



République Algérienne Démocratique Et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



Ministère De L'Enseignement Supérieure Et De La Recherche Scientifique

جامعة البليدة 1

Université Blida 1

كلية العلوم البيوتكنولوجية

Faculté Des Sciences De la Nature et de la Vie

Option : Biotechnologie Végétale et Amélioration des Plantes

Mémoire De Fin D'étude

En vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur Agronome

THEME

Caractérisation Phéno-Agro-Morphologiques de lignées mutantes
d'orge (*Hordeum vulgare* L.)

Réalisé par :

AIDJA Meriem Amina

MABROUKI Belkis

Soutenu le :

Devant le jury :

Président de jury	ZOUAOUI. A	MCA	USDBBlida
Promotrice	RAMLA. D	MRB	INRAA Alger
Co-promoteur	BOUAMRA. A	Doctorante	USDBBlida
Examinatrice	BENZAHR. S	MCB	USDB Blida

Blida, Septembre, 2021

REMERCIEMENT

On remercie dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire .

Tous d'abord ce travail ne sera pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide de notre encadreuse Mm . *RAMLA DALILA* on la remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel , pour sa patience , pour sa rigueur et son disponibilité durant notre préparation de ce mémoire .

Nos remerciements s'adresse a Mr. *YAKHOU MOHANED SAID* pour son aide pratique et pour ces encouragements.

je tiens a remercier fortement Mr. *ZOUAOUI AHMED* d'avoir accepté de présider mon jury et juger mon travail .

je remercie beaucoup Mm .*BENZAHERA .S* et Mm. *CHAOUIA. CH* qui ont bien voulu faire partie de mon jury et juger ce travail .

Nos remerciements s'adresse également a tous nos professeurs pour leurs générosité et la grande patience dont ils ont su faire preuve malgré leurs charge académique et professionnelles , spécialement Mm. *BOUAMRA AICHA*.

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail d'abord a mes chers parents qui n'ont jamais cessée,
de me soutenir et

de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs

A mes deux sœurs de cœur Raouane et Malek

A ma chère binôme Amina pour tous les moments qu'on a créé ensemble

A mon très chère Abdenour qui m'a aidé et supporté dans les moments difficiles
merci d'être

Toujours là à mes cotés

A tous mes amis que j'aime

Belkis

Dédicace

Grâce à toi mon bon dieu, je m'incline devant ta puissance et ta miséricorde,

Pour te remercier de l'aide et du courage que tu m'as donné au cours de la

Réalisation de ce modeste travail, que je dédier :

A mon père qui m'as encouragé et soutenus

A ma mère que dieu lui accord une vie sereine

A mes sœurs : Fatiha Mounia Nadjat et mon frère islâm

A mon gendre El Hadi qui m'as beaucoup aide

A ma copine Yasmine

A mon binôme belkis

Meriem Amina

Résumé

L'objectif de ce travail est d'évaluer des lignées d'orges mutantes, issues de la variété parentale PLAISANT, en vue de leur caractérisation et de la sélection des lignées précoces, montrant une performance agronomique et/ou associant précocité et productivité.

L'évaluation a porté sur l'étude des caractères phénologiques, morphologiques, et agronomiques des lignées mutantes en présence de la variété parentale.

Tous les génotypes mutants se sont montrés supérieurs au parent pour le caractère nombre de jours du semis à l'épiaison ainsi ils ont tous gagné en précocité. Cependant **PLSM-A**, **PLSM-C**, **PLSM-E** et **PLSM-F** sont les plus précoces, gagnant 54 jours pour **PLSM-A** et 55 pour les trois derniers par rapport au parent.

Sur les huit caractères agronomiques évalués, six ont montré des mutations (**PG/E**, **NE/P**, **PG/P**, **PP/P**, **IR (%)**, **PMG**). Toutes ces mutations ont été induites dans un sens positif, une seule portée par un mutant s'est révélée négative (**PP/P**). Le mutant **PLSM-C**, a totalisé le nombre le plus important de caractères muté positif supérieur au parent Plaisant : (**PG/E : + 48,3 %**) ; (**NE/P : + 51,8%**), (**PG/P : +77,4%**), (**PMG : 64,6%**). Parmi les autres lignées qui ont dépassé le parent pour le caractère poids de grains par épi : **PLSM-D**, **PLSM-A** et pour le caractère poids de grains par plante : **PLSM-D** **PLSM-E** **PLSM-F**.

Quant aux lignées **PLSM-A**, **PLSM-E**, **PLSM-C**, **PLSM-D**, **PLSM-B**, **PLSM-K**, **PLSM-J**, **PLSM-H**, et **PLSM-G**, elles se sont révélées les meilleures lignées pour les caractères morphologiques. Plusieurs lignées ont excédé le parent pour plusieurs caractères morphologiques, peuvent être citées : les lignées **PLSM-A**, **PLSM-C**, **PLSM-E**, **PLSM-B** pour la hauteur de tige (**HT**) dont le plus important a atteint (66.9cm/ **PLSM-E**), les Lignées **PLSM-E**, **PLSM-C**, **PLSM-A**, **PLSM-B** pour la hauteur de la plante (72.8cm/ **PLSM-C**), les lignée **PLSM-A**, **PLSM-E**, **PLSM-B**, **PLSM-D** dont la plus importante a atteint (27.5cm/ **PLSM-A**) pour la longueur du pédoncule.

ABSTARCT

The objective of this work is to evaluate mutant barley lines, derived from the PLAISANT parent variety, in order to characterize them and select early lines, showing an agronomic performance and/or combining earliness and productivity.

The evaluation focused on the study of phenological, morphological and agronomic characteristics of the mutant lines in the presence of the parental variety.

All mutant genotypes were shown to be superior to the parent in the number of days from sowing to heading trait so they all gained in precocity. However, PLSM-A, PLSM-C, PLSM-E and PLSM-F are the earliest, gaining 54 days for PLSM-A and 55 for the last three compared to the parent

Of the eight agronomic traits evaluated, six showed mutations (PG/E, NE/P, PG/P, PP/P, IR (%), PMG). All these mutations were induced in a positive direction, only one mutant was negative (PP/P). The PLSM-C mutant, totaled the largest number of positive mutated traits greater than the Plaisant parent: (PG/E: +48.3%); (NE/P: +51.8%), (PG/P: +77.4%), PMG: 64.6%). Of the other lines that outperformed the parent for the grain weight per ear trait: PLSM-D, PLSM-A and for the grain weight per plant trait: PLSM-D PLSM-E PLSM-F.

The lines PLSM-A, PLSM-E, PLSM-C, PLSM-D, PLSM-B, PLSM-K, PLSM-J, PLSM-H, and PLSM-G were the best lines for morphological characters. Several lines exceeded the parent for several morphological characters, can be mentioned: lines PLSM-A, PLSM-C, PLSM-E, PLSM-B for stem height (HT) of which the most important reached (66.9cm/ PLSM-E), the lines PLSM-E, PLSM-C, PLSM-A, PLSM-B for plant height (72.8cm/ PLSM-C), the lines PLSM-A, PLSM-E, PLSM-B, PLSM-D of which the most important one reached (27.5cm/ PLSM-A) for peduncle length.

ملخص

المدفوع من هذا العمل هو تقييم سلالات الشعير الطافرة، المشتقة من الصنف الأم PLAISANT، من أجل توصيفها واختيار الخطوط المبكرة، وإظهار الأداء الزراعي و / أو الجمع بين التبكير والإنتاجية. ركز التقييم على دراسة الخصائص الفينولوجية والمورفولوجية والزراعية للخطوط الطافرة في وجود الصنف الأبوي

تم إثبات أن جميع الأنماط الجينية الطافرة متفوقة على الوالد في عدد الأيام من البذر إلى سمة العنوان، لذا هي الأقدم، PLSM-F و PLSM-E و PLSM-C و PLSM-A فقد اكتسبوا جميعًا في وقت مبكر. ومع ذلك، و 55 يومًا لآخر ثلاثة مقارنة بالأصل PLSM-A حيث اكتسبت 54 يومًا 1

من بين السمات الزراعية الثمانية التي تم تقييمها، أظهرت ستة طفرات (E / P.PG / P.NE / P.PG / P.PP / P) IR (%) (PMG). تم إحداث كل هذه الطفرات في اتجاه إيجابي، وكان طفرة واحدة فقط سلبية (PP / P). متحولة PLSM-C، التي جمعت أكبر عدد من الصفات الطافرة الإيجابية أكبر من الوالد (PG / Plaisant: E: + 48.3 ؛ NE / P: + 51.8 ؛ PG / P: + 77.4 ؛ PMG: 64.6). من السلالات الأخرى التي تفوقت على الأصل في وزن الحبوب لكل سمة أذن: PLSM-D و PLSM-A و PLSM-E و PLSM-F و PLSM-D

بالنسبة لخطوط PLSM-A و PLSM-E و PLSM-C و PLSM-D و PLSM-B و PLSM-K و PLSM-G و PLSM-H، فقد وجد أنها أفضل خطوط الصفات المورفولوجية. تجاوزت عدة أسطر الأصل للعديد من الأحرف المورفولوجية، ويمكن الاستشهاد بها: الخطوط PLSM-A و PLSM-C و PLSM-E و PLSM-B لارتفاع الجذع (HT) التي تم الوصول إليها إلهما أهمها (66.9 سم / PLSM -E)، الخطوط PLSM-A.PLSM-B.PLSM-C لارتفاع المصنع (72.8 سم / PLSM-C)، الخطوط PLSM-A.PLSM-E.PLSM-B.PLSM-D منها أهم ما تم التوصل إليه (27.5 سم / PLSM-A) لطول السويقة

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENT	ii
DEDICACE	iii
Résume	v
ABSTARCT	vi
ملخص	vii
TABLE DES MATIERES	viii
LISTE DES FIGURES	xii
LISTE DES TABLEAUX	xiv
Introduction	1
ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	2
Chapitre 1 : Généralité sur l'Orge	3
1.1- Origine et historique :	3
1. 2- Botanique	4
1.2.1-Classification de l'orge :	4
1. 2. 2- Type de développement :	5
1. 2.3- Description morphologique de la plante :	6
1.2.3.1 Système aérien :	6
a) Talle :	6
b) Tige :	6
c) Feuille :	6
e) Graine :	6
1. 2. 3. 2- Système racinaire :	7
1.2.4 Cycle de développement de l'orge :	7
1.2.4.1 La période végétative	7
1.2.4.2- Période reproductrice	8
1.2.4.3- La période de maturation	9
1. 3- Intérêt agronomique des principaux caractères de la plante d'orge	11

