B1b* dwarfing allele and their effects on yield formation. *Plant Soil*, 403: 291-304.
- Syme, J.R. 1970. A high-yielding Mexican semi-dwarf wheat and the relationship of yield to harvest index and other varietal characteristics. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*, 10(44): 350 – 353.
- Talebi, R., Fayaz, F. and Mohammad Najji, A. 2009. Effective selection criteria for assessing drought stress tolerance in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *Gen. Appl. Plant Physiol.*, 35: 1–2.
- Talebi, R., Fayyaz, F. and Mohammad Najji, A. 2010. Genetic Variation and Interrelationships of Agronomic Characteristics in Durum Wheat under two Constructing Water Regimes. *Braz. Arch. Biol. Technol.*, 53(4): 785-791.
- Tardieu, F. 2005. Plant tolerance to water deficit: physical limits and possibilities for progress. *Comptes Rendus. Geoscience*, 337 : 57-67.

- Vijayalakshmi, K., Fritz, A., Paulsen, G., Bai, G., Pandravada, S. and Gill, B. 2010. Modeling and mapping QTL for senescence-related traits in winter wheat under high temperature. *Mol. Breed.*, 26: 163-175.
- Villegas, D., Aparicio, N. Blanco, R. and Royo, C. 2001. Biomass accumulation and main stem elongation of durum wheat grown under Mediterranean conditions. *Annals of Botany*, 88: 617-627.
- Villegas, D., Alfaro, F. Ammar, K. Cátedra, M.M. Crossa, J. García del Moral, L.F. and Royo, C. 2016. Day length, temperature and solar radiation effects on the phenology and yield formation of spring durum wheat. *J. Agron. Crop Sci.*, 202: 203–216.
- Waddington, S.R., Ransom, J.K. Osmanzai, M. and Saunders, D.A. 1986. Improvement in yield potential of bread wheat adapted to northwest Mexico. *Crop Sci.*, 26: 698–703.
- Wilhelm, E. P., Boulton, M. I., Al-Kaff, N., Balfourier, F., Bordes, J., Greenland, A. J., Powell, W. and Mackay, I. J. 2013. Rht-1 and Ppd-D1 associations with height, GA sensitivity, and days to heading in a worldwide bread wheat collection. *Theoretical and Applied Genetics*, 126(9): 2233- 2243.
- Wolde, T., Eticha, F. Alamerew, S., Assefa, E., Dutamo, D. and Mecha, B. 2016. Trait Associations in Some Durum Wheat (*Triticum durum* L.) Accessions among Yield and Yield related Traits at Kulumsa, South Eastern Ethiopia. *Adv Crop Sci Tech.*, 4(4): 234.
- Worland, A.J., 1996. The influence of flowering time genes on environmental adaptability in European wheats. *Euphytica*, 89: 49–57.
- Worland, A. J., Börner, A., Korzun, V., Li, W. M., Petrović, S. and Sayers, E. J. 1998. The influence of photoperiod genes on the adaptability of European winter wheats. *Euphytica*, 100(1-3): 385-394.

- Zhang, Z., Lu, C. and Xiang, Z. H. 1998. Stability analysis for varieties by AMMI model. *Acta Agron. Sin*, 24: 304-309.
- Zhang, Z., Yu, K. Jin, X. Nan, Z. Wang, J. Niu, X. Whish, J. P. M. Bell, L. W. and Siddique, K. H. M. 2019. Above-and belowground dry matter partitioning of four warm-season annual crops sown on different dates in a semiarid region. *Europeen Journal of Agronomy*, 109: 125918.
- Zhou, Y., He, Z. H., Sui, X. X., Xia, X. C., Zhang, X. K., Zhang, G. S. 2007. Genetic improvement of grain yield and associated traits in the Northern China Winter Wheat Region from 1960 to 2000. *Crop Sci.*, 47: 245–253.
- Zhou, B., Sanz-Sáez, Á., Elazab, A., Shen, T., Sánchez-Bragado, R., Bort, J., Serret, M. D. and Araus, J. L. 2014. Physiological traits contributed to the recent increase in yield potential of winter wheat from Henan Province, China. *J Integr Plant Biol*, 56: 492–504.
- Zikhali, M. and Griffiths, S. 2015. The Effect of Earliness *per se* (*Eps*) Genes on Flowering Time in Bread Wheat. Conference: 12th International Wheat Genetics Symposium (IWGS) held in Yokohama, Japan, September 8–14, 2013 At: Japan Volume: 1.

يوضح هذا العمل توصيف 58 صنفا قديماً وحديثاً من القمح الصلب مزروع تحت الظروف البيئية لجنوب البحر الأبيض المتوسط. أجريت التجربة بتصميم القطاعات العشوائية الكاملة في محطتي سطيف و الخروب التابعتين للمعهد التقني للزراعات الواسعة (ITGC-AES) خلال الموسمين الزراعيين 2016/2015 و 2017/2016. أشارت النتائج الناتجة من هذه الدراسة إلى تأثيرات متوسطة عام، نمط جيني، موقع وموقع x عام معبرة لجميع الهيزات الثمانية عشر المقاسة باستثناء عدد قليل من الميزات وليست معبرة بالنسبة للتفاعلات الأخرى باستثناء بعض الميزات. أشارت النتائج إلى أن متوسط أداء الأصناف الحديثة تفوق على نظيراتها القديمة من حيث المردود الحي، عدد السنابل، وزن السنبل، عدد الحبات للمتر المربع، مؤشر الحصاد، خصوبة السنابل و عدد الأوراق الخضراء عند الحصاد (stay green). في حين تفوقت الأصناف القديمة على الحديثة من حيث إنتاجية القش، التأخير عند الإسبال، طول النبات ومساحة الورقة العلم. يبدو أن صنف Simeto، الذي سجل محصول حبوب مرتفعاً نسبياً قدره 22.71 ف / هكتار وأظهر اختلافات طفيفة نسبياً في المحصول على مدار المواسم (P = 47.65) هو النمط الجيني الواعد من حيث الأداء والاستقرار. أشارت معاملات ارتباط بيرسون و تحليلات المسار في كلا مصدر الجرموبلازم إلى التأثير القوي للكتلة الحيوية، عدد السنابل، خصوبة السنبل و مؤشر الحصاد على المردود الحي. أظهر تحليل المكونات الرئيسي أن الأصناف القديمة مختلفاً وراثياً عن تلك المحسنة مما يشير إلى أنها تمثل مجموعة جينية هامة لصفات مهمة كطول النبات و مردود القش. يُقترح استخدام الاختلافات بين كلا مصدر الجرموبلازم بشكل مفيد في برامج التربية لتحسين المردود، الاستقرار و المرونة لدى الأصناف المستقبلية في مواجهة تغير المناخ.

الكلمات المفتاحية: *Triticum durum*، التقدم الجيني، المقاومة، النمط المثالي، هندسة، الاختيار

Résumé

L'objectif de ce travail est la caractérisation de 58 variétés de blé dur anciennes et modernes cultivées dans les conditions du sud de la Méditerranée. L'expérience a été menée dans un dispositif en blocs complètement randomisés à deux sites (ITGC-AES de Sétif et Khroub) et pendant les saisons de culture 2015/16 et 2016/17. Les résultats qui s'y découlent de cette étude indiquent des effets moyens année, génotype, site et des interactions sites x années significatifs pour l'ensemble des 18 caractères analysés hormis quelques caractères et non significatifs pour les autres interactions à l'exception de quelques caractères. Les résultats ont indiqué que, en moyenne selon les saisons et les emplacements, les variétés modernes ont surpassé les anciennes en termes de rendement en grain, nombre d'épis, poids des épis, nombre de grains par mètre carré, indice de récolte, fertilité des épis et teneur en chlorophylle. Les anciennes variétés ont surpassé les variétés modernes en termes de rendement en paille, de la tardivité, de la hauteur et de la surface de la feuille étandard. Dans la présente étude, la variété Simeto, qui a enregistré un rendement en grain relativement élevé de 22.71 q/ha et présente des variations de rendement relativement faibles au fil des saisons (P=47.65) semble être le génotype le plus prometteur de par sa performance et sa stabilité. Les coefficients de corrélation de Pearson ont indiqué que, dans les deux sources de germoplasme, la forte influence de la biomasse, du nombre d'épis, de la fertilité des épis et de l'indice de récolte sur le rendement en grains. L'analyse en composantes principales a révélé que les anciennes variétés sont génétiquement loin des variétés améliorées, ce qui suggère que les anciennes variétés représentent un pool génétique important pour des caractères importants parmi lesquels la hauteur de la plante et le rendement en paille. Il est suggéré que les différences entre les deux sources de germoplasme soient utilisées utilement dans la sélection pour améliorer le potentiel de rendement, la stabilité et la résilience au changement climatique des futures variétés.

