



DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES

N°...../SNV/2017

THÈSE

Présentée par

FELLAHI Zine El Abidine

Pour l'obtention du diplôme de

DOCTORAT EN SCIENCES

Filière : Agronomie

Spécialité : Production végétale

THÈME

**Analyse génétique d'un croisement line x tester, réponse à la
sélection et tolérance des stress du blé tendre (*Triticum aestivum* L.)
sous conditions semi-arides**

Soutenue publiquement le **22/06/2017**

DEVANT LE JURY

Président	BENMAHAMMED Amar	Pr. UFA Sétif 1
Directeur	BOUZERZOUR Hamenna	Pr. UFA Sétif 1
Co-directeur	DREISIGACKER Susanne	Dr. CIMMYT, Mexique
Examineur	BOUTEKRABT Ammar	Pr. USD Blida 1
Examineur	BENDERRADJI Laid	Dr. UMB M'Sila
Examineur	LAIADI Ziane	Dr. UMK Biskra
Invité	YAHYAOUI Amor	Dr. CIMMYT, Mexique

ABSTRACT

The present research was conducted at the experimental field of the National Agronomic Research Institute of Algeria (INRAA), unit of Setif and the biotechnology lab of the International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT), during the 2012/13, 2013/14 and 2014/15 cropping season. The objective was to determine the mode of gene action, test the efficiency of early generation selection and the genetic base of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) adaptation in order to select high yielding and resilient lines to abiotic stress of the high altitude semi-arid regions. The plant material comprised 600 F₂, F₃ and F₄ lines belonging to 20 bi-parental populations generated from crosses between 9 parental genotypes in a Line x Tester mating design. The results indicate the prevalence of the dominance gene effects revealing the complexity of the genetic system involved in determination of the traits measured in F₂. To improve grain yield under these conditions, selection based-index seems to be more efficient than direct and indirect selection. The molecular screening of the evaluated lines shows a great diversity of haplotypes. The semi-dwarf and latest lines are yielder. The ideotype sought for the semi-arid environments is close to the haplotype [*vrn-A1, Claire, vrn-B1, vrn-D1, Ppd-B1b, Ppd-D1a*].

Key words: *Triticum aestivum*, drought stress, selection, adaptation, yield, semi-arid.

RESUME

La présente recherche a été conduite sur le site expérimental de l'Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie (INRAA), unité de Sétif, et au laboratoire de biotechnologie du Centre International pour l'Amélioration du Maïs et du Blé (CIMMYT), au cours des campagnes agricoles 2012/13, 2013/14 et 2014/15. Elle s'est fixée pour objectif de déterminer le mode d'action des gènes, l'efficacité de la sélection précoce et les bases génétiques de l'adaptation du blé tendre (*Triticum aestivum* L.) en vue de sélectionner des lignées performantes et tolérantes des stress abiotiques, hydrique et thermique, qui caractérisent les zones semi-arides d'altitude. Le matériel végétal est constitué de 600 lignées F₂, F₃ et F₄ appartenant à 20 populations biparentales générées suivant un dispositif de croisements Lignées x Testeurs entre 9 génotypes parentaux. Les résultats indiquent la prépondérance des effets géniques de dominance suggérant la complexité du système génique impliqué dans la détermination des caractères mesurés en F₂. Pour améliorer le rendement en grains sous ces conditions, la sélection sur indice s'est montrée plus efficace que la sélection directe et indirecte. Le criblage moléculaire des lignées évaluées montre une grande diversité des haplotypes. Les lignées demi-naines et tardives à l'épiaison présentent un rendement meilleur. L'idéotype recherché pour les milieux semi-arides est proche de celui matérialisé par l'haplotype [*vrn-A1*, *Claire*, *vrn-B1*, *vrn-D1*, *Ppd-B1b*, *Ppd-D1a*].

Mots clés: *Triticum aestivum*, stress hydrique, sélection, adaptation, rendement, semi-aride.

ملخص

أجريت هذه الدراسة في الحقل التجريبي التابع للمعهد الوطني الجزائري للبحث الزراعي (INRAA)، وحدة البحث بسطيف، و كذا مختبر التكنولوجيا الحيوية التابع للمركز الدولي لتحسين الذرة والقمح (CIMMYT) خلال المواسم الزراعية 2012/13، 2014/13 و 2015/14. الهدف منها هو تحديد طريقة عمل الجينات، اختبار فعالية الانتخاب المبكر والأسس الجينية لتأقلم القمح اللين (*Triticum aestivum* L.) و هذا لاختيار سلالات ذات كفاءة عالية و مقاومة للإجهادات اللاحيوية المائية و الحرارية التي تميز المناطق شبه الجافة المرتفعة. تتكون المواد النباتية المدروسة من 600 سلالة F_2 ، F_3 و F_4 تنتمي إلى 20 عشيرة تم الحصول عليها عن طريق تهجينات بين 9 أنماط وراثية أبوية باستعمال التحليل الوراثي سلالة \times كشاف. تشير النتائج إلى هيمنة الفعل الجيني السيادي مما يدل على تعقد النظام الوراثي المسؤول على التعبير عن الصفات المدروسة في الـ F_2 . لتحسين المردود الحبي في ظل هذه الظروف، كان الانتخاب على أساس المؤشرات أكثر فعالية مقارنة بالانتخاب المباشر وغير المباشر. يظهر التوصيف الجزيئي للسلالات المدروسة تنوع كبير في الأنماط الفردانية. تميل السلالات نصف قزمية والمتأخرة عند الاسبال إلى مردود أفضل. النمط المثالي الذي نتصوره للبيئات شبه الجافة يقرب من النمط الفرداني المطلوب [*vrn-A1, Claire, vrn-B1, vrn-D1, Ppd-B1b, Ppd-D1a*].