1.4 La culture d'orge	11
1.4.1 L'échelle mondiale	11
1.4.2 - La culture d'orge en Algérie	12
1. 5- Utilisation d'orge	13
Chapitre 2 : L'amélioration génétique d'orge	14
2.1 Historique de l'amélioration	14
2. 2- Définition	15
2.3-Objectifs	15
2.3.1-Le rendement	15
2.3.2-L'adaptation	16
a) L'adaptation au stress abiotique:	16
- Résistance à la sécheresse :	16
- Résistance au froid :	16
b) L'adaptation au milieu biotique:	16
2.3.3-Résistance a la verse.....	17
2.3.4-La précocité	17
2.3.5-Qualité	17
2.4-Méthodes et techniques de sélection	18
2.4.1- Sélection massale	18
2. 4.2- Sélection généalogique.....	18
2. 4.3- Sélection par méthode SSD.....	18
2. 4.4- Sélection conservatrice.....	19
2. 4. 5- Méthode BULK.....	19
2. 4. 6- Sélection par rétrocroisement (Back- cross)	19
2. 5- Autre méthode de sélection : La mutagenèse induite	20
2.5.1- Historique de la mutagenèse en sélection variétale.....	20
2.5.2- Agents mutagènes	21
a) Agents mutagènes physiques	21
b) Les Agents mutagènes chimiques.....	22
2.5.3-mutagenèse in vitro	22
La mutagenèse et l'orge.....	22
Chapitre 3 : Matériel et Méthodes	25

3. 1 Objectif de l'essai.....	25
3. 2 Localisation de l'expérimentation	25
3. 3 Matériel végétal	25
3.4 Dispositif expérimentale.....	26
3. 5 Soins culturaux.....	26
3. 5. 1 Désherbage	26
3. 5. 2 Fertilisation.....	26
3. 6 Observations en champ :.....	27
3.7 La Récolte	28
3. 8 Caractères mesurés après récolte.....	28
3. 8. 1 Caractères morphologiques	28
a) Hauteur tige.....	28
b) Longueur de l'épi.....	28
c) Longueur des barbes	29
d) La longueur de la plante	29
e) Longueur du pédoncule.....	29
f) Longueur col d'épis	29
g) Nombre de nœud	29
h) Nombre d'entre nœud.....	29
i) Compacité de l'épi du maitre brin	29
3. 8. 2 Caractères agronomiques.....	30
a) Poids des grains par plante.....	30
b) Nombre d'épis par plante.....	30
c) Nombre de grains par épi.....	30
d) Biomasse aérienne par plante	30
e) Rendement en paille.....	30
f) Indice de récolte	30
g) Poids des grains par épi	30
h) Poids milles grains.....	30
3.9 Traitement statistique des données :.....	31
Chapitre 4 : Résultats et discussions	33

Résultats.....	33
4. 1- Observations en champ.....	33
4. 2- Caractères mesurés après récolte	34
4. 2. 1- Caractères morphologiques	34
a) Hauteur de la tige (HT) (cm) :	34
b) Longueur de l'épi.....	35
c) Longueur des barbes (LB) (cm).....	38
d) Hauteur de la plante (HP) (cm).....	38
e) Longueur du pédoncule (LDP) (cm).....	39
f) Nombre de nœuds (NN)	40
g) Nombre d'entre-nœuds (NEN)	40
h) Compacité de l'épi (CE)	41
4. 2. 2- Caractères agronomiques	42
a) Nombre d'épis par plante NE/P.....	42
b) Poids des grains par plante (PG/P)	44
c) Nombre de grains par épi (NG/E).....	44
d) Poids des grains par épi PG/E.....	45
e) Biomasse aérienne par plante (BA)	46
f) Rendement en paille (PP/P).....	46
g) Indice de Récolte (IR).....	47
h) Poids de mille graines PMG	48
Discussion générale.....	49
Conclusion	53
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	54

LISTE DES FIGURES

Figure 1: la zone de croissant fertile. (https://www.futura-sciences.com/).....	4
Figure 2: Distinction entre l'orge à deux rangs et l'escourgeon (Simon et al., 1989).....	6
Figure 3: Anatomie et composition du grain d'orge.(Clergt, 2011).	7
Figure 4: Production d'orge au cours de l'année 2016(http://www.fao.org/statistics/en/)	12
Figure 5: Les stades végétatifs de la culture.	27
Figure 6: Sacs récoltés	28
Figure 7: Détermination du rendement en biomasse aérienne par plant (INRAA 2021).....	31
Figure 8: Mesure des caractères morphologiques (INRAA 2021).....	31
Figure 9: dispositif expérimental.	32
Figure 10: Moyennes du nombre de jours semis-épiaison (NJSE) des génotypes.....	34
Figure 11: Moyennes de la hauteur de la tige des génotypes.....	35
Figure 12: Comparaison de la moyenne de longueur de l'épi des génotypes.	35
Figure 13: Moyenne de la longueur des barbes des génotypes.	38
Figure 14: Moyenne de la hauteur de la plante des génotypes.	39
Figure 15: Moyenne de la longueur du pédoncule (LDP) des génotypes.....	39
Figure 16: Moyenne du Nombre de nœuds des génotypes.	40
Figure 17: Moyenne du nombre d'entre nœuds des génotypes.....	41
Figure 18: Compacité moyenne de l'épi des génotypes.....	41

Figure 19: Moyenne du nombre d'épis par plante des géotypes.....	42
Figure 20: Moyenne du poids des grains par plante des géotypes	44
Figure 21: Moyenne du nombre de grains par épi (NG/E) des géotypes	45
Figure 22 : Moyenne du poids des grains de l'épi (PG/E) des géotypes.....	45
Figure 23: Comparaison de la moyenne de biomasse aérienne des géotypes.....	46
Figure 24: Moyenne du rendement en paille par plante des géotypes.	47
Figure 25: Moyenne de l'indice de récolte des géotypes	48
Figure 26: Moyenne du Poids de Mille grains des géotypes	49

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Classification de l'orge (<i>Hordeum vulgare</i> . L)	4
Tableau 2: Différents stades de développement de l'orge (<i>Hordeum vulgare</i> L.) Source: I.T.C.F., 1983 in Aït-Rachid, 1991	10
Tableau 3: l'intérêt agronomique des caractères agro-morphologiques.	11
Tableau 4: liste de géotypes évalués.	26
Tableau 5: Analyse de la variance effectuée sur les données relatives à 18 caractères agro- morpho-phrénologiques d'un essai de 13 géotypes d'orge (12 mutants et 1 parent) conduit sur le site de la station expérimentale INRAA Mehdi Boualem- Baraki-Alger.....	36
Tableau 6: Comparaison phénotypique entre un groupe de mutants en M6 et leur variété parentale pour les caractères phéno-morphologiques	37
Tableau 7: Comparaison phénotypique entre un groupe de mutants et leur variété parentale pour les caractères agronomiques de rendement.....	43
Tableau 8: Nombre de caractères ayant subi des mutations significatives sur 17 caractères étudiées.	50

LISTE DES ABREVIATIONS

ADN : Acide désoxyribonucléique.

BA : Biomasse Aérienne

BA/P : Rendement biologique par plante

CE : Compacité d'épis

COMENA : Commissariat à l'Energie Atomique

EMS : Ethyle-méthane sulfonate.

ENU : Ethyle- N nistroso urea.

FAO : Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture. (Food and Agriculture Organizations).

G : Gramme.

HP : Hauteur de la plante

HT : Hauteur Tige

INRAA : Institut national des Recherches Agronomique Algérien.

IR : Indice de Récolte

J.C: Jésus Christ

LB : Longueur des Barbes

LDP : Longueur de pédoncule

LE : Longueur de l'Epis

M² : Mètre Carré

NE : Nombre d'Epis.

NEN : Nombre d'entre nœuds

NE/P : Nombre d'épis par plante

NG/E : Nombre de grain par épis.

NJSE : Nombre de jours semi épiaison.

Liste des abréviations

NN : Nombre de nœuds

NP : Nombre de Plantes

NS : Non significatif

OAIC : L'Office National Interprofessionnel des Céréales

PG/E : Poids de grain par épis

PG/P : Rendement en grain par plante

PP/P : Rendement en paille par plante

PMG : Poids milles grains

RG : Rendement en Grains

S : Significatif

Introduction

L'orge (*Hordeum vulgare* L.), compte parmi les espèces les plus cultivées dans le monde. Elle figure au quatrième rang des céréales après le blé le riz et le maïs (Jestin 1992). Elle est très appréciée, car elle se caractérise par une capacité d'adaptation à des conditions contraignantes.

En Algérie, l'orge est largement cultivée, elle occupe la deuxième place après le blé dur avec 35 à 40% des surfaces réservées aux céréales (Ben Mohamed, 2004). Malgré l'étendue de la superficie consacrée aux céréales, la production nationale est loin de satisfaire les besoins de la population. Cette culture se caractérise, en effet, par ses rendements faibles et instables. Plusieurs facteurs sont à l'origine de cette situation à savoir, des conditions environnementales de culture très contraignantes caractérisés par des pluies insuffisantes et variables, des gelées, etc., conditions aggravées par les conséquences des changements climatiques. Mais aussi une contrainte variétale, avec un nombre de variétés en production, adaptées aux conditions, est très insuffisant (Ramla, 2017) ne répondant pas aux besoins.

L'augmentation des rendements de l'orge peut se faire par des techniques culturales appropriées (travail du sol, fertilisation et traitements phytosanitaires), mais aussi par la recherche de nouvelles variétés très performantes et adaptés aux différents milieux de culture. (Hanifi, 1999).

Au cours de ces vingt dernières années, de par le monde, le travail d'amélioration et de sélection des céréales a permis de sélectionner des milliers de variétés. Pour chaque espèce, la sélection variétale a été faite pour répondre à la grande diversité agroécologique, d'une part, et aux besoins spécifiques des agriculteurs, en mettant à leur disposition des variétés performantes et adaptées aux conditions du milieu et de bonne qualité technologique.

C'est dans ce contexte que nous avons entrepris le présent travail, qui consiste à évaluer et à caractériser des lignées d'orges mutantes, obtenues par une équipe de l'INRAA, et identifier ainsi les génotypes précoces, performants pour les caractères agronomiques, et aux caractères morphologiques intéressants et ce, en vue de sélectionner ceux supérieurs aux parents et d'enrichir la gamme de variétés disponibles à la production

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre 1 : Généralité sur l'Orge

1.1- Origine et historique :

Parmi les premières céréales domestiquées par l'homme nous avons l'orge, la plus répandue et sa distribution géographique est la plus vaste ; du fait de sa précocité, de potentiel de productivité en zones arides et tropicales (Bonjean et Picard.1990 ; Ceccarelli et al.1995).

Les fouilles archéologiques effectuées depuis le début du siècle en Syrie et Iraq ont dévoilé la présence d'orge provenant d'épis modifiés par le processus de domestication. Ces épis datent d'environ 10.000 ans.

Pendant l'Antiquité et jusqu'au deuxième siècle l'orge était la céréale la plus utilisée pour l'alimentation humaine en l'Europe centrale et dans le bassin méditerranéen (Rasmusson, 1992).

Selon Feldman (1976) Les premières évidences archéologiques de récolte de céréales datent du Néolithique, d'un peu moins de 8000 ans avant J.-C. et se trouvent au Moyen Orient représenté par le Croissant Fertile :(vaste territoire comprenant, la Vallée du Jourdain et les zones adjacentes de Palestine, de la Jordanie et de l'Irak, voire de la bordure Ouest de l'Iran).

