



PROJET DE FIN D'ÉTUDES
PRÉSENTÉ EN VUE D'OBTENTION DU DIPLÔME DE
MASTER SCIENCES ET TECHNIQUES
GESTION ET CONSERVATION DE LA BIODIVERSITÉ

**DIVERSITÉ PHÉNOTYPIQUE ET GÉNOTYPIQUE DU BLÉ TENDRE VIA
LES MARQUEURS MOLÉCULAIRES SNP**

Présenté par: Ouazzani Touhami Mehdi

**Encadré par : Dr.Sripada Udupa
: Pr.Sqali Houssaini Hakima
: Pr.Iraqi Driss**

Soutenu le:13 juin 2018. Devant le jury composé de:

- | | | |
|--------------------|----------------|-----------|
| - Dr.Sripada Udupa | : ICARDA Rabat | Encadrant |
| - Dr.Iraqi Driss | : INRA Rabat | Encadrant |
| - Pr.Sqali Hakima | : FST Fès | Encadrant |
| -Pr.Haloti said | : FST Fès | Examineur |
| -Pr. Amrani Khalid | : FST Fès | Examineur |
| - Pr Rachiq Saad | : FST Fès | Examineur |

Année Universitaire : 2017/2018

Faculté des Sciences et Techniques Fès

☒ B.P. 2202 – Route d'Imouzzer FES

☎ 212 (0)5 35 60 80 14 Fax : 212 (0)5 35 60 82 14

www.fst-usmba.ac.ma

Remerciements

Je tiens à exprimer mes plus vifs remerciements au Professeur Sripada Udupa. Je lui suis également reconnaissant de m'avoir assuré un encadrement rigoureux tout au long de stage, Pour les précieux conseils dont il m'a fait profiter. Pour m'avoir accordé toute sa confiance, sa compétence et sa rigueur scientifique m'ont beaucoup appris. Qu'il trouve ici l'expression de ma profonde gratitude.

Je remercie spécialement Pr Skalli Hakima, qui j'ai eu la chance de pouvoir travailler. Sa rigueur, et ses très nombreuses connaissances m'ont permis de progresser et ont répondu à plusieurs de mes préoccupations, ce qui c'est avéré une expérience très enrichissante. Qu'elle soit vivement remerciée de l'honneur qu'elle m'a fait en acceptant d'encadrer ce travail.

Je tiens également à remercier, le Dr Driss Iraqi, chef de l'unité de Biotechnologie végétal INRA RABAT ; de m'avoir fait l'honneur de passer ce stage dans le laboratoire de biotechnologie.

Je souhaiterais aussi adresser ma gratitude au professeur Haloti Said, Amrani Khalid et Rachiq Saad de la faculté des sciences et techniques de m'avoir honorée en acceptant d'évaluer ce travail et de faire partie des membres de jury.

Pour finir on remercie également INRA Maroc, ICARDA, FAO/ITPGRFA, l'Union Européenne, la CRP-Blé et du Programme de subventions de collaboration ICARDA-Maroc pour leur soutien et leur support financier.

Master Sciences et Techniques Gestion et Conservation de la Biodiversité

Résumé

Nom et prénom : Ouazzani Touhami Mehdi

Année Universitaire : 2017-2018

Titre : Diversité Génotypique et Phénotypique du blé tendre

L'amélioration génétique des traits agronomiques liés à la performance et à l'adaptation aux environnements est conditionnée par la présence d'une variabilité génétique et phénotypique des caractères ciblés dans le matériel végétal soumis à la sélection.

Pour ce faire, une stratégie globale est suivie, associant des études phénotypiques et génotypiques en intégrant différents outils agro-morphologiques et marqueurs moléculaires SNP.

Objectif du présent travail est l'intégration de la technique d'haplodiploidisation et de la sélection assisté par marqueurs pour accélérer la production du blé tendre.

La production des doubles haploïdes confère à la rapidité, le gain du temps, l'obtention d'une lignée totalement homozygote, et l'utilisation des marqueurs aide à la sélection des gènes d'intérêt pour le caractère désiré sans passer par l'évaluation sur terrain.

Les résultats de l'analyse de la diversité phénotypique et génotypique de la collection de blé tendre, composée de 58 échantillons, issus d'un croisement entre deux variété double haploïdes ont révélé une meilleure hauteur de plante avec une moyenne de (97 cm) et une Longueur de barbes élevé avec une moyenne de (5 cm) et aussi un longueur d'épis élevée avec une moyenne de (9 cm) et aussi une Précocité à l'épiaison et la maturation avec une moyenne de (114 jrs) spécialement chez les échantillons DH14, DH19 et le DH28. Et a permis de mettre en évidence la présence des deux gènes de résistance Lr34 et Lr46 ainsi que le gène du nanisme RhtB1 au sein de la population étudié.

Ceci peut constituer éventuellement une base pour les travaux de sélection qui permettront de continuer à apporter un soutien à notre agriculture.

Mots clés : Haplodiploidisation, Techniques MAS, Blé tendre caractères morphologiques , SNPs ,.

LISTE DES FIGURES

Figure 1 :	Origine génétique du blé	3
Figure 2 :	Morphologie du blé	4
Figure 3 :	Différents stades de développement du blé	7
Figure 4 :	Principaux producteurs du blé	8
Figure 5 :	Production marocaine des 3 principales céréales	8
Figure 6 :	Importation du blé	9
Figure 7 :	Symptômes de la Septoriose	10
Figure 8 :	Symptômes de la Rouille jaune	11
Figure 9 :	Symptômes de la Rouille brune	11
Figure 10 :	Méthodes d'obtention des haploïdes chez les céréales	13
Figure 11 :	Carte de situation du site expérimentale de marchouch	20
Figure 12 :	Schéma de la parcelle étudiée en 3D	21
Figure 13 :	Photo du terrain sur la parcelle	22
Figure 14 :	Mesure sur terrain la hauteur de la plante	23
Figure 15 :	Mesure de la hauteur de la barbe sur terrain	24
Figure 16 :	Mesure de la hauteur de l'épi sur terrain	24
Figure 17 :	Comptage du nombre d'épis	24
Figure 18:	Différents résultats au stades épiaison	24
Figure 19 :	Apparition des anthères sur les épis	25
Figure 20 :	Différents étapes du stade du grossissement des grains	26
Figure 21 :	Maturité des graines	26
Figure 22	Hauteur de la plante.	31
Figure 23	Hauteur de l'épi	33
Figure 24	Hauteur de la barbe	34
Figure 25	Nombre d'épis par plante	34
Figure 26	Répartition des différentes classes par rapport à l'épiaison	38
Figure 27	Répartition des différentes classes par rapport à la maturité	39
Figure 28	Répartition de la résistance a la rouille jaune	40

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 :	Variété commercialisé au Maroc	5
Tableau 2 :	Gènes ciblé et amorces utilisée	27
Tableau 3 :	Caractères des gènes cible	28
Tableau 4 :	Caractères morphologique	31
Tableau 5 :	Caractère phénologique observé en nombre de jours	37
Tableau 6 :	Confrontation des caractères phénotypiques et génotypiques	44
Tableau 7 :	Confrontation des caractères pathologiques et génotypiques.	44

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des Annexes

	INTRODUCTION GENERAL	1
	REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	
I-	Donnés phyllogénétiques et classification du blé	3
1-	Historique et origine du blé	3
2-	Classification botanique	4
3-	Description botanique	4
4-	Culture du blé	5
5-	Différents variétés commercialisé au Maroc	5
6-	Différents stades de développement du blé	6
6-1-	Période végétative	6
6-2-	Période reproductrice	6
II-	Production du blé	8
1-	Production international du blé	8
2-	Production national du blé	8
III-	Importance du blé	9
1-	Importance économique	9
2-	Importance nutritionnelle	9
IV-	Maladies du blé au Maroc	10
1-	Septoriose	10
2-	Rouille jaune	10
3-	Rouille brune	11
V-	Principe de l'haplodiploidisation	11
1-	Historique et intérêt	11
2-	Production des plantes haploïdes	11
I-1-	Croisement interspécifique	12
I-2-	Gynogenèse	12
I-3-	Androgenèse	12
I-4-	Doublement du stock chromosomiques	13
VI-	Diversité phénotypique	13
1-	Caractères agronomique	13
1-1-	Précocité	14
1-2-	Nombre de gaines par épis	14
1-3-	Poids de 1000 graines	14
2-	Caractères Morphologiques	14
2-1-	Hauteur de la plante	14
2-2-	Barbe	14
2-3-	Caractère de l'épi	14
2-4-	Nombre de talle	14
VII-	Variabilité génotypique	15
1-	Intérêt et rôle des marqueurs moléculaire	16
2-	Différent marqueurs moléculaires utilisé chez le blé tendre	16

Sommaire

2-1-	SSR	16
2-2-	RAPD	16
2-3-	AFLP	16
3-	SNP	18
MATERIELS ET METHODES		
I-	Matériel végétal	19
1-	Choix des variétés	19
1-1-	La variété Hidhab	19
1-2-	La variété Parula	20
2-	Station expérimentale marchouch	20
3-	Parcelle étudiée	21
II-	Méthodologie et techniques	21
1-	Caractères morphologiques	22
1-1-	Hauteur de la plante	22
1-2-	Hauteur de la barbe	23
1-3-	Hauteur de l'épi	23
1-4-	Nombre de talles épi	24
2-	Caractères phénologique	24
2-1-	Phase d'épiaison	24
2-2-	Anthèse	25
2-3	Grossissement des grains	26
2-4	Maturité	26
3-	Caractères pathologiques	27
4-	Caractères génétiques	27
4-1-	Collecte et préparation des échantillons	28
4-2-	Gènes et marqueurs ciblés	28
4-3-	Transmission des échantillons	28
4-4	Test génotypique KAPS	
I-	Etude génotypique	22
1-	Etude phénotypique	22
2-	Collecte des échantillons	27
1.1.	Transmissions des échantillons	27
1.2.	Test génotypique KASP	28
Résultats et discussion		
I-	Diversité phénotypique	30
1-	Caractères morphologiques	30
1-1	Hauteur de la plante	30
1-2	Hauteur de l'épi	32
1-3	Hauteur de la barbe	33
1-4	Nombre d'épis par plante	34
2-	Caractères phénologique	35
2-1	Phase de l'épiaison	36
2-2- .	Phase de la maturité	39
3-	Caractères Pathologiques	40
II-	Diversité génotypique	41

Sommaire

1-	Gène de nanisme RHtB1	41
2-	Gène de nanisme RHtD1	42
3-	Gène de résistance à la rouille jaune et au mildiou Lr34/wr17/Sr38 PM	42
4-	Gène de résistance à la rouille noire Sr2	42
5-	Gène de résistance à la rouille brune jaune et noire Lr37,Yr17 Sr38	42
6-	Gène de résistance à la rouille brune Lr68	43
7-	Gène de résistance à la rouille brune Lr19	43
8-	Gène de résistance à la rouille brune et noire Lr67	43
9-	Gène de résistance à la rouille brune et noire Sr22	43
10-	Gène de résistance à la rouille brune Lr46	43

Conclusion générale

Référence bibliographique

Annexes

Introduction générale

Les céréales occupent à l'échelle mondiale une place primordiale dans le système agricole. Elles sont considérées comme une principale source de la nutrition humaine et animale (slama *et al.* , 2005) Selon FAO (2007) leur production atteint jusqu'à 2001.5 Mt.

Le blé occupe actuellement la première place dans la production mondiale des céréales à l'égard de son importance nutritionnelle et économique considérable. Les humains consomment quotidiennement près de 50 milles tonnes de protéines du grain de blé (Glenn, 2003). Le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) Constitue la première ressource en alimentation humaine et la principale source des protéines. Il fournit également une source privilégiée pour l'alimentation animale et de multiples applications industrielles. Occupe mondialement, la quatrième place après, le riz, le maïs et l'orge avec une production de plus de 30 millions de tonnes (Amokrane, 2001).

La production du blé aura un impact crucial sur la sécurité alimentaire et l'économie mondiale dans les prochaines décennies. Au Maroc, le blé est la céréale la plus consommée, sa consommation est estimée à 258 kg/an/personne. Aussi, environ 3 millions d'hectares de blé sont cultivés annuellement, avec une production de 8 millions de tonnes en 2015 (USDA, 2015). Ce rendement reste relativement bas à cause des stress abiotiques tels que la sécheresse et biotiques comme la mouche de Hesse, la rouille brune et la rouille jaune. Par conséquent, le Maroc n'arrive pas à assurer son autosuffisance dans la production du blé et reste donc, parmi les plus grands importateurs du blé au monde (USDA, 2015).

Cependant la caractérisation et l'évaluation des variétés cultivées permettent la sauvegarde et la réhabilitation de ce patrimoine génétique (Chentoufi *et al.* ; 2014). Ces étapes permettent aussi d'estimer la diversité existante dans le matériel étudié (Schut *et al.* ; 1997), et sont considérées comme un point de départ pour son utilisation dans les programmes de sélection. La capacité d'identifier la variation génétique est indispensable pour une gestion et une utilisation efficaces des ressources génétiques (Rao ; 2004).

Cette diversité peut être estimée sur la base de plusieurs critères dont le phénotype, et à l'aide de marqueurs moléculaires. Traditionnellement, la diversité est évaluée en mesurant la variation des traits phénotypiques. L'étude de ces traits ne nécessite ni méthodes sophistiquées ni équipements compliqués, et ces traits peuvent également être hérités sans techniques biochimiques ou moléculaires spécifiques (Anumalla *et al.* ; 2015). Pour très longtemps la caractérisation variétale et l'étude de la diversité génétique du germoplasme de l'INRA se

sont basées essentiellement sur des critères phénotypiques (physiologiques, technologiques et morphologiques) (Chaabane *et al* ; 2011).

Plusieurs types de marqueurs appropriés pour les études de diversité génétique ont été développés ces dernières années. L'apparition de nouveaux marqueurs moléculaires basés sur la PCR, comme les RAPD, les SSR et les SNP, a créé l'opportunité de caractériser génétiquement les collections de matériel génétique qui était auparavant impossible. Puisque les marqueurs basés sur la PCR sont hautement polymorphes (Broun et Tanksley ; 1996) et simples à traiter, ils se traduisent par la génération de quantités relativement importantes de données par unité de temps (Powell *et al* ; 1996). Le niveau accru de variation détecté avec ces marqueurs moléculaires a permis aux gestionnaires de germoplasmes, aux sélectionneurs et aux généticiens de poursuivre avec une nouvelle vigueur les questions importantes liées aux cultures et à leurs ressources génétiques (Bretting et Widrlechner ; 1995), ils sont utiles à la fois dans la recherche basique et appliquée (Newbury *et al* ; 1997).

L'objectif du présent travail est l'intégration de la technique d'haplodiploidisation et de la sélection assisté par marqueurs pour accélérer la production du blé tendre.

La production des doubles haploïdes confère au gain du temps, l'obtention d'une lignée totalement homozygote, et l'utilisation des marqueurs, aide à la sélection des gènes d'intérêt pour le caractère désiré sans passer par l'évaluation sur terrain.

**Revue
bibliographique**

DONNÉES PHYLLOGÉNÉTIQUES ET CLASSIFICATION DU BLÉ

1- HISTORIQUE ET ORIGINE DU BLÉ TENDRE

L'utilisation du blé tendre en grande culture n'a réellement commencé qu'au début du 20ème siècle, avec l'installation des premiers colons vers 1912. Il s'est développé en conjonction avec les périodes de guerre qui ont ravagé l'Europe. À cause de la première guerre mondiale (1914-1918) (Grillot, 1948).

Le blé est originaire du sud-est de la Turquie, dans la région de Diyarbakir. Le blé entra en Europe tout d'abord par l'Anatolie puis la Grèce il y a 8000ans, puis ensuite par deux voies distinctes il y a 7000ans : une voie au nord passant par les Balkans et le Danube, et une voie au sud traversant l'Italie, la France et l'Espagne. La culture du blé atteignit le Royaume-Uni et la Scandinavie il y a 5000ans. Elle s'étendit également à l'Est du croissant fertile, par l'Iran, pour atteindre la Chine il y a 3000ans ; et en Afrique par l'Égypte. Le blé fut introduit au Mexique par les Colons espagnols au XVIe siècle, et en Australie au XVIIIe siècle (Bednarek, 2012).

Le génome du blé tendre est structuré en 21 paires de chromosomes intégrant les trois génomes homéologues A, B et D issus de chaque ancêtre (Figure 1). L'ensemble formé par trois paires de chromosomes homéologues se nomme « groupe d'homéologie ». Le génome du blé tendre est de très grande taille, constitué de 17 milliards de paires de bases ce qui représente environ 5 fois la taille du génome humain. (Paux *et al*, 2008).