كلمات مفتاحية: *Triticum aestivum*، إجهاد مائي، انتخاب، تأقلم، مردود، شبه جاف.

CHAPITRE II

ANALYSE GENETIQUE DE LA F_2 D'UN DIALLELE PARTIEL

ABSTRACT

The experiment was conducted at the experimental field of the National Agronomic Research Institute of Algeria (INRAA), Research Unit of Setif, during the 2012/13 cropping season, with 600 F₂ lines generated from 20 bi-parental crosses between 9 genotypes of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) in a partial diallel mating design, type Line x Tester. The objective was to characterize and identify the genetic potential of the parents and to determine the gene effects involved in the genetic control of wheat characteristics associated to performance and adaptation under semi-arid conditions. The results showed a large range of genotypic variability among parents and F₂ populations for most of the analyzed variables. No parent, line or tester, showed superiority for all the measured characters. Combining ability analysis revealed the presence of large range of general and specific combining ability variances for several studied traits. GCA-parental mean values correlations analysis indicated that number of spikes, spikes weight and plant weight were good indicators of high grain yield values. The genetic analysis of the partial diallel shows the prevalence of dominance effects for most of the measured traits with asymmetric distribution of dominant and recessive genes in the parents. Medium to low values exhibited by the genetic coefficient of determination in narrow sense, suggested the complexity of the genetic system involved in the expression of the studied traits.

Key words: *Triticum aestivum*, GCA, SCA, F₂ generation, gene action, semi-arid.

RESUME

L'expérimentation a été conduite sur le site expérimental de l'Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie (INRAA), unité de Sétif, au cours de la campagne agricole 2012/13, avec un matériel végétal composé de 600 lignées F₂ appartenant à 20 populations biparentales générées suivant un dispositif de croisements en diallèle partiel type Lignées x Testeurs entre 9 génotypes de blé tendre (*Triticum aestivum* L.). Elle a pour objectif de caractériser et de déterminer le potentiel génétique des lignées parentales croisées, et d'estimer les effets géniques impliqués dans le contrôle génétique des caractères de performance et d'adaptation de blé tendre sous conditions semi-arides. Les résultats montrent la présence d'une large variabilité génotypique aussi bien au niveau des parents qu'au sein des populations F₂ pour la majorité des variables analysées. Aucun géniteur, lignée ou testeur, ne présente les meilleures valeurs pour l'ensemble des caractères mesurés. L'analyse de l'aptitude à la combinaison a révélé la présence des variances de valeurs élevées d'aptitude générale et spécifique à la combinaison pour plusieurs variables. L'étude des relations entre les valeurs d'AGC et les valeurs moyennes parentales indique que le nombre d'épis, le poids des épis et celui de la plante sont indicateurs d'une valeur élevée du rendement en grains. L'analyse génétique du diallèle partiel montre que la plupart des caractères étudiés sont déterminés majoritairement par des effets de dominance avec une distribution asymétrique des gènes dominants et récessifs chez les parents. Des valeurs moyennes à faibles caractérisent le coefficient de détermination génétique au sens étroit, suggérant la complexité du système génétique impliqué dans l'expression des caractères analysés.

Mots clés : *Triticum aestivum*, AGC, ASC, action génique, génération F₂, semi-aride.

ملخص

أجريت التجربة في الحقل التجريبي التابع للمعهد الوطني الجزائري للبحث الزراعي (INRAA)، وحدة البحث بسطيف، وذلك خلال الموسم الزراعي 2013/12 باستعمال مواد نباتية تتكون من 600 سلالة F₂ تنتمي الى 20 عشيرة و التي تم الحصول عليها عن طريق تهجينات بين 9 أنماط وراثية من القمح اللين (*Triticum aestivum* L.) باستعمال تحليل الهجن التبادلية الجزئي من نوع سلالة × كشاف. تهدف التجربة إلى وصف و تحديد القدرة الوراثية للأباء، تقدير آثار الفعل الجيني المسؤول على التعبير عن صفات أداء و تكيف القمح تحت الظروف شبه الجافة. أظهرت النتائج وجود تباين وراثي كبير لدى كل من الآباء وضمن عشائر الـ F₂ لغالبية المتغيرات المدروسة. و لا نمط وراثي أبوي، سواء سلالة أو كشاف، يظهر أفضل القيم لجميع الصفات المقاسة. كشف تحليل القدرة على التآلف على وجود تباينات كبيرة في قيم القدرات العامة و الخاصة على التآلف لعدة متغيرات. كما أظهرت دراسة الارتباط بين الـ AGC و القيم المتوسطة الأبوية بروز عدد السنابل، وزنها و وزن النبات كمؤشرات لقيم محصول حبي عالية. أظهر التحليل الجيني أن معظم الصفات المدروسة تخضع الى تأثير الفعل الجيني السياتي مع توزع غير متمائل للجينات السائدة و المتنحية عند الآباء. تشير القيم المنخفضة لمعامل درجة التوريث بمفهومها الضيق الى تعقد النظام الوراثي المسؤول على التعبير على هذه الصفات.