L'orge a été domestiquée en Asie occidentale avant 7000 ans avant J-C. Sa culture s'est répandue dans l'Afrique du nord et a remonté le Nil jusqu'à atteindre l'Ethiopie, où elle est devenue l'une des céréales les plus importantes. L'orge a gagné le sud de l'Espagne vers 4000–5000 avant J-C. et elle a atteint l'Europe du Nord et centrale, ainsi que l'Inde, vers 2000–3000 avant J-C. En Chine, elle est arrivée en 1000–2000 avant J-C. Au Sahara, elle était cultivée dans les oasis en 100– 300 avant J-C. (Von Bothmer, 1992) voir dans la figure 1.

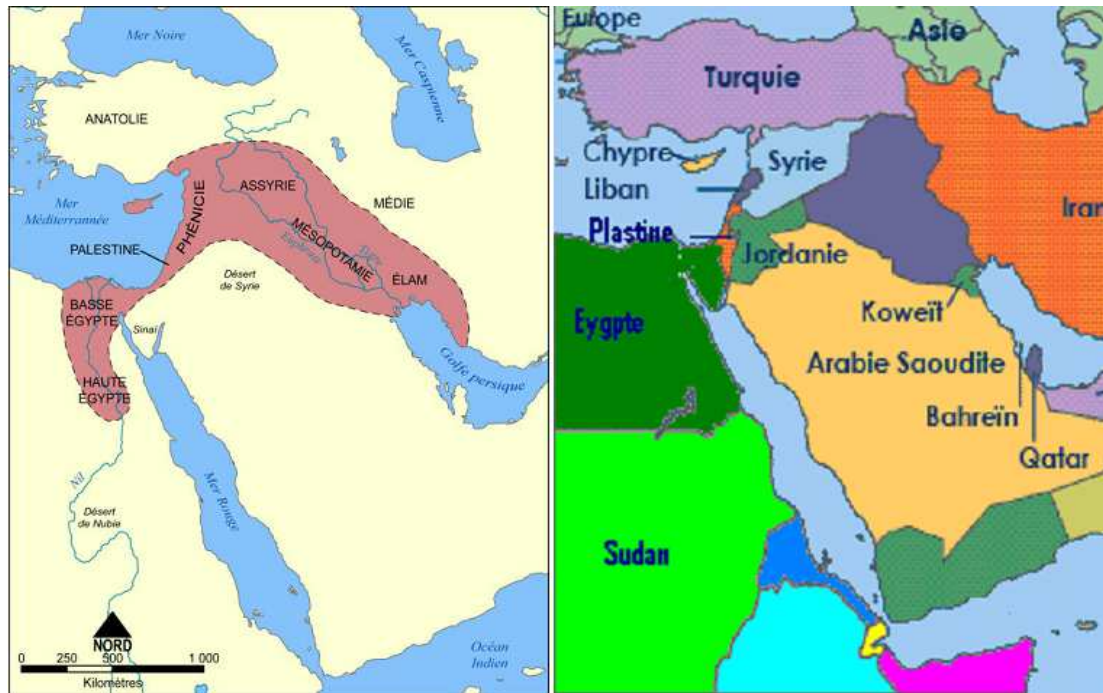


Figure 1: la zone de croissant fertile. (<https://www.futura-sciences.com/>).

1. 2- Botanique

1.2.1-Classification de l'orge :

Selon Chadeaud et Emberger (1960), Prats (1960), et Feillet (2000), l'orge cultivée appartient à la classification suivant (Tableau 1) :

Tableau 1: Classification de l'orge (*Hordeum vulgare*. L)

Classification	Orge
Règne	Plantae
Division	Magnoliophyta
Classe	Liliopsida
S/ classe	Commelinide
Ordre	Poale
Famille	Poaceae
S /famille	Hordeoideae
Tribu	Hordeae
Genre	<i>Hordeum</i>
Espèce	<i>Hordeumvulgare</i> .L

- Rasmusson (1987), note que le genre *Hordeum* comprend des espèces diploïdes ($2n=14$) dont les biotypes cultivés comme *Hordeum Vulgare*, *HordeumDistichum*, *Hordeumintermedium*, et sauvage comme *Hordeumspontaneum*, *Hordeumagriocrithon*

et *Hordeum pusillum*. Les espèces tétraploïdes ($2n=28$) sont constituées uniquement des biotypes sauvages comme *Hordeum murinum*, *Hordeum jubatum* et *Hordeum nodosum*. Linné (1755) in Grillo (1959), classent les orges selon le degré de fertilité des épillets et la compacité de l'épi en deux groupes (Figure 1) :

Le groupe des orges à 2 rangs :

Les épillets médians seuls sont fertiles. Il s'agit :

- *Hordeum distichum* L. ayant un épi aplati et lâche composé de deux rangées d'épillets fertiles sur chaque axe du rachis, entouré de 4 épillets stériles.

Le groupe des orges à six rangs :

Les épillets médians et latéraux de ce groupe sont fertiles et qui subdivise selon le degré de compacité de l'épi en :

- *Hordeum hexastichum* L. (escourgeon) ayant un épi compact composé sur chaque axe du rachis de 3 épillets fertiles.
- *Hordeum tetrastichum* L. a un épi lâche composé sur chaque axe du rachis de 2 épillets fertiles, figure 2 .

1. 2. 2- Type de développement :

Selon Soltner (2005) en fonction de la date de semis on distingue :

- Les orges, semées au printemps récoltées l'été. Et ce sont les plus précoces avec un cycle de développement très court.
- Les orges d'hivers, semées en automne, passant l'hiver sous la terre et récoltées juste avant les orages de printemps. Avec un cycle de développement varie de 240 à 265 jours.
- Les orges alternatives, ou intermédiaires sur le plan de la tolérance au froid, entre les orges d'hiver et celles de printemps.

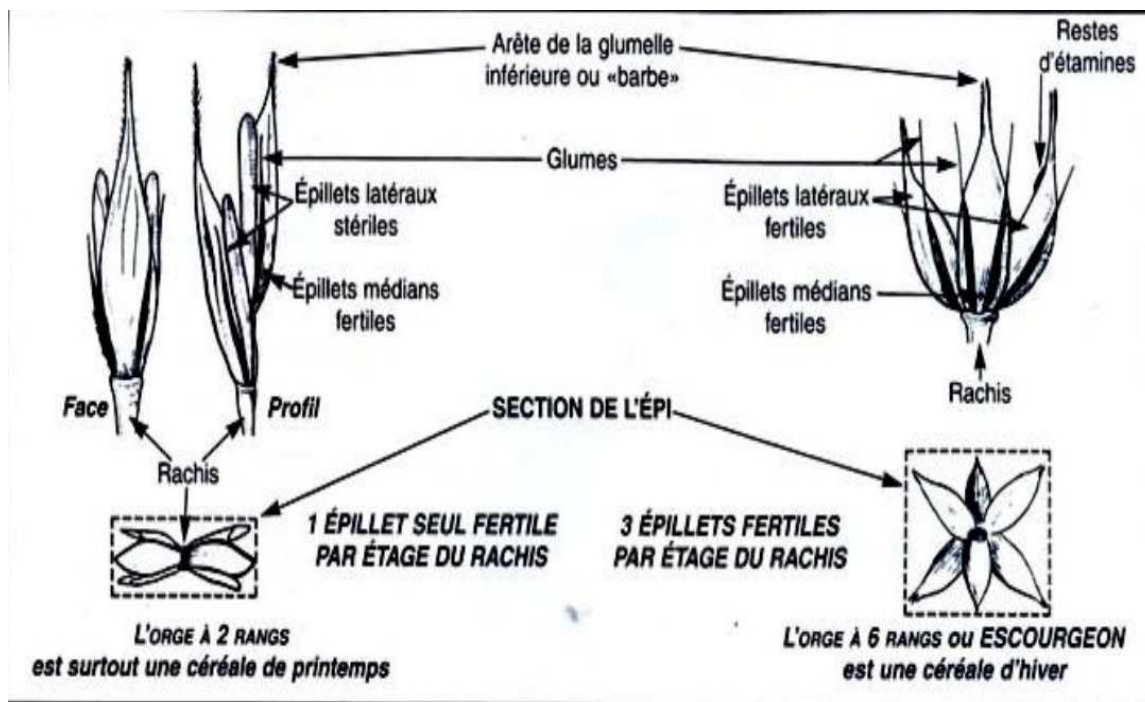


Figure 2: Distinction entre l'orge à deux rangs et l'escourgeon (Simon et al., 1989).

1. 2.3- Description morphologique de la plante :

Comme toute les plantes l'orge présente un appareil végétatif et reproducteur

1.2.3.1 Système aérien :

Les graminées sont des plantes herbacées de petite taille, la plante se développe en produisant un certain nombre d'unités. (Soltner, 1990) :

a) Talle :

formée d'une tige feuillée portant à son extrémité une inflorescence. La première talle apparue est appelée " maître-brin ".

b) Tige :

appelée (chaume) cylindriques est formée d'entre-nœuds, séparés par des nœuds, zones méristématiques à partir desquelles s'allongent les entre-nœuds et se différencient les feuilles. Chaque nœud est le point d'attache d'une feuille.

c) Feuille :

les feuilles alternées et longues, chaque feuille comprend deux parties : une partie inférieure enveloppant l'entre-nœud correspondant a (la gaine) ; et une partie supérieure qui est le limbe.

e) Graine :

attachées au niveau des nœuds, sont emboîtées les unes dans les autres et forment un tube cylindrique entourant la tige qui se déboîte au fur et à mesure de la croissance des entre-nœuds. (Soltner, 1990) voir figure 3.

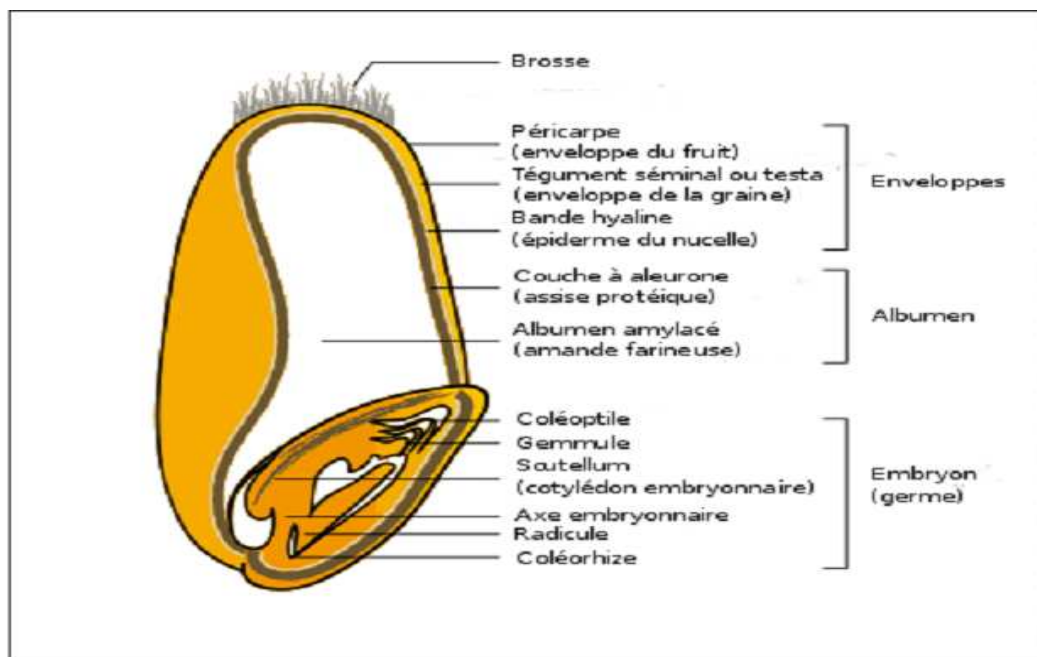


Figure 3: Anatomie et composition du grain d'orge.(Clergt, 2011).