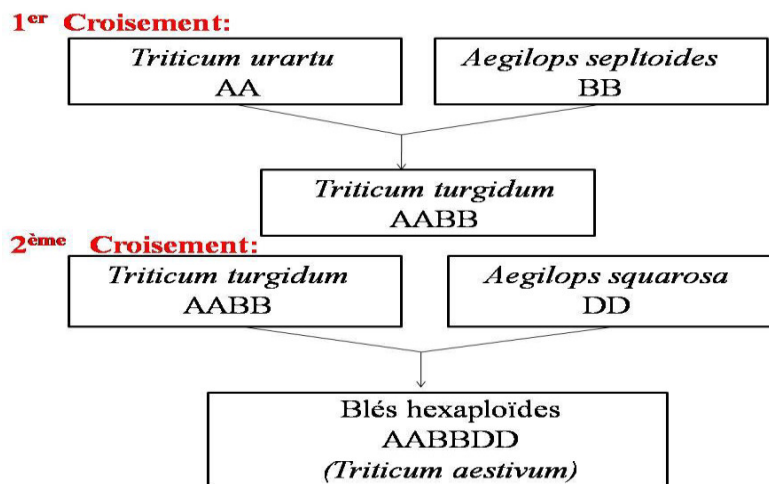


Figure 1 : origine génétique du blé (Paux *et al*, 2008).

2- CLASSIFICATION BOTANIQUE

Le blé (*Triticum L aestivium.*) est une monocotylédone qui appartient au genre *Triticum* de la famille des *Poaceae* (autrefois appelé *Gramineae*). C'est une espèce autogame à reproduction sexuée, qui a acquis la tolérance à la consanguinité au cours de l'évolution. Le genre *Triticum* comprend les espèces diploïdes, tétraploïdes et hexaploïdes. Ainsi, leur polyploïdie a joué un rôle important dans l'évolution du blé.

Règne	:	<i>Plantae</i>
Classe	:	<i>Liliopsoda</i>
Ordre	:	<i>Poale</i>
Famille	:	<i>Poaceae</i>
Genre	:	<i>Triticum</i>
Espèce	:	<i>Triticum aestivum</i>

3- DESCRIPTION BOTANIQUE

Le blé tendre est une plante herbacée annuelle, de taille moyenne (Missouri, 2018).

La tige est généralement cylindrique (Figure 2a), dressée creuse et cloisonnée par des nœuds pleins et renflés (Figure 2b). Elles comptent en général cinq à sept nœuds et trois à quatre véritables feuilles (Figure 2c).

Les feuilles sont composées d'une gaine glabre ou pubescente en surface (Figure 2d), munie d'auricules falciformes.

L'inflorescence est formée d'un racème, ou « épi », simple, (Figure 2e) linéaire ou oblong, bilatéral, de 5 à 18 cm de long.

Les épillets sont sous-tendus par une paire de glumes similaires, ovales, coriaces, de 6 à 11 mm de long (Figure 2f).

Les deux glumes présentent deux carènes et 5 à 9 nervures, divergentes vers l'apex chez la glume supérieure (Figure 2g).

Le grain de blé est un fruit sec et indéhiscent, appelé caryopse, constitué d'une graine et de téguments et formé principalement de trois régions (Figure 2h

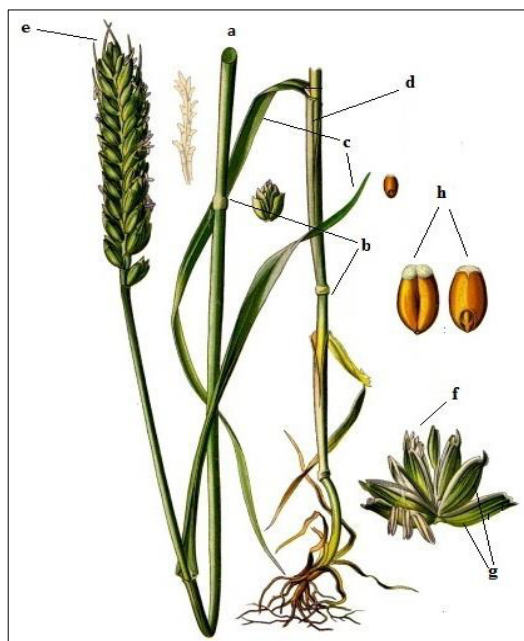


Figure 2 : Morphologie du blé

4- CULTURE DU BLÉ TENDRE

Depuis longtemps le blé est cultivé sur des sols labourés pour le contrôle des adventices et de certaines espèces indésirables (escargots, limaces), puis cultivé avec une quantité croissante d'engrais et de pesticides, au Maroc il fait l'objet d'une technique culturale simplifiée (semis direct...) pour mieux protéger ou restaurer les sols qui sont dégradés par les labours répétés (érosion, déstructuration, perte de carbone et de matière organique, lessivage des nutriments, apparition d'une semelle de labour, etc.. (FAO, 2011).

5- DIFFÉRENTS VARIÉTÉS COMMERCIALISÉES AU MAROC

Le tableau donne une liste de variétés du blé tendre nouvellement commercialisé au Maroc. Présentant quelques caractéristiques importantes tels que la productivité et la précocité et différents réactions pathologiques contre les maladies les plus abondants chez le blé.

Tableau 1 : Variété du blé tendre commercialisé au Maroc. (SONACOS, non daté).

Variété	Productivité	Réactions aux maladies	Zone d'adaptation	Précocité
Massira	Moyenne	Septoriose : Résistance moy RB, RN et RJ : Bonne résistance	Bour favorable irrigué	Semi précoce
Rajae	Importante	Septoriose: Résistance moy RB, RN et RJ : Bonne résistance	Bour et irrigué	Précoce
Amal	Importante	Septoriose: Résistance moyenne RB, RN et RJ : Bonne résistance	Bour favorable irrigué	Semi tardive
Mehdia	Moyenne	Septoriose: Sensible RB, RN et RJ : Bonne résistance	Bour et irrigué	Précoce
Arrehane	Importante	Septoriose: Sensibilité moyenne RB et RN : Bonne résistance	Bour et irrigué	Précoce
Achtar	Moyenne	Septoriose: Résistance moyenne RB, RN et RJ : Bonne résistance	Bour et irrigué	Semi précoce
Kanz	Importante	Septoriose: Sensibilité moyenne RB et RN : Bonne résistance RJ : résistance moy	Bour et irrigué	Très précoce

Moy : moyenne RB : Rouille brune RN : Rouille noire RJ : Rouille jaune.

6- DIFFÉRENTS STADES DE DÉVELOPPEMENT DU BLÉ

Dans ce cycle annuel, une série d'étapes séparées par des stades repères, permettent de diviser le cycle évolutif du blé en deux grandes périodes (Figure 3) une période végétative et une période reproductrice.

6-1- PÉRIODE VÉGÉTATIVE

Elle s'étend de la germination à l'ébauche de l'épi. On y trouve deux stades :

- ❖ **Phase Germination – levée** : La germination est le passage de la semence de l'état de vie lente à l'état de vie active (Figure 3a). Le grain de blé ayant absorbé au moins 30% de son poids en eau. Le coléoptile joue un rôle protecteur et mécanique pour percer le sol. A la levée les premières feuilles amorcent la photosynthèse (Figure 3b). Néanmoins les réserves du grain continuent à être utilisées. On parlera de levée lorsque 50% des plantes seront sorties de la terre (Figure 3c) (Chabi *et al.*, 1992).
- ❖ **Phase Levée - Tallage** : Le début du tallage est marqué par l'apparition de l'extrémité de la première feuille de la talle latérale primaire (Figure 3d). Il est caractérisé par la formation du plateau de tallage l'émission des talles, et la sortie de nouvelles racines.

6-2- PÉRIODE REPRODUCTRICE

Cette période comprend la formation et la croissance de l'épi ; elle se caractérise par :

- ❖ **Phase Montaison - Gonflement** : Elle se manifeste à partir du stade épi à 1 cm (Figure 3^e), c'est la fin du tallage herbacé et la tige principale ainsi que les talles les plus âgées commencent à s'allonger suite à l'élongation des entrenœuds, auparavant emplies sous l'épi (Belaid, 1996). Il est suivi du stade 1 à 2 nœuds (Figure 3f), ici les nœuds sont aisément repérables sur la tige. Pendant cette phase de croissance active, les besoins en éléments nutritifs notamment en azote sont accrus (Merizek, 1992).
- ❖ **Phase Epiaison - fécondation** : C'est au cours de cette période que s'achève la formation des organes floraux et que va s'effectuer la fécondation (Figure

3g, 3h). Le nombre de fleurs fécondées durant cette période critique dépendra de la nutrition azotée et de l'évapotranspiration (Clement et Prats, 1970). Elle correspond au maximum de la croissance de la graine qui aura élaboré les trois quarts de la matière sèche totale et dépend étroitement de la nutrition minérale et de transpiration influençant le nombre final de grain par épi.

❖ **Grossissement du grain** : Il correspond à la croissance de l'ovaire. Il s'agit d'une phase d'intense activité de la photosynthèse (Figure 3i). À la fin de cette phase 40 à 50% de réserves se sont accumulées dans le grain à taille définitive, restant mou et de couleur verte. C'est le stade grain laiteux (Chabi *et al.*, 1992).

❖ **Maturation du grain** : D'après Belaid (1996), la maturation correspond à l'accumulation de l'amidon dans les grains (Figure 3j). Par la suite, les grains perdent leur humidité à 45% d'humidité, c'est le stade pâteux à 20% d'humidité, c'est le stade rayable à l'ongle à 15 – 16% d'humidité, c'est le stade cassant (mûr pour la récolte).

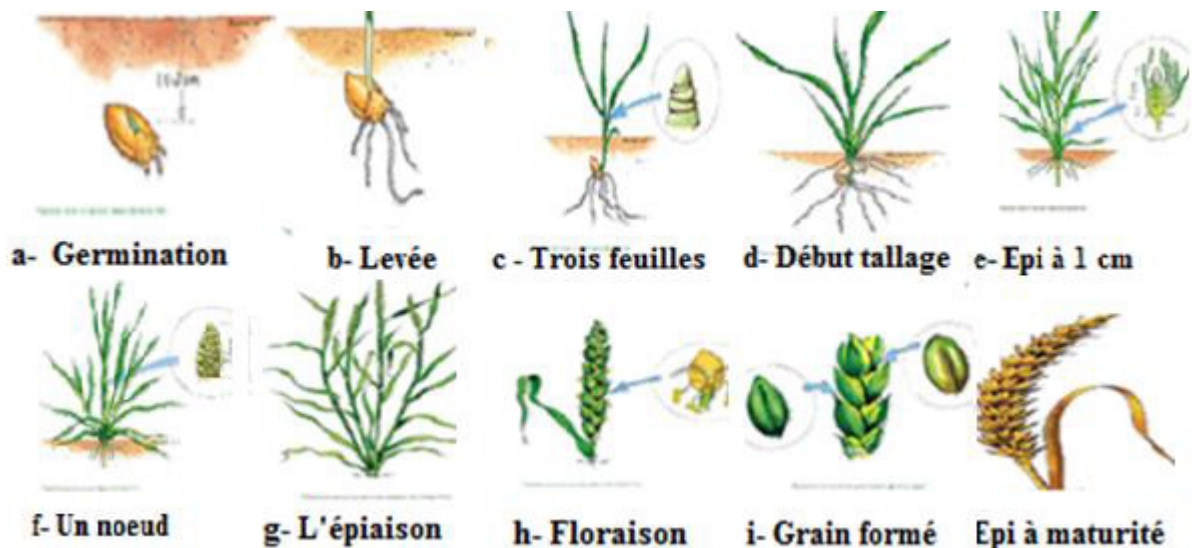


Figure 3 : Différents stades de développement du blé (Amallah, 2017).

I- PRODUCTION DU BLÉ

1- PRODUCTION INTERNATIONALE DU BLÉ

Selon les dernières prévisions de la FAO, la production, de blé en 2016 s'élèverait à 742,4 millions de tonnes (1.2% de plus que le niveau record de 2015). Cultivée sur une surface de 222.2 millions d'hectares, soit plus que 32 % de la surface agricole mondiale dédiée à la culture des céréales. Les cinq plus grands producteurs de blé sont la Chine, l'Inde, l'USA, la Russie et la France (Figure 4). La fédération de Russie devrait devenir dans les prochaines années le plus grand exportateur mondial de blé, succédant ainsi à l'UE à la deuxième place, quasiment à l'égalité avec les États-Unis.

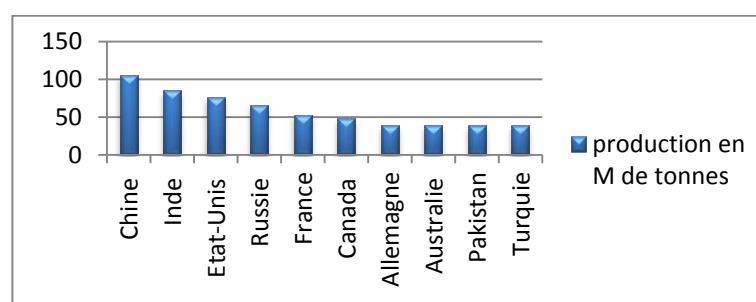


Figure 4 : Principaux producteurs de Blé (FAO, 2017).

2- PRODUCTION NATIONALE DU BLÉ

La production du blé (Figure 5) est une activité agricole majeure ayant une implication importante sur l'économie nationale du Maroc. En moyenne, environ 3 millions d'hectares du blé sont cultivés annuellement au Maroc avec 2 millions d'hectares du blé tendre et 1 million d'hectares du blé dur (USDA, 2014)

Environ 94% de la superficie totale et 74% de la production se trouve dans les zones pluviales (Dahan *et al.* , 2012). La production totale du blé en 2015 atteint 8 Mt. Cette valeur a connu une augmentation par rapport à l'année 2014, dont la quantité était de 5 Mt.

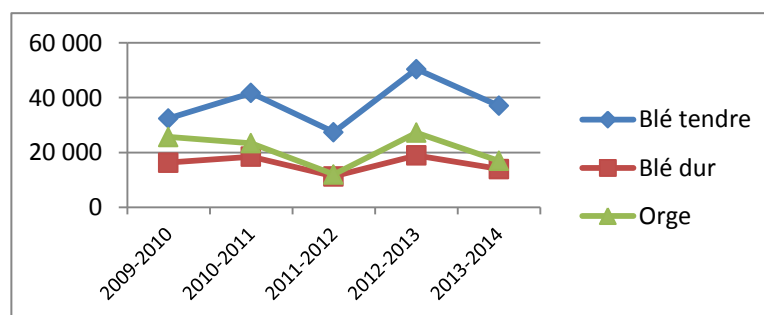


Figure 5 : Production marocaine des 3 principales céréales en 1000 Qt (MAPM, 2016)

La production nationale du blé reste insuffisante pour satisfaire la forte demande. La dépendance élevée à l'importation expose le Maroc aux fluctuations des prix du blé sur le marché international. Chaque année, le Maroc dépense environ 6 Milliards de dirhams pour les importations de blé, ce qui affecte énormément la balance commerciale (Figure 6).

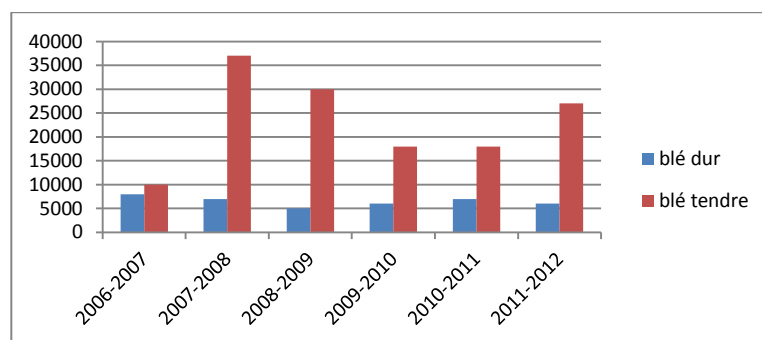


Figure 6 : Importations des blés (MAPM, 2016).

II- IMPORTANCE DU BLÉ

1- IMPORTANCE ÉCONOMIQUE

La filière céréalière a une importance agronomique et économique majeure. Elle occupe une place déterminante dans l'économie agricole avec une contribution située entre 10 et 20 % au produit intérieur Brut Agricole (PIBA). Le Maroc produit en moyenne 5 millions de tonnes par an sur une superficie de 5.3 millions d'hectares. Les 1.4 millions d'exploitations agricoles nationales génèrent un chiffre d'affaire de 15 milliards de dirhams (MAPM, 2017).