كلمات مفتاحية: *Triticum aestivum*، AGC، ASC، الجيل الثاني F₂، عمل الجينات، شبه جاف.

CHAPITRE III

***HERITABILITE, REPONSE A LA SELECTION ET
CORRELATION GENETIQUE ENTRE CARACTERES DES
GENERATIONS F_2 , F_3 ET F_4 DU DIALLELE PARTIEL***

ABSTRACT

The present investigation was carried out at the experimental field of the National Agronomic Research Institute of Algeria (INRAA), unit of Setif, during the 2012/13, 2013/14 and 2014/15 cropping seasons. The objective was to study the genetic relationships among morphological, phenological, physiological and agronomic traits between F₂, F₃ and F₄ generations of a partial diallel of bread wheat (*Triticum aestivum* L.), to estimate the genetic gain expected from early selection in F₂ and to determine the response to selection in F₄ based on traits related to yield performance and abiotic stress tolerance under semi-arid conditions. The results indicated appreciable genetic variability among the populations evaluated. Direct and indirect single-trait selection, and selection-based index practiced in F₂ identified Ain Abid x Mahon-Demias, Ain Abid x Hidhab, Acsad₁₁₃₅ x Mahon-Demias, Acsad₁₀₆₉ x Mahon-Demias and Acsad₁₁₃₅ x Rmada as best high yielding populations. Selection based-index was more efficient to improve grain yield compared to direct and indirect single-trait selection made F₂ as indicated by selection response estimated in F₄. Williams's index is more efficient to select for grain yield. It brought the highest genetic gain in F₄. Compared to the check cultivar Hidhab, the 30 F₄ selected lines, at 5% selection intensity, were characterized by significant increase in grain yield and yield related traits.

Key words: *Triticum aestivum*, direct selection, indirect selection, index, response, yield.

RESUME

La présente recherche a été conduite sur le site expérimental de l'Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie (INRAA), unité de Sétif, au cours des campagnes agricoles 2012/13, 2013/14 et 2014/15. Elle se fixe pour objectifs d'étudier les relations génétiques des caractères morpho-phéno-physiologiques et agronomiques des générations F₂, F₃ et F₄ d'un diallèle partiel de blé tendre (*Triticum aestivum* L.), d'estimer le gain génétique attendu de la sélection précoce en F₂ et de déterminer la réponse à la sélection en F₄ sur la base des caractères liés à la performance de rendement et la tolérance des stress abiotiques sous conditions semi-arides. Les résultats indiquent une variabilité génétique appréciable à l'intérieure des populations évaluées. La sélection monocaractère directe et indirecte, et sur indice pratiquée en F₂ identifie les populations Ain Abid x Mahon-Démias, Ain Abid x Hidhab, Acsad₁₁₃₅ x Mahon-Démias, Acsad₁₀₆₉ x Mahon-Démias et Acsad₁₁₃₅ x Rmada comme intéressantes en termes de performance. La sélection sur la base des indices s'est révélée plus efficace pour améliorer le rendement comparativement à la sélection monocaractère directe et indirecte faite en F₂ comme indiquée par les valeurs de la réponse à la sélection estimées en F₄. L'indice de Williams est plus efficace pour la sélection pour le rendement. Il apporte les meilleurs gains, en F₄, par rapport aux autres critères de sélection. Les 30 lignées sélectionnées en F₄ à une intensité de 5% se caractérisent, par rapport au témoin Hidhab, par des augmentations appréciables du rendement en grain et des caractères liés.

Mots clés: *Triticum aestivum*, sélection directe, sélection indirecte, indice, réponse, rendement.