1. 2. 3. 2- Système racinaire :

Deux systèmes se forment au cours du développement : un système primaire et un système secondaire, le premier ou système de racines séminales fonctionne de la germination à la ramification de la plantule (tallage). Les racines séminales ne restent pas longtemps fonctionnelles et sont remplacée par un système de racines adventices qui assureront la nutrition et le développement de la plante (Simon et al., 1989)

1.2.4 Cycle de développement de l'orge :

L'orge (*Hordeum vulgare* L.) est une plante annuelle herbacée, effectuant sous cycle évolutif en trois grandes périodes (période végétative, période reproductrice et période de maturation) :

1.2.4.1 La période végétative

Cette période elle-même subdivise en trois stades principaux (tableaux 2, page 10) :

- a) Phase semis-levée

La germination d'une céréale se traduit par la sortie des racines séminales de la coléorhize et, à l'opposé, par la croissance d'une préfeuille, la coléoptile. Celui-ci sert de manchon protecteur pour la première feuille qui sera fonctionnelle et percera le

sommet de la coléoptile peu après l'apparition de ce dernier au niveau du sol (Boyeldieu J. 1997)

- **b) La phase levée-début tallage**

La première feuille fonctionnelle s'allonge, puis la deuxième, jusqu'à la quatrième toute en position alterne. Celles-ci, imbriquées les unes dans les autres, partant toutes d'une zone située au proche de la surface du sol appelée plateau de tallage, constituée par l'empilement d'un certain nombre d'entre-nœuds et reliées à la semence par le rhizome (Clément, 1981). Cette période est caractérisée par le nombre de feuilles de la jeune plante et leur stade de développement (Giban et al.,2003).

- **c) La phase début tallage-début montée**

Le début du tallage (tableau 2) est marqué par l'apparition de l'extrémité de la 1ère feuille de la talle latérale puis d'autres talles naissent successivement, formant un plateau du tallage situé juste au niveau du sol. Le tallage se conclue au moment de la fin de la période végétative, elle marque le début de la phase reproductive (Hadria,2006).

1.2.4.2- Période reproductrice

Elle s'étale du tallage herbacé jusqu'à la fécondation

Le début de cette phase est marqué par une différenciation de l'ébauche d'épillet sur l'apex, c'est la transformation du bourgeon végétatif en bourgeon floral. On remarque l'apparition de deux renflements latéraux qui apparaissent sur l'épillet, ce sont les ébauches des glumes. Dès le début de la montaison, on assiste à une différenciation des pièces florales : glumelles (inférieure et supérieure), organes sexuels (étamines et stigmates) : Au stade gonflement, l'inflorescence monte en grossissement dans les gaines des différentes feuilles. Ainsi, la gaine de la dernière feuille s'allonge et gonfle. Peu après, l'inflorescence l'épi sort de la gaine de la dernière feuille : c'est le stade épiaison. La fécondation et l'anthèse suivent de quelques jours l'épiaison (Moule, 1971).









1.2.4.3- La période de maturation

Elle se situe de la fécondation à la maturité complète du grain.

Au cours de cette dernière période, l'embryon se développe et l'albumen se charge de substances de réserves. On observe une augmentation du volume et du poids des grains. La phase se termine par le stade laiteux. Ensuite, le poids frais des grains continue à augmenter alors que celui des tiges et des feuilles diminue. La phase se termine par le stade pâteux. Le grain à ce stade s'écrase en formant une pâte. Enfin, le grain devient dur et de couleur jaunâtre (Moule, 1971) .

Tableau 2: Différents stades de développement de l'orge (*Hordeum vulgare* L.)

Source: I.T.C.F., 1983 in Aït-Rachid, 1991

	Stades	Echelle de Feekes	caractéristiques
	Levée	1	1 ^{er} feuille perce le coléoptile 3 feuilles
	Début tallage	2	Formation de la 1 ^{er} talle
	Plain tallage	3	2 à 3 talles
	Fin tallage	4	
	Epi à 1 cm	5	Sommet de l'épi distance de 1 cm du plateau de tallage
	1 à 2 nœuds	6	01 nœud élongation de la tige
		7	2 nœuds
	Gonflement	8	Apparition de la feuille
	L'épi gonfle	9	Ligule juste visible
	La graine de la dernière feuille	10	Gaine de la dernière feuille sortie
	Epiaison	10-1	Sortie des barbes
		10-2	¼ épiaison
		10-3	½ épiaison
		10-4	¾ épiaison
		10-5	Tous les épis sortis
	Formation du grain	11-1	Grain laiteux
		11-2	Grain pâteux
		11-3	Grain dur
		11-4	Grain mûr

1. 3- Intérêt agronomique des principaux caractères de la plante d'orge

Les principaux caractères phéno-argo-morphologiques contribuant au rendement et à l'adaptation à la sécheresse sont synthétiquement présentés dans (tableaux 3).

Tableau 3: l'intérêt agronomique des caractères agro-morphologiques.

Caractères	Intérêt agronomique	Sources
Hauteur de la tige	-Contribution à l'élaboration du rendement : Source de réserve des assimilés pendant la phase de remplissage de grain y compris en conditions de déficit hydrique. -Caractère d'adaptation à la sécheresse	(Gâte et al. 1993)
Longueur du pédoncule de l'épi	-Contribution à la photosynthèse au cours du remplissage des grains y compris en condition de déficit hydrique. -Caractère d'adaptation à la sécheresse	
Longueur de l'épi	- Contribution à la photosynthèse au cours du remplissage des grains y compris en condition de déficit hydrique. - Caractère d'adaptation à la sécheresse	(Ali Dib et al.,1992 in Kouidri 1999)
Longueur des barbes	-Contribution à la photosynthèse au cours du remplissage des grains y compris en condition de déficit hydrique. - Caractère d'adaptation à la sécheresse	(Hadjichristodoulou, 1993)
Nombre de pieds levés	-Caractère de peuplement -Décrit les conditions climatiques défavorables (sécheresse, gelées, etc.) -Composante du rendement.	(Brisson et delacolle, 1993)
Nombre d'épis /plante	-Composante du rendement	(Ali Dib et al., 1992 in Kouidri 1999)
Nombre de grains /épi	-Composante du rendement en grain	(Bouzerzour et al. 1997)
Poids de 1000 grain	-Composante du rendement en grain - dépend directement des Réserves accumulées par la plante ainsi que la disponibilité hydrique	(Hadjichristodoulou, 1993)
Précocité à l'épiaison	-important caractères d'adaptation à la sécheresse (stress hydrique terminal)	

1.4 La culture d'orge

1.4.1 L'échelle mondiale

L'orge cultivée, (*Hordeum vulgare* L.) figure parmi les sept céréales les plus cultivées dans le monde en 2016, la production mondiale d'orge était de 145 millions de tonnes. Cela place

l'orge en quatrième position en termes de production derrière le maïs, le blé et le riz. Les principaux pays producteurs d'orge sont la Russie, l'Allemagne, la France, l'Ukraine, l'Australie et le Canada. (Figure 5). L'orge est une culture très adaptable et robuste qui est désormais cultivée dans plus de 100 pays dans le monde. Bien que principalement cultivée dans des pays tempérés, elle est également cultivée dans certaines régions tropicales. Au moins 60% de la récolte d'orge est utilisée pour l'alimentation animale, le reste étant utilisé pour la consommation humaine, principalement dans l'industrie brassicole. (Wendy A. Harwood, 2019)

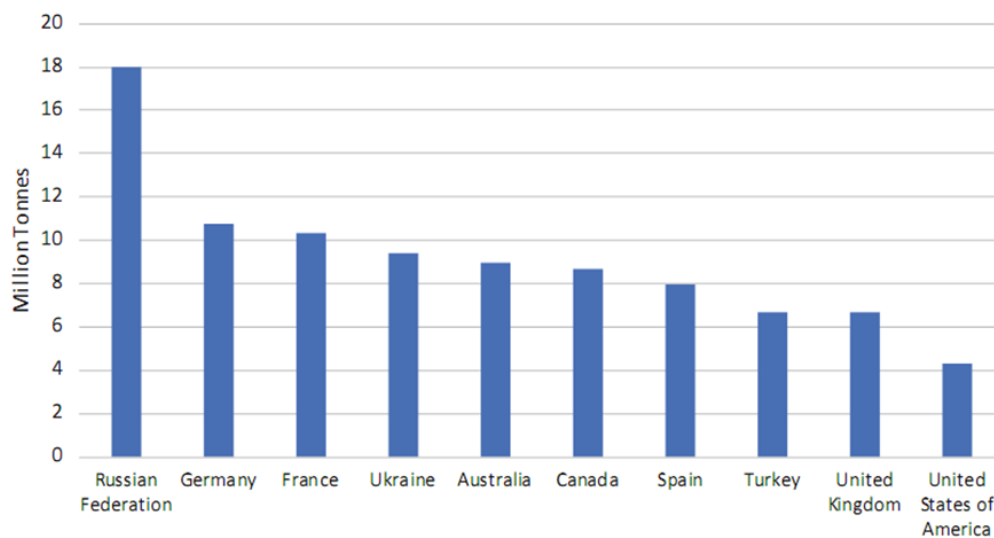


Figure 4: Production d'orge au cours de l'année 2016(<http://www.fao.org/statistics/en/>)

1.4.2 - La culture d'orge en Algérie

L'orge (*Hordeum vulgare* L.) a toujours occupé une place importante parmi les céréales en Algérie, 35% de la superficie céréalière est consacrée à la culture de l'orge qui est concentrée entre les isohyètes 250 et 450 mm (Menadet *al.*, 2011). Confrontée à des contraintes d'ordre climatiques et techniques, la production algérienne d'orge est faible et surtout variable dans l'espace et le temps (Bouzerzour et Benmahammed, 1993).

Confrontée à des contraintes d'ordre climatiques et techniques, la production algérienne d'orge est faible et surtout variable dans l'espace et le temps (Bouzerzour et Benmahammed, 1993). Cette réduction de production est due à de nombreux facteurs : l'abandon de la culture de l'orge par les agriculteurs au profit du blé, l'insuffisance et l'irrégularité de la pluviométrie, le faible potentiel des variétés cultivées et les maladies parasitaires qui provoquent chaque année des pertes considérables du rendement.

1. 5- Utilisation d'orge

A l'échelle mondiale et par ordre d'importance, l'orge est utilisée en alimentation du bétail, pour le maltage (notamment en brasserie) et en alimentation humaine. Dans les régions tropicales et subtropicales, c'est surtout pour l'alimentation humaine qu'elle est produite. En Ethiopie et en Erythrée, la plus grande partie de l'orge en grains sert à confectionner un pain local qui ressemble à une crêpe ; mais on en fait aussi bien des bouillies et des soupes que des boissons alcoolisées (Ceccarelli et Grando, 2006).