Mots clés : *Triticum durum*, progrès génétique, tolérance, idéotype, architecture, sélection

Abstract

This work reports on the characterization of 58 old and modern durum wheat grown under south Mediterranean conditions. The experiment was conducted in a randomized complete block design at two locations (ITGC-AES of Setif and Khroub) and during the 2015/16 and 2016/17 cropping. The results of this study indicated significant mean effect for year, genotype, site and site x year interaction for all 18 characters analyzed except for a few characters and not significant for the other interactions except for a few characters. The results indicated that, averaged across seasons and locations, modern varieties outperformed the old ones in terms of grain yield, spike number, spike weight, number of kernels per square meter, harvest index, spike fertility and stay green. Old varieties outperformed the modern ones in terms of straw yield, lateness, tallness and flag leaf area. Simeto variety, which recorded a relatively high grain yield of 22.71 q / ha and exhibits relatively small variations in yield over the seasons (P = 47.65) seems to be the most promising genotype in terms of performance and stability. Pearson's correlation coefficients indicated that, in both sources of germoplasm, the strong influence of biomass, spike number, spike fertility and harvest index on grain yield. Principal component analysis revealed that the old varieties are genetically far from the improved ones suggesting that old varieties represent an important gene pool for important traits among which plant height and straw yield. Differences between both sources of germoplasm are suggested to be used usefully in breeding to enhance yield potential, stability and resilience to changing climate of the future varieties.

Mots clés : *Triticum durum*, progrès génétique, tolérance, idéotype, architecture, sélection



Characterization of Old and Recent Durum Wheat [*Triticum turgidum* (L.) Tell. convar. durum (Desf.) Mackey] Varieties Assessed under South Mediterranean Conditions

Abou-bakr Rabti^(1,2), Radhia Mekaoussi⁽¹⁾, Zine El Abidine Fellahi^{(3)#}, Abderrahmane Hannachi⁽⁴⁾, Abdelkader Benbelkacem⁽⁵⁾, Amar Benmahammed⁽⁶⁾, Hamenna Bouzerzour⁽⁶⁾

⁽¹⁾Department of Agronomy, Valorization of Natural Biological Resources Laboratory, Faculty of Natural and Life Sciences, University of Ferhat Abbas Setif-1, Setif, 19000, Algeria; ⁽²⁾Institute of Agriculture and Veterinary Sciences, University of Mohamed-Cherif Messaadia, Souk Ahras, 41000, Algeria; ⁽³⁾Department of Agronomy, Faculty of Natural, Life and Earth Sciences and the Universe, University of Mohamed El Bachir El Ibrahimi, Bordj Bou Arreridj, 34034, Algeria; ⁽⁴⁾National Agronomic Research Institute of Algeria (INRAA), Setif Research Unit, Setif, 19000, Algeria; ⁽⁵⁾National Agronomic Research Institute of Algeria (INRAA), Khroub Research Unit, Constantine, 25100, Algeria; ⁽⁶⁾Department of Ecology and Plant Biology, Valorization of Natural Biological Resources Laboratory, Faculty of Natural and Life Sciences, University of Ferhat Abbas Setif-1, 19000 Setif, Algeria.



THE existing work aimed at evaluation of 58 old and modern durum wheat grown under south Mediterranean conditions. The experiment was conducted in a randomized complete block design at two locations (ITGC-AES of Setif and Khroub, Algeria) considered during two successive winter seasons of 2015/16 and 2016/17. Results indicated that, averaged across seasons and locations, modern varieties outperformed older varieties in terms of grain yield, spike number, spike weight, number of kernels per square meter, harvest index, spike fertility and stay green. Old varieties surpassed the modern ones in terms of straw yield, lateness, tallness and flag leaf area. Whereas, modern varieties were stress tolerant and more responsive to improved growth conditions, showing agronomic stability type. Old varieties were characterized by a minimal responsiveness to improved environmental conditions, stress tolerance, and biological stability type. Pearson's correlation coefficients and path analyses indicate that, in both sources of germoplasm, the strong influence of biomass, spike number, spike fertility and harvest index on grain yield. Physiological traits had negligible direct effects and small indirect effects via biomass, spike number and harvest index. Lastly, principal component analysis revealed that old varieties represent an important gene pool for important traits among which plant height and straw yield. Furthermore, the differences between both sources of germoplasm can be usefully used in breeding program (Gene-bank) to enhance yield potential, stability and resilience to changing climate of the future varieties.

Keywords: Durum wheat, Old varieties, Path analysis, Physiological traits, Stress tolerance index.

Introduction

Before the advent of the green revolution, durum wheat improvement, in Algeria, was essentially based on varieties derived from landraces, either

by bulking random spike samples or collecting individual ear to generate pure lines. According to Benbelkacem (2014) who reviewed the evolution of Algerian durum wheat breeding from the beginning of the past century, more than 24

#Corresponding author email: zinou.agro@gmail.com

Received 18/9/2020; Accepted 29/11/2020

DOI: 10.21608/agro.2020.43329.1230

©2020 National Information and Documentation Center (NIDOC)

botanical varieties existed, each containing a high number of types originating from spontaneous hybridizations.

This high diversity led to consider North Africa as a secondary diversity center for durum wheat. Slama et al. (2018) commented that durum wheat spread from the Fertile Crescent to the Mediterranean basin, reaching the Iberian Peninsula and North Africa about 7000 years before date. Actually cropped on 1.5 million hectares yearly with a variable production, ranging from 0.42 (1986/87) to 3.2 million tons (2016/17), during the 1975-2017 period, durum wheat remains a major cereal crop in Algeria (<https://ceicdata.com/en/algeria/agricultural-production/agriculture-production-vegetable-cereals-durum>). Several traditional varieties selected in the thirties of the past century were described by Laumont & Erroux (1961). Scofield (1902) described more than 30 varieties among which Pelissier (synonym Hedba) variety, known for its strong gluten, and which was used as donor parent in the Italian and Canadian quality breeding programs (Dexter et al., 2004). Among all these old varieties Mohammed Ben Bachir8037, Bidi17, Oued Zenati368, Guemgoum Rkhem, Hedba3 and Gloire de Montgolfier are still cultivated, here and there, on small scale in rural areas. In fact, because of their differential ability to withstand drought and heat stresses, these traditional varieties are cultivated in harsh, poor yielding environments while they are progressively replaced by recently released varieties under relatively more favorable conditions (Benbelkacem, 2014). This progressive change from the cultivation of traditional varieties to more productive ones was initiated at the end of the 1960's, with the advent of the green revolution. At that moment, ensuring food security was an important political objective due to the sharp rise in grain import to meet the food demand of a rapidly growing population. Improved durum wheat production was sought, among other options, through the introduction and adoption of Cimmyt high yielding varieties. Jori 69, Mexicali 75 and Cocorit 71 were among the first semi-dwarf durum wheat varieties to be cropped on large scale in Algeria. This type of plant material was responsible, elsewhere, for large production increases, mainly under well managed conditions (fossil fuel agriculture) in Mexico, India and Pakistan (Bell et al., 1995).

Comparison of wheat varieties released during

different historical eras indicated that substantial genetic gain was achieved because of varietal replacement (Battenfield et al., 2013; Fischer et al., 2014). Realized genetic gain is often greater in well managed than under poorly managed growth conditions, which seems to justify the persistent cultivation of traditional cultivars under harsh environments (Gizzi & Gambin, 2016; Wang et al., 2017). Sanchez-Garcia et al. (2015), comparing ancient wheat varieties to modern ones, noted that the old varieties were tall, late and less productive. Laidig et al. (2017) studied the genetic and management effects on grain yield increase of wheat varieties released between 1963 and 2012, mentioned that the gain under low management was almost half the one obtained under good management. Shroyer & Cox (1993) noted that modern semi-dwarf cultivars yielded 20% more, on average, than landraces; however, this advantage was not expressed under low fertility conditions. As yield stability is of paramount to farmers and represents an important agricultural progress component, De Vita et al. (2010) investigated this aspect by comparing yield performance and stability of durum wheat landraces, old and new cultivars and advanced breeding lines, released in different eras. Their results suggested, besides more grain yield, modern varieties showed better agronomical stability, under a wider range of environments. Their results showed that old varieties were less responsive to improved environmental conditions, and expressed biological type of stability.

Looking for traits which came out with the change observed in grain yield, Donmez et al. (2001) found that yield improvement was significantly correlated with harvest index and biomass improvement in the wheat varieties released from 1873 to 1995. Maeoka et al. (2020) indicated that yield increase of modern varieties was associated with shorter vegetative and longer grain filling periods. These authors mentioned also that yield gains were related to more kernels/m² which resulted from more kernels/spike, increased harvest index with no significant changes in above ground biomass, and a substantial plant height decrease. Carranza-Gallego et al. (2018) mentioned that the widespread belief that modern varieties are more productive than old ones is biased because comparisons were usually made under high inputs farming conditions, which are detrimental for old varieties performance. These authors reported that

biomass production of old varieties is higher than that of modern ones. As a consequence, varietal replacement reduced residues production and enhanced soil degradation under Mediterranean semi-arid conditions. Mason et al. (2008) compared weed competitiveness between old and modern varieties and found that tallness favored weed competitiveness. The generalized use of modern varieties was seen as a cause of genetic diversity reduction and yield stagnation in less favorable areas (Newton et al., 2010). The present investigation aimed to identify changes in the morpho-physiological and yield attributes between old and modern durum wheat [*Triticum turgidum* (L.) Tell. convar. *durum* (Desf.) Mackey] varieties assessed under rainfed south Mediterranean growth conditions.