2- IMPORTANCE NUTRITIONNELLE

Au Maroc, le blé tendre est la première source d'alimentation. Il est consommé sous forme de pain par toutes les catégories sociales et tous les âges. La consommation nationale de blé tendre a atteint son maximum au début des années 80 avec 144Kg/personne et par an, en raison de la pression de la démographie et du changement des habitudes alimentaires (Jlibene, 2011).

La graine de blé est un organe de réserve contenant de l'amidon, des protéines, des lipides et des sels minéraux. L'amidon est la composante la plus abondante dans la graine. Sa teneur peut atteindre 85% du poids sec de la farine de blé. Celles des protéines varient de 8 à 16% du poids sec de la graine. Ces protéines de réserve sont synthétisées dans une graine, agissant comme puits pour stocker le surplus d'azote de la plante en protéines.

III- MALADIES DU BLÉ AU MAROC

1- SEPTORIOSE

La Septoriose est une maladie attaquant principalement le blé (Figure 7), depuis le stade de la germination jusqu'à celui de la maturité. Dans certaines circonstances, elle infecte les feuilles et les épis (Laffont, 1985). Cette espèce peut réduire le rendement de 31 à 53% (Eyal, 1981 ; Babadoost et Herbert, 1984; Polley et Thomas, 1991). Elle participe à la destruction d'environ 2 % du blé mondial. (Zahri *et al.*, 2008).

Les symptômes se manifestent par l'apparition de taches ovales (Figure 7a), dans un premier temps de couleur jaune (chlorose), qui virent par la suite au brun (nécrose). Les pycnides produisent des pycnidiospores. À la faveur de l'humidité ambiante ou des pluies, les pycnides se gorgent d'eau, gonflent et les spores sont expulsées sous forme d'une gelée sporifère appelée « cirrhe » (Figure 7b). Le champignon fructifie sous forme de pycnides (Figure 7c), points noirs dans les taches nécrosées.

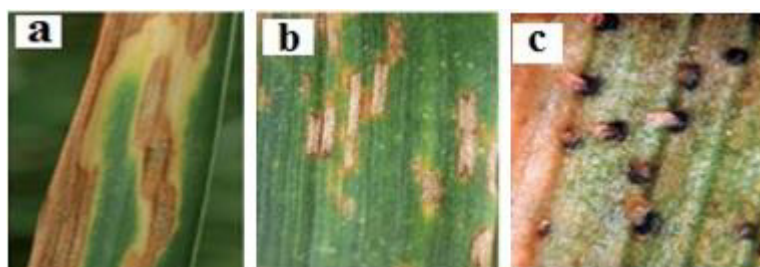


Figure 7 : Symptômes de la Septoriose Source : ARVALIS.

2- ROUILLE JAUNE

Causée par *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*, est une maladie fongique principalement foliaire (Figure 8a), bien qu'elle puisse infecter d'autres tissus tels que la tige et l'épi (Figure 8b), (Evans *et al.*., 2008). C'est parmi les maladies du blé les plus importantes au monde (Chen, 2005).

L'agent pathogène responsable de la rouille jaune infecte les tissus verts des plantes des céréales et des herbes. L'infection peut se produire à n'importe quel stade à partir de stade une feuille jusqu'à la maturité. Les symptômes apparaissent environ une semaine après l'infection, alors que la sporulation commence pendant deux semaines après l'infection, lorsque les conditions thermiques sont optimales où le climat est plutôt frais (Laffont, 1985).

La température est le facteur principal affectant la survie du champignon de la rouille jaune en hiver. Rapilly (1979) a considéré que les températures au-dessous de - 10°C

pourrait arrêter le développement de cet agent pathogène. Le climat froid de l'hiver réduit la croissance du champignon (Chen, 2005).

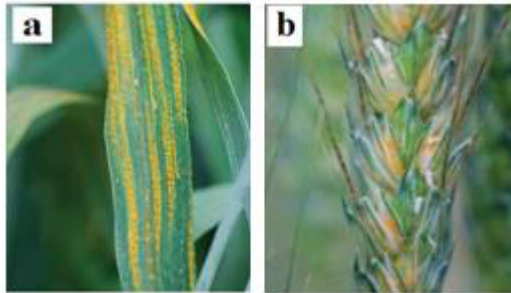


Figure 8 : Symptômes de la rouille jaune (Wheat Disease Identification, 2011).

3- ROUILLE BRUNE

La rouille brune ou la rouille des feuilles, causée par *Puccinia triticina*, est la maladie la plus commune du blé. Elle attaque plus régulièrement que la rouille jaune ou la rouille noire (Bolton *et al.*, 2008).

Les urediniospores sont déposées par le vent ou la pluie de chaque côté de la feuille. Absorbent de l'eau, Ils gonflent et développent un tube de germe qui forme un film d'humidité comme une rosée ou pluie fine sur la surface des feuilles (Figure 9). La germination se réalise après 4-8 h à 20 ° C sous l'humidité de 100 % (Zhang *et al.* , 2003). Après 7-10 jours d'inoculation, le mycélium grandissant dans le tissu des feuilles du blé susceptible forme se qu'on appelle Uredinia de 1.5mm de diamètre, de forme ovoïde et de couleur orange-brun dispersé sur les deux faces de la feuille.



Figure 9 : Symptômes de la rouille brune (Kolmer, 2013).

IV- PRINCIPE DE L'HAPLO DIPLOÏDISATION

1- HISTORIQUE ET INTÉRÊT

C'est une technique plus récente, permettant le passage le plus rapide des plantes de l'état hétérozygote à l'état homozygote en une seule génération. Elle consiste en la régénération d'un sporophyte à partir d'un gamétophyte, afin d'obtenir des plantes haploïdes, en dehors de la fécondation. En effet il suffit d'un doublement spontané ou un traitement à la colchicine pour rétablir la diploïdie. L'individu obtenu est donc homozygote parfait ou lignée haploïde doublée (De Buyser *et al.* , 1981).

L'haplodiploïdisation offre non seulement l'avantage de réduire le nombre d'années de sélection mais aussi, de faire réapparaître des caractères avantageux ou désavantageux différents, de faire une expression plus riche du matériel génétique de départ, d'avoir une meilleure lisibilité du génome, d'identifier des croisements prometteurs en faisant un tri rapide des meilleurs hybrides du départ et de simplifier l'analyse génétique (Picard *et al.* , 1994 ; Haddoury, 2000).

2- PRODUCTION DES PLANTES HAPLOÏDES

Les haploïdes constituent un matériel précieux pour les sélectionneurs. L'hybridation interspécifique, la gynogenèse et la culture d'anthères constituent les principales techniques pour la régénération de lignées haploïdes.

2-1- CROISEMENT INTERSPÉCIFIQUE

Il conduit à une élimination du stock chromosomique de l'espèce sauvage au cours des divisions des cellules de l'embryon. Cette élimination est progressive et serait due soit à la désynchronisation des cycles mitotiques des deux espèces, soit à l'inactivation du génome étranger. (Chlyah *et al.* , 1999).

2-2- GYNOGENÈSE

Autre voie de production des plantes haploïdes à partir des gamétophytes femelles (ovaires non fécondés) qui produisent soit des cals, soit des embryons haploïdes qui à leur tour, donneront une plante haploïde (Mdahri-Alaoui, 1998).

2-3- ANDROGENÈSE

Méthode de production des plantes haploïdes à partir de la culture d'anthères in vitro ; elle consiste en la prolifération des microspores uni nucléées en embryon puis en plante haploïdes.

2-4- DOUBLEMENT DU STOCK CHROMOSOMIQUE

L'état haploïde étant instable, l'individu régénéré est parfois diploïde, on parle de doublement spontané du stock chromosomique. Pour le blé, on peut compter 20 à 25 % d'haploïdes doublés spontanément, 60 à 65 % chez l'orge. Sinon, on provoque artificiellement un doublement des chromosomes, le plus couramment par l'action d'un agent chimique, la colchicine. Les plantes obtenues sont des diploïdes homozygotes : elles possèdent deux copies identiques de chacun de leurs chromosomes et donc portent des paires de gènes ou allèles identiques, d'où leur grand intérêt. (GNIS, 2016)

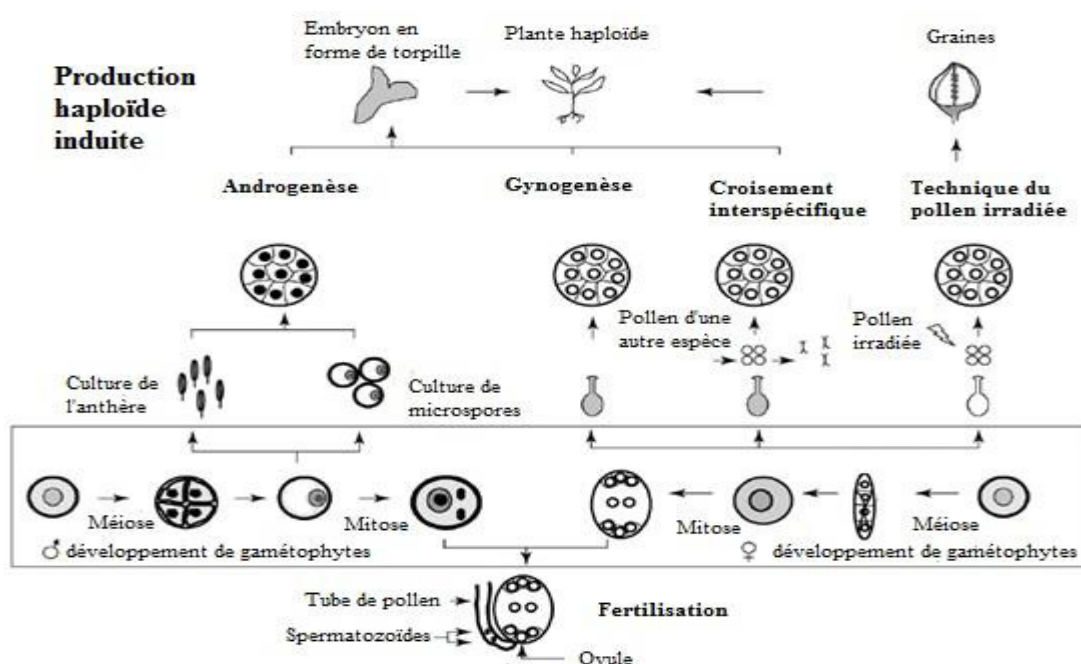


Figure 10 : Méthodes d'obtention des haploïdes doublées chez les céréales (Esteves, 2014).

V- DIVERSITÉ PHÉNOTYPIQUE

La diversité au sein et entre les populations est déterminée en évaluant des différences morphologiques qui présentent un atout très important. En effet, ces mesures ont l'avantage d'être immédiatement disponibles, ne nécessitant aucun équipement sophistiqué et permettant une mesure directe du phénotype. Cependant, ces déterminations

morphologiques peuvent être sujettes à des changements dûs à des facteurs environnementaux et varient selon les stades de développement. (Pecetti *et al.* , 1992).

1- CARACTÈRES AGRONOMIQUES

1-1- Précocité

La précocité à l'épiaison et celle à la maturité sont souvent utilisées comme critère de sélection. Elles sont citées comme mécanisme important d'esquive aux contraintes climatiques (Wardlaw et Moncur, 1995). D'après Blum (1988), la sélection en conditions de stress hydrique conduit à retenir des génotypes à cycle précoce dans les conditions favorables. Monneveux (1997) a ajouté que la précocité chez les céréales à paille cultivées en zones méditerranéennes est une manière de pallier aux conditions défavorables du milieu (sécheresse, stress hydrique, hautes températures,...).

1-2- Nombre de grains par épi

La composante de rendement la plus importante, elle joue un rôle primordial dans la variabilité du rendement (Nachit, 1986). Selon Hamada (2000), ce paramètre dépend de la fertilité des épillets et peut s'associer à d'autres composantes du rendement. L'amélioration du rendement passe nécessairement par le raisonnement sur le nombre de grains par épi qui explique à 75 % les variations du rendement. Il est fonction du nombre d'épillets par épi et du nombre de grains par épillet (Grignac, 1981).

1-3- Poids de 1000 graines

Utilisé surtout dans la sélection des variétés pour caractériser la grosseur et la densité des grains, le poids de mille grains est un critère variétal très important. Grignac (1981) a précisé que le poids de mille grains diminue lorsque la fertilité de l'épi augmente. Ce poids dépend fortement des conditions climatiques et de la nutrition azotée durant la maturation. De ce fait, le blé subit des fluctuations liées, en particulier, à l'échaudage.

2- CARACTÈRES MORPHOLOGIQUES

Un paramètre morphologique ne peut, être utilisé en sélection qu'après vérification de son rôle effectif dans la tolérance aux stress, et après s'être assuré que son héritabilité est suffisante pour donner lieu à une sélection.

2-1- Hauteur de la plante

La longueur du col de l'épi constitue un bon indicateur de tolérance au déficit hydrique. Le rôle de ce paramètre s'expliquerait par la quantité d'assimilats stockée par ces organes susceptibles d'un transfert vers le grain en cas de déficit terminal (Gate et al; 1990).

2-2- Barbe

De nombreux travaux, réalisés sur une large gamme de génotypes, semblent confirmer le rôle des barbes dans le remplissage du grain en condition de déficit hydrique (Grignac, 1965 ; Hadjichristodoulou, 1985 ; Ali Dib *et al .*, 1990). Ce caractère a été également proposé par Fisher et Maureer en 1978 comme critère de sélection de génotypes tolérants au stress hydrique.

Selon les auteurs (Blum; 1988 et Bagga *et al* ; 1970) les variétés de céréales les plus tolérantes à la sécheresse sont celles qui se caractérisent par une paille haute. Cette tolérance résulterait de l'aptitude à remplir correctement le grain en phase terminale du cycle grâce aux quantités d'assimilats stockées dans la tige et particulièrement au niveau du col de l'épi (Blum; 1988).

2-3- Caractère le l'épi

Contribuent également à une limitation des pertes en eau (Febrero *et al .*, 1989). En raison de la sénescence des feuilles, d'autres organes peuvent jouer le rôle de relais. L'épi assure une activité photosynthétique importante au cours du remplissage du grain (Febrero *et al .*, 1990) et sa contribution à la photosynthèse de la plante entière serait comprise entre 13 % et 76 %, (Biscope *et al.*, 1975). En cas de déficit hydrique, la photosynthèse de l'épi participe au remplissage que la feuille étendard (Bammoun, 1997).

2-4- Nombre de talle

Le nombre de talles par plante est un caractère variétal, qui, en conditions favorables, pourrait renseigner sur le potentiel de production des variétés (Ben Naceur et al ; 1997)

VI- VARIABILITÉ GÉNÉTIQUE

La variabilité génétique désigne le degré de variété des gènes au sein d'une même espèce correspondant au nombre totale de caractéristique génétique dans la constitution génétique de l'espèce.

Tout programme avisé de sélection, d'amélioration et de conservation doit impérativement reposer sur des informations fiables quant à la distribution de la variabilité génétique.

La variabilité génétique d'une espèce ou d'une population peut être observée sur le terrain ou en étudiant les marqueurs moléculaires et autres en situation de laboratoire. L'association des deux démarches est nécessaire pour obtenir des résultats fiables.

1- INTÉRÊT ET RÔLES LES MARQUEURS MOLÉCULAIRES

Les marqueurs moléculaires sont des séquences d'ADN identifiables, situées à des emplacements spécifiques du génome, et associés à la transmission d'une caractéristique ou d'un gène lié. Les marqueurs moléculaires servent à la sélection assistée par marqueurs, la compréhension et à la conservation des ressources génétiques, la vérification du génotype.

L'utilisation de la diversité génétique dans un programme de sélection passe inévitablement par son estimation et par le choix du type de marqueur susceptible de la traduire le plus fidèlement possible.

2- DIFFÉRENTS MARQUEURS UTILISÉS POUR LE BLÉ TENDRE

Il existe un nombre croissant de marqueurs moléculaires et de techniques pour l'étude de la variabilité génétique chez le blé que les RFLP (Restriction Fragment Length polymorphism), les RAPD (Random Amplified Polymorphic DNA), les AFLP (Amplified Fragment Length polymorphism) et les SSR (Simple Sequence Repeat) et enfin les plus récents et ceux dont nous s'intéresseront dans cette étude les SNP (Single Nucléotide Polymorphisme).