De nos jours, et particulièrement dans les pays de l'Europe de l'Est, la farine d'orge est généralement mélangée à celle du blé et d'autres céréales pour la fabrication de galettes et de pain. En Amérique du Nord et en Europe de l'Ouest, 20-25 % seulement de la production est utilisée directement pour la préparation de farine destinée à la confection de pain et d'autres mets pour l'alimentation humaine. Environ 45-50 % de la production annuelle d'orge est utilisée pour l'alimentation animale, et comme semences pour la production de l'année suivante. Près de 30 % de la production est utilisée pour la production du malt pour la fabrication de la bière et d'autres boissons alcoolisées (Ceccarelli et Grando, 1996)

En Algérie, la culture d'orge était très importante car l'orge était destinée à l'autoconsommation humaine et servait de complément fourrager pour les troupeaux dans les régions steppiques (Hakimi, 1993). Actuellement, l'orge est utilisée dans l'alimentation humaine selon les régions sous formes de galette, de couscous et de soupe (Rahal-Bouziane et Abdelguerfi, 2007). C'est une espèce fourragère importante par sa production en vert, en foin (en association avec d'autres espèces), en ensilage et par son grain et sa paille (Belaid, 1986).

Chapitre 2 : L'amélioration génétique d'orge

2.1 Historique de l'amélioration

L'amélioration génétique des plantes est aussi vieille que l'agriculture et l'on peut dire que celle-ci a commencé avec l'agriculture, au début du néolithique (8000-6000 avant J.-C.). L'homme néolithique a pratiquement domestiqué toutes les espèces végétales actuellement cultivées telle que les céréales. La première forme d'amélioration a commencé environ 10000 ans suite à de profonds changements climatiques qui ont lieu à cette époque, il est passé donc de l'état nomade à l'état sédentaire et a commencé à récolter les produits issus des plantes qu'il avait semées Gallais (2015).

L'amélioration des plantes se développe, de manière empirique, pendant des siècles, toujours avec la perspective et la promesse des moissons futures. Le choix des semences devient vite essentiel et fait évoluer les plantes cultivées. Ainsi, la domestication des céréales a orienté une sélection de plantes à épis solides et à égrenage (perte de grains) limité. La découverte de la sexualité des végétaux, vers 1700, puis de la génétique, à la fin du XIXe siècle (travaux de Mendel), puis celle de la molécule d'ADN (1953) posent les bases scientifiques de la sélection végétale (<https://www.semencemag.fr/amelioration-des-plantes-selection-varietes.html>).

L'amélioration des plantes, se base actuellement sur la création de nouvelles variétés adaptées aux besoins de l'homme et correspondant à la transformation de son information génétique et l'augmentation des fréquences en gènes qui contrôlent le caractère recherché (Boudoinet *al.*, 2002).

L'avancée des connaissances et les progrès technologiques ont depuis permis l'évolution des techniques de sélection. Ceci s'est traduit plus récemment par l'intégration des biotechnologies dans les programmes de sélection. C'est un outil supplémentaire à la disposition du sélectionneur pour repousser certaines limites rencontrées par les voies Classiques de l'amélioration des plantes. (<https://www.gnis-pedagogie.org/sujet/evolution-historique-selection/>).

Par exemple, avec les biotechnologies, il est aujourd'hui possible de disposer d'informations sur le patrimoine génétique des plantes permettant d'anticiper les résultats

potentiels des croisements entre parents. Concrètement, le sélectionneur dispose de marqueurs moléculaires qui lui permettent de repérer des caractères agronomiques dans l'ADN des plantes, concernant des aspects importantes comme le rendement ou la résistance aux maladies notamment. (<https://www.semencemag.fr/amelioration-des-plantes-selection-varietes.html>).

2. 2- Définition

D'après Gallais (2011), l'amélioration des plantes est définie comme la science de la création de variétés répondant de mieux en mieux aux besoins de l'homme. D'un point de vue génétique, elle correspond à l'ensemble des opérations qui permettent de passer d'un groupe d'individus n'ayant pas certaines caractéristiques au niveau recherché à un nouveau groupe, plus reproductible, apportant un progrès. Il s'agit de réunir dans un même individu le maximum de gènes favorables (Galais, 2002) pour aboutir à des plantes plus efficaces et mieux adaptées à leur milieu.

L'amélioration génétique des plantes vise alors au développement de populations appelées variétés, qui soient, selon les espèces et les situations, plus productives, plus résistantes aux maladies et aux insectes, valorisent mieux l'eau et l'azote, soient mieux adaptées aux milieux de culture ou conditions d'utilisation (incluant la mécanisation) et possèdent de meilleures qualités (nutritionnelles, technologique,). Gallais (2015).

2.3-Objectifs

Les objectifs de la sélection sont nombreux, généralement le premier critère évoqué est la productivité

2.3.1-Le rendement

Un des premiers objectifs de la sélection de nouvelles variétés a été l'augmentation des rendements. En sélection, la productivité représente souvent le rendement en grains. Une variété productive ne l'est en fait que par rapport à une autre variété qu'elle remplace et à laquelle elle est comparée. L'élaboration du rendement implique l'enchaînement de multiples mécanismes liés à la croissance et au développement des peuplements végétaux en relation avec les facteurs et conditions du milieu (BONJEAN *et al.*, 1990)

2.3.2-L'adaptation

L'adaptation est définie aussi comme la capacité d'une plante à croître et à donner des rendements satisfaisants dans des zones sujettes à des stress de périodicités connues (Monneveux, 1991). La notion d'adaptation se confond parfois avec celles de résistance et de tolérance au stress. Une plante adaptée est donc celle qui tolère ou résiste à un stress donné et réussit à produire à un niveau satisfaisant par rapport à une autre plante qui sera dite non adaptée (Ceccarelli, 1987).

a) L'adaptation au stress abiotique:

Les stress abiotiques sont des conditions de croissance sous-optimales causées, par exemple, par la sécheresse, l'excès d'eau, les températures extrêmes, le stress salin, les carences en minéraux et le ralentissement de la croissance ou les dommages à la suite d'une pulvérisation de produits phytosanitaires. Wang *et al.* (2003), estime qu'ils réduisent les rendements moyens de > 50% pour la plupart des principales plantes, quant à Acquah (2007), il estime qu'environ 70% de la réduction du rendement agricole est due à l'effet direct du stress abiotique.

- Résistance à la sécheresse :

La sécheresse est l'un des principaux facteurs limitants qui affecte les rendements des céréales et leurs stabilités à travers le monde et surtout le bassin méditerranéen. L'amélioration travaille à créer des variétés capables tolérer la sécheresse en maintenant leur activité métabolique lors du remplissage et la maturité du grain, soit des variétés capables d'échapper à la sécheresse durant les 2 périodes précédentes (Hanifi-mekliche et Touadi,1998).

- Résistance au froid :

La résistance au froid, chez les orges d'hiver surtout, est un problème en climat semi-continental, le froid influe négativement sur la croissance de la plante, donc tout le métabolisme de celle-ci est freiné, sinon arrêté. La stratégie la plus efficace consiste à positionner le cycle de la plante de tel sorte que le début de la phase de sensibilité au gel d'épis se réalise à une date à partir de laquelle le risque devient insignifiant. Cette stratégie est choisie par la sélection naturelle qui est opérante chez les variétés population locales. (<https://www.agri-mag.com/2019/01/cereales-a-paille-la-resistance-au-froid-un-processus-dacclimatation-progressif/>)

b) L'adaptation au milieu biotique:

Comme toutes les cultures, l'orge est attaquée par un certain nombre d'agents pathogènes, les trois principaux agents pathogènes sont des champignons, des virus et des bactéries. Chaque

pathogène cible une physiologie différente d'un stade de développement de l'orge, que ce soit le grain, la tige, la feuille etc. (Verstegen et al., 2014). Selon Brown et Caligari (2008), cultiver des cultivars qui sont génétiquement résistants aux ravageurs et aux maladies est toujours un principal objectif d'un sélectionneur des plantes. Ce qui permet de limiter les traitements phytosanitaires donc les couts pour les agriculteurs.

2.3.3-Résistance a la verse

La verse est un problème sérieux chez les céréales en générale et surtout chez l'orge, car elle provoque des dégâts sur le rendement et la qualité du grain en plus des difficultés à la récolte (Rahal-Bouziane et Abedlguerfi, 2016). La verse physiologique et la verse mécanique résultent le plus souvent de la combinaison de facteurs de différentes natures à la fois liées aux techniques culturales et au climat. Le critère de résistance à la verse a été l'un des plus cruciaux à améliorer constamment, pour permettre des étapes renouvelées d'intensification de la culture. Ceci a été possible en raccourcissant la paille, Jestin (1992). Les variétés hautes sont généralement les plus sensible à la verse.

2.3.4-La précocité

Les paramètres phénologiques d'adaptation ou bien les paramètres de précocité définissent le calage du cycle vis-à-vis des contraintes environnementales. En jouant avec ces paramètres il est possible d'éviter la coïncidence des phases critiques du cycle avec les dates d'occurrence maximales de certains accidents climatiques (hautes températures, déficit hydrique). Ils renvoient au concept d'évitement, ou d'esquive, ou de tolérance définie par Levitt (1972).

La précocité constitue un important mécanisme d'évitement. Ceci peut être réalisé soit par la voie des techniques culturales (choix de la date de semis), soit par la voie génétique (sélection de variétés précoces). La précocité à l'épiaison peut donc être utilisée comme critère de sélection pour améliorer les productions dans les zones sèches (Benlaribi, 1990 ; Ben Salem et al., 1997). Chez les céréales, la période la plus sensible au déficit hydrique élevé est celle qui va de la formation du grain de pollen (stade gonflement) à la fécondation. Tout déficit hydrique survenant à ce moment affecte le nombre de grains/épillet (Gate et al., 1990).

2.3.5-Qualité

Ce n'est que relativement récent où l'accent a été mis sur l'amélioration de la qualité de l'alimentation (Ullrich, 2002), surtout après les démonstrations scientifiques des aspects sanitaires, médicaux et nutritionnels de l'orge. Afin d'obtenir des plantes avec des caractères

souhaité et d'optimiser la qualité, les améliorateurs puisent dans les ressources génétiques (plantes cultivées, lignées traditionnelles et espèces sauvages).

2.4-Méthodes et techniques de sélection

La sélection végétale a plusieurs méthodes pratiques pour améliorer les caractéristiques de des cultures et variétés afin que celles-ci améliorent leur performance agronomique et répondent aux attentes économiques.

2.4.1- Sélection massale

La sélection massale est la forme la plus ancienne de sélection des plantes ; c'est la base de la domestication de plusieurs espèces végétales. Elle est simple et peu coûteuse. Dans la sélection massale, il suffit de choisir les plantes phénotypiquement supérieures et identiques et mélanger la semence. Cette dernière est alors semée en vrac. La sélection massale peut être également faite par simple élimination des plantes non désirables de la population. Une version améliorée de cette méthode consiste en la sélection de plantes phénotypiquement supérieures, leur semis en lignes séparées où seules les meilleures et identiques sont mélangées pour établir une nouvelle variété. Cette sélection peut être répétée durant plusieurs cycles tant que la variabilité persiste et tant qu'il y a amélioration du caractère cherché (Zahour, 1992).