Materials and Methods

Sites, plant materials and experimental design

In a randomized complete block design with three replications, two field experiments were conducted during the two seasons of 2015/2016 and 2016/2017, respectively, at the Field Crop Institute, Agricultural Experimental Stations of Khroub (ITGC-AES Khroub, 36° 38' N, 4° 17' E, 640m above sea level, Algeria) and Setif (ITGC-AES Setif, 36° 9' N, 5° 21' E, 1081m above sea level, Algeria). Treatments included 58 durum wheat varieties (11 olds and 47 moderns) (Table 1). Each plot consisted of 2 rows 20cm apart, 2m in length with a total experimental unit area of 0.80m². Sowing was done on December 9th 2015 and December 15th 2016 at Setif and on December 20th 2015 and December 26th 2016 at Khroub AES. Recommended cultural practices for the growing durum wheat were followed. At each site, eighty kg/ha of mono-ammonium phosphate (52% P₂O₅ + 12% N) were applied just before sowing, and 80 kg/ha of urea (46% N) were broadcasted at the tillering stage. Weeds were controlled chemically by application of 150g/ha of Zoom (Dicamba 66% Triasulfuron 4%) and 1.2L/ha of Traxos (22.5g/L of Pinoxaden, 22.5g/L of Clodinafopropargyl and 6.5g/L of Cloquintocet -mexyl) herbicides.

Data collection

Plants were scored for days to heading (DHE) which was counted from January 1st to the date when 50% of the spikes were half-way out of the flag leaf sheath. At this growth stage, flag leaf area (FLA) was determined from a 5-leaf sample. Leaf length (L) and wide (l) were measured and

the area determined by the following formulae: FLA (cm²) = 0.607 (L* l). At maturity, a 2 row-segment, 1m long, was harvested and used for the determination of above ground biomass (BIO, g/m²), number of spikes/m² (SN) and their weight (SW, g/m²); grain yield (GY, g/m²) and harvest index (HI, %). Plant height (PHT, cm) was measured just before harvest, from the soil surface to the spike top, awns excluded. Thousand-kernel weight (TKW, g) was derived from the mass of 200-kernel sample per plot. The number of grains/m² (NGm²) was estimated as follow: NGm²= (1000*GY)/TKW. The number of kernels per spike (NKS) was derived as the ratio of the number kernels/m² divided by the number of spikes/m². Spike length (SL, cm) was estimated as the length mean of 5 sampled spikes. Straw yield (STW, g/m²) was estimated as the difference between BIO and GY. Economical yield (Yeco) was derived as follow: Yeco (g/m²)= GY + (0.30*STW), according to Annicchiarico et al. (2005). Relative water content (RWC) was determined as described in Pask et al. (2012). Fresh leaves were collected, at anthesis, weighted to record fresh weight (FW). The samples were placed in distilled water for 24hrs and weighed to record turgid weight (TW). Samples were then subjected to oven drying at 72°C for 24hrs to record dry weight (DW). Relative water content was calculated as follow: RWC= 100*[(FW-DW)/(TW-DW)]. Flag leaf chlorophyll content (CHL, CCI) was determined with a Minolta SPAD 502 chlorophyll meter (Opti-Sciences, Tyngsboro, MA, USA) at the anthesis growth stage. Chlorophyll measurements were taken from the middle of the flag leaf. Three readings were made per plot. Canopy temperature (CT) was measured, at heading, using a hand-held infrared thermometer (Sixth Sense LT300 infrared thermometer, USA), 3 readings were done per plot at approximately 0.5m distance from plot edge. Readings were done between 11:00 to 14:00hrs on sunny days. Electrolyte leakage from injured cells (%Inj) was estimated according to Ibrahim & Quick (2001). Two sets of leaf tissues, 10 leaf segments, 1cm length each, were placed in test tubes containing 10ml of double-distilled water. One set was kept at 40°C for 30min and its electrical conductivity recorded (C1) using a conductivity meter, type Eutech Instruments, Singapore, while the second set was kept in a boiling water bath (100°C) for 30min and its conductivity recorded (C2). %Inj was calculated as: %Inj= 100*(C1/C2).

TABLE 1. Name and origin of the 58 durum wheat varieties evaluated during two cropping seasons (2015/16 and 2016/17) at two experimental sites (ITGC-AES Khroub and ITGC-AES Setif, Algeria)

N°	Variety name	Origin	N°	Variety name	Origin
1	Adjini	Algeria	30	Kyperounda	Cyprus
2	Ammar 1	Cimmyt-Icarda	31	Langlois	Algeria
3	Ammar 6	Cimmyt-Icarda	32	Mansoura	Algeria
4	Beliouni	Algeria	33	Massara	Cimmyt-Icarda
5	Beni Mestina	Algeria	34	Massinissa	Algeria
6	Bidi17	Algeria	35	Mastral	France
7	Boulenga	Spain	36	Mohamed Ben Bachir	Algeria
8	Bousselam	Algeria	37	Megress	Algeria
9	Canizzo	Italy	38	Mexicali	Cimmyt-Icarda
10	Capeiti	Italy	39	Mimono	Italy
11	Carrioca	Spain	40	Odisseo	Italy
12	Cham 3	Cimmyt-Icarda	41	Ofanto	Italy
13	Chen 's'	Cimmyt-Icarda	42	Orde	France
14	Ciccio	Italy	43	Orja	France
15	Cirta	Algeria	44	Oued Zénati368	Algeria
16	Colosséo	Italy	45	Mrb	Cimmyt-Icarda
17	Core	Italy	46	Poggio	Italy
18	Djenah Khotaiifa	Algeria	47	Polonicum	Algeria
19	Eider	Cimmyt-Icarda	48	Sahel	Algeria
20	Gecal	France	49	Saoura	Cimmyt-Icarda
21	Gloire de Montgolfier	Algeria	50	Sarragola	Italy
22	Gaviota durum	Cimmyt-Icarda	51	Simeto	Italy
23	Guemgoum Rkhem	Algeria	52	Setifis	Algeria
24	Hedba3	Algeria	53	Sigus	Cimmyt-Icarda
25	Haurani	Jordan	54	Cyprus	Cyprus
26	Inrat 69	Tunisia	55	Tajdid	Algeria
27	Iride	Italy	56	Vitron	Spain
28	Karim	Tunisia	57	Waha	Cimmyt-Icarda
29	Kebir	Cimmyt-Icarda	58	Wahbi	Algeria

Algerian old varieties in bold letter

Data analysis

The collected data were subjected to a combined analysis of variance to test the differences among cropping seasons, locations, genotypes and their interactions, using Cropstat 7.2 software (Cropstat, 2007). A single degree of freedom contrast was set up to compare performances of old vs modern varieties for the measured traits. Fisher's least significant difference at 5% probability level (Lsd5%) was estimated to compare treatments means. Pearson's coefficients of correlations and path analysis were calculated, based on standardized genotypic means averaged across seasons, using Excel software and following the procedure described by Akintunde (2012).

The coefficients of correlations were tested for significance by comparison with the tabulated *r* value (Steel & Torrie, 1982). The correlation coefficient of the independent variables (BIO, HI, PHT, SN, NKS, TKW, RWC, CHL, CT, Inj) with the dependent variable (GY) were partitioned into direct and indirect effects adopting the following formulae. $r_{ij} = \sum r_{ik} * p_{kj}$, where r_{ij} = Coefficient of correlation relating the independent variable *i* to the dependent variable *j*; r_{ik} = Coefficient of correlation relating the independent variables *i* and *k*; p_{kj} = Direct effect of the variable *i* on the dependent variable '*j*'. $\sum r_{ik} * p_{kj}$ = Summation of the direct effect of the variable *i* and its indirect effects via the *n* variables included in the retained

multiple regression model. The residual effect measuring the contribution of the unknown factors was derived as follow: Residual effect = $\sqrt{(1-r^2)}$ where: $r = \sum p_{ij} * r_{ij}$, and p_{ij} = Direct effect of variable i on variable j , and r_{ij} as defined above. The stress indices P_p , STI and YSI were calculated for each source of germoplasm, separately, using the following formulae: $P_i = \sum (X_{ij} - M_j)^2 / 2n$, $YSI = Y_s / Y_p$; and $STI = (Y_p \times Y_s) / \bar{Y} p^2$, where X_{ij} is the grain yield of the i^{th} variety in the j^{th} environment, M_j is the grain yield of the best performing variety in the j^{th} environment, n is the number of environments test, Y_s , Y_p and $\bar{Y} p$ are the genotypic yield measured under stress, non stress environments and the average of all varieties under non stress environment, respectively (Lin & Binns, 1988; Benmahammed et al., 2010). Principal components analysis was carried out using subroutine implemented in Past statistical software (Hammer et al., 2001). To avoid the effect of scale differences the analysis was done using standardized mean values of the measured traits which showed significant genotypic main effect and the stress indices.