2-1- Marqueurs microsatellites Répétitions de séquences simples (SSR)

Ces marqueurs ont été très utiles pour des études de diversité génétique, phylogénétiques, ainsi que pour l'évaluation des ressources génétiques et la construction de cartes génétiques.

Chez le blé, leur grand nombre, leur polymorphisme et la facilité du génotypage font des SSR d'excellents marqueurs pour l'analyse de la diversité génétique (Matus et Hayes, 2002)

2-2- Marqueurs ADN polymorphe amplifié aléatoire (RAPD)

Consiste en l'amplification par PCR de fragments de l'ADN génomique en utilisant des amorces arbitraires de taille courte (10 Pb). Une amorce RAPD permet généralement l'amplification d'une dizaine de fragments. Les fragments produits par cette amplification sont séparés par électrophorèse sur un gel d'agarose. (Williams *et al.* , 1990).

2-3- Marqueurs Polymorphisme de longueur de fragment d'amplification

Cette technique (AFLP) utilise à la fois les enzymes de restriction et l'amplification PCR. Après la digestion de l'ADN génomique par deux enzymes de restriction, des adaptateurs de séquence connue et spécifiques des deux sites de restriction sont ajoutés aux extrémités des fragments de restriction. (Vos *et al.* , 1995).

3- MARQUEURS POLYMORPHISME NUCLÉOTIDIQUE (SNP)

Les SNP sont abondants dans les génomes végétaux et leur nature biallélique permet une durée plus courte d'un génotypage à grande échelle que celle des marqueurs moléculaires de génération antérieure. Ces dernières années, les marqueurs SNP sont largement utilisés dans les études génomiques de nombreuses espèces végétales et animales. Les polymorphismes de nucléotides simples (SNP) sont parmi les formes les plus courantes de variations génétiques, qui présentent un simple changement de paire de bases dans le génome. Les méthodes de génotypage de SNP incluent (Gaudet *et al.* , Huang et Roder 2005;)

- AS PCR (PCR spécifique),
- Séquence polymorphe amplifiée clivée (CAPS),
- TSPCR par commutation de température
- Séquençage des gènes,

L'AS-PCR fournit des résultats de marqueurs dominants et, par conséquent, ne peut pas distinguer l'échec de la PCR de l'absence de produits de PCR et des hétérozygotes des homozygotes (Gaudet *et al.* , 2009).

La technologie CAPS est coûteuse et prend beaucoup de temps car elle repose sur le clivage d'un produit de PCR spécifique à un site avec une restriction.

La TS-PCR est un système de PCR en deux phases qui permet l'amplification d'un locus cible avec des amorces spécifiques au locus dans la première phase et la détection de l'allèle SNP avec des amorces allèles spécifiques dans la deuxième phase du cycle thermique.

La technologie de séquençage est basée sur le principe du «séquençage par synthèse» et est automatisée spécifiquement pour un grand nombre d'échantillons et de séquences.

Les facteurs importants dans le choix d'une plateforme de génotypage appropriée comprennent :

- Nombre de points de données pouvant être générés en peu de temps,
- Facilité d'utilisation,
- Qualité des données produites (sensibilité, fiabilité, reproductibilité et précision),
- Flexibilité (génotypage échantillons pour de nombreux SNP ou de nombreux échantillons pour peu de SNP),
- Exigences de développement d'essai,
- Coût de génotypage par échantillon ou point de données.

Deux grands besoins de génotypage requièrent différentes plateformes:

- Génotypage SNP génomique pour la cartographie génétique, estimation de la diversité génétique et des méthodes de sélection du génome entier.
- Génotypage pour un petit nombre de locus spécifiques pour l'identification génique. Ce dernier besoin nécessite une plate-forme de génotypage flexible, qui réalise un débit élevé à faible coût. Une de ces plateformes est la technologie de génotypage KASP (Kompetitive Allele Specific PCR) de LGC Limited (Semagn *et al.* , 2014 ; Thomson 2014).

Matériel et méthodes

I- MATERIEL VEGETALE

1- CHOIX DES VARIETES

Les variétés de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) utilisées dans le présent travail ont été fournies gracieusement par l'Institut International de Recherches Agronomiques dans les zones Arides (ICARDA).

58 échantillons sont récoltés d'une population haplo-diploïdes issu du croisement entre deux variétés Hidhab et Parula choisie pour leurs caractères intéressants et complémentaires.

1-1 LA VARIETE HIDHAB (HD) Dont le pedigree est HD_{1220/3}*Kal/Nac, est une sélection de l'ITGC de Sétif datant de 1985, faite à l'intérieur du matériel végétal provenant de Centre International d'Amélioration du Maïs et du Blé. C'est une variété à cycle court, précoce à l'épiaison, ce lui permettant de tolérer les stress hydrique et thermique de fin de cycle.

C'est une variété à fort tallage, aux épis blancs, demi-compact, aux barbes divergentes et à paille courte et creuse (Amokrane et al., 2002). Elle présente une adaptation très large, embrassant toutes les régions du pays. Elle est très appréciée par les agriculteurs. Elle remplace la variété Mahon-Demias dans plusieurs zones agro-climatiques. Cette variété présente une sensibilité élevée à la rouille jaune. Son rendement est faible sous forte attaque de ce pathogène, elle possède de bonnes caractéristiques technologiques pour la panification, c'est un blé de force (Amokrane et al., 2002).

1-2 LA VARIETE PARULA,

C'est une variété dont le pedigree est Frontana x Kenya58 est une sélection d'origine du Mexique datant de 1981. Faite à l'intérieur du matériel végétal provenant de Centre International d'Amélioration du Maïs et du Blé. C'est une variété à cycle de développement relativement long, peu tardive et semi naine et présente un tallage moyen. Elle montre une résistance élevée aux rouilles jaune (*Puccinia striiformis*) et noire (*Puccinia Graminis*) par contre elle présente une certaine sensibilité a la rouille brune (*Puccinia triticina*). En effet cette variété possède les gènes LR46, gène rouillant lentement qui peut retarder le processus d'infection ou réduire le développement des symptômes.

2- STATION EXPERIMENTALE DE MARCHOUCH

Le site est situé à la station expérimentale du Marchouch de l'Institut National de Recherche Agronomique à Zaer dans la zone du bour favorable du Maroc (60 km au Sud de Rabat; 33°37 'N; 6°43 'O) (Fig. 1). Ce site est caractérisé par un climat méditerranéen à influence océanique, avec une température moyenne de 28°C et une pluviométrie moyenne égale à 400 mm. Le sol au niveau du site est de type Vertisol à texture argileuse (tableau 2), une structure faiblement développée et une teneur en MO relativement élevée sur les dix premiers centimètres de profondeur.

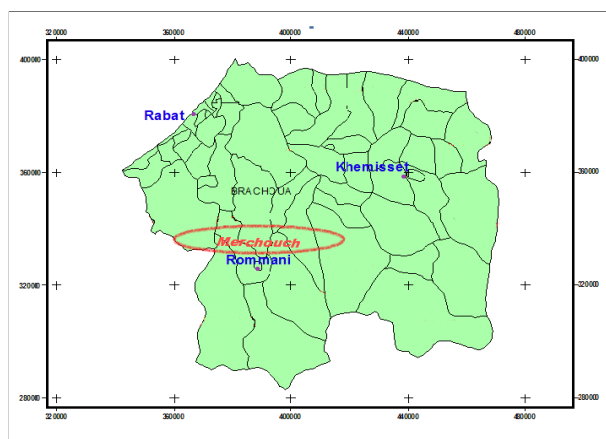


Figure 11 : Carte de situation du site expérimental de Marchouch.

Tableau 4 : Informations générales sur la station expérimentale de Marchouch.

Caractéristiques granulométriques du sol à 0-10 cm en profondeur			
Argile (%)	Limons (%)	Sable (%)	Type de sol
50.9	37.0	12.0	Vertisol
Caractéristique environnementale			
Longitude	Latitude	Altitude	PH
-6.72 décimaux	degrés 33.62 décimaux	398 mètres	6
Phénologie			
	Début	Fin	
Semis	6 décembre	6 janvier	
Anthèse	10 mars	20 mars	
Récolte	10 juin	25 juin	

3- PARCELLE ETUDIEE

La parcelle (Figure12) s'étend sur une trentaine de mètres chaque échantillon est disposé sur une ligne entière, et entre chaque échantillon se trouve un espacement de 0.5 mètres et à la fin des deux lignes se trouvent les parents Hidhab et Parula/

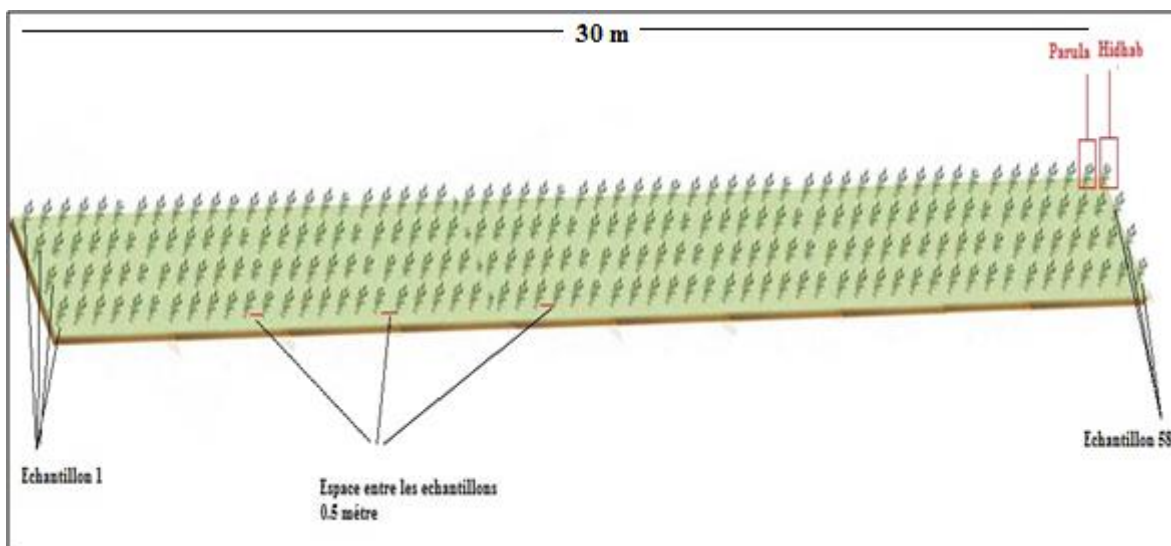


Figure 12 : Schéma de la parcelle étudiée en 3D.



Figure 13 : photo du terrain de la parcelle étudiée

II- METHODOLOGIE ET TECHNIQUES

1- CARACTERES MORPHOLOGIQUES

Les caractéristiques morphologiques des cultures peuvent être observées ou mesurées rapidement, facilement, à moindre coût et de manière non destructive sur le terrain pour obtenir des données quantitatives sur les différents caractères. Ces derniers peuvent être liés au rendement, au potentiel de rendement et à la tolérance au stress. Toutes ces caractéristiques sont hautement héritables et démontrent généralement une grande variabilité génétique avec une faible interaction environnementale.

1-1- HAUTEUR DE LA PLANTE

Généralement elle est comprise entre 70 et 120 cm. Néanmoins, certaines variétés naines peuvent avoir une longueur <50 cm. Elle est fortement contrôlée par le gène Rht (gènes réduisant la taille) et elle est hautement héritable.

Une tige plus haute peut faciliter la récolte des moissonneuses-batteuses, bien qu'elle puisse aussi augmenter la verse et réduire l'infestation par les maladies; tandis qu'une tige plus courte peut réduire la capacité de stockage des hydrates de carbone et rendre la récolte des moissonneuses-batteuses difficile. Les hauteurs varient généralement entre <50 cm (nain), 50-70 cm (court), 70-120 cm (semi-nain) et > 120 cm (grand).

La mesure: La mesure de la longueur des chaumes individuels a été faite à partir de la surface du sol jusqu'au sommet de l'épi, (Figure 14) enregistré au centimètre près, mais sans inclure les arêtes dans les mesures.



Figure 14 : Mesure sur terrain la hauteur de la plante

1-2- HAUTEUR DE LA BARBE

La barbe est une longue et mince extension du blé principal. C'est un important organe photosynthétique et transpiratoire sur la pointe, fournissant également une certaine protection pour le grain. Les barbes augmentent la surface totale de l'épi et sont situées au sommet de la canopée, donnant une forte exposition à la lumière.

Sont maintenues jusqu'aux derniers stades du remplissage des grains et avec une efficacité élevée de l'utilisation de l'eau.

La mesure on été faite à partir du sommet de l'épi jusqu'à l'extrémité de l'arête la plus longue, enregistré au millimètre près (Figure 15)



Figure 15 : Mesure de la hauteur de la barbe sur terrain.

1-3- HAUTEUR DE L'ÉPI

Après avoir atteint le stade de la maturité totale pour les 58 échantillons, deux épis représentatifs sont choisis et mesurés de la base de l'épi jusqu'au sommet de l'épillet terminal, exprimé en cm (Figure 16).



Figure 16 : Mesure de la hauteur de l'épi sur terrain.

1-4- LE NOMBRE DE TALLES EPI (NTE) PAR PIEDS.

Il est déterminé par comptage direct du nombre d'épis formés au stade maturité. On en déduit ensuite, la moyenne des talles épis par variété. en les comparant avec les parents.



Figure 17 : Comptage du nombre d'épis par pied

2- CARACTERES PHENOLOGIQUE

2-1- PHASE DE L'ÉPIAISON

La date d'épiaison, observée sur un effectif de 58 accessions, présente une grande diversité. Ce caractère est enregistré quand 50 % de la pointe de l'épi apparaît (Figure 18).

La mesure est généralement effectuée par une évaluation visuelle de l'ensemble de la parcelle par le même observateur qui juge tous les traitements dans le cadre d'un essai. Une évaluation alternative peut être faite en évaluant 50 ou 100 chaumes par parcelle.



Figure 18 : Etapes du stade de l'épiaison.

2-2- ANTHESE

Cette étape dure de 3 à 5 jours entre l'apparition de la première anthère. Le début de l'anthèse est défini comme date à laquelle 50% des épis ont sortis au moins une anthère (Figure 19). Notez que les anthères apparaissent d'abord à partir des fleurs au milieu de la pointe et sont ensuite extrudées au-dessus et au-dessous du centre.



Figure 19 : Apparition des anthères sur les épis.

2-3- GROSSISSEMENT DES GRAINS

Le développement du grain passe par l'eau, le lait, les stades de pâte molle et dure. La croissance du grain pour les 7-14 jours après la fécondation est principalement du péricarpe maternel, la paroi de l'ovaire contenant un liquide aqueux.

Le développement de la pâte commence lorsqu'il n'y a plus de liquide et que la teneur en eau du grain diminue (de 45%, 30% à <20%). La pâte dure représente l'atteinte du poids sec maximal du grain (Figure 19).

Généralement, les mesures sont prises à mi-grain, déterminé lorsque 50% du grain sur 50% des épis ont atteint le stade «lait moyen». L'évaluation est généralement réalisée en pressant les grains entre le doigt et le pouce pour exsuder le développement de l'endosperme. Il commence par un fluide laiteux qui augmente en solidité lorsque le grain progresse à travers le stade du lait et de la pâte et devient dur lorsque la teneur en eau diminue.



Figure 20 : Différent étapes du stade du grossissement des grains.

2-4- MATURE

C'est lorsque le grain atteint le poids sec maximal et devient viable. Il est facilement déterminé sur le terrain lorsque 50% des pédoncules sont mûrs (jaune). A ce stade, les glumes vont également perdre leur couleur (Figure 21).

La mesure a été effectuée par une évaluation visuelle de l'ensemble de la parcelle par le même observateur jugeant tous les traitements dans un essai. Une évaluation alternative peut être faite en évaluant 50 ou 100 chaumes par parcelle



Figure 21 : Maturité des grains.

3- CARACTERES PATHOLOGIQUES

Les dommages aux parties végétatives de la plante peuvent être causés par des conditions météorologiques défavorables ou par des parasites et / ou des maladies. Les dommages végétatifs peuvent affecter les processus physiologiques réduisant ainsi la croissance, la biomasse et finalement le rendement, avec des effets sur la pointe provoquant typiquement la réduction la plus importante du rendement. Il est important d'enregistrer la ou les parties de la plante affectées, l'étendue des dégâts et la cause probable des dommages.

Des observations visuelles des différents échantillons est faites pour évaluer le degré d'infection par la rouille jaune.