CHAPITRE III. HERITABILITE, REPONSE A LA SELECTION ET CORRELATION GENETIQUE ENTRE CARACTERES DES GENERATIONS F₂, F₃ ET F₄ DU DIALLELE PARTIEL

ملخص

أجريت هذه الدراسة في الحقل التجريبي التابع للمعهد الوطني الجزائري للبحث الزراعي (INRAA)، وحدة البحث بسطيف، وذلك خلال المواسم الزراعية 2013/12، 2014/13 و 2015/14. الهدف منها هو دراسة الارتباطات الوراثية للصفات المورفولوجية، الفينولوجية، الفسيولوجية والزراعية للأجيال F₂، F₃ و F₄ لتحليل الهجن التبادلية الجزئي عند القمح اللين (*Triticum aestivum* L.)، تقدير الربح الوراثي المتوقع من الانتخاب المبكر في الجيل الثاني F₂ وتحديد الاستجابة في الجيل الرابع F₄ على أساس الصفات المتعلقة بكفاءة المردود ومقاومة الإجهاد اللاحيوي تحت الظروف شبه الجافة. تشير النتائج إلى وجود تباين وراثي معتبر لدى العشائر المدروسة. أظهر الانتخاب المباشر وغير المباشر أحادي الصفة وكذا الانتخاب بمؤشر عند الـ F₂ أن العشائر Acsad₁₁₃₅ x Mahon-، Ain Abid x Hidhab، Ain Abid x Mahon-Démias، Démias، Acsad₁₀₆₉ x Mahon-Démias و Acsad₁₁₃₅ x Rmada ذات اهتمام من حيث الأداء. كان الانتخاب على أساس المؤشرات عند الـ F₂ أكثر فعالية لتحسين الأداء مقارنة مع الانتخاب المباشر وغير المباشر أحادي الصفة كما يتضح من خلال قيم الاستجابة للانتخاب المقدر عند الـ F₄. يبدو جليا أن مؤشر Williams أكثر فعالية للانتخاب من أجل المردود بحيث أنه يجلب أفضل قيم الربح الوراثي مقارنة بمؤشرات الانتخاب الأخرى في الجيل الرابع F₄. تتميز الـ 30 سلالة المنتخبة في الـ F₄ عند شدة انتخاب 5٪، و هذا مقارنة بالشاهد Hidhab بزيادات معتبرة في المردود الحبي وباقي الصفات المتعلقة به.

كلمات مفتاحية: *Triticum aestivum*، انتخاب مباشر، انتخاب غير مباشر، مؤشر، استجابة، مردود.

CHAPITRE IV

***BASES GENETIQUES DE L'ADAPTATION DU BLE
TENDRE A L'ENVIRONNEMENT DE PRODUCTION***

ABSTRACT

The experiment was carried out at the biotechnology laboratory of the International Maize and Wheat Improvement Center, CIMMYT (Mexico), in 2015 with the aim to characterize 600 F₄ lines and the 9 parental genotypes of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) for reduced height, *Rht*, vernalization, *Vrn*, and photoperiod, *Ppd*, genes. The molecular characterization indicates that the distribution of the target dominant alleles is depending on the locus and the line/population. Among parents, except Mahon-Demias, a tall cultivar, the other parents are semi-dwarf and carry one dominant allele at *Rht-1* or *Rht-2* loci. Regarding the growth habit, all parents are of spring type and possess at least one dominant allele at *Vrn-A1*, *Exon7_C / T_Vrn-A1*, *Vrn-B1*, *Vrn-D1*, *Ppd-B1* and *Ppd-D1* loci. Among the F₄ lines, the dwarfing alleles *Rht-B1b* and *Rht-D1b* are contained, respectively, in 66% and 8% of the lines evaluated. Compared to *Rht-D1b*, the effect of *Rht-B1b* on plant height is more pronounced. The vernalization insensitive alleles *Vrn-A1a*, *Claire-type*, *Vrn-B1b* and *Vrn-D1a* are present, respectively, in 19%, 46%, 45% and 49% of the lines tested. Similarly, 87% of the lines contain the photoperiod insensitive allele *Ppd-D1a*, whereas no line carries the *Ppd-B1a* allele. The results indicate also that the *Ppd-B1* and *Vrn-D1* genes have the most pronounced effects on the flowering initiation compared to the other genes tested. The study of the allelic combinations indicates a wide diversity of haplotypes. There are 4 for plant height and 25 divided into 4 groups for the duration of the vegetative growth phase. The F₄ evaluated lines follow approximately the same development patterns of late genotypes in favorable environments. Indeed, those with of medium stature and late flowering time are the most productive.

Key words: *Triticum aestivum*, *Rht*, *Vrn*, *Ppd*, haplotype, adaptation.