Results and Discussion

Weather Conditions

Seasonal precipitations recorded were 187.97 (2015/16) and 316.6mm (2016/17) at Setif location and 234.78 and 335.07mm at Khroub location. At both sites, the recorded rainfall amounts were below the long-term average. The 2015/16 cropping season was relatively rainier than the 2016/17 season (Fig. 1). Differences between cropping seasons were more apparent during March-April-May period which was rainy in 2015/16 and dry in the 2016/17 season. Means monthly temperature exhibited a bi model variation pattern, being low in winter early spring months and high from June onwards. During winter months of the 2015/16 season, temperatures were relatively higher than those observed for the same period of the 2016/17 cropping season.

Grain yield and morpho-physiological traits variability

The results of the combined analysis of variance are reported in Table 2. They indicated significant season main effect for BIO, SN, STW, TKW, NGM², NKS, RWC, CHL, FLA, DHE, PHT, SL and HI and non significant effect for SW, GY, CT, and %Inj. The location main effect was significant for BIO, SN, STW, CT, CHL

FLA, DHE, PHT, SL and HI and non significant for SW, GY, TKW, NGM², NKS and RWC. The interaction season x locations was not significant for NKS, RWC, CHL, PHT and SL, and significant for the remaining traits (Table 2). These results suggested that the growth conditions experienced by the assessed plant materials during the seasons and in the locations test were favorable to the genetic expression of some traits and unfavorable to others. These growth conditions are related to the amount and distribution of accumulated rainfall and to the variation of temperatures (Fig. 1). The genotypic main effect was significant for most traits except for RWC and SL. Most of the first and second order interactions were non-significant (Table 2). The 2015/16 cropping season significantly outperformed 2016/17 for BIO (604.0 vs 542.7 g/m²), STW (290.0 vs 241.0g/m²), TKW (40.8 vs 33.6g), NKS (27.3 vs 18.1 grains), FLA (28.9 vs 12.8cm²), SL (7.5 vs 6.5cm), DHE (122.4 vs 117.9 days), and PHT (81.5 vs 58.6cm). The 2016/17 cropping season outperformed for SN (298.8 vs 157.2 spikes/m²), NGM² (5.4 vs 4.6×10³ kernels/m²) and RWC (87.5 vs 80.5 %). No significant differences were observed between cropping seasons for SW (312.9 vs 312.5g/m²), GY (174.8 vs 180.3g/m²), CT (28.5 vs 27.1°C), %inj (58.4 vs 59.6%), and HI (29.3 vs 32.7%). Similarly, Khroub location was more favorable to the expression of BIO, SN, STW, earliness, PHT, SL, and %inj; while Setif was for CT, CHL, and HI. No significant differences were noted between locations for GY, TKW, NGM², NKS, RWC and FLA (Table 3). The significant season x locations interaction suggested that both locations ranked differently the evaluated varieties.

Genotypic mean values for BIO varied from 470.7 (Eider) to 676.2 (Oued Zenati368) with an overall mean of 573.4 g/m². For SN these figures were 177.5 (Guemgoum Rkhem), 303.5 (Sigus) and 228.0 spikes/m². For SW, the min, max and average values were 220.5 (Adjini), 411.4 (Ofanto) and 312.7g/m². For STW the values were 199.1 (Kebir), 397.1 (Oued Zenati368) and 265.5g/m². Min, max and average values for GY were 123.0 (Adjini), 257.0 (Ofanto) and 178.5g/m². TKW varied from 32.0 (Gecal) to 47.4 (Guemgoum Rkhem) with an overall mean of 37.2g. The mean values for NGM² were 3.2 (Adjini) to 6.6 (Sarragola) and 4.8 thousand kernels/m². NKS mean values were 17.7 (Adjini), 27.9 (Gecal) and 22.7 kernels/spike. These values were 79.8 (Megress), 88.9 (Iride) and 83.8% for RWC;

26.6 (Beliouni), 29.9 (Kebir) and 27.8°C for CT; 29.1 (Capeiti), 48.5 (Megress) and 38.0CCI for CHL; FLA values were 16.9 (Eider), 28.4 (Oued Zenati368) and 20.9cm²; those of DHE were 116.0 (Ciccio), 129.4 (Adjini) and 120.1 days. PHT values were 60.0 (Odiseo), 99.3 (Djenah Khotaifa) and 70.0cm. SL values varied from 5.9 (Inrat69) to 8.5 (Langlois) with an overall mean of 7.0cm. For %Inj, min, max and average values were 48.5 (Cham 3), 68.6 (Djenah Khotaifa) and 58.8%; mean values characterizing HI were 19.7 (Guemgoum Rkhem), 38.3 (Karim) and 31.0%. The differences between old and modern varieties mean values for BIO, SN, TKW, RWC, Yeco and CT were not significant. Significant differences, in favor of old varieties, came out for STW (26.14%), FLA (8.23%), DHE (5.94%), PHT (22.33%), SL (8.46%) and % Inj (7.78%). Significant differences, in favor of modern varieties, were observed for SW (15.42%), GY (22.19%), NGm² (22.39%), NKS (14.93%), CHL (8.37%), and HI (36.87%, Table 3, Fig. 2).

These results corroborate earlier findings which reported that (i) recently released varieties out yielded older ones (Shroyer & Cox, 1993; Battenfield et al., 2013; De Vita et al., 2010; Fischer et al., 2014), (ii) yield increase was associated with harvest index and biomass improvement (Donmez et al., 2001), and (iii) old varieties were tall, late and less productive (Sanchez-Garcia et al., 2015; Migliorini et al., 2016; Patijn et al., 2018). In the present study

no-significant difference was found between old and modern varieties for above ground biomass, suggesting that yield increase came out from more efficient biomass partitioning. The reduction in the duration of vegetative phase of the modern varieties observed in the present study is in line with what was observed by Maeoka et al. (2020) who mentioned that yield increase in modern varieties was associated with early heading. In agreement with Maeoka et al. (2020) results, the present study reported an increase in kernels/m², kernels/spike, harvest index, a reduction in plant height and no significant change in above ground biomass. The reduction of straw yield in modern varieties observed in the present study corroborate believes of Carranza-Gallego et al. (2018) who mentioned that old varietal replacement by modern ones reduced residues production, enhancing soil degradation. In fact under semi-arid conditions, straw is a valuable energy source for animal production and it is also used to protect soil from wind and water erosions. Thus decreased straw production impacts seriously both animal production and no till management (Chennafi et al., 2011). Plant height reduction in modern varieties, as noted in the present study, decreases the competitiveness ability against weed infestation, mainly under semi arid in areas where chemical weed control is often skipped. Mason et al. (2008) noted that weed competitiveness was associated with tallness which is a characteristic of old varieties.

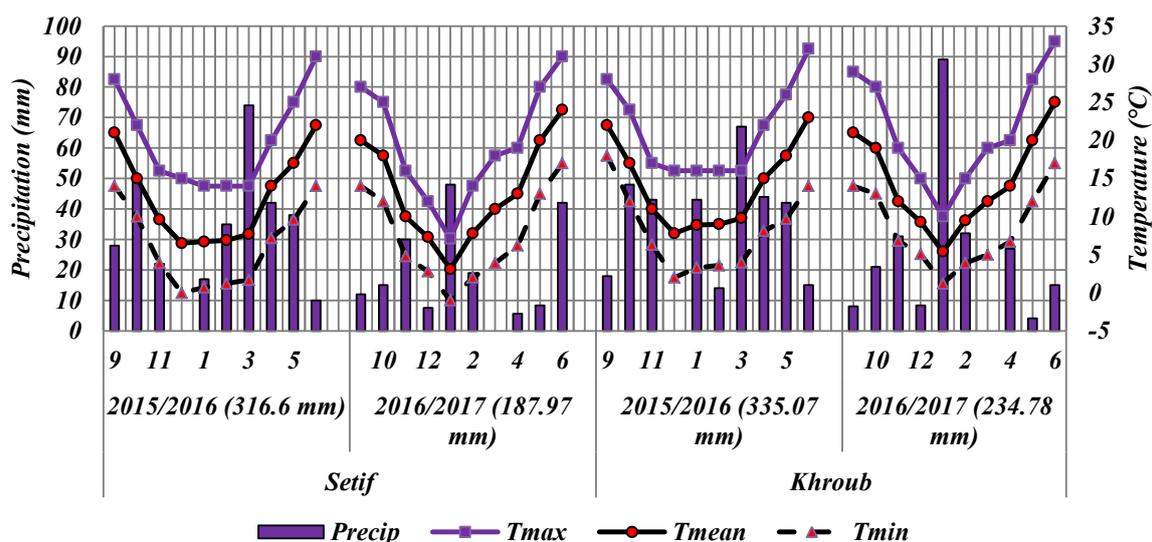


Fig.1. Monthly rainfall and mean temperatures of the 2015/16 and 2016/17 cropping seasons at ITGC-AES Setif and Khroub (Algeria) [Precip: Precipitation (mm), T_{max} : Maximum temperature (°C), T_{mean} : Mean temperature (°C), T_{min} : Minimum temperature (°C)]