2. 4.2- Sélection généalogique

La sélection de pedigree ou sélection généalogique consiste à choisir des individus dans une population hétérogène et procéder ensuite à l'étude des descendance en autofécondation en suivant la filiation généalogique de chaque individu (plante ou épis par ligne), d'où le nom de sélection généalogique (Demarly et Sibi, 1996). Zahour (1992) mentionne qu'à chaque génération, on choisit des plantes intéressantes et on suit les plantes de la génération suivante pour voir si le caractère retenu s'extériorise à nouveau et de façon homogène, cette méthode de sélection est utilisée surtout pour l'amélioration des plantes autogames.

2. 4.3- Sélection par méthode SSD

Une autre méthode largement utilisée dans les programmes de sélection de l'orge qui peut être considérée comme conventionnelle, la sélection par descendance à une seule graine ou méthode (SSD : Single Seed Décent) (Tourte, 2005). Elle a été proposée par Goulden (1939), comme procédure pour obtenir un niveau élevé d'homozygotie tout en maintenant une variation génétique maximale dans les espèces autogames ; la sélection de graines uniques de

chaque plante au fur et à mesure que les générations de F2 avancent à la valeur désirée ; le niveau d'homozygotie et la base du terme de descendance d'une graine unique.

Le but est d'obtenir des lignées à partir d'un maximum de plantes F2. Ceci permet de réduire les risques de perte des génotypes supérieurs par sélection (artificielle ou naturelle) surtout pour les caractères à faibles héritabilités tels que le rendement (Zahour, 1992). L'inconvénient majeur de la sélection SSD, est la part importante du hasard qui risque de conserver beaucoup de matériel inintéressant. Théoriquement cette méthode est celle qui garde cependant toute la variabilité génétique et peut servir de témoin de l'étendue de celle-ci (Boubekeur, 2005).

2. 4.4- Sélection conservatrice

Elle consiste à produire des semences en quantité suffisante tout en conservant les caractères génétiques originaux. La sélection conservatrice valorise la sélection créatrice et assure la diffusion de nouvelles variétés ou cultivées. C'est ainsi qu'elle élimine à chaque génération les variations pouvant apparaître, qu'il soit d'origine génétique ou d'origine accidentelle (Simon *et al.*, 1980).

2. 4. 5- Méthode BULK

Le sélectionneur laisse la population de départ F2 s'autoféconder pendant plusieurs générations ; Au cours des autofécondations successives, les différents caractères intéressants à l'état récessif peuvent s'extérioriser en devenant homozygotes. Jusqu'à ce stade, les premières générations F2. F3 etc... Sont récoltées en vrac et ressemées sans aucune identification de pedigree (aucun choix, sauf des éliminations par compétition ou par sélection naturelle) (Demarly et Sibi, 1996). L'intérêt de la stratégie est d'avoir allégé considérablement les premières générations et de reporter les choix sur les structures F4 déjà fortement homozygotes (Demarly et Sibi, 1996).

2. 4. 6- Sélection par rétrocroisement (Back- cross)

Elle a été suggérée pour la première fois par Harlan (1922), elle implique des rétrocroisements répétés avec un parent après un croisement initial avec l'intention de récupérer le parent récurrent avec la caractéristique ajoutée du parent donneur. Ce système de reproduction est bien adapté aux caractères simplement hérités et contrôlés par un ou deux gènes majeurs Kumar et al (2020) souligne que le rétrocroisement est également bien adapté au développement de lignées iso-géniques pour les études génétiques.

2. 5- Autre méthode de sélection : La mutagenèse induite

Elle est décrite comme l'exposition ou le traitement de matériel biologique à un mutagène, c'est-à-dire un agent physique ou chimique qui augmente la fréquence de mutation au-dessus du taux spontané (Rieger et al., 1976). La mutagenèse est un changement du matériel génétique. Les agents mutagènes physiques et chimiques ont été utilisés avec succès dans les programmes de sélection végétale pour générer artificiellement des variations génétiques pour le développement de nouvelles variétés aux caractéristiques améliorées telles que rendement élevé, précocité, hauteur réduite des plants et résistance aux maladies (Maluszynski, 2001). Ces dernières années, l'induction de mutations est devenue un outil puissant pour l'étude de la fonction et de l'expression des gènes (Li et al, 2001, MittelstenScheid et al, 1998).

2.5.1- Historique de la mutagenèse en sélection variétale

Les premiers travaux expérimentaux sur la mutagenèse physique réalisés en 1906 avec des rayons X ont porté sur le *datura* (Gager and Blakeslee, 1927), puis en 1928 sur le maïs et l'orge (Stadler, 1928). Après 1945, la technique se développe avec l'utilisation de particules nucléaires (rayonnements alpha, gamma avec le cobalt 60, protons...) (Gaul, 1961).

Les premiers travaux sur la mutagenèse chimique ont commencé un peu avant 1935 avec le gaz moutarde et ses dérivés (Auerbach, 1949). A la fin des années 50, H. Heslot et R. Ferrary découvrent les propriétés mutagènes de certaines substances chimiques dont le Méthane sulfonate d'éthyle (EMS), très largement utilisé depuis en mutagenèse induite et dont l'action est plus douce. (Heslot,1961)

Les techniques de mutagenèse ont été utilisées internationalement. En 2020, l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique recensait plus de 3300 variétés issues de traitement mutagène (Base de données de mutants FAO/AIEA14 (FAO/IAEA, 2018)). Ces variétés ont été commercialisées pour au moins 175 espèces (Ahloowalia *et al.*, 2004).

Dès 2000, la technique de TILLING (Targeted Induced Local Lesions In Génomes) a été proposée pour sélectionner rapidement dans une banque d'ADN des descendants d'un génotype traité avec un agent mutagène, la mutation recherchée pour un gène contrôlant l'expression du caractère d'intérêt, simplement à partir de la séquence génique. Cette sélection génotypique est suivie d'une caractérisation phénotypique des mutants identifiés. (McCallum *et al.*, 2000),

Depuis, de nouvelles technologies dont CRISPR-Cas9 se sont développées pour modifier de façon ciblée et possiblement dirigée la séquence nucléotidique d'un ou de plusieurs gènes. Celles-ci permettent de modifier le génome de variétés élités pour des caractères simples dont on connaît les déterminants génétiques, sans modifier le fond génétique et donc la valeur agronomique de ces plantes, diminuant le besoin de rétrocroisement par rapport aux techniques de mutagenèse aléatoire (<http://www.hautconseildesbiotechnologies.fr>.)

Ces nouvelles techniques permettent de réduire fortement les effectifs de plantes à phénotyper. Dans le cas d'une mutagenèse aléatoire sur graines, il faut manipuler plusieurs milliers de plantes, alors que le TILLING et CRISPR-Cas9 nécessitent de ne phénotyper que quelques plantes, à savoir les mutants identifiés sur la base de la séquence du gène pour le TILLING et les plantes directement modifiées pour CRISPR-Cas9

2.5.2- Agents mutagènes

Les agents de mutations artificielles sont appelés mutagènes. Ils sont généralement regroupés en deux grandes catégories, à savoir les mutagènes chimiques et les mutagènes physiques. (Acquaah, 2006 ; Mba et al, 2010). Traditionnellement, pour induire des mutations dans les cultures, la plante est exposée à des agents mutagènes physiques ou chimiques. La mutagenèse peut être réalisée avec tous les types de matériel de plantation il s'agit de plantes entières, généralement des plantules, et des cellules cultivées in vitro. Néanmoins, le matériel végétal le plus couramment utilisé, est la graine. (Guenzaouz Habiba Soukaina.,2018)

Les mutagènes chimiques sont utilisés de préférence pour induire des mutations ponctuelles, et ceux physiques induisent des lésions macroscopiques, telles que de aberrations chromosomiques ou des réarrangements (Kharkwalet al, 2009). Mba (2013) souligne qu'il convient de noter que la fréquence et les types de mutations sont des résultats directs du dosage et du taux d'exposition ou d'administration du mutagène plutôt que de son type. En fin de compte, le choix d'un mutagène reposera le plus souvent sur les circonstances particulières du chercheur, telles que la sécurité d'utilisation, la facilité d'utilisation, la disponibilité des mutagènes, l'efficacité à induire certaines altérations Génétiques, l'infrastructure parmi d'autres facteurs. (Guenzaouz Habiba Soukaina.,2018)

a) Agents mutagènes physiques

Les agents mutagènes physiques, principalement des rayonnements ionisants, ont été largement utilisés pour induire des aberrations héréditaires et plus de 70% des variétés

mutantes ont été développées en utilisant la mutagenèse physique (Mba, 2013 ; Mba et al, 2012). Les rayons X ont été les premiers à être utilisés pour induire des mutations.

Depuis lors, diverses particules subatomiques (neutrons, protons, particules bêta et particules Alpha) ont été générées à l'aide de réacteurs nucléaires (Acquaah, 2006). Le rayonnement Gamma du cobalt radioactif (^{60}Co) est largement utilisé, il peut être utilisé pour irradier des plantes entières et des matériaux délicats, tels que les grains de pollen et des explants *in vitro*. Divers mutants ont été développés grâce au rayonnement gamma (Mahadevappa et al, 1983). L'effet mutagène résulte principalement de cassures d'ADN double brin. Les mutants montrent un potentiel plus élevé d'amélioration de l'architecture des plantes permettant une meilleure amélioration des cultures et sont utilisés comme un outil complémentaire dans la sélection végétale (Khin, 2006).

b) Les Agents mutagènes chimiques

Les mutagènes chimiques sont utilisés de préférence pour induire des mutations ponctuelles. Les agents chimiques tels que l'éthyle-méthane sulfonate (EMS) et N-éthyle- N nistroso urea (ENU) sont les plus utilisés et il est reporté qu'ils induisent des mutations ponctuelles (McCallum *et al.*, 2000). D'autres agents tels que le bromure d'éthidium, l'acridine et les sels d'acides sont utilisés (Van Harten, 1998).

2.5.3-mutagenèse in vitro

La mutagenèse induite *in vitro* s'est développée, dans les années 1960-1970, à partir du moment où la culture *in vitro* de certaines espèces de végétaux a commencé à être maîtrisée. (La base de données de mutants de la FAO/AIEA). La mutagenèse *in vitro* a pour but de créer de la variabilité génétique supplémentaire chez les individus qui en dérivent. Elle permet, dans un espace réduit, de mutagéniser (c'est-à-dire de soumettre à des agents mutagènes) tous types d'explants qu'il serait impossible de traiter et de bouturer *in vivo* (fragments d'organes par exemple). Pour les plantes à multiplication végétative, elle permet d'accéder à des sources d'agent mutagène physique en respectant les règles d'asepsie. (www.hautconseildesbiotechnologies.fr)

La mutagenèse et l'orge

La sélection par mutation joue un rôle important dans l'amélioration du rendement et de la qualité des génotypes d'orge. La sélection par mutation est basée sur l'exploitation des variétés locales dans le but de renforcer la résistance aux maladies et aux stress biotiques et abiotiques l'augmentation de la taille des grains, et améliorer la qualité du malt et modifier les caractères

phénologiques La mutation induite dans les programmes d'amélioration des cultures a été initiée vers les années 1930, après la découverte des effets mutagènes des rayons x. Aujourd'hui, des mutagènes physiques et chimiques sont utilisés pour créer des cultivars dotés de nouveaux caractères présentant de meilleures protéines, une meilleure qualité d'amidon et une meilleure composition minérale. Le site FAO/IAEA sur les variétés mutantes répertorie 312 cultivars d'orge qui ont été produits par mutation induite(<https://mvd.iaea.org>) L'orge est également un modèle espèce modèle pour la recherche sur les mutations et l'étude des modifications du génome. Les techniques de mutation, combinées à la culture de tissus et aux méthodes moléculaires, sont des outils efficaces dans les programmes de sélection. (Wendy A. Harwood.,2019).