RESUME

L'expérimentation a été conduite au sein du laboratoire de biotechnologie relevant du Centre International d'Amélioration du Maïs et du Blé, CIMMYT (Mexique) en 2015 avec pour objectif de faire la caractérisation moléculaire de 600 lignées F₄ et des 9 génotypes parentaux de blé tendre (*Triticum aestivum* L.), pour les gènes de nanisme, *Rht*, de la vernalisation, *Vrn*, et de la photopériode, *Ppd*. Les résultats de la caractérisation moléculaire indiquent que la répartition des allèles dominants ciblés est fonction du locus et de la lignée/population. Chez les parents, à l'exception du cultivar Mahon-Démias qui est de type haut, les autres géniteurs sont demi-nains et portent un allèle dominant au loci *Rht-1* ou *Rht-2*. Du point de vue type de croissance, tous les parents sont de type printemps et possèdent en moins un allèle dominant aux loci *Vrn-A1*, *Exon7_C/T_Vrn-A1*, *Vrn-B1*, *Vrn-D1*, *Ppd-B1* et *Ppd-D1*. Chez les lignées F₄, les allèles de nanisme *Rht-B1b* et *Rht-D1b* sont contenu, respectivement, dans 66% et 8% des lignées évaluées. Comparativement à *Rht-D1b*, l'effet de *Rht-B1b* sur la hauteur des plantes est plus appréciable. Les allèles d'insensibilité à la vernalisation *Vrn-A1a*, type *Claire*, *Vrn-B1b* et *Vrn-D1a* sont présents, respectivement, dans 19%, 46%, 45% et 49% des lignées évaluées. De même, 87% des lignées contiennent l'allèle d'insensibilité à la photopériode *Ppd-D1a*, alors qu'aucune ne porte l'allèle *Ppd-B1a*. Les résultats indiquent aussi que les gènes *Ppd-B1* et *Vrn-D1* ont les effets les plus prononcés sur l'induction de la floraison relativement aux autres gènes examinés. L'étude des combinaisons alléliques aux loci testés indique une grande diversité des haplotypes. Ils sont au nombre de 4 pour la hauteur des plantes et de 25 répartis en 4 groupes selon la durée de la phase végétative. Les lignées F₄ évaluées suivent approximativement le même rythme de développement des génotypes tardifs en milieux favorables. En effet, ce sont les lignées de hauteur moyenne et tardives au stade épiaison qui sont les plus productives.

Mots clés: *Triticum aestivum*, *Rht*, *Vrn*, *Ppd*, haplotype, adaptation.

ملخص

أجريت التجربة في مختبر التكنولوجيا الحيوية التابع للمركز الدولي لتحسين الذرة والقمح، CIMMYT (المكسيك) في سنة 2015 بهدف اجراء الوصف الجزيئي لـ 600 سلالة F₄ و 9 تراكيب وراثية أبوية من القمح اللين (*Triticum aestivum* L.) لجينات التقزم، *Rht*، الارتباع، *Vrn*، و الدورية الضوئية، *Ppd*. تشير نتائج التوصيف الجزيئي أن توزع الأليلات السائدة المستهدفة يتغير وفق الموضع والسلالة/العشيرة. ما عدا الصنف Mahon-Démias ذو النوع المرتفع، باقي الآباء فهي نصف قزمية وتحمل أليل سائد عند الموضعين *Rht-1* أو *Rht-2*. كل الآباء ذات نمو ربيعي وتمتلك أليل واحد سائد على الأقل عند المواضع *VRN-A1*، *Exon7_C/T_Vrn-A1*، *Vrn-B1*، *Vrn-D1*، *Ppd-B1* و *Ppd-D1*. وردت أليلات التقزم، *Rht-B1b* و *Rht-D1b*، في 66% و 8% من سلالات الـ F₄ التي تم تقييمها على التوالي. مقارنة بـ *Rht-D1b*، كان *Rht-B1b* ذو تأثير أكبر على ارتفاع النبات. أليلات عدم التأثر بالارتباع *Vrn-A1a*، نوع *Claire*، *Vrn-B1b* و *Vrn-D1a* كانت موجودة في 19%، 46%، 45% و 49% من السلالات المدروسة على التوالي. وبالمثل 87% من السلالات تحتوي على أليل عدم التأثر للتعرض للضوء *Ppd-D1a*، في حين و لا سلالة تحمل الأليل *Ppd-B1a*. كما أشارت النتائج إلى أن الجينات *Ppd-B1* و *Vrn-D1* ذوا تأثير أكبر على بدء الازهار مقارنة بباقي الجينات الأخرى المختبرة. أظهرت دراسة الارتباطات الأليلية وجود تنوع كبير في الأنماط الفردانية. 4 أنماط في ارتفاع النبات و 25 نمط مقسمة إلى 4 مجموعات في طول المرحلة الخضرية. يبدو أن سلالات الـ F₄ المدروسة تنتهج تقريبا نفس وتيرة نمو الأصناف المتأخرة في الظروف البيئية المواتية. في الواقع، السلالات متوسطة الارتفاع و المتأخرة عند الازهار كانت الأكثر إنتاجا.

كلمات مفتاحية: *Triticum aestivum*، *Rht*، *Vrn*، *Ppd*، نمط فردي، تأقلم.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Produire plus de céréales est une préoccupation majeure pour le secteur agricole Algérien qui doit nourrir une population de plus en plus croissante. Les alternatives offertes pour produire plus sur une assiette de 3 millions d'hectares sont peu nombreuses. L'extension des superficies n'étant plus possible, il reste l'introduction de l'irrigation pour minimiser les effets des stress abiotiques qui caractérisent l'environnement de production et/ou l'utilisation de cultivars plus productifs et plus résilients vis-à-vis des contraintes du milieu de production. En effet, la majeure partie des emblavures se trouve sur les hauts plateaux caractérisés par l'altitude, des hivers relativement froids, un régime pluviométrique insuffisant et irrégulier, des gelées printanières fréquentes, et l'apparition du sirocco en fin de cycle. A ces contraintes climatiques, s'ajoutent les contraintes d'ordre technique qui relèvent de l'utilisation de variétés peu productives et des conduites souvent peu ambitieuses. Une issue plus prometteuse repose sur l'amélioration génétique des plantes pour une meilleure adaptation aux contraintes environnementales.