TABLE 2. Mean squares of the combined analysis of variance of the measured traits of old and modern durum wheat varieties evaluated during two seasons at Khroub and Setif ITGC-AES, Algeria

Source	Season (S)	Location (L)	S x L	S x L/Rep	Genotype (G)	O vs R	S x G	L x G	S x L x G	Pooled error
DF	1	1	1	8	57	1	57	57	57	456
BIO	655539**	4046990**	2582580**	71328	25029.4 ^{ns}	14497 ^{ns}	13651.6 ^{ns}	15567.8 ^{ns}	22579*	15125
SN	3485390**	415242**	987828**	20346	7757.5**	21088 ^{ns}	4634 ^{ns}	3576 ^{ns}	3343 ^{ns}	2922
SW	35 ^{ns}	105521 ^{ns}	1212080**	57344	17837**	16014**	5238 ^{ns}	9081 ^{ns}	8744 ^{ns}	6761
STW	417896**	3192140**	454680**	7131	24068**	70162**	3872 ^{ns}	3165 ^{ns}	6550**	3832
GY	9802 ^{ns}	3891 ^{ns}	846298**	26662	8859**	9886**	2432 ^{ns}	3655 ^{ns}	3876*	2814
TKW	9117**	677 ^{ns}	2184**	168	99**	0.06 ^{ns}	11 ^{ns}	12*	12*	8
NGM ²	213**	32 ^{ns}	360**	11	7**	8**	2 ^{ns}	2 ^{ns}	2 ^{ns}	3*
NKS	14658**	367 ^{ns}	10 ^{ns}	119	69**	80**	32 ^{ns}	26 ^{ns}	29 ^{ns}	23
RWC	7869**	378 ^{ns}	1157 ^{ns}	227	45 ^{ns}	5.2 ^{ns}	40 ^{ns}	48 ^{ns}	45 ^{ns}	42
CT	373 ^{ns}	7502**	909*	135	6**	0.00 ^{ns}	4 ^{ns}	3 ^{ns}	3 ^{ns}	3
CHL	3253**	1256*	753 ^{ns}	159	226**	75.9**	25 ^{ns}	38**	26 ^{ns}	24
FLA	44985**	9206**	4479**	81	64**	31.4**	35*	22**	19*	13
DHE	3586**	3487**	86*	16	148**	470**	11 ^{ns}	8*	8*	5
PHT	90859**	13427**	0 ^{ns}	382	1163**	3298**	310**	55**	61**	32
SL	186**	97**	11 ^{ns}	3	5 ^{ns}	3.72**	1 ^{ns}	1 ^{ns}	1 ^{ns}	1
Inj %	351 ^{ns}	10326**	27709**	348	246*	222**	126 ^{ns}	101 ^{ns}	136*	83
HI	2021*	13034**	2337*	385	256**	682**	39 ^{ns}	31*	28 ^{ns}	19
Yeco	9011 ^{ns}	358060**	1259410**	26275	7954 ^{ns}	398 ^{ns}	3569 ^{ns}	4564 ^{ns}	5984 ^{ns}	2534.9

ns, * and **= Effect non-significant and significant at 5 and 1%, respectively. HI= Harvest index, GY= Grain yield, NGM²= Number of grains per m², STI= Stress tolerance index, SW= Spikes weight/m², PHT= Plant height, DHE= Days to heading, Pi= Superiority genotypic index, STW= Straw yield, CT= Canopy temperature, YSI= Yield stress index, TKW=1000-kernel weight, FLA= Flag leaf area, SN= Spike number, CHL= Chlorophyll content, NKS= Number of grains per spike, INJ = % Injury to cell membrane, BIO= Above ground biomass, SL= Spike length.

Stress tolerance and adaptation

Min, max and average stress tolerance index (STI) values of old varieties were 0.248, 0.714 (Belioni) and 0.474, respectively while the values of modern varieties were 0.278, 1.859 (Ofanto, Waha) and 0.723, respectively. Yield stress index (YSI) min, max and average values of old varieties were 0.327, 0.950 (Gloire de Montgolfier) and 0.327, respectively while the values of modern varieties were 0.382, 1.342 (Chen's, Core) and 0.693, respectively. Min, max and average of genotypic superiority index (Pi) values of old varieties were 4.0 (Belioni), 14.0 and 9.5, respectively; while the values of modern varieties were 0.40 (Ofanto, Waha), 13.0 and 6.0, respectively. Comparison of the relative differences between old and modern varieties for stress tolerance indices indicated that old varieties Pi values were 39.91% greater than modern varieties Pi values, while YSI and STI values were 10.66 and 74.79% lower for the respective sources of germoplasm (Fig. 2). Analysis of the correlation coefficients between stress tolerance indices and yield under stress (Ys) and free stress conditions

(Yp) indicated that the relationships are source of germoplasm-independent, being similar between old and modern varieties. So, only correlations coefficients of modern varieties are discussed hereunder. Pi was negatively correlated with STI (-0.831, P<0.010) Ys (-0.462, P<0.010) and Yp (-0.923, P<0.010) and positively with YSI (-0.571, P<0.010). This indicated that low Pi values identify varieties with high STI values and high yield mean under both stress and non stress conditions. So this type of varieties is high yielding and stress tolerant. Besides its positive correlation with Pi, YSI was positively correlated with Ys (0.410, P<0.01), negatively correlated with Yp (-0.683, P<0.01), and non-correlated with STI (-0.209, P>0.05). This indicated that stress tolerance targeted using YSI is different from that targeted via STI, furthermore high YSI values identify varieties that minimize yield decline under stress at the expense of yield under free stress conditions. The fact that Ys and Yp were not significantly correlated (0.227, P>0.05) indicated that both environments ranked differently the evaluated varieties.

TABLE 3. Mean performances of the measured traits per season, deviation between seasons, per location, deviation between locations, genotypic mean minimum (variety with min value), average and mean maximum (variety with max value), average of old varieties, deviation between Old and Modern varieties

	Season		Locations		Genotype				
	2015/16	Deviation	Khroub	Deviation	\bar{Y}_{min}	\bar{Y}_{mean}	\bar{Y}_{max}	\bar{Y}_{old}	$\bar{Y}_{old}-\bar{Y}_{recent}$
BIO	604.0	61.4**	649.6	152.5**	470.7(V19)	573.4	676.2 (V44)	605.2	39.3ns
SN	157.2	-141.5**	252.4	48.9**	177.5(V23)	228.0	303.5 (V53)	215.2	-15.7ns
SW	312.9	0.5ns	325.0	24.6ns	220.5(V1)	312.7	411.4 (V41)	278.0	-42.9**
STW	290.0	49.0**	333.2	135.4**	199.1(V29)	265.5	397.1 (V44)	337.0	88.2**
GY	174.8	-7.5ns	180.9	4.7ns	123.0(V1)	178.5	257.0 (V41)	151.3	-33.6**
TKW	40.8	7.2*	36.2	-2.0ns	32.0(V20)	37.2	47.4 (V23)	37.2	0.0ns
NGM ²	4.3	-1.1**	5.0	0.4 ns	3.2 (V1)	4.8	6.6 (V50)	4.1	-0.9**
NKS	27.3	9.2**	22.0	-1.5ns	17.7 (V1)	22.7	27.9 (V20)	20.3	-3.0**
RWC	80.5	-6.7**	84.6	1.5ns	79.8 (V37)	83.8	88.9 (V27)	83.1	-0.9ns
CT	28.5	1.5ns	24.5	-6.6**	26.6 (V4)	27.8	29.9 (V29)	27.8	0.0ns
CHL	35.8	-4.3**	36.7	-2.7*	29.1 (V10)	38.0	48.5 (V37)	35.6	-3.0**
FLA	28.9	16.1**	24.5	7.3**	16.9 (V19)	20.9	28.4 (V44)	22.4	1.8**
DHE	122.4	4.5**	117.9	-4.5**	116.0 (V14)	120.1	129.4 (V1)	125.8	7.1**
PHT	81.5	22.9**	74.4	8.8**	60.0 (V40)	70.0	99.3 (V18)	85.5	19.1**
SL	7.5	1.0*	7.3	0.7*	5.9 (V26)	7.0	8.5 (V31)	7.5	0.6**
INJ	58.1	-1.4ns	62.7	7.7**	48.5 (V12)	58.8	68.6 (V18)	62.8	4.9**
HI	29.3	-3.4ns	26.6	-8.7**	19.7 (V23)	31.0	38.3 (V28)	23.8	-8.8**
Yeco	261.8	7.2	280.8	45.4**	206.9 (V44)	258.2	336.5 (V44)	252.4	-7.2ns

ns, * and **= Effect non-significant and significant at 5 and 1%, respectively. HI= Harvest index, GY= Grain yield, NGM²= Number of grains per m², STI= Stress tolerance index, SW= Spikes weight/m², PHT= Plant height, DHE= Days to heading, Pi= Superiority genotypic index, STW= Straw yield, CT= Canopy temperature, YSI= Yield stress index, TKW= 1000-kernel weight, FLA= Flag leaf area, SN= Spike number, CHL= Chlorophyll content, NKS= Number of grains per spike, INJ= % injury to cell membrane, BIO= Above ground biomass, SL= Spike length.