PARTIE EXPERIMENTALE

Chapitre 3 : Matériel et Méthodes

3. 1 Objectif de l'essai

L'objectif de cette étude est la caractérisation d'une collection de mutants d'orge à travers l'évaluation et l'analyse des caractères phéno-agro-morphologiques, et l'identification des lignées supérieures à la variété parentale cv. Plaisant.

3. 2 Localisation de l'expérimentation

L'essai a été réalisé au niveau de la station expérimentale (C.R.P Mehdi Boualem-Baraki) de l'Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie (INRAA) qui se situe à 18km du sud-est de la ville Alger. Le centre se situe en région subhumide à une latitude : 36, 68 ; longitude : 3, 11 et Altitude : 18m. Ce travail s'est étalé sur une période de 6 mois de janvier jusqu'à la fin juin 2021.

L'expérimentation a été menée dans des conditions de sécheresse en raison des conditions climatiques qui ont caractérisé cette campagne (très faibles précipitations, températures élevées).

3. 3 Matériel végétal

L'essai de caractérisation a porté sur une collection de 12 mutants d'orge ainsi que la variété parentale introduite (cv. Plaisant) dont ils sont issus (Tableau 4). Ces mutants ont été obtenus par régénération de cals irradiés à différentes doses de rayons gamma, 3 Gy, 10 Gy et 15 Gy, (source : cobalt 60/COMENA). La cal a été obtenu par culture d'embryons immatures *in vitro*. Les cals irradiées, ont été mis en régénération sur un milieu contenant une pression de sélection (25 % PEG). Les plantes régénérées ont été acclimatées en serre et ont poursuivi leur cycle de développement jusqu'à l'obtention des graines. Les graines de chaque lignée ont été suivies individuellement au cours de plusieurs années afin d'assurer la progression dans les générations et obtenir des lignées fixées à génération avancée (supérieures à la M6). Ces lignées ont été obtenues par l'équipe Amélioration Génétique de l'Orge de l'Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie.

Tableau 4: liste de génotypes évalués.

Variété parentale	Lignées mutantes	
	Code	Origine
Plaisant (PLS)	PLSm- A	IE-Cal-3Gy-2006/25% PEG/GM6-2020
	PLSm- B	IE-Cal-3Gy-2006/25% PEG/GM6-2020
	PLSm- C	IE-Cal-3Gy-2006/25% PEG/GM6-2020
	PLSm- D	IE-Cal-3Gy-2006/25% PEG/GM6-2020
	PLSm- E	IE-Cal-3Gy-2006/25% PEG/GM6-2020
	PLSm- F	IE-Cal-3Gy-2006/25% PEG/GM6-2020
	PLSm- G	IE-Cal-3Gy-2006/25% PEG/GM6-2020
	PLSm-H	IE-Cal-10Gy-2006/25% PEG/GM6-2020
	PLSm- J	IE-Cal-10Gy-2006/25% PEG/GM6-2020
	PLSm-K	IE-Cal-15Gy-2006/25% PEG/GM12-2020
	PLSm-L	IE-Cal-15Gy-2006/25% PEG/GM12-2020
	PLSm- M	IE-Cal-15Gy-2006/25% PEG/GM12-2020

3.4 Dispositif expérimentale

L'essai a été semé, à la main, le 24.12.2020 en bloc aléatoire complet à trois répétitions (Figure,08). Chaque bloc comprenait les 13 génotypes, chacun semé sur une micro- parcelle de 0.6 m² (4 lignes de 1m et 15 cm entre lignes). Quatre (4) lignes ont été laissées entre chaque micro-parcelle (figure 9 page 31).

3.5 Soins culturaux

3.5.1 Désherbage

Un désherbant chimique a été appliqué le 16.02.2021 au stade début tallage avec un mélange d'Axial et de Super Dialen à raison d'un (01) litre à l'hectare. Puis tout au long de la culture, un désherbage manuellement a été assuré dès l'apparition d'adventices.

3.5.2 Fertilisation

Un apport de NPK 15.15.15 à raison de 1 q/ha a été effectué le 18/03/2021 au stade épiaison.

3. 6 Observations en champ :

Au cours de l'expérimentation, un certain nombre de caractères ont été suivis (Figure 05) pour chacun des génotypes au niveau de chaque mi, Il s'agit de :

- a) les caractères phénologiques : la date de levée, la date de montaison, la date d'épiaison et la date de maturité. Ces caractères sont notés, par la durée écoulée entre la date du semi et la date de l'atteinte du caractère considéré par 50 % des plantes d'un même génotype.
- b) Un caractère agronomique : le nombre de plants levé .
- c) Le comportement des génotypes vis -à - vis des maladies
- d) La pigmentation anthocyanique des oreillettes



a) Levée



b) Tallage



c) Montaison



d) Epiaison



e) Maturité

Figure 5: Les stades végétatifs de la culture.

3.7 La Récolte

La récolte a été effectuée à maturité complète du grain, du 09 mai au 03 juin. Celle-ci s'est faite manuellement par l'arrachage des plantes entières, toutes les plantes contenues dans la micro parcelle ont été récoltées et soigneusement ensachées (Figure 06).



Figure 6: Sacs récoltés .

3.8 Caractères mesurés après récolte

Les mesures ont été effectuées sur quinze (15) plantes par génotype, à raison de cinq plantes par micro parcelle de chaque bloc (05* 3 répétitions/3 blocs).

Pour l'ensemble des mesures effectuées sur les génotypes, les cinq plantes ont été prises au hasard à partir de la récolte de chaque micro parcelle.

L'ensemble des caractères et des procédures de mesures sont donnés dans ce qui suit :

3.8.1 Caractères morphologiques

Les caractères morphologiques ont été mesurés sur les maitres brins, un total de 195 maitres-brins a été mesuré, soit 15 mètres brins pour chaque génotype (figure 7,8).

a) Hauteur tige

La hauteur (cm) est considérée comme étant la longueur depuis le collet jusqu'à la base de l'épi.

b) Longueur de l'épi

La longueur de l'épi du maitre-brin (cm) est mesurée à partir de la base de l'épi jusqu'à son extrémité.

c) Longueur des barbes

La longueur des barbes (cm) est mesuré à partir de l'extrémité supérieure de l'épi jusqu'à celle des barbes.

d) La longueur de la plante

La longueur de la plante mesure la longueur de la tige à laquelle est additionnée celle de l'épi (sans barbe).

e) Longueur du pédoncule

La longueur du dernier entre nœuds (cm) est mesurée à partir de l'avant dernier nœud jusqu'au dernier nœud.

f) Longueur col d'épis

La longueur du col de l'épi est mesurée à partir de la dernière feuille jusqu'au point d'insertion de l'épi .

g) Nombre de nœud

Comptage du nombre de nœuds du maitre-brin.

h) Nombre d'entre nœud

Comptage du nombre d'entre nœuds du maitre brin .

i) Compacité de l'épi du maitre brin

La compacité de l'épi (CE) est la longueur moyenne des espacements des articles du rachis de l'épi, elle est exprimée en (mm). Elle est donnée par la formule suivante (UPOV, 1994).

$$CE = L/N$$

L = longueur du tiers moyen du rachis

N = nombre des articles

3. 8. 2 Caractères agronomiques

a) Poids des grains par plante

Pour chaque plante, les épis ont été coupés, égrenés, puis les graines pesées.

b) Nombre d'épis par plante

Comptage du nombre d'épis par plante.

c) Nombre de grains par épi

Le nombre de grains par épi a été déterminé après égrenage manuel des épis des mètres brins.

d) Biomasse aérienne par plante

La plante est pesée entièrement.

e) Rendement en paille

Après avoir déterminé la biomasse aérienne ainsi que le poids des graines, le rendement en paille exprimé en (g) est déduit par la formule :

Rendement en paille = Biomasse aérienne de la plante - Poids des graines de la plante.

f) Indice de récolte

Cet indice nous permet de connaître la part du rendement en grain d'une variété donnée par rapport à son rendement total en matière sèche.

Cet indice est estimé à partir de la formule suivante :

Indice de récolte (%) = (Rendement en grains / Biomasse aérienne) x 100 .

g) Poids des grains par épi

Cette mesure consiste à peser les grains de chaque épi.

h) Poids milles grains

Composante du rendement en grain et dépend directement des Reserves accumulées par la plante ainsi que la disponibilité hydrique .



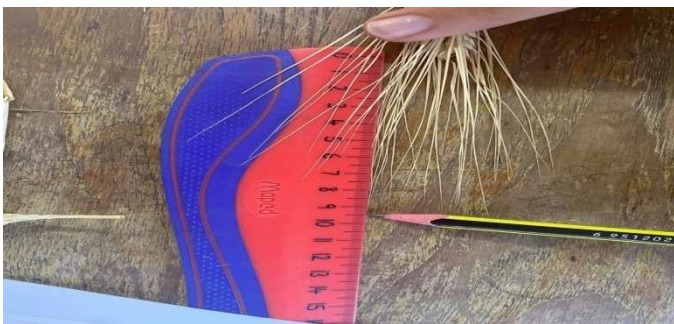
Figure 7: Détermination du rendement en biomasse aérienne par plant (INRAA 2021).



Prendre les mesures de la tige (INRAA 2021) .



Prendre les mesures de l'épis (INRAA 2021) .



Prendre les mesures des barbes (INRAA2021) .



Décorticage d'épis (INRAA 2021) .

Figure 8: Mesure des caractères morphologiques (INRAA 2021).

3.9 Traitement statistique des données :

Pour le traitement statistique nous avons utilisé le logiciel : STATISTICA (version 7.0, 2007 Stat Soft. USA). Une analyse de la variance a été effectuée pour tester l'effet génotype pour chaque caractère traité. La comparaison des moyennes des génotypes au témoin (le parent) a été effectuée par le test de Dunnett. Tous les tests ont été effectués au seuil α de 5 %

B3	PLSm-F 1	PLSm-L 2	PLSm-B 3	PLSm-D 4	PLSm-G 5	PLSm-H 6	PLSm-K 7	PLSm-C 8	PLSm-M 9	PLSm-J 10	PLS 11	PLSm-A 12	PLSm-E 13
B2	PLSm-H 1	PLSm-J 2	PLSm-C 3	PLSm-L 4	PLSm-M 5	PLS 6	PLSm-D 7	PLSm-A 8	PLSm-B 9	PLSm-K 10	PLSm-E 11	PLSm-F 12	PLSm-G 13
B1	PLSm-A 1	PLSm-B 2	PLSm-G 3	PLSm-K 4	PLSm-L 5	PLSm-C 6	PLSm-F 7	PLSm-J 8	PLSm-E 9	PLSm-H 10	PLSm-M 11	PLS 12	PLSm-D 13

Figure 9: dispositif expérimental.