Le travail qui vient d'être présenté, réalisé en zone semi-aride d'altitude, comporte quatre grands chapitres. Le 1^{er} chapitre concerne une revue bibliographique sur la situation actuelle de la culture de blé tendre dans le monde et en Algérie, les contraintes de la production et les possibilités d'amélioration par voie génétique. Le 2^{ème} chapitre a consisté en l'étude des effets des aptitudes à la combinaison, le mode d'action des gènes et l'héritabilité du rendement et de ses composantes sur 20 populations F₂ par le biais de deux approches d'analyses génétiques. Le 3^{ème} chapitre a traité l'analyse de la variabilité phénotypique entre et à l'intérieur des populations F₂, F₃ et F₄, le gain génétique attendu de la sélection précoce opérée en F₂ et la réponse à la sélection mono et multi-caractères, et sur la base des indices faite en F₄. Quant au 4^{ème} chapitre, mené au laboratoire de biotechnologie du CIMMYT au Mexique, il s'est attaché à la détermination des bases génétiques de l'adaptation du blé tendre à l'environnement de production en utilisant des marqueurs moléculaires SNP et STS associés aux gènes de réduction de la hauteur (*Rht*), la réponse à la vernalisation (*Vrn*) et à la photopériode (*Ppd*).

Les conclusions auxquelles débouche cette recherche concernent la présence d'une variabilité appréciable en F₂, comme indiquée par le carré moyen génotypique de l'analyse de la variance au seuil de 5%. Les valeurs prises par les coefficients de variation phénotypiques et génotypiques sont variables selon le caractère et la population. La présence de la variabilité entre les lignées parentales et les populations F₂ justifie l'analyse génétique de ces caractères.

L'analyse des aptitudes à la combinaison montre que plusieurs parents/croisements sont de bons combineurs/combinaisons pour améliorer les caractères de la performance de rendement. Toutefois, aucun parent/croisement ne présente des effets significatifs pour améliorer plusieurs caractères à la fois. Les corrélations AGC-performance des parents et ASC-performances des hybrides indiquent que le nombre d'épis, le poids des épis et la biomasse aérienne sont de bons indicateurs d'un bon rendement en grains et que l'expression de la performance des hybrides est associée à des valeurs d'ASC significatives pour l'ensemble des caractères mesurés à l'exception de la hauteur des plantes, le nombre d'épis et le poids de 1000 grains. L'analyse graphique révèle la prépondérance de l'action génique de dominance impliquée dans l'expression de la majorité des caractères mesurés et soumis à l'analyse avec une distribution asymétrique des gènes dominants et récessifs chez les parents, à l'exception pour le nombre d'épis par plante chez les deux groupes de parents, la durée de la phase végétative et la surface de la feuille étendard chez les testeurs ; et le nombre de grains par épis chez les lignées pour lesquels la distribution est symétrique. Ainsi, les gènes de dominance, hormis pour la teneur en chlorophylle, la surface de la feuille étendard et le nombre de grains par épi pour lesquels la dominance est bidirectionnelle, semblent avoir plus de circonstances sur l'amélioration des autres caractères analysés.

L'étude des corrélations indique beaucoup de ressemblances génotypiques, dues aux effets des gènes majeurs, entre les caractères mesurés en F₂, F₃ et F₄ suite aux valeurs positives et significatives estimées pour la majorité des caractères mesurés, à l'exception du poids des épis entre F₂ et F₄ et le nombre d'épis et l'indice de récolte entre F₃ et F₄ dont les liaisons sont négatives et/ou non significatives. Les meilleures valeurs du gain génétique attendu de la sélection en F₂ sont notées, par ordre d'importance, par la sélection sur indice suivie de la sélection indirecte sur la base de la biomasse et sur la sélection directe sur le rendement en grains. Les réponses à la sélection déterminées en F₄ indiquent la sélection sur indice est plus efficace relativement aux autres méthodes de sélection. L'indice de Williams (1962) semble être un bon indicateur de rendement en grains. Il apporte les meilleurs gains, attendu et réalisé, avec un écart [$GS_{\text{Réalisé}} - GS_{\text{Attendu}}$] réduit relativement aux autres critères/indices de sélection. Plusieurs populations dont Ain Abid x Mahon-Démias, Ain Abid x Hidhab, Acsad₁₁₃₅ x Mahon-Démias, Acsad₁₀₆₉ x Mahon-Démias, et Acsad₁₁₃₅ x Rmada ont été identifiées en F₂ comme prometteuses. En F₄, Ain Abid x Mahon-Démias est pratiquement la seule population qui a gardé sa supériorité par rapport aux autres populations émergées en F₂. Cette population porte des gènes favorables à l'expression des variables qui déterminent le rendement en grains dont