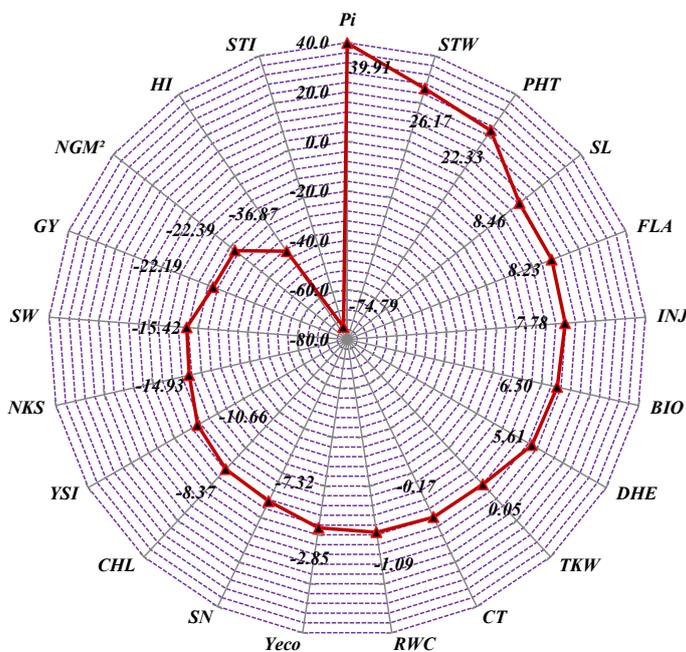


Fig. 2. Relative changes $[100 * (\bar{Y}_{Old} - \bar{Y}_{Modern}) / \bar{Y}_{Old}]$ in the morpho-physiological traits, grain yield and yield components from old to modern varieties evaluated during 2 cropping seasons (2015/16 and 2016/17) at 2 locations ITGC-AES Setif and Khroub (Algeria)

Lower Pi values are desirable because they are characteristics of high yielding and stable genotypes (Lin et Binns, 1988). High STI values are suitable for sorting out the best yielding and stable genotypes under both Ys and Yp growth conditions (Benmahammed et al., 2010; Mohammadi et al., 2010). In this context the results of the present study showed, based on Pi, STI and YSI values, that old varieties are more stress tolerant showing below average yield and specific adaptation to low yielding environments, while modern ones were high-yield, stress tolerant, exhibiting large adaptation. These results were in agreement with those of De Vita et al. (2010) who mentioned that, besides being more yielding, modern varieties had better agronomic stability type under a wider range of environments than old ones which were less responsive to improved growing conditions.

Traits relationships and yield determinants

To avoid collinearity some influencing traits (Yeco, SW, STW, NGm²) have been removed from the regression model retained to study the relationships with grain yield and to identify traits determining grain yield through the path analysis. Furthermore, because the correlations coefficients were somewhat similarly in old and modern varieties (Table 4), path analysis was restricted to the means of modern varieties only. Comparison of the correlation coefficients of the two sources of germoplasm indicated that both

series of coefficients show the strong influence of BIO, SN, NKS, DHE, CT, and HI on grain yield. Differences in significance level were more related to difference in the degree of freedom involved between sources of germoplasm (Table 4).

Path analysis indicated that BIO (0.259), SN (0.313), TKW (0.261), NKS (0.307) and HI (0.418) exhibited high direct effects on GY. The standardized coefficients of regression have somewhat lower values when calculated using old varieties means. The direct effects of RWC, CT, CHL, DHE, PHT and %Inj were too small to be of interest, compared to residual factor. Sizeable indirect effects were noted via SN for BIO (0.205), via BIO (0.236) and HI (0.127) for SN, via BIO (-0.185) and SN (-0.161) for CT, via NKS (0.134) for CHL, via HI (-0.233) for DHE, via NKS (-0.107) and HI (-0.169) for PHT and via NKS (0.16) for HI (Table 4). The results indicated that considering both sources of germoplasm, BIO, SN, NKS, TKW, and HI acted mainly directly, while physiological traits had negligible direct effects and small indirect effects via BIO, SN, NKS and/or HI. So, future grain yield increases should be targeted through improvement of these traits, using both sources of germoplasm. Old varieties could be used as genetic source for BIO, PHT and STW improvement, while modern varieties contribute with genes controlling spikes fertility spike number and harvest index.

TABLE 4. Pearson’s correlations coefficients (r_{ij}) relating morpho-physiological traits to grain yield of old and modern varieties, direct effect and sizeable indirect effects (value >0.100) of the traits, retained in the multiple regression model, on grain yield of modern varieties

	r _{ij} Modern	r _{ij} Old	beta	BIO	SN	NKS	HI
BIO	0.756*	0.511ns	0.359		0.205		
SN	0.588*	0.430ns	0.313	0.236			0.127
TKW	0.181ns	0.373ns	0.261		-0.111		
NKS	0.565*	0.768*	0.307				0.253
RWC	0.129ns	-0.287ns	-0.021				
CT	-0.343*	-0.380ns	-0.007	-0.185	-0.161		
CHL	0.197ns	-0.012ns	-0.004			0.134	
DHE	-0.304*	-0.643*	0.024				-0.233
PHT	-0.203ns	-0.446ns	0.085			-0.107	-0.169
INJ	0.009ns	0.008ns	0.029				
HI	0.747*	0.692*	0.418			0.186	
r _{tab} 5%	0.288 (45 df)	0.602 (9 df)					

Ns, *= Non-significant and significant correlations at 5%, respectively. Residual factor =0.073. HI= Harvest index, PHT= Plant height, DHE= Days to heading, CT= Canopy temperature, TKW=1000-kernel weight, SN = Spike number, CHL= Chlorophyll content, NKS= Number of grains per spike, INJ= % injury to cell membrane, BIO= Above ground biomass.

Traits and varieties classification

Principal component analysis (PCA) allowed identifying which of the traits were decisive in varieties differentiation. Most of the variability existing within the data set analyzed is concentrated in the few first principal components. The number of principal components retained was based on the values of latent roots which need to be greater than one. The first five principal components had an eigenvalue greater than unity and explained circa 85.78% of the total variance of the data subjected to analysis. This percentage is high enough to comprehend divergence between olds and modern durum wheat varieties assessed. Eigenvalues, % variance, % cumulative variances and eigenvectors for the first five principal components, are reported in Table 5.

Latent roots varied from 7.645 for the first to 1.018 for the fifth one. The variability of the tested varieties was interpreted based on the five principal components. The first two principal components (PC1 and PC2) accounted for 62.97% of the total variation. PC1 was a function of harvest index, grain yield, number of grains/m², spikes weight, stress tolerance index, plant height, days to heading and superiority genotypic index. These traits have the largest participation in the divergence of the assessed varieties, carrying the largest portion of its variability (44.97%). PC2 accounted for another 18.00% of variation with spikes weight, canopy temperature and yield stress index being the major loaded factors. PC3 accounted for 10.09% variation with straw yield, canopy temperature and yield stress index as the major contributors. PC4 and PC5 accounted for 6.727 and 5.987, respectively, with chlorophyll content and number of kernels per spike as contributors to PC4 and % injury as contributor to PC5. Summarizing, PC1 is indicator of yielding ability, stress tolerance and agronomic stability. PC2 is a function of straw yielding ability, canopy temperature and static type stability. PC3 is related to 1000-kernel weight and spike number, while PC4 and PC5 were related to spike fertility and cell membrane thermo stability (Table 5). Most varieties with positive score along PC1 component belong to modern group, among which Ofanto (score of 5.985), Sarragola (4.931), Waha (4.791), Iride (3.668), and Simeto (3.375). Most of the old varieties

tested, Langlois (-3.776), MBB (-4.029), Gloire de Montgolfier (-4.504), Guemgoum (-4.674), Hedba (-5.218), Polonicum (-5.366), Djenah Khotaïfa (-5.869) and Adjini (-6.575) had negative scores along this component (Fig. 3).