4- CARACTERES GENETIQUES

4-1- COLLECTE ET PREPARATION DES ECHANTILLONS

Les échantillons sont collectés à la station expérimentale de Marchouch (ICARDA) en utilisant des formes bien définies pour que tous les échantillons aient la même dimension. A partir de chaque pied, une jeune feuille intacte de maladies est choisie et deux cercles sont coupés à l'aide d'un perforateur 2 trou. Chaque deux bonne cercles parfaits sont mis à leurs tour dans une plaque de collecte Captiva 96 puits

Les échantillons sont mis à -80 °c pour éviter la dégradation, pour être déposer dans le lyophilisateur pendant 72 heures pour permettre la déshydratation à basse température qui consistant à éliminer la majeure partie de l'eau.

4-2- GENES ET MARQUEURS CIBLE .

Tableau 2 : Gènes ciblé et amorces utilisé.

Gene	Catégorie	SNP name	SNP/Indel	Amorce
Lr34	Rouille	Lr34_TCCIND	TCC Ins/Del	GGTATGCCATTTAACATAATCATGAA
Sr2	Rouille	Sr2_ger9 3p	G/A	GTGCGAGACATCCAACACTCAC
Lr68	Rouille	Lr68-2	C/T	CGTGTCTTGGACCTGAGCAAT
Rht-B1	Hauteur P	Rht-B1_SNP	C/T	CCCATGGCCATCTCSAGCTG
Rht-D1	Hauteur P	Rht-D1_SNP	G/T	CATGGCCATCTCGAGCTRCTC
Lr19/Sr25	Rouille	TAKS002324 (Sr25)	C/T	TTCATCAATTAACGAAGTCAAGTCG
Lr67	Rouille	Lr67_TM4	G/C	TCATCATCGGCAGGATCCTGCTTC
Sr22	Rouille	Sr22_A_AL- Sus-T	T/A	TTACTCAATTACTTCCATAAGTTCCTACT
Lr46	Rouille	Lr46_SNP1G22	G/A	ACCCATGGCTTTGGCTCCG
Lr37/Yr17/Sr38	Rouille	VPM_SNP	C/T	CGCCGTCCGAAYACGAGA

4-3- CARACTERISTIQUES DES GENES CIBLE

Tableau 3 : Caractères des gènes cible.

Gene	Catégorie	SNP/Indel	Allele	Phenotype associé	SNP/Indel	Allèle	Génotype associé
Lr34	Rouille	Ins	Lr34-	Sensible	Del	Lr34+	Résistant
Sr2	Rouille	G	Sr2-	Sensible	A	Sr2+	Résistant
Lr68	Rouille	T	Lr68+	Résistant	C	Lr68-	Sensible
Rht-B1	Hauteur P	C	Rht-B1a	longue	T	Rht-B1b	semi nain
Rht-D1	Hauteur P	G	Rht-D1a	longue	T	Rht-D1b	semi nain
Lr19/Sr25	Rouille	C	Lr19/Sr25-	Sensible	T	Lr19/Sr25+	résistant
Lr67	Rouille	C	Lr67+	Résistant	G	Lr67-	sensible
Sr22	Rouille	T	Sr22-	Sensible	A	Sr22+	Résistant
Lr46	Rouille	G	Lr46-	Sensible	A	Lr46+	Résistant
Lr37/Yr17/Sr38	Rouille	T	VPM+	Résistant	C	VPM-	Sensible

4-4- TRANSMISSION DES ECHANTILLONS.

Ce travail est réalisé fait en collaboration avec le laboratoire Intertek en Suède, Ce laboratoire fournit des données de la plus haute qualité, en réalisant des économies de coûts percutantes sur une vaste gamme de types de projets et en travaillant avec des centaines d'espèces différentes. Intertek est en mesure de fournir des services complets de génotypage.

Il adopte la chimie de génotypage “KASP“ cette technique fournit des solutions de service de génotypage précises, flexibles et rentables, en utilisant le test de génotypage KASP basé sur la PCR, conjointement avec le Master Mix KASP.

4-5- TESTS GENOTYPIQUE KASP.

Les tests de génotypage KASP sont basés sur la PCR compétitive spécifique à l'allèle et permettent la notation biallélique des polymorphismes mono nucléotidiques (SNP).

Le KASP Assay spécifique au SNP et le KASP Master mix sont ajoutés aux échantillons d'ADN, une réaction de cyclage thermique est ensuite effectuée, suivie d'une lecture fluorescente au point final.

Le KASP Assay mix contient trois oligos non marqués spécifiques au test:

- deux amorces directes allèles-spécifiques et

- une amorce inverse commune.

Les amorces spécifiques de l'allèle contiennent chacune une séquence de queue unique qui correspond à une cassette FRET (transfert d'énergie de résonance de fluorescence) universelle; l'un marqué avec le colorant FAM TM et l'autre avec le colorant HEX TM.

Le KASP Master mix contient les cassettes FRET universelles, le colorant de référence passif ROX TM, la taq polymérase, les nucléotides libres et le MgCl₂ dans une solution tampon optimisée.

Au cours du cycle thermique, l'amorce spécifique à l'allèle pertinente se lie au gabarit et s'allonge, attachant ainsi la séquence de la queue au brin nouvellement synthétisé. Le complément de la séquence de queue spécifique de l'allèle est ensuite généré au cours des cycles de PCR suivants, permettant à la cassette FRET de se lier à l'ADN. La cassette FRET n'est plus éteinte et émet une fluorescence. La discrimination biallélique est obtenue grâce à la liaison compétitive des deux amorces directes spécifiques aux allèles. Si le génotype d'un SNP donné est homozygote, seul l'un des deux signaux fluorescents possibles sera généré. Si le génotype est hétérozygote, un signal fluorescent mixte sera généré.

Résultats et discussion

I- DIVERSITE PHENOTYPIQUES

1- CARACTERES MORPHOLOGIQUES

La diversité intra et inter populationnelle est déterminée en évaluant des différences morphologiques présentant un atout très important. En effet, ces mesures ont l'avantage d'être immédiatement disponibles, ne nécessitant aucun équipement sophistiqué et permettant une mesure directe du phénotype. Cependant, ces déterminations morphologiques peuvent être sujettes à des changements dus à des facteurs environnementaux et varient selon les stades de développement. (Pecetti *et al.*, 1992 ;Pecetti *et al.*, 1993).

Pour ce fait, différents caractères sont évalués (Tableau 5) dont la hauteur de la plante ainsi que celle des épis et de la barbe et enfin le calcul du nombre d'épis par plante.

1-1- HAUTEUR DE LA PLANTE

La hauteur des plantes varie de 52 cm à 126 cm (Tableau 4) enregistrée chez les échantillons DH59 et DH16 respectivement, avec une moyenne globale de 97.53 cm.

La valeur de la hauteur des plantes permet d'individualiser trois groupes différents (Figure 22) :

- Le groupe 1 : Entre 50 cm et 70 cm ce caractérise par la présence des échantillons courts. Dans ce groupe on trouve seulement deux échantillons DH59 et DH55.
- Le groupe 2 : Entre 70 cm et 120 cm, rassemble les échantillons semi nains qui sont DH3, DH4, DH5, DH6, DH7, DH8, DH9, DH10, DH11, DH12, DH13, DH15, DH20, DH17, DH18, DH19, DH20, DH21, DH22, DH23, DH24, DH25, DH26, DH28, DH29, DH30, DH31, DH31, DH32, DH33, DH34, DH35, DH36, DH37, DH38, DH39, DH40, DH41, DH42, DH43, DH44, DH45, DH46, DH47, DH48, DH50, DH51, DH52, DH53, DH54, DH55, DH56, DH57, DH58, DH59 et DH60.
- Le groupe 3 : Supérieur à 120 cm, regroupe les échantillons longs dont DH16 et DH49

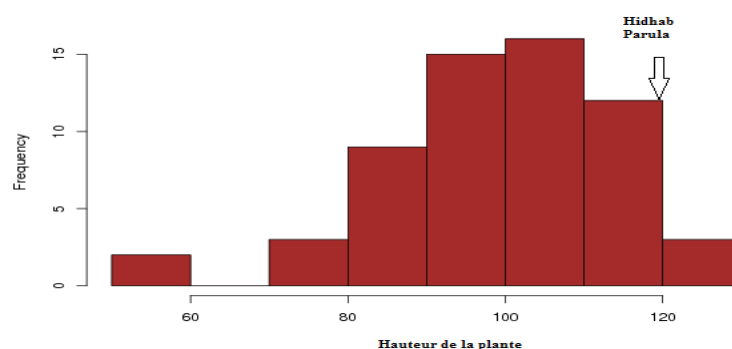


Figure 22 : Hauteur de la plante.

Tableau 4 :Caractères morphologiques mesurés.

Ech	H Plante (cm)	H Epis (cm)	H Barbe (cm)	Nb épis/pl	Ech	H Plante (cm)	H Epi (cm)	H barbe (cm)	Nb épis/pl
DH3	87	10	8	33	DH33	90	9	7.2	39
DH4	80	10	8	40	DH34	101	10	6.3	43
DH5	92	10	7.5	34	DH35	105	12	8	34
DH6	77	8	5.5	37	DH36	93	9.5	7	28
DH7	80	12	7.5	23	DH37	112	11	5.6	57
DH8	87	9	7	42	DH38	101	9	5	32
DH9	97	10	4	47	DH39	113	10.5	6.6	46
DH10	82	12	7	23	DH40	95	11.5	7,2	25
DH11	119	14	6	55	DH41	90	6	7	37
DH12	103	8	5	53	DH42	95	12	6.3	48
DH13	97	11	6	39	DH43	105	10	5.4	43
DH14	103	15	6	43	DH44	104	10	8	41
DH15	97	10	4	26	DH45	116	9	5.4	53
DH16	126	10	8	57	DH46	89	10	6.3	38
DH17	111	11	6	33	DH47	92	11	4.4	44
DH18	105	11	4.3	37	DH48	100	10	4.5	29
DH19	100	13	6	27	DH49	121	10	6.6	53
DH20	89	11	4	49	DH50	105	11.5	7.3	48
DH21	114	9	5	56	DH51	97	11	4	36
DH22	109	9	7.5	49	DH52	103	11	5.5	52
DH23	109	9	5	45	DH53	71	12	5.1	19
DH24	114	9	7	43	DH54	84	11	7	31
DH25	111	8	5.5	32	DH55	54	11.5	7	47
DH26	112	8	6.4	28	DH56	95	10	5.5	52
DH27	107	9	7	35	DH57	71	14	5	31
DH28	115	13	5.5	37	DH58	101	12	7	58
DH29	93	9	7.3	33	DH59	52	11	5.1	25
DH30	116	12	6.2	28	DH60	97	10	6	38
DH31	92	9	4.2	46	Hidab	120	10	7	60
DH32	81	8	4.9	28	Parula	118	9	7	46

Ech : Echantillon

H Plante : Hauteur Plante

H Epis : Hauteur Epis (cm)

H Barbe : Hauteur Barbe

Nb d'épis / plante : Nbre épis /plante

Les deux parents Hidhab et Parula présente deux valeurs rapprochées respectivement 120 cm et 118 cm et font partie donc du groupe le plus abondants des semi nains. Ces résultats ne reflètent pas une grande variabilité de hauteur entre les différents échantillons.

Plusieurs auteurs cités par Allamet *et al.* (2015) indiquent que les variétés de céréales les plus tolérantes à la sécheresse sont des variétés à paille hautes. Selon le même auteur cette tolérance est induite par un développement racinaire important en profondeur permettant l'extraction de l'eau des horizons profonds.

Zapata *et al.* (2004) ont comparé des lignées de blé tendre iso-géniques portant les gènes nains Rht1 et/ou Rht2 avec une ligne parentale n'en portant pas (ligne haute). Les iso-lignes semi-nains (60 à 100 cm) avaient 21% de plus de rendement que les grandes plantes dans tous les environnements.

1-2- HAUTEUR DE L'ÉPI

Les résultats obtenus pour la longueur de l'épi montrent que l'épi le plus long mesure 15 cm et observé chez l'échantillon DH14. Par contre l'échantillon DH6 présente l'épi le plus petit avec 6 cm. La moyenne est de l'ordre de 9.44 cm.

L'analyse de la figure 23 a révélé une différence très hautement significative entre les échantillons, et a permis d'individualiser trois groupes différents

- Groupe 1 : Entre 6 et 9 cm regroupe les échantillons avec épi court DH6, DH12, DH41, DH25 et DH 26.
- Groupe 2 : Entre 9 et 12 cm regroupe les échantillons avec épi moyen qui sont comme suite DH3, DH4, DH5, DH7, DH8, DH9, DH10, DH13, DH15, DH16, DH17, DH18, DH20, DH21, DH22, DH23, DH24, DH27, DH29, DH30, DH31, DH33, DH34, DH35, DH36, DH37, DH38, DH39, DH40, DH42, DH43, DH44, DH45, DH46, DH47, DH48, DH49, DH50, DH51, DH52, DH53, DH54, DH55, DH56, DH58, DH59, DH60.
- Le groupe 3 : Entre 12 et 14 cm ce groupe comprend les épis de grande taille et est constitué de 5 échantillons DH11, DH14, DH19, DH28 et enfin DH57.

Hidhab et Parula n'ont pas une différence significative avec des valeurs respectives de 10 et 9 cm et sont situées dans le second groupe. Ceci explique la présence du plus nombre d'échantillons dans ce groupe.

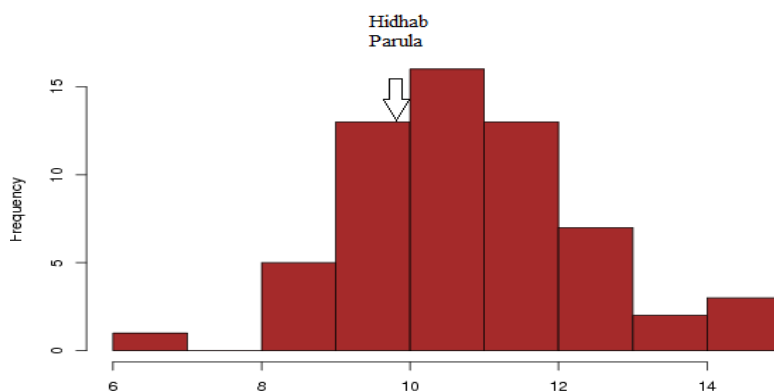


Figure 23 : Hauteur de l'épi.

D'après Djekoun et *al.* (2002) une longueur élevée de l'épi est un paramètre prédictif d'un indice de récolte et d'un potentiel de rendement élevé. De même, plusieurs auteurs montrent le rôle important d'un épi long dans la photosynthèse et la transpiration ainsi à la contribution à la production des assimilats pour le remplissage de grains (Blum, 1985 ;Febreroet *al.*, 1990 ;Monneveux et This, 1997).

1-3- HAUTEUR DE LA BARBE

Les valeurs de longueur de barbe varient entre 8 cm et 4 cm (Tableau 4). Les valeurs les plus élevées sont obtenues chez les échantillons DH3, DH35 et DH44, tandis que la valeur la plus faible (4 cm) est observée chez l'échantillon DH51.

Nous avons pu distinguer, à partir de la figure 24, la subdivision des différents échantillons en quatre groupes différents :

- Groupe 1 : de 4 à 5 cm, regroupe les échantillons avec une petite barbe DH12, DH9, DH15, DH 18, DH20, DH21, DH23, DH 31, DH32, DH48 et DH51 ;
- Groupe 2 : de 5 à 6 cm, comprend les échantillons avec une barbe moyenne qui sont : DH6, DH11, DH13, DH14, DH17, DH19, DH25, DH28, DH32, DH48, DH53, DH 59 ;
- Groupe 3 : Entre 6 et 7 cm regroupe les échantillons avec une longue barbe DH34, DH39, DH39, DH42, DH46, DH26 et DH30 ;
- Groupe 4 : Constitué par les échantillons ayant les épis trop long supérieur à 7 cm, et sont présentés comme suite DH3, DH4, DH5, DH7, DH8, DH10, DH16, DH35, DH22, DH24, DH29 et DH33.