le nombre d'épis/m², le poids de 1000 grains et de la hauteur de la végétation. Elle est résiliente et apte à éviter les stress abiotiques de fin de cycle suite aux valeurs faibles de la température du couvert végétal. Les meilleures 30 lignées sélectionnées en F₄, sous une pression de sélection de 5%, se caractérisent, relativement au témoin Hidhab, par des réductions significatives de la température du couvert végétal de 2.81°C et de la durée de la phase végétative de 3.10 jours ; et par des améliorations appréciables du rendement en grains (316.80 g/m²) et de ses composantes dont le nombre d'épis (152.33 épis/m²), le poids des épis (324.33 g/m²), le nombre de grain/épi (6.75 grains/épi) et la biomasse aérienne (457.00 g/m²).

Le criblage des 9 parent et des 600 lignées F₄ évaluées par les marqueurs moléculaires associés aux caractères de l'adaptation *Rht*, *Vrn*, et *Ppd* indique que la répartition des allèles ciblés est fonction du locus, de la lignée et de la population testée. Mahon-Démias est le seul parent qui ne porte pas d'allèle de nanisme. Les autres géniteurs sont, par contre, de type semi-nains et portent une seule forme dominante *Rht-B1b* ou *Rht-D1b* aux loci *Rht-1* et *Rht-2*, respectivement. Du point de vue habitude de croissance, tous les géniteurs sont de printemps. Ils contiennent en moins un allèle dominant aux loci *Vrn-A1*, *Exon7_C/T_Vrn-A1*, *Vrn-B1*, *Vrn-D1*, *Ppd-B1* et *Ppd-D1*. Chez les lignées F₄, les résultats indiquent une grande diversité des haplotypes. Pour la hauteur des plantes, quatre haplotypes ont été identifiés. Les haplotypes demi-nains [*Rht-B1b*, *Rht-D1a*] et [*Rht-B1a*, *Rht-D1b*] sont ont réduit la hauteur de la végétation d'environ 10 cm et ont augmenté le rendement en grains de 15.6 g/m² et 38.2 g/m² relativement à l'haplotype haut [*Rht-B1a*, *Rht-D1a*]. Pour le type de croissance, 99.5% des lignées ont une habitude saisonnière de printemps. Vingt-cinq haplotypes appartenant à quatre groupes ont été distingués. Ces quatre groupes sont représentés par les haplotypes [*vrn-A1*, *Claire*, *Vrn-B1a*, *Vrn-D1a*, *Ppd-B1b*, *Ppd-D1a*], [*vrn-A1*, *Claire*, *vrn-B1*, *Vrn-D1a*, *Ppd-B1b*, *Ppd-D1a*], [*Vrn-A1a*, *Hereward*, *Vrn-B1a*, *vrn-D1*, *Ppd-B1b*, *Ppd-D1a*] et [*vrn-A1*, *Hereward*, *vrn-B1*, *vrn-D1*, *Ppd-B1b*, *Ppd-D1b*]. Le premier haplotype est le plus répandu (21%), alors que le dernier ne s'est exprimé que chez trois lignées (0.5%), appartiennent à la même population Ain Abid x Mahon-Démias et semblent avoir une habitude de croissance d'hivers. Les quatre groupes d'haplotypes ont des moyennes de la durée de la phase végétative de 125, 126, 127 et 133 jours, respectivement. Ils se caractérisent aussi par des moyennes de rendement de 371, 398, 445 et 521 g/m², respectivement. Ces résultats suggèrent que les haplotypes tardifs ont tendance à avoir un rendement meilleur par rapport à ceux précoces ou demi-précoces.

Des études plus approfondies sont nécessaires pour étudier le rôle des autres systèmes génétiques comme les *Eps* dans le contrôle du temps de l'induction florale et l'adaptation de blé à l'environnement semi-aride caractérisé par l'occurrence des stress hydrique et thermique de fin de cycle. La sélection assistée par marqueurs moléculaire permet de trier précocement les individus porteurs des gènes d'intérêt et donc d'augmenter l'efficacité de la sélection. Elle est désormais utilisée pour améliorer les caractères à hérédité simple qui impliquent un faible nombre de gènes. Toutefois, son application reste limitée pour des caractères polygéniques comme le rendement et la tolérance à la sécheresse. Il est alors plus difficile de trouver l'association « marqueur-caractère ». Dans ce contexte, de nouvelles méthodes de génotypage à haute densité comme la sélection génomique (*Genomic Selection*) et l'association pangénomique (*Genome-Wide Association Study*) permettent d'établir une formule de prédiction pour faire un pronostic sur la performance d'individus candidats à la sélection sur la seule base de leur génotype aux marqueurs, sans avoir besoin de les évaluer. L'établissement donc des modèles écophysiologiques pour simuler le temps de floraison et les autres caractères adaptatifs et de production dans les différentes zones agro-climatiques peut aider à déterminer la plus appropriée pour identifier l'idéotype recherché. L'étude de l'expression des différents gènes, leurs interactions ainsi que les variations génétiques par séquençage doivent faire l'objet de futures recherches pour mieux cerner et comprendre les bases génétiques de l'adaptation de blé tendre à l'environnement de production et faciliter aux sélectionneurs de développer des cultivars performants et capables d'éviter les contraintes biotiques et abiotiques.