Some varieties classed as modern appeared to be more similar to old varieties; these varieties are Massara, Poggio, Tajdid, Cirta and Beni Mestina. The last two varieties were issued from participatory plant breeding conducted by Khroub Inraa research unit (Benbelkacem personal communication). Seemingly Oued Zenati368 and Bidi17, two old sister lines originating from the same landrace native to Guelma region were classed within a sub group of modern varieties including the Cyprus old variety Kyperounda and the Jordanian old variety Haurani. Such sub group was characterized by static yield stability, and straw yielding ability, with Oued Zenati368 showing high straw yield and low stability while Bidi17 exhibited low straw yield and high static stability. The old variety Beliouni was classed within a sub group of modern varieties including Wahbi, which originated from a cross between Waha and the old variety Bidi17, and Bousselam, an ITGC high yielding variety released in 1995. This sub group was characterized mainly by the sensitivity to heat stress as measured by the cell electro-leakage; Beliouni being very sensitive based on this test results. Globally principal component analysis revealed that the old varieties are genetically far from the improved ones suggesting that they represent an important gene pool for important traits. The coefficients of variation (CV%) for straw yield (CV= 15.6%), plant height (15.4%) and harvest index (13.7%) were greater in old than in modern varieties, while CV% for chlorophyll content (13.9%) and genotypic superiority index (39.18%) were higher in modern than in old varieties. Under semi arid conditions, targeting varieties with high straw yield without penalty on grain yield allows to sustain cereal-livestock farming and conservation agriculture systems. Straw yield increase may come out from increasing plant height, which rarely exhibits a value greater than 90 cm under semi arid conditions to cause lodging. These increases may contribute to biomass, rooting depth improvement and thereby to grain yield.

TABLE 5. Eigenvalues, % variance, % cumulative variance and eigenvectors of the first five principal components for the morpho-physiological traits measured on 58 durum wheat varieties

Parameters	Principal components				
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Eigenvalue	7.645	3.060	1.715	1.144	1.018
% variance	44.971	18.001	10.090	6.727	5.987
% cumulative variances	44.971	62.972	73.062	79.789	85.777
Characters	Eigenvalues				
HI	0.336	-0.139	0.032	-0.061	-0.022
GY	0.331	0.186	0.110	-0.080	0.019
NGM ²	0.323	0.156	-0.205	0.128	0.006
STI	0.302	0.143	0.166	-0.107	-0.011
SW	0.297	0.264	0.060	0.055	0.003
PHT	-0.268	0.246	-0.069	-0.105	-0.030
DHE	-0.289	0.237	0.072	0.211	0.020
Pi	-0.312	-0.235	-0.090	0.141	-0.124
STW	-0.235	0.379	-0.034	0.028	-0.083
CT	-0.021	-0.330	0.008	-0.288	0.607
YSI	-0.023	-0.437	0.019	0.113	-0.341
TKW	-0.011	0.063	0.644	-0.403	0.047
FLA	-0.160	0.261	0.370	-0.039	-0.247
SN	0.207	0.266	-0.433	-0.119	-0.146
CHL	0.135	-0.118	0.380	0.581	-0.131
NKS	0.288	-0.070	0.096	0.313	0.114
INJ	-0.128	0.233	0.037	0.417	0.613

HI= Harvest index, GY= Grain yield, NGM²= Number of grains per m², STI= Stress tolerance index, SW= Spikes weight/m², PHT= Plant height, DHE= Days to heading, P_i= Superiority genotypic index, STW= Straw yield, CT= Canopy temperature, YSI= Yield stress index, TKW= 1000-kernel weight, FLA= Flag leaf area, SN= Spike number, CHL= Chlorophyll content, NKS= Number of grains per spike, INJ= % injury to cell membrane.

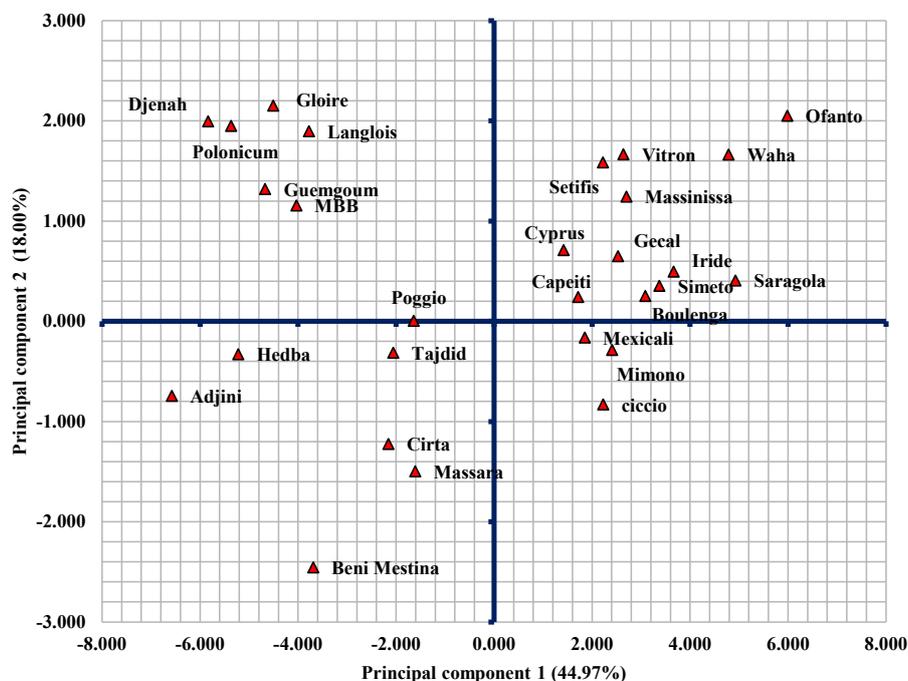


Fig. 3. Principal component analysis biplot showing the spatial distribution of 28 durum wheat varieties (olds and moderns) well represented on PC1

Conclusion

Significant differences between old and modern varieties existed for straw yield, flag leaf area, days to heading, plant height, spike length, reaction norm to environmental variability and stress tolerance. Old varieties were more stress tolerant showing below average yield and specific adaptation to low yielding environments, while modern ones were high-yield, stress tolerant, exhibiting large adaptation. Biomass, spike number, spike fertility, earliness and harvest index were the traits having strong influence on grain yield variability in both sources of germoplasm; while the direct and indirect effects of physiological were too small to be of interest. Principal component analysis revealed that old varieties are an important gene pool, genetically distant from modern varieties, for valuable traits useful under semi-arid conditions. Among these traits, plant height and straw yield agronomically interesting especially in variable environments, should be targeted from both sources of germoplasm to improve concomitantly grain yield, rooting depth and above ground biomass, keeping harvest index constant. Future varieties showing substantial improvement for these traits help to sustain cereals-livestock and conservation agriculture systems.

References

- Annicchiarico, P., Abdellaoui, Z., Kelkoui, M., Zerargui, H. (2005) Grain yield, straw yield and economic value of tall and semi-dwarf durum wheat cultivars in Algeria. *J. Agric. Sci.* **143**, 57-64.
- Akintunde, A. (2012) Path Analysis Step by Step Using Excel. *J. Tech. Sci. Technol.* **1**, 9-15.
- Battenfield, S.D., Klatt, A.R., Raun, W.R. (2013) Genetic yield potential improvement of semi dwarf winter wheat in the Great Plains. *Crop Sci.* **53**, 946-955.
- Bell, M. A., Fischer, R.A., Byerlee, D., Sayre, K. (1995) Genetic and agronomic contributions to yield gains: a case study for wheat. *Field Crops Res.* **44**, 55-65.
- Benbelkacem, A. (2014) The history of wheat breeding in Algeria. In: *Proceedings of the International Symposium on Genetics and breeding of Durum wheat Bari*: Porceddu, E., Damania, A.B., Qualset, C.O. (Eds.). CIHEAM Options Méditerranéennes: Série A. Séminaires Méditerranéens; **110**, pp. 363-370.
- Benmahammed, A., Nouar, H. Haddad, L. Laala, Z. Oulmi, A. Bouzerzour, H. (2010) Analyse de la stabilité des performances de rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous conditions semi-arides. *BASE*, **14**, 177-186.
- Carranza-Gallego, G., Guzmán, G.I., Soto, D., Aguilera, E. Villa, I., Infante-Amate, J., Herrera, A., González de Molina, M. (2018) Modern wheat varieties as a driver of the degradation of Spanish rainfed Mediterranean agro-ecosystems throughout the 20th Century. *Sustainability*, **10**, 1-23.
- Chennafi, H., Hannachi, A., Touahria, O., Fellahi, Z.E.A., Makhoulf, M., Bouzerzour, H. (2011) Tillage and residue management effect on durum wheat [*Triticum turgidum* (L.) *Thell. ssp. turgidum conv. Durum* (Desf.) MacKey] growth and yield under semi-arid climate. *Adv. Environ. Biol.* **5**, 3231-3240.
- Cropstat 7.2. (2007) Software package for windows. International Rice Research Institute, IRRI, Manila.
- De Vita, P., Mastrangelo, A.M., Matteu, L., Mazzucotelli, E., Virzi, N., Palumbo, M., Storto, M.L., Rizza, F., Cattivelli, L. (2010) Genetic improvement effects on yield stability in durum wheat genotypes grown in Italy. *Field Crops Res.* **119**, 68-77.
- Dexter, J.E., Doust, M.A., Raciti, C.N., Lombardo, G.M., Clarke, F.R., Clarke, J.M., Marchylo, B.A., Schlichting, L.M., Hatcher, D.W. (2004) Effect of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var *durum*) semolina extraction rate on semolina refinement, strength indicators and pasta properties. *Can. J. Plant Sci.* **84**, 1001-1013.
- Donmez, E., Sears, R.G., Shroyer, J.P., Paulsen, G.M., Tenmarq, E.B., Chris, P., Rendidor, K., Amigo, T.A.M. (2001) Genetic Gain in Yield Attributes of Winter Wheat in the Great Plains. *Agron. J.* **41**, 6-7.
- Fischer, T., Byerlee, D., Edmeades, G.O. (2014) Crop yields and global food security. Will yield increase continue to feed the world? ACIAR Monograph No. 158. Canberra: Aust. Centre for Intern. *Agricultural Research*, Canberra. **xxii** + 634p.
- Gizzi, G., Gambin., B.L. (2016) Eco-physiological changes in sorghum hybrids released in Argentina over the last 30 years. *Field Crop. Res.* **188**, 41-49.
- Hammer, O., Harper, D.A.T., Ryan., P.D. (2001)

- Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontol. Electron.* **4**, 9.
- Ibrahim, A., Quick, J. (2001) Genetic control of high temperature tolerance in wheat as measured by membrane thermal stability, *Crop Sci.* **41**, 1405-1407.
- Laidig, F., Piepho, H.P., Rentel, D., Drobek, T., Meyer, U., Huesken, A. (2017) Breeding progress, environmental variation and correlation of winter wheat yield and quality traits in German official variety trials and on-farm during 1983–2014. *Theor. Appl. Genet.* **130**, 223-245.
- Laumont, P., Erroux, J. (1961) Inventaire des blés durs rencontrés et cultivés en Algérie, La Typo Litho, Alger, 96p.
- Lin, C.S., Binns, M.R. (1988) A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. *Can. J. Plant Sci.* **68**, 193-198.
- Maeoka, R.E., Sadras, V.O., Ciampitti, I.A., Diaz, D.R., Fritz, A.K., Lollato, R.P. (2020) Changes in the phenotype of winter wheat varieties released between 1920 and 2016 in response to in-furrow fertilizer: biomass allocation, yield, and grain protein concentration. *Front. Plant Sci.* **10**, 1786.
- Mason, H., Goonewardene, L., Spaner, D. (2008) Competitive traits and the stability of wheat cultivars in differing natural weed environments on the northern Canadian Prairies. *J. Agric. Sci.* **146**, 21-33.
- Migliorini, P., Spagnolo, S., Torri, L., Arnoulet, M., Lazzarini, G., Ceccarelli, S. (2016) Agronomic and quality characteristics of old, modern and mixture wheat varieties and landraces for organic bread chain in diverse environments of northern Italy. *Eur. J. Agron.* **79**, 131-141.
- Mohammadi, R., Armion, M., Kahrizi, D., Amri, A. (2010) Efficiency of screening techniques for evaluating durum wheat genotypes under mild drought conditions. *J. Plant Prod.* **4**, 11-24.
- Newton, A.C., Akar, T., Baresel, J.P., Bebeli, P.J., Bettencourt, E., Bladenopoulos, K.V., Czembor, J.H., Fasoula, D.A., Katsiotis, A., Koutis, k., Koutsika-Sotiriou, M., Kovacs, G., Larsson, H., De Carvalho, M.A., Rubiales, D. Russell, J., Dos Santos, T.M.M., Vaz Patto, M.C. (2010) Cereal landraces for sustainable agriculture. *Rev. Agron. Sustain. Dev.* **30**, 237-269.
- Pask, A.J.D., Pietragalla, J., Mullan, D.M., Reynolds, M.P. (2012) Physiological Breeding II: A field guide to wheat phenotyping. Mexico, D.F.: CIMMYT.
- Patijn, O., Voshol, P., Battjes-Fries, M., Nuijten, E. (2018) Health effects of ancient wheat species varieties compared to modern wheat varieties Publication number 2018-015 VG Louis Bolk Institute.
- Sanchez-Garcia, M., Royo, C., Aparicio, N., Martín-Sánchez, J.A., Álvaro, F. (2015) Genetic improvement of bread wheat yield and associated traits in Spain during the 20th century. *J. Agr. Sci.* **151**, 105-118.
- Sanchez-Garcia, M., Alvaro, F., Peremarti, A., Martín-Sánchez, J.A., Royo, C. (2015) Changes in bread-making quality attributes of bread wheat varieties cultivated in Spain during the 20th century. *Eur. J. Agron.* **63**, 79-88.
- Scofield, C.S. (1902) The Algerian durum wheat's: a classified list, with descriptions. Publisher Washington, Gov. Print. Office Collection. U.S. Department of Agriculture, National Agricultural Library Volume no.7.
- Shroyer, J.P., Cox, T.S. (1993) Productivity and adaptive capacity of winter wheat landraces and modern cultivars grown under low-fertility conditions. *Euphytica*, **70**, 27-33.
- Slama, A., Mallek-Maalej, E., Ben Mohamed, H., Rhim, T., Radhouane, L. (2018) A return to the genetic heritage of durum wheat to cope with drought heightened by climate change. *PLoS ONE*, **13**, 0196873.
- Steel, R.G.D., Torrie, J.H. (1982) "*Principles and Procedures of Statistics*", McGraw-Hill Books, NY, USA,
- Wang, Z., Sadras, V.O., Yang, X., Han, X., Huang, F., Zhang, S. (2017) Synergy between breeding for yield in winter wheat and high-input agriculture in North-West China. *Field Crops Res.* **209**, 136-143.

توصيف الأصناف القديمة والحديثة للقمح الصلب [Triticum turgidum (L.) Tell.] [convar. durum (Desf.) Mackey] تحت الظروف البيئية لجنوب البحر الأبيض المتوسط

رابطي أبوبكر^(2,1)، مقاسي راضية⁽¹⁾، فلاحي زين العابدين⁽³⁾، حناشي عبد الرحمان⁽⁴⁾، بن بلقاسم عبد القادر⁽⁵⁾، بن محمد عمر⁽⁶⁾، بوزرور حمدة⁽⁶⁾

(1) قسم العلوم الفلاحية - مخبر تثمان الموارد الطبيعية البيولوجية - كلية علوم الطبيعة والحياة - جامعة فرحات عباس سطيف - سطيف - 19000، الجزائر، (2) معهد العلوم الفلاحية و البيطرية، جامعة محمد الشريف مساعدي، سوق أهراس، 41000، الجزائر، (3) قسم العلوم الفلاحية، كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الأرض والكون، جامعة محمد البشير الإبراهيمي، برج بوعريبيج، الجزائر، (4) المعهد الوطني الجزائري للبحث الزراعي (INRAA)، محطة البحث بسطيف، سطيف، 19000، الجزائر، (5) المعهد الوطني الجزائري للبحث الزراعي (INRAA)، محطة البحث بالخروب، قسنطينة، 25100، الجزائر، (6) قسم علم البيئة وبيولوجيا النبات، مخبر تثمان الموارد الطبيعية البيولوجية، كلية علوم الطبيعة والحياة، جامعة فرحات عباس سطيف-1، سطيف، 19000، الجزائر.

يوضح هذا العمل توصيف ٥٨ صنفا قديماً وحديثاً من القمح الصلب مزروع تحت الظروف البيئية لجنوب البحر الأبيض المتوسط. أجريت التجربة بتصميم القطاعات العشوائية الكاملة في محطتي سطيف و الخروب التابعتين للمعهد التقني للزراعات الواسعة (ITGC-AES، الجزائر) خلال الموسمين الزراعيين 2015/2016 و 2016/2017. أشارت النتائج إلى أن متوسط أداء الأصناف الحديثة تفوق على نظيراتها القديمة من حيث المردود الحبي، عدد السنابل، وزن السنبل، عدد الحبات للمتر المربع، مؤشر الحصاد، خصوبة السنابل و ديمومة الاخضرار (stay green). في حين تفوقت الأصناف القديمة على الحديثة من حيث إنتاجية القش، التأخير عند الإنبال، طول النبات ومساحة الورقة العلم. كانت الأصناف الحديثة أكثر تحملاً للإجهاد و أكثر استجابة لظروف النمو المحسنة مما يدل على نوع الاستقرار الزراعي. عكس ذلك تميزت الأصناف القديمة بأقل قدر من الاستجابة للظروف البيئية المحسنة، تحمل الإجهاد و نوع الاستقرار البيولوجي. أشارت معاملات ارتباط بيرسون وتحليلات المسار في كلا مصدري الجرمولازم إلى التأثير القوي للكتلة الحيوية، عدد السنابل، خصوبة السنبل و مؤشر الحصاد على المردود الحبي. كان للصفات الفسيولوجية تأثيرات مباشرة ضئيلة و تأثيرات غير مباشرة صغيرة عبر الكتلة الحيوية، عدد السنابل و مؤشر الحصاد. أظهر تحليل المكون الرئيسي (PCA) أن الأصناف القديمة مختلفة وراثياً عن تلك المحسنة مما يشير إلى أنها تمثل مجموعة جينية هامة لصفات مهمة كطول النبات و مردود القش. يُقترح استخدام الاختلافات بين كلا مصدري الجرمولازم بشكل مفيد في برامج التربية لتحسين المردود، الاستقرار و المرونة لدى الأصناف المستقبلية في مواجهة تغير المناخ.