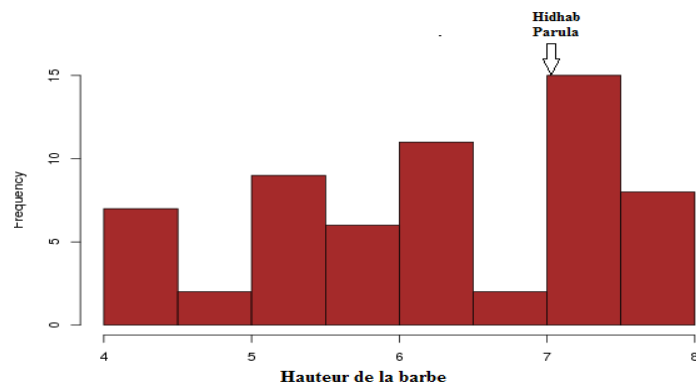


Figure 24 : Hauteur de la barbe.

Alors que les parents présentent une valeur intermédiaire entre ces groupes avec une valeur de 7 cm..Il est à noter que les variétés étudiées dans notre essai présentent toutes des barbes.

Les barbes peuvent améliorer le rendement en conditions de sécheresse par augmentation de la surface photosynthétique de l'épi selon Slama *et al.* (2005) après la sénescence de la feuille étandard (Bouzerzour, 2004). Cependant, selon Hanifi–Meklicheet *al.* (1998) la présence des barbes ne semble pas être un critère d'adaptation à la sécheresse.

1-4- NOMBRE D'EPIS PAR PLANTE.

Le nombre d'épi est très variable. La valeur maximale est de 58 épis observée chez l'échantillon DH58. Par contre, la valeur basse est enregistrée chez les échantillons DH53, DH40, DH15 et DH19 avec des valeurs de 19; 25, 26 et 27 épis respectivement (Tableau 4).

Après l'analyse de la figure 25, on a pu en tirer trois principaux groupes selon la densité des épis par plante du faible au plus élevée.

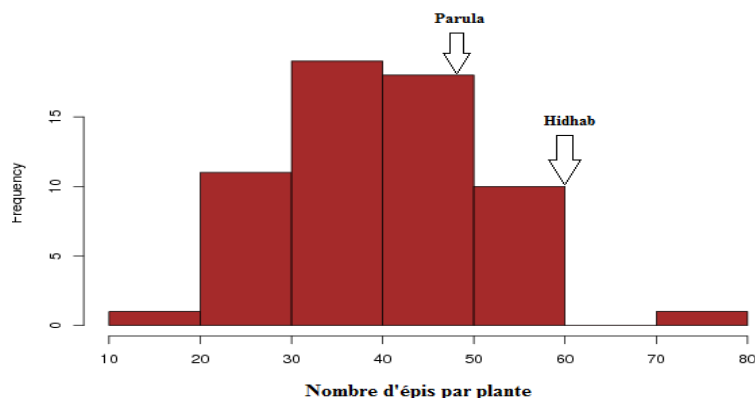


Figure 25 : Nombre d'épis par plante.

- Groupe 1 : Entre 10 et 30 épis par plante considéré comme valeur faible du nombre d'épis par plante regroupe pas mal d'échantillons qui sont comme suite : DH7, DH10, DH15, DH19, DH26, DH30, DH32, DH36, DH40, DH48, DH53 et DH59 ;
- Groupe 2 : Entre 30 et 50 épis par plante considéré comme valeur moyenne du nombre d'épi par plante comporte les échantillons suivant : DH3, DH4, DH5, DH6, DH8, DH9, DH11, DH12, DH13, DH14, DH17, DH18, DH20, DH22, DH23, DH24, DH25, DH27, DH28, DH29, DH31, DH33, DH55, DH56, DH57, DH58 et DH60 ;
- Groupe 3 : Entre 50 et 80 épis par plante, comporte les échantillons suivants DH11, DH12, DH12, DH16, DH, DH9, DH10, DH13, DH15, DH16, DH21, DH37, DH45, DH49, DH52 et DH56.

La variété Hidhab connu par son fort tallage présente un nombre d'épi égal à 60 ;par contre Parula ne dépasse pas les 46 épis par plantes. Les échantillons les plus abondants présentent une valeur entre intermédiaire entre les deux parents.

La faible densité d'épi est causée par un tallage faible et non pas par une densité de plantes moindre. Lorsque la densité d'épis est faible il y a en général une compensation grâce au nombre de grain par épi et/ou grâce au poids moyen d'un grain. Par comparaison avec les longs, les génotypes courts n'ont pas profité de ces deux composantes du rendement pour améliorer le tallage déficient.

À la lumière des résultats obtenus, nous remarquons que les variétés présentant des valeurs faibles de talles épis possèdent aussi moins de talles herbacées et vice versa. Benbelkacemet *al.* (1984) ont constaté qu'une augmentation importante du nombre de talles herbacées engendre une augmentation du nombre de talles épis, mais aussi une mortalité élevée. Selon Kirby (2002) cité par Moaedy et *al.* (2009) signalent que l'obtention de nombre 1.5 de talles fertiles est normale en conditions environnementales souhaitables.

2- CARACTERES PHENOLOGIQUES

La précocité à l'épiaison et celle à la maturité sont souvent utilisées comme critères de sélection. Elles sont citées comme mécanisme important d'esquive aux contraintes climatiques (Wardlaw et Moncur, 1995). D'après Blum (1988), la sélection en conditions de stress hydrique conduit à retenir des génotypes à cycle précoce dans les conditions favorables.

2-1- PHASE DE L'ÉPIAISON

La précocité d'une variété est déterminée à partir de la durée de cycle de développement allant du semi à l'épiaison.

La variété Hidhab connu pour sa précocité élevée présente une date d'épiaison datant de 107 jrs par contre la variété Parula c'est montré plus tardive par rapport au premier parent avec une date d'épiaison de 122 jours.

La variété Parula présente une date d'épiaison plus grande que celle de Hidhab avec valeur de 122 jours.

Selon les phases du cycle biologique des variétés étudiées et à la lumière des résultats obtenus (Tableau 5 et Figure 26), nous pouvons classer les échantillons en trois groupes principaux :

- Groupe 1 : regroupant les échantillons présentant une période d'épiaison entre 100 et 110 jours et sont listés comme suite DH9, DH10, DH14, DH16, DH19, DH20, DH31, DH34, DH39, DH43, DH47, DH48, DH49, DH52, DH59 et DH60. Ces échantillons peuvent être considérés comme très précoces en les comparant avec Hidhab présentant une date d'épiaison similaire ;
- Groupe 2 : Considéré comme précoce : DH3, DH4, DH5, DH6, DH7, DH8, DH11, DH13, DH15, DH17, DH18, DH21, DH22, DH23, DH24, DH25, DH26, DH27, DH28, DH29, DH30, DH32, DH54, DH55 et DH56, présentant un léger retard dans la réalisation des étapes du cycle végétative, avec une période d'épiaison variant de 110 jusqu' à 130 jours.
- Groupe 3 : Les échantillons dans ce groupe sont considérés comme tardifs DH12, DH35, DH42 et DH 55. Ces échantillons présentent une date d'épiaison supérieure à celle de Hidhab et Parula.

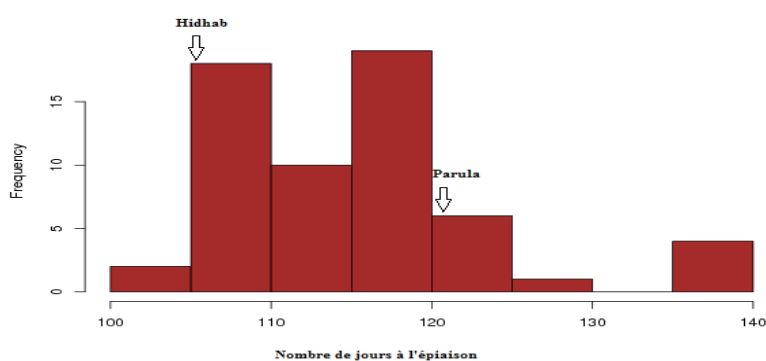


Figure 26 : Répartition des différentes classes par rapport à l'épiaison.

Tableau 5 : Caractères phénologiques observés (en nombre de jours).

Ech	Epiaison	Anthèse	Rp Grains	Maturité	Ech	Epiaison	Anthèse	Rp Grains	Maturité
DH3	121	138	147	163	DH33	125	138	147	164
DH4	118	140	154	168	DH34	106	117	143	175
DH 5	116	124	165	174	DH35	140	119	143	175
DH 6	116	135	147	163	DH36	117	125	147	168
DH 7	119	123	143	161	DH37	117	125	147	163
DH 8	116	124	143	161	DH38	116	123	147	163
DH 9	110	117	141	160	DH39	107	117	143	169
DH10	110	118	141	160	DH40	116	125	147	165
DH11	112	121	141	160	DH41	119	127	147	163
DH12	140	118	141	160	DH42	136	119	123	168
DH13	120	125	119	163	DH43	105	119	143	168
DH14	106	120	139	172	DH44	118	129	150	163
DH15	117	125	120	170	DH45	118	129	150	163
DH16	106	117	138	172	DH46	120	129	150	163
DH17	114	122	141	172	DH47	107	117	143	163
DH18	114	122	141	172	DH48	109	119	143	163
DH19	106	117	138	170	DH49	108	117	143	163
DH20	106	116	138	174	DH50	114	124	143	163
DH21	113	122	141	172	DH51	122	131	152	165
DH22	114	122	141	175	DH52	104	117	143	163
DH23	114	122	141	175	DH53	104	117	143	163
DH24	114	122	141	175	DH54	122	131	152	163
DH25	116	124	141	175	DH55	139	119	143	163
DH26	118	135	150	175	DH56	120	127	152	163
DH27	106	119	148	163	DH57	106	119	140	168
DH28	116	125	147	163	DH58	105	120	170	163
DH29	116	125	147	173	DH59	106	120	140	168
DH30	108	118	143	171	DH60	107	119	140	168
DH31	107	119	143	171	Hidab	107	116	138	163
DH32	118	127	147	167	Parula	122	131	148	168

Ech : Echantillon

Rp Grains : Remplissage grains

Nos résultats sont en désaccord avec ceux obtenus par Allam et *al.*(2015), basés sur une classification signalée par Couvreur (1985) suggérant qu'une variété est considérée comme précoce si la durée d'épiaison est inférieure à 100 jours ; elle est semi précoce si cette durée se situe entre 100 et 120 jours ; et tardive si elle dépasse 120 jours. Cependant, Bousba (2012) enregistre une période d'épiaison allant de 138 à 142 jours.

Plusieurs études expliquent l'intérêt de la précocité comme un mécanisme qu'utilise la plante pour s'échapper à la sécheresse. Selon Berger (1985) cité par Mekhlouf et *al.* (2006), la précocité au stade épiaison est associée à la réduction de la hauteur du chaume et à l'augmentation de la capacité du tallage-épi. Une plus grande persistance de la chlorophylle, donc de l'activité photosynthétique post-anthèse, est souvent notée chez les génotypes précoces (Al Hakim et *al.*,1994).

2-2- PHASE DE LA MATURETE

La maturité est la dernière phase de développement phénologique et est considérée comme un caractère important de l'étude de la précocité.

La variété Hidhab présente une date de maturité de 163 jours en revanche Parula qui est plus tardive n'achève sa maturité qu'après 168 jours.

À partir des résultats obtenus (Figure 27) nous avons pu classer les échantillons en trois groupes :

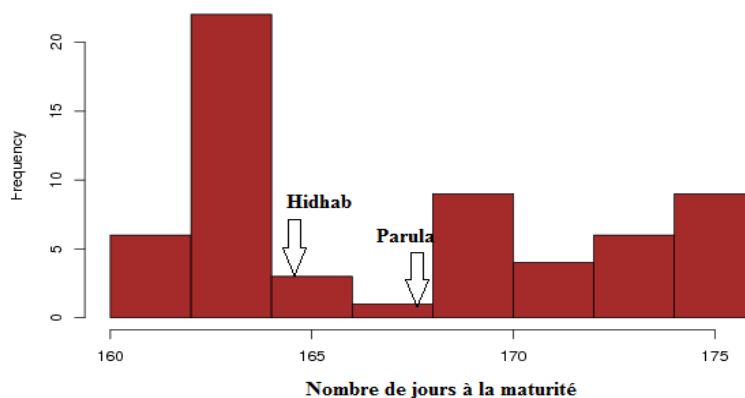


Figure 27 : Répartition des différentes classes par rapport à la maturité.

- Groupe 1 : présentant une date de maturité inférieure à celle de Hidhab entre 160 et 163 jours DH3, DH6, DH7, DH8, DH9, DH9, DH10, DH11, DH12, DH13, DH27, DH28, DH37, DH38, DH41, DH44, DH45 DH46, DH47, DH48, DH49,

DH50, DH52, DH53, DH54, DH55, DH56 et DH58,et sont considérés comme très précoces ;

- Groupe 2 : Entre 164 et 169 jours, sont considérés comme précoces :DH4, DH33, DH36, DH39, DH40, DH42, DH43, DH51, DH32, DH57, DH59 etDH60 ;
- Groupe 3 : Entre 170 et 175 sont considérés comme tardifs :DH5, DH14, DH15, DH16, DH17, DH18, DH19, DH20, DH21, DH22, DH23, DH24, DH25, DH26, DH29, DH30 et DH31.

Mekhlouf et *al.* (2006) suggèrent qu'une variété tardive est moins apte à éviter le déficit hydrique et les hautes températures de fin de cycle. La croissance à des températures relativement plus basses permet à la plante d'utiliser plutôt les ressources offertes par le milieu, ce qui lui confère plus de possibilités de donner un meilleur rendement en grains.

Cependant,Abbassenne et *al.* (1997) préconisent, pour les régions semi-arides, des génotypes tardifs à l'épiaison et précoces à maturité. Ces variétés minimisent le risque vis-à-vis de la contrainte des basses températures printanières. Les génotypes tardifs valorisent peu, sous forme de grains produits par unité de surface, la matière sèche totale accumulée au stade épiaison. Ces variétés investissent peu d'hydrates de carbone dans les épis et à cause des effets des stress thermique et hydrique, beaucoup de leurs talles avortent (Kadi, 2012).

3- CARACTERES PATHOLOGIQUES

Les observations sur terrain, des différents échantillons sur le degré de résistance à la rouille jaune, ont mené à une subdivision des échantillons en quatre groupes différents selon le degré de résistance et de sensibilité (Figure 28) :

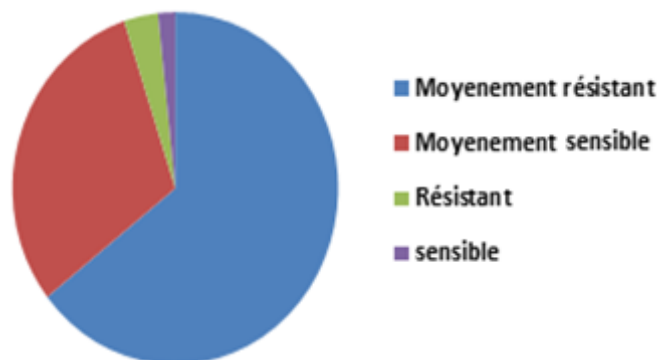


Figure 28 : Répartition de la résistance à la rouille jaune.

- Le premiers groupe comporte les moyennement résistants montrant quelques traces de la rouille jaune sur les feuilles sont les plus abondants et lister comme suite DH3, DH4, DH5, DH6, DH7, DH8, DH9, DH10, DH12, DH13, DH19, DH20, DH25, DH27, DH28, DH16, DH33, DH34, DH35, DH36, DH38, DH39, DH40, DH41, DH42, DH43, DH44, DH46, DH47, DH49, DH54, DH55, DH56 et DH58 ;
- Le deuxième groupe comporte les échantillons moyennement sensibles et sont aussi fréquents et présentent une certaine tolérance à la maladie. Les échantillons formant ce groupe sont DH14, DH15, DH17, DH18, DH21, DH22, DH23, DH24, DH26, DH29, DH31, DH32, DH37, DH45, DH50, DH51, DH52 et DH53 ;
- Le troisième groupe rassemble seulement deux échantillons qui présentent une résistance à la rouille jaune DH11 et DH12 ;
- Et enfin le quatrième groupe se compose d'un seul échantillon sur 58 qui montre une sensibilité totale contre ce pathogène qui est le DH30.

II- DIVERSITE GENOTYPIQUES

Chaque lignée est examinée à travers son aspect phénotypique, soit la résultante de l'expression de ses gènes dans un milieu donné. Etant donné que ces observations s'effectuent dans des conditions d'interaction entre le génotype et le milieu, il est important de connaître l'aspect purement génétique du caractère étudié, indépendamment de son expression.