ملخص

أجريت هذه الدراسة في الحقل التجريبي التابع للمعهد الوطني الجزائري للبحث الزراعي (INRAA)، وحدة البحث بسطيف، و كذا مختبر التكنولوجيا الحيوية التابع للمركز الدولي لتحسين الذرة والقمح (CIMMYT) خلال المواسم الزراعية 2012/13، 2014/13 و 2015/14. الهدف منها هو تحديد طريقة عمل الجينات، اختبار فعالية الانتخاب المبكر والأسس الجينية لتأقلم القمح اللين (*Triticum aestivum* L.) و هذا لاختيار سلالات ذات كفاءة عالية و مقاومة للإجهادات اللاحيوية المائية و الحرارية التي تميز المناطق شبه الجافة المرتفعة. تتكون المواد النباتية المدروسة من 600 سلالة F₂، F₃ و F₄ تنتمي إلى 20 عشيرة تم الحصول عليها عن طريق تهجينات بين 9 أنماط وراثية أبوية باستعمال التحليل الوراثي سلالة × كشاف. تشير النتائج إلى تعقد النظام الوراثي المسؤول على التعبير عن الصفات المدروسة في الـ F₂. لتحسين المردود الحبي في ظل هذه الظروف، كان الانتخاب على أساس المؤشرات أكثر فعالية مقارنة بالانتخاب المباشر وغير المباشر. يظهر التوصيف الجزيئي للسلالات المدروسة تنوع كبير في الأنماط الفردانية. تميل السلالات نصف قزمية والمتأخرة عند الاسبال إلى مردود أفضل. النمط المثالي الذي نتصوره للبيئات شبه الجافة يقرب من النمط الفردي المطلوب [vrn-A1, Claire, vrn-B1, vrn-D1, Ppd-B1b, Ppd-D1a].

كلمات مفتاحية: *Triticum aestivum*، اجهاد مائي، انتخاب، تأقلم، مردود، شبه جاف.

RESUME

La présente recherche a été conduite sur le site expérimental de l'Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie (INRAA), unité de Sétif, et au laboratoire de biotechnologie du Centre International pour l'Amélioration du Maïs et du Blé (CIMMYT), au cours des campagnes agricoles 2012/13, 2013/14 et 2014/15. Elle s'est fixée pour objectif de déterminer le mode d'action des gènes, l'efficacité de la sélection précoce et les bases génétiques de l'adaptation du blé tendre (*Triticum aestivum* L.) en vue de sélectionner des lignées performantes et tolérantes des stress abiotiques, hydrique et thermique, qui caractérisent les zones semi-arides d'altitude. Le matériel végétal est constitué de 600 lignées F₂, F₃ et F₄ appartenant à 20 populations biparentales générées suivant un dispositif de croisements Lignées x Testeurs entre 9 génotypes parentaux. Les résultats indiquent la complexité du système génique impliqué dans la détermination des caractères mesurés en F₂. Pour améliorer le rendement en grains sous ces conditions, la sélection sur indice s'est montrée plus efficace que la sélection directe et indirecte. Le criblage moléculaire des lignées évaluées montre une grande diversité des haplotypes. Les lignées demi-naines et tardives à l'épiaison présentent un rendement meilleur. L'idéotype recherché pour les milieux semi-arides est proche de celui matérialisé par l'haplotype [vrn-A1, Claire, vrn-B1, vrn-D1, Ppd-B1b, Ppd-D1a].

Mots clés: *Triticum aestivum*, stress hydrique, sélection, adaptation, rendement, semi-aride.

ABSTRACT

The present research was conducted at the experimental field of the National Agronomic Research Institute of Algeria (INRAA), unit of Setif and the biotechnology lab of the International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT), during the 2012/13, 2013/14 and 2014/15 cropping season. The objective was to determine the mode of gene action, test the efficiency of early generation selection and the genetic base of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) adaptation in order to select high yielding and resilient lines to abiotic stress of the high altitude semi-arid regions. The plant material comprised 600 F₂, F₃ and F₄ lines belonging to 20 bi-parental populations generated from crosses between 9 parental genotypes in a Line x Tester mating design. The results indicate the complexity of the genetic system involved in determination of the traits measured in F₂. To improve grain yield under these conditions, selection based-index seems to be more efficient than direct and indirect selection. The molecular screening of the evaluated lines shows a great diversity of haplotypes. The semi-dwarf and latest lines are yielder. The ideotype sought for the semi-arid environments is close to the haplotype [vrn-A1, Claire, vrn-B1, vrn-D1, Ppd-B1b, Ppd-D1a].

Key words: *Triticum aestivum*, drought stress, selection, adaptation, yield, semi-arid.