Les résultats obtenus ci-dessous révèlent des différences génétiques hautement significatives en indiquant la présence ou l'absence des différents gènes ciblés dans le présent travail dont on cite deux gènes nanisant Rht-B1 et Rht-D1, les gènes de résistance aux rouilles brune et jaune lr34, Lr37, Lr68 et Lr46 ; et enfin les gènes de résistance à la rouille noire Sr2, Sr22, et Sr25

1- GENE DE NANISME RHT-B1

La présence des deux allèles T:T indique que ce gène est présent dans la plante considérée et qu'on peut sélectionner cette plante pour le caractère semi nanisant.

Les résultats obtenus (Annexe 3) montrent que ce gène est présent chez les deux parents donc automatiquement toute la descendance posséderait ce gène RHT-B1 de semi nanisme.

Ceci est en accord avec les résultats obtenus sur la hauteur de la plante où on a trouvé que presque tous les échantillons étaient regroupés dans le groupe des semis-nains.

2- GENE DE NANISME RHT-D1

Sa présence aussi est indiquée par les deux allèles T :T sauf qu'aucun descendant ne possède ce gène comme c'est le cas pour les deux parents.

Ceci est en faveur de ces variétés car la présence simultanée des deux gènes nanisant RHT-B1 et RHT-D1 dans une même plante provoquerait une grave diminution de taille.

3- GENE DE RESISTANCE A LA ROUILLE JAUNE ET BRUNE ET AU MILDIU Lr 34 /YR 17/Sr 38 /PM

La présence de ce gène confère une résistance pour une large gamme de pathogènes, dans ce cas sa présence est marquée par 'Délétion' ou le signe (-:-) ; son absence est notée "insertion" (Annexe 3).

Le gène Lr34 est présent chez Hidhab par contre Parula ne possède pas ce gène. Tous les descendants possèdent ce gène Lr 34 sauf l'échantillon DH30, ce qui approuve les résultats phénotypiques observés où c'est le seul échantillon sensible.

4- GENE DE RESISTANCE A LA ROUILLE NOIRE Sr2

L'idéal c'est de trouvé les deux allèles A :A pour que ce gène soit présent dans la plante.les résultats obtenus (Annexe 4) montrent que les deux parents ne possèdent pas ce gène ce qui explique son absence dans les 58 échantillons.

5- GENE DE RESISTANCE AUX ROUILLES BRUNE, JAUNE ET NOIRE Lr37/Yr17/Sr38

Il est présent chez la plante si les deux allèles T : T sont présents. Les 58 échantillons ainsi que les parents montrent la présence des allèles C :C (Annexe 4) donc aucun d'eux ne possèdent ce gène.

6- GENE DE RESISTANCE A LA ROUILLE BRUNE LR68

Sa présence est aussi indiquée par les deux allèles T : T ; alors que les parents Hidhab et Parula ainsi que toute la descendance montre les deux allèles C :C(Annexe 3). Donc, ce gène est aussi absent chez ces variétés.

7- GENE DE RESISTANCE A LA ROUILLE BRUNE LR 19

Pour qu'il soit présent on doit avoir comme résultat T.T, mais il s'est avéré négatif puisque tous les échantillons se sont montrés avec les deux allèles T : C.

À l'exception de l'échantillon DH30 qui a montré un résultat positif (Annexe4).Donc c'est le seul échantillon porteur de ce gène.

8- GENE DE RESISTANCE A LA ROUILLE BRUNE ET NOIRE LR67

Sa présence est marquée par les deux allèles C : C alors que les parents Hidhab et Parula ainsi que toute la descendance montrent les deux allèles G :G (Annexe 4).Donc ce gène est aussi absent chez ces variétés.

9- GENE DE RESISTANCE A LA ROUILLE NOIRE SR22

L'idéal c'est de trouver les deux allèles A :A pour que ce gène soit présent dans la plante. Les résultats obtenus (Annexe 4) approuvent que les deux parents ainsi que les 58 échantillons ne possèdent pas ce gène car ils se sont montrés avec les allèles T :T.

10- GENES DE RESISTANCE A LA ROUILLE BRUNE LR 46

L'un des meilleurs caractéristiques de choix de la variété Parula, sa présence dans la plante comme gène de résistance implique la forme A : A. Celui-ci est présent chez Parula par contre Hidhab ne le possède pas.44 % des échantillons possèdent ce gène de résistance. Ces descendants peuvent être sélectionnés et plus précisément ceux qui possèdent le gène Lr 34, l'union entre ces deux gènes de résistance confère une immunité totale pour la plante.

En récapitulant les différents caractères morphologiques et génotypiques étudiés (Tableau 6), on constate que 82 % des échantillons sont regroupés selon le résultat phénotypique dans le groupe des semis nains (critère de choix des agriculteurs et sélectionneurs), résistants à la verse et divers types de maladies et le résultat génotypique a montré que 99 % des échantillons (57/58) possèdent le gène ciblé Rht-B1 à l'exception de l'échantillon DH30. Le caractère des semis nanisme peut être donc retenu pour la sélection.

Tableau 6 : Confrontation des caractères phénotypiques et génotypiques.

		Echantillons
Phénotype	H plante (Semi nain)	DH3, DH4, DH5, DH6,DH7, DH8, DH9,DH10, DH11, DH12, DH13, DH15, DH17, DH18, DH19, DH20, DH21, DH22, DH23, DH24, DH25, DH26,DH28, DH29, DH31,DH32,DH33,DH34, DH35, DH36, DH37,DH38, DH39, DH40, DH41, DH42, DH43, DH44, DH45, DH46, DH47, DH48, DH50, DH51, DH52, DH53,DH54, DH55, DG56, DH57, DH58, DH59 et DH60
Génotype	Rht –B1 semi nanisme	DH3, DH4, DH5, DH6, DH7, DH8,DH9,DH10,DH11,DH12, DH13, DH15, DH16, DH17, DH18, DH19, DH20, DH21, DH22, DH23, DH24, DH25, DH26,DH28, DH29,DH31,DH32,DH33,DH34, DH35, DH36, DH37, DH38, DH39, DH40, DH41, DH42, DH43, DH44, DH45, DH46, DH47, DH48,DH49, DH50, DH51,DH52, DH53, DH54, DH55, DG56, DH57, DH58, DH59 et DH60

H Plante : Hauteur Plante

Ensuite, en ce qui concerne la résistance à la rouille jaune, selon les résultats phénotypiques 58% (34/58) se sont montrés de moyennement résistants à résistants et selon le résultat génotypique 41 % (24/58) ont montré la présence des deux gènes de résistance donc ces échantillons peuvent être sélectionnés (Tableau 7), car le but du présent travail était d'intégrer les deux formes de résistance présente chez les deux parents LR34 chez Hidhab et LR46 chez Parula dans une même variété.

Tableau 7 : Confrontation des caractères pathologiques et génotypiques.

		Echantillons
Pathologie	Rouille jaune (Résistant & moyennement résistants)	DH11, DH12, DH 14, DH15 , DH17, DH18, DH21, DH22 , DH23, DH24, DH26, DH29, DH31 , DH32, DH37 , DH45, DH50, DH51, DH52 et DH53
Génotype	Lr34 et Lr46	DH3, DH4, DH5, DH8, DH13, DH14, DH15 , DH19, DH20, DH22,DH26 ,DH27, DH28, DH29, DH31 ,DH36, DH37 ,DH38, DH41,DH42, DH43, DH47, DH49 et DH55

Après analyse de tous les résultats les trois échantillons qui montrent presque toutes les caractéristiques recherchées avec une hauteur semi naine et une précocité à la maturité et à l'épiaison et contiennent les gènes de résistance ciblés sont le DH14, DH19 et le DH28.

Conclusion générale

La culture du blé tendre au niveau de la zone des hautes plaines est confrontée à plusieurs contraintes abiotiques, causes principales de la faiblesse des rendements et l'irrégularité de la production (Mekhlouf, 2009).

Dans cette zone, la sélection de génotypes, de blé tendre tolérants et performants, est un objectif important dans les programmes de sélection (Oulmi *et al.*, 2014). Dans de tels environnements, les essais multi-sites et multi-saisons sont généralement conduits pour analyser l'amplitude de l'interaction génotype x environnement rencontrée (Adjabet *al.*, 2007). La production du blé tendre, en conditions défavorables, peut être augmentée par une amélioration génétique ou par une meilleure maîtrise des techniques culturales.

Le présent travail est basé sur les aspects morphologiques et phénologique, complétés par un marquage moléculaire et une étude d'association dont le but est de déterminer la génétique de la variation phénotypique de cette espèce. La première étape de ce travail consiste en l'utilisation des traits morphologiques, vue leur importance autant que critères de sélection et leur utilisation dans le criblage des génotypes adaptés et performants dans les conditions intrinsèques du milieu.

L'étude de caractères morphologiques liés à l'adaptation aux contraintes climatiques a permis de montrer la capacité des échantillons issus d'un croisement entre deux haplo diploïde, à présenter une meilleure hauteur de plante et longueur de barbes élevée, spécialement chez les échantillons DH14, DH19 et le DH28. Cette aptitude d'adaptation observée constitue une base pour les travaux de sélection qui permettront de continuer à apporter un soutien à notre agriculture.

Parmi les changements qualitatifs que subit la plante pendant sa vie, le plus important de tous est certainement l'épiaison, la durée semis-épiation dépend exclusivement de la température et de la luminosité (Fisher, 1985). Les résultats obtenus pour ce caractère montrent une variabilité génotypique hautement significative entre les variétés étudiés. Le plus long cycle d'épiaison est noté chez les échantillons DH12 et DH35 tandis que la plus courte épiaison est enregistrée chez les échantillons DH52 et DH53.

Ensuite, cette étude c'est focaliser sur le déterminisme de la résistance à la rouille jaune et brune, deux maladies les plus abondantes chez le blé tendre. Les critères de choix de deux variétés Hidhab et Parula était principalement l'intégration des deux gènes de résistance Lr34 et Lr46 que contient chacune des deux variétés afin de conférer une meilleure résistance. Après analyse des résultats on a trouvé que plus de 50 % des

échantillons se sont avérés moyennement résistants et seulement 20 % était moyennement sensibles.

Dans un second volet de cette étude, l'expression moléculaire de quelques gènes candidats a permis d'approuver les résultats phénotypiques trouvés. Presque 90 % de la population possédait le gène de semi nanisme RhtB1 qui est un caractère favorable et désiré par la plupart des agriculteurs et sélectionneurs, et que 40 % de l'ensemble de la population avait les deux gènes de résistance, à la rouille jaune et la rouille brune, Lr34 et Lr46.

Enfin, l'établissement des fiches descriptives, la connaissance de la phénologie et des paramètres de production et d'adaptation sont des mécanismes primordiaux qui constituent le point de départ de tout programme pour la création d'une nouvelle variabilité. Elles restent un facteur puissant pour améliorer le rendement, préserver les ressources génétiques contre l'érosion et l'enrichir par les croisements.

Notre étude a permis l'évaluation de la diversité phénotypique et génétique du blé tendre. Cependant, l'ouverture sur de nouvelles perspectives, dans le but de rentabiliser d'avantage nos investigations, qui reste judicieuse à savoir l'élargissement de cette collection du blé tendre en y apportant des accessions provenant d'un croisement entre plantes haplo diploïdes afin de construire une base de données d'empreintes génétiques et phénotypiques du germoplasme. Cette base de données permettrait de mieux gérer ce germoplasme et de mieux l'exploiter dans des programmes d'amélioration génétique bien ciblés. Elle permettra aussi d'identifier tout génotype inconnu.

En perspective, il serait souhaitable de réaliser des cartes génétiques denses permettant, d'une part, de positionner des locus ayant un effet qualitatif ou quantitatif et, d'autre part, d'estimer les effets de ces locus sur les différents caractères relatifs à la productivité et à la qualité technologique, à travers l'exploitation des complémentarités entre la caractérisation phénotypique et les marqueurs moléculaires, et ce afin d'établir une stratégie de sélection assistée par marqueurs moléculaires plus poussée.

Ceci peut contribuer au progrès de l'amélioration génétique et mener à des raccourcis évolutifs, permettant aux variétés d'acquérir rapidement de nouvelles compétences. Dès lors, l'amélioration du blé tendre serait plus efficace pour mettre au point des variétés plus compétitives répondant à la fois aux besoins des agriculteurs et des industriels. Cet objectif implique de réels efforts de recherche pour exploiter au mieux les ressources génétiques disponibles et répondre aux nouveaux enjeux de l'alimentation humaine en matière d'innovation et de diversification des produits céréaliers.

Références bibliographiques

- Abbassenne, F.** Etude génétique de la durée des phases de développement leur influence sur : production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance. *Sécheresse* ; 16 (3), 225-229 p.
- Adjabi, A, Bouzerzour H, Lelarge C, Benmahammed, A, Mekhlouf A, Hanachi A, 2007.** Relationships between grain yield performance, temporal stability and carbon isotope discrimination in durum wheat (*Triticum durum Desf.*) under Mediterranean conditions, *Journal of Agronomy*, 6 (2) : 294-301.
- agro morphologique des cultivars locaux de blé dur: *triticum durum* desf. Cultivés dans les palmeraies de la vallée d'oued Righi (sud-est algérien). *Revue des Bio Ressources* 5 (2). 67- 76 p.
- Allam, A; Tirichine, A; Madani, H; Benlamoudi, W et Attali, Y. (2015).** Évaluation
- Anumalla, M; Roychowdhury, R; Kumar, G.C ; Mazid , Mohd and Ashok Kumar, Rathoure .(2015).** Utilization of plant genetic resources and diversity analysis tools for sustainable crop improvement with special emphasis on rice. *International Journal of Advanced Research*. 3(3), 1155-1175 p.
- Bagga, A.K., Ruwali, K.N et Asana, R.D. (1970).** Comparison of responses of some Indian and semi dwarf Mexican wheat to irrigated cultivation. *Indien J. Agri.Sci.* 40, 421-42 p.
- Belaïd d.** 1996. Aspects de la céréaliculture algérienne. INES. D'Agronomie. Batna.
- Ben Naceur, M ; Gharbi, M. S et Paul, R. (1999).** L'amélioration variétale et les autres actions contribuant à la sécurité alimentaire en Tunisie en matière de céréales. *Sécheresse*.10, 27- 33p.
- Benbelkacem, A ; Mekni, M.S et Rasmusson, D.C. (1984).** Breeding for high tiller
- Berger, M.** Étude des caractères morpho physiologiques, des composantes du rendement et de leurs corrélations génétiques et environnementales chez le blé tendre. Thèse Docteur Ingénieur, école nationale supérieure d'agriculture (Ensa), Toulouse,1985.182 p
- Blum, A. (1988).** Plant breeding for stress environments. *Boca Reaton*, Florida ed., *C.R.C. Press*, I.N.C. 86 p
- Bolton M. D., Kolmer J. A., Garvin D. F. (2008).** Wheat leaf rust caused by *Puccinia triticina*. *Molecular Plant Pathology* 9: 563–575.

- Bousba, R** .Caractérisation de la tolérance à la sécheresse chez le blé dur (*Triticum Durum Desf*).Analyse de la physiologie et de la capacité en production .Thèse de doctorat en science en biologie végétale .Université Mentouri .Constantine.2012.187p.
- Bouzerzour, H. (2004)**. Stratégies de sélection de céréales en présence d'interaction génotype milieu. Atelier de formation sur l'obtention variétale d'hiver .du 16 au 19 Mai.
- Bretting, P. K and Widrechner, M. P. (1995)**. "Genetic markers and plant genetic resource management," Plant Breeding Review, 13, 11-86 p.
- Broun, P and Tanksley, S. D. (1996)**. Characterization and genetic mapping of simple repeat sequences in the tomato genome, Molecular Genetics and Genomics. 250, 39-49 p.
- Chaabane, R ; Babay, E ; Ben Salah, H ; Salah Gharbi, M ; Ben Naceur, M. (2011)**. Analyse de similarités génétiques de différents génotypes de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) moyennant des marqueurs microsatellites (SSRs). Revue des Régions Arides n° 25, 55-76 p.
- Chabi h., DEROUICHE M., KAFI M. et KHILASSI E. 1992**. Estimation du taux chaque variété son époque de survie - Perspectives agricoles. 148 , 20-27 p.
- Chen X. M. (2005)**. Epidemiology and control of stripe rust [*Puccinia striiformis* f. sp. tritici] on wheat. *Canadian Journal of Plant Pathology* 27: 314-337.
- Chentoufi, L ; Sahri, A ; Arbaoui, M ; Birouk, A ; Roumet, P ; Muller, M-H ; Belqadi, H. (2014)**. Diversité agro-morphologique et gestion variétale par les agriculteurs du blé dur (*Triticum turgidum ssp. durum*) dans le Pré-Rif marocain. Rev. Mar. Sci. Agron. Vét. 2 (2), 30-38p.
- Chikhi A. C. 1992**. Situation de la céréaliculture et perspectives de l'irrigation de **Chlyah, O, Amail, O, Saidi, N, Cherkaoui, S, Lamsaouri, O, Chlyah, A.B. et Chlyah, S.(1999)**.Haplodiploidisation chez le blé dur par croisement inter générique : Blé dur x *hordeum bulbosum* et blé dur x maïs. *Agriculture*, _8(4) : 330-460
- Clement g. et PRATS J. 1970**. Les céréales. Collection d'enseignement agricole. climatique. Editeur INRA Maroc, p5. climatiques. Perspectives agricoles. 217 : 59-70. complément du blé au niveau de la Mitidja. Thèse Ing. INA. El Harrach. 317p. culture de blé conduite en sec et en irrigué. Thèse Ing. INA El Harrach. P.10. d'utilisation du potentiel de production des terres à blé dur dans le Nord de la wilaya

- Couvreur, F et Masse, J. (1983).** Formation du rendement et niveau de production.
- Djekoun, A ; Ykhlef, N ; Bouzerzour, H ; Hafsi, M ; Hamada, Y ; Kahali, L.(2002).**
 Production du blé dur en zone semi aride : identification des paramètres d'amélioration du rendement .Journées scientifiques sur le blé 11, 12,13 Février. Université .Mentouri. Constantine.
 en Relación con el Rendimiento y Distribución de Asimilados en Trigo”, *Agricultura Eyal Z. E. (1981).* Integrated control of Septoria diseases of wheat. *Plant Disease* 65: 763-768.
- FAO.(2016).**Perspectives de l'alimentation les marchés en bref.
- FAO.(2017).**faostat.http : www.fao.org/faostat/fr/?data/QC/visualize.
- Febrero, A., Bort, J ;Brown, R .H., Araus, J.L. (1990).** The role of durum wheat ear as photosynthetic organ during grain filling. In: advanced trends in photosynthetic , Mallorca, Spain.
- Feuillet C. (2008).** A physical map of the gigabase bread wheat chromosome 3B.
- Gate p. 1995.** Ecophysiologie du blé : de la plante à la culture. Ed Lavoisier. 429p.
- Gate p., VIGNIER L, VADON B., SOUCI D., MINKOV D., LAFARGA A., ZAIRI**
- Gate, P ; Brain, P ; Colenne, J ; Briffaux, G. (1990).** Pour les céréales à paille
- Grillot G. (1948).** Les blés du Maroc. *La Terre Marocaine* 224 : 173-184. Grillot G., 1942 La bataille du blé : Chois des variétés. *La Terre Marocaine* 153: 8-10.
- Jlibene M. (2011).** Options génétiques d'adaptation, du blé tendre au changement
- Kadi, Z.** Sélection de l'orge (*hordeum vulgare* L.) pour la tolérance aux stress abiotiques. (Thèse de doctorat en science). Université Ferhat Abbas Sétif.2012.143p.
- Kirby, E.J.M. (2002).** Botany of the Wheat plant. In Curtic BC Rajam S, Gomez MC,
- Laffont J. M. (1985).** Les maladies des céréales et du maïs. Ciba Geigy/Agri-Nathan, France, p. 96.
- Lamara, M. (2010).**Analyse comparative de la diversité génétique et de la structure des populations chez l'orge (*hordeum vulgare* L.) à l'aide de marqueurs ssr, DART et du pedigree. Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures dans le cadre du programme de maîtrise en biologie végétale pour l'obtention du grade de Maître es Sciences (M.Sc.).Université LavalQuébec. 62p

- M, Kianian S, Spielmeyer W, Lagudah E, Somers D, Kilian A, Alaux M, Vautrin M.** 1997. Céréales en milieu méditerranéen. Un modèle pour limiter les risques (magister), INA Alger. 1997, 70 p.
- MAPM.(2017).** filière de cereal Récupéré sur ministère de l'agriculture et de la pêche maritime : <http://www.agriculture.gov.ma/pages/acces-filieres/filiere-cerealiere>
- Mekhlouf, A., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., Hadj Sahraoui, A., Harkati, N.** 2006. Adaptation des variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) au climat semi-aride. Sécheresse. 17(4) : 507-13.
- Mekhlouf, A; Bouzerzour, H; Benmahammed A; Hadj Sahraoui A; Harkati N.** (2006). Adaptation des variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) au climat semi-aride. Ed: INRA . 17 (4), 507-13p.
- Merizek S.** 1992. Evolution de la biomasse et des composantes du rendement d'une **Paux E, Sourdille P, Salse J, Saintenac C, Choulet F, Leroy P, Korol A, Michalak Pillen K.,** Binder A., Kreuzkam B., Ramsay L., Waugh R., Forster J. and Leon J. 2000. Mapping new EMBL-derived barley microsatellites and their use in differentiating. German barley cultivars. Theor. Appl. Genet. 101: 652-660.
- Moayedi, A.A ; Boyce, A.N ; Barakbah, S.S ; ghodsi, M.** (2009). Tillering behaviors of promising durum wheat genotypes and bread wheat cultivar under different water deficit conditions Middle Eastern and Russian. Journal of plant Science and Biotechnologies 3 Global Science books (Special issue), 15-19 p.
- Monneveux, Ph. (1991)** .Quelle stratégie pour l'amélioration génétique de la tolérance au déficit hydrique des céréales d'hiver ? In : Chalbi Demarly Y. éd. L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. Ed. AUPELF-UREF. John Libbey. INSA-INRA, 165-186 p. number and yield in barley. Crop Sci. 24 ,968-972p.
- Oulmi, A., Benmahammed, A., Laala, Z., Adjabi, A., Bouzerzour, H.** 2014. Response to plant breeding on the basis of the canopy temperature of F5 lines derived from the F2 of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) under semi-arid high plains eastern conditions. *International Journal of Agronomy and Plant Production*. 5 (1) : 20-30. Pherson H(Eds) Bread Wheat improvement and production , FAO, Rome,Italy. plantes cultivées à la sécheresse : espoir et difficultés .Sécheresse, 8(1), 29-35 p.
- Powell, W; Morgante, M ; Andre, C ; Hanafey, J.V.S ; Tingey, A , Rafalski.** (1996). The comparison of RFLP, RAPD, AFLP and SSR (microsatellite) markers for germplasm analysis. *Molecular Breeding*. 2 (3), 225 p.Rev. Perspective 32, 8- 11 p.

- S, Bergès H, Eversole K, Appels R, Safar J, Simkova H, Dolezel J, Bernard M,**
Science 322:101-4. sétif. Thèse. Ing. INA. El Harrach. 317p.
- Schut, J.W; Oi, X and Stam, P. (1997).** Association between relationship measures based on AFLP markers, pedigree data and morphological traits in barley. *Theor. Appl. Genet.* 95, 1161-1168 p.
- Slama A., Ben Salem M., Ben Naceur M. et Zid E. D. (2005).** Les céréales en Tunisie: production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance. **Sécheresse USDA Foreign Agricultural Service (2015).** <http://www.fas.usda.gov/data/world-agricultural-production>. Accessed 20 July 2015
- Slama, A ; Ben Salem, M ; Ben Naceur M, Zidi E . (2005).** Les céréales en Tunisie *Técnica* . 64(2), 139-155 p.
- Vos P., Hogers R., Bleeker M., Reijans M., Van de Lee T., Homes M., Frijters A., Pot J., Peleman J., Kupier M. and Zabeau M. 1995.** AFLP: a new technique for DNA fingerprinting. *Nucl. Acids Res.* 23: 4407-4414.
- Williams J.G.K., Kubelik A.R., Livak K.J., Rafalski J.A. and Tingey S.V. 1990.** DNA polymorphisms amplified by arbitrary primers are useful as genetic markers. *Nucl. Acids Res.* 22: 6531-6535.
- Zahri S., Farih A., Badoc A., Douira A. (2008).** Importance des septorioses dans les champs de blés marocains. *Bulletin de la Société de Pharmacie de Bordeaux* 147 :29-38.
- Zapata, C; Silva, P and Acevedo, E (2004),** “Comportamiento de Isolíneas de Altura
- Zhang L., Meakin H., Dickinson M. (2003).** Isolation of genes expressed during compatible interactions between leaf rust (*Puccinia triticina*) and wheat using cDNA-AFLP. *Molecular Plant Pathology* 4: 469–477.

Annexes

Annexes 1 : Matériel utilisé

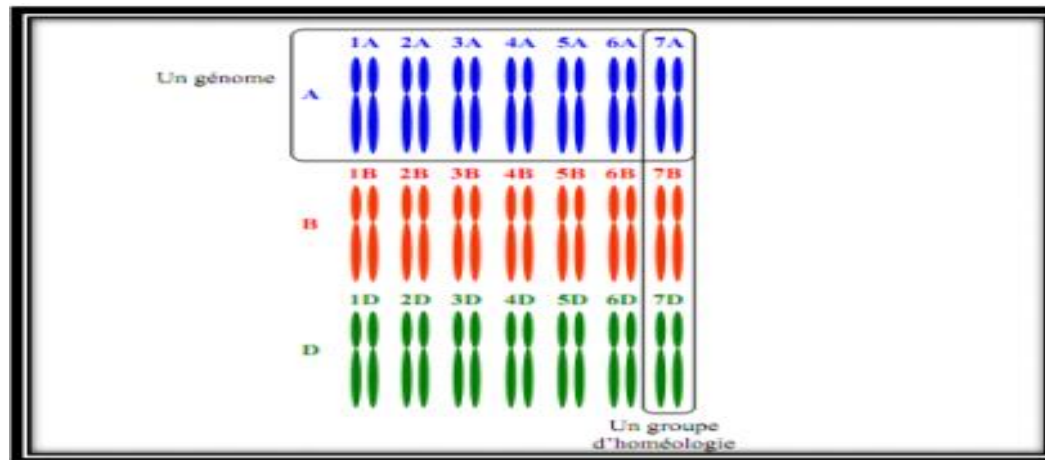


Lyophilisateur



Perforateur 2 trou

Annexe 2 : Génome du blé tendre



Organisation du génome du blé hexaploïde. (Bogard.,2011)

Annexe 3 : Résultats génotypiques

	Rht-B1	Rht-D1	Lr34	Sr2	Lr37/Yr17/Sr38	Lr68	Lr19/Sr25	Lr67	Sr22	Lr46
	T:T	T:T	:-	A:A	T:T	T:T	T:T	C:C	A:A	A:A
DH 3	T:T	G:G	:-	G:G	C:C	C:C	T:C	G:G	T:T	A:A
DH 4	T:T	G:G	:-	?	C:C	C:C	T:C	G:G	T:T	A:A
DH 5	T:T	G:G	:-	G:G	C:C	C:C	T:C	?	T:T	A:A
DH 6	T:T	G:G	:-	G:G	C:C	C:C	T:C	G:G	T:T	G:G
DH 7	T:T	G:G	:-	G:G	C:C	C:C	T:C	G:G	T:T	G:G
DH 8	T:T	G:G	:-	G:G	C:C	C:C	T:C	G:G	T:T	A:A
DH 9	T:T	G:G	:-	?	C:C	C:C	T:C	G:G	T:T	G:G
DH 10	T:T	G:G	:-	?	C:C	C:C	T:C	G:G	T:T	G:G
DH 11	T:T	G:G	:-	?	C:C	C:C	T:C	?	T:T	G:G
DH 12	T:T	G:G	:-	G:G	C:C	C:C	T:C	G:G	T:T	G:G
DH 13	T:T	G:G	:-	G:G	C:C	C:C	T:C	G:G	T:T	A:A
DH 14	T:T	G:G	:-	G:G	C:C	C:C	T:C	?	T:T	A:A
DH 15	T:T	G:G	:-	G:G	C:C	C:C	T:C	G:G	T:T	A:A
DH 16	T:T	G:G	:-	G:G	C:C	C:C	T:C	G:G	T:T	G:G
DH 17	T:T	G:G	:-	?	C:C	C:C	T:C	?	T:T	G:G
DH 18	T:T	G:G	:-	?	C:C	C:C	T:C	?	T:T	G:G
DH 19	T:T	G:G	:-	?	C:C	C:C	T:C	?	T:T	A:A
DH 20	T:T	G:G	:-	?	C:C	C:C	T:C	?	T:T	A:A
DH 21	T:T	G:G	:-	G:G	C:C	C:C	T:C	G:G	T:T	G:G
DH 22	T:T	G:G	:-	?	C:C	C:C	T:C	G:G	T:T	A:A
DH 23	T:T	G:G	:-	?	C:C	C:C	T:C	?	T:T	G:G
DH 24	T:T	G:G	:-	G:G	C:C	C:C	T:C	?	T:T	G:G
DH 25	T:T	G:G	:-	?	C:C	C:C	T:C	G:G	T:T	G:G

DH 26	T:T	G:G	-:-	G:G	C:C	C:C	T:C	G:G	T:T	A:A
DH 27	T:T	G:G	-:-	G:G	C:C	C:C	T:C	G:G	T:T	A:A
DH 28	T:T	G:G	-:-	?	C:C	C:C	T:C	G:G	T:T	A:A
DH 29	T:T	G:G	-:-	?	C:C	C:C	T:C	?	T:T	A:A
DH 30	C:C	?	INSERTION	?	C:C	C:C	T:T	?	T:T	A:A
DH 31	T:T	G:G	-:-	?	C:C	C:C	T:C	?	T:T	A:A
DH 32	T:T	G:G	-:-	G:G	C:C	C:C	T:C	G:G	T:T	G:G
DH 33	T:T	G:G	-:-	?	C:C	C:C	T:C	?	T:T	G:G
DH 34	T:T	G:G	-:-	?	C:C	C:C	T:C	G:G	T:T	G:G
DH 35	T:T	G:G	-:-	G:G	C:C	C:C	T:C	G:G	T:T	G:G
DH 36	T:T	G:G	-:-	?	C:C	C:C	T:C	?	T:T	A:A
DH 37	T:T	G:G	-:-	?	C:C	C:C	T:C	?	T:T	A:A
DH 38	T:T	G:G	-:-	G:G	C:C	C:C	T:C	G:G	T:T	A:A
DH 39	T:T	G:G	-:-	?	C:C	C:C	T:C	G:G	T:T	G:G
DH 40	T:T	G:G	-:-	?	C:C	C:C	T:C	G:G	T:T	G:G
DH 41	T:T	G:G	-:-	G:G	C:C	C:C	T:C	?	T:T	A:A
DH 42	T:T	G:G	-:-	?	C:C	C:C	T:C	G:G	T:T	A:A
DH 43	T:T	G:G	-:-	?	C:C	C:C	T:C	G:G	T:T	A:A
DH 44	T:T	G:G	-:-	?	C:C	C:C	T:C	G:G	T:T	G:G
DH 45	T:T	G:G	-:-	G:G	C:C	C:C	T:C	?	T:T	G:G
DH 46	T:T	G:G	-:-	?	C:C	C:C	T:C	G:G	T:T	G:G
DH 47	T:T	G:G	-:-	G:G	C:C	C:C	T:C	G:G	T:T	A:A
DH 48	T:T	G:G	-:-	?	C:C	C:C	T:C	G:G	T:T	G:G
DH49	T:T	G:G	-:-	G:G	C:C	C:C	T:C	G:G	T:T	A:A
DH 50	T:T	G:G	-:-	?	C:C	C:C	T:C	G:G	T:T	G:G
DH 51	T:T	G:G	-:-	?	C:C	C:C	T:C	G:G	T:T	G:G
DH 52	T:T	G:G	-:-	G:G	C:C	C:C	T:C	G:G	T:T	G:G

DH 53	T:T	G:G	-:-	?	C:C	C:C	T:C	G:G	T:T	G:G
DH 54	T:T	G:G	-:-	G:G	C:C	C:C	T:C	G:G	T:T	G:G
DH 55	T:T	G:G	-:-	?	C:C	C:C	T:C	G:G	T:T	A:A
DH 56	T:T	G:G	-:-	G:G	C:C	C:C	T:C	G:G	T:T	G:G
DH 57	T:T	G:G	-:-	?	C:C	C:C	T:C	G:G	T:T	G:G
DH 58	T:T	G:G	-:-	G:G	C:C	C:C	T:C	G:G	T:T	G:G
Hidab	T:T	G:G	-:-	G:G	C:C	C:C	T:C	G:G	T:T	G:G
Parula	T:T	G:G	INSERTION	G:G	C:C	C:C	T:C	G:G	T:T	A:A