Chapitre 4 : Résultats et discussions

Résultats

4. 1- Observations en champ

Pour les caractères phénologiques, hormis l'épiaison, les autres caractères n'ont pas été exploités dans le présent travail, il en est de même pour le nombre de plants levé. Ceci, en raison à certaines données manquantes.

Pour le suivi du comportement des lignées vis-à-vis des maladies, celles-ci sont montrées tolérantes, ainsi très peu de symptômes de maladies cryptogamiques ont été notés. Cependant, certaines lignées ainsi que les variétés parentales ont donné des plants atteints par la jaunisse naissante.

Enfin, contrairement à la variété parentale, la plupart des lignées mutantes ont montré une pigmentation anthocyanique des oreillettes.

- **Nombre de jours du semis à l'épiaison (NJSE)**

L'analyse de la variance du nombre de jours semis-épiation (Tableau 5, page 35) révèle une différence très hautement significative entre les génotypes ($P = 0,0000$).

Les mutants **PLSM-A**, **PLSM-C**, **PLSM-E** et **PLSM-F** sont les génotypes les plus précoces parmi le groupe de mutants avec un NJSE égale à **104 jours**. Toujours parmi les mutants, le génotype le plus tardif est PLSM- M129 jours (Figure 10).

Cependant, le parent Plaisant est le génotype le plus tardif avec une durée pour l'épiaison de 158 jours. En effet, le test de Dunnett révèle (Tableau 6, page 36) une différence significative entre l'ensemble des mutants et le parent Plaisant et établit ainsi que ces derniers sont tous précoces par rapport à leur parent Plaisant.

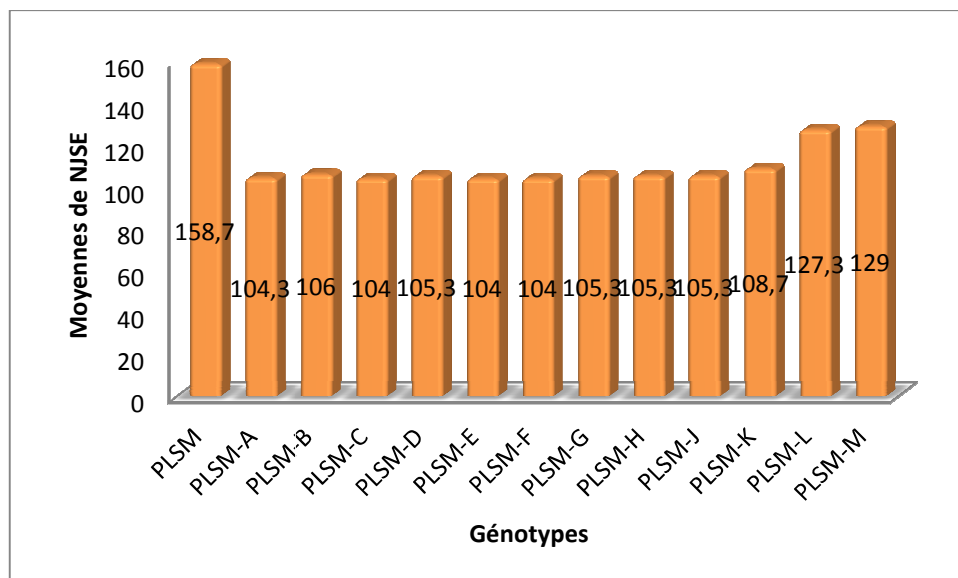


Figure 10: Moyennes du nombre de jours semis-épiaison (NJSE) des génotypes.

4. 2- Caractères mesurés après récolte

4. 2. 1- Caractères morphologiques

a) Hauteur de la tige (HT) (cm) :

L'analyse de la variance de la hauteur de la tige des mutants et du parent Plaisant (Tableau 5, page 3535), révèle une différence très hautement significative entre les génotypes étudiés ($p= 0,0004$).

Le mutant **PLSM-E** présente la hauteur moyenne de la tige la plus élevée (66,9cm), les valeurs les plus faibles ont été obtenues par la variété parentale **Plaisant** (45,1cm) et le mutant **PLSM-M** (44,4cm) (Figure 11).

L'analyse Post hoc faite par le test Dunette a montré qu'il existe une différence significative pour le caractère (HT) entre la variété parentale et quatre mutants **PLSM-E, PLSM-C, PLSM-A, PLSM-B**, qui se montrent significativement supérieurs au parent avec respectivement une hauteur de 66,9 ; 66,3 ; 64,1 et 61,9cm. Le reste des mutants ne montrent aucune différence de hauteur avec le parent (Tableau 06, page 36).

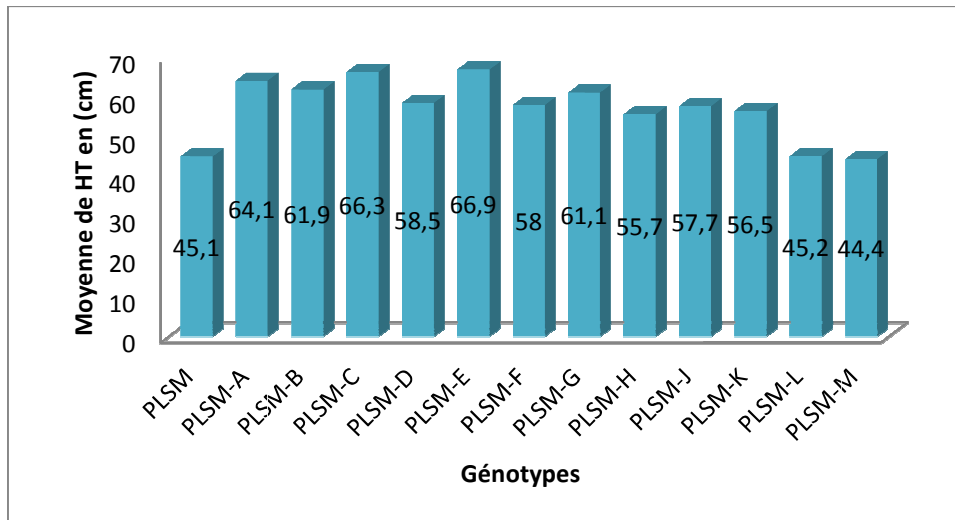


Figure 11: Moyennes de la hauteur de la tige des génotypes

b) Longueur de l'épi

Longueur de l'épi (LE) (cm)

L'analyse de la variance de la longueur de l'épi des mutants et du parent Plaisant révèle une différence très significative entre les génotypes étudiés ($p= 0,0068$), les résultats sont représentés dans le tableau 05.

PLSM-L et **PLSM-M** présentent les hauteurs moyennes des tiges les plus élevées avec respectivement (7,3cm), (7,2 cm) respectivement ; les valeurs les plus faibles obtenus par la variété parentale **Plaisant** (7,3cm) et le mutant **PLSM-G** (4,7cm) (**Figure 12**).

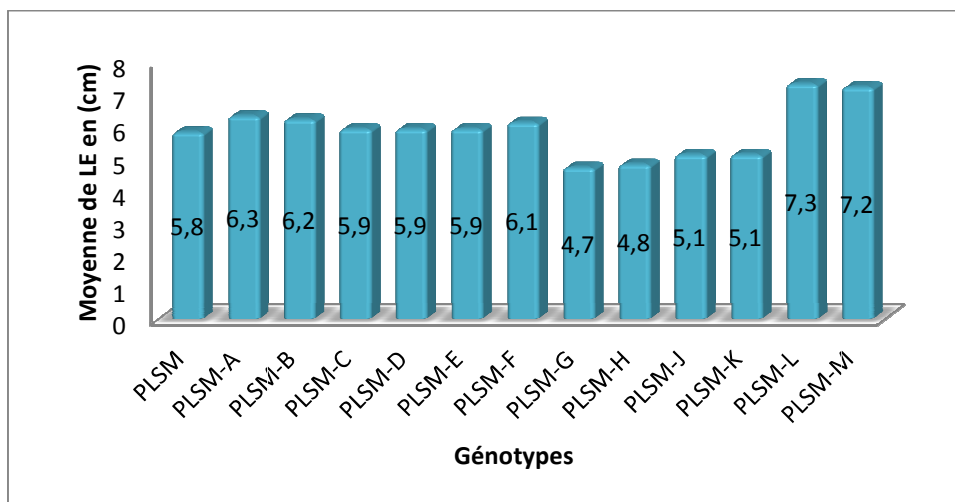


Figure 12: Comparaison de la moyenne de longueur de l'épi des génotypes.

Tableau 5: Analyse de la variance effectuée sur les données relatives à 18 caractères agro-morpho-phrénologiques d'un essai de 13 géotypes d'orge (12 mutants et 1 parent) conduit sur le site de la station expérimentale INRAA Mehdi Boualem- Baraki-Alger

Source de variation	ddl	Carrés moyens																
		NJSE (j)	HP ¹ (cm)	HT ¹ (cm)	LE ¹ (cm)	LB ¹ (cm)	LDP ¹ (cm)	NN ¹	NEN ¹	NG/E ¹	PG/E ¹ (g)	CE ¹ (mm)	NE/P ²	PG/P ² (g)	PP/P ² (g)	BA/P ² (g)	IR (%)	PMG (g)
Géotype	12	791,9 ^{***}	166,3 ^{**}	180,3 ^{***}	1,87 ^{**}	1,21 ^{NS}	55,41 ^{***}	0,06 ^{NS}	0,06 ^{NS}	95,5 ^{NS}	0,54 ^{***}	0,26 ^{**}	43,96 ^{***}	129,0 ^{***}	200,4 ^{***}	413,0 ^{**}	42,31 ^{**}	94,0 ^{***}
Bloc	2	1,1 ^{NS}	6,9 ^{NS}	10,3 ^{NS}	0,52 ^{NS}	1,26 ^{NS}	4,01	0,04 ^{NS}	0,07 ^{NS}	66,1 ^{NS}	0,18 ^{NS}	0,01 ^{NS}	2,49 ^{NS}	22,1	0,6	22,6	1,44	17,2
Erreur résid	24	3,4	44,0	36,3	0,58	0,76	7,00	0,07	0,08	68,0	0,12	0,06	7,97	30,4	37,4	119,0	10,44	9,8
F (géotype)		234,3 ^{***}	3,78 ^{**}	4,97 ^{***}	3,24 ^{**}	1,59 ^{NS}	7,91 ^{***}	0,87 ^{NS}	0,80 ^{NS}	1,40 ^{NS}	4,54 ^{***}	4,19 ^{**}	5,51 ^{***}	4,24 ^{**}	5,35 ^{***}	3,47 ^{**}	4,05 ^{**}	9,62 ^{***}
P (géotype)		0,0000	0,0027	0,0004	0,0068	0,1617	0,0000	0,5821	0,6510	0,2310	0,0008	0,0014	0,0002	0,0013	0,0002	0,0046	0,0017	0,0000
MG ³		113	62,9	57,0	5,9	10,2	22,9	5,1	4,1	55,0	2,0	3,3	11,3	14,3	25,5	39,8	14,3	35,9
CVR ⁴		1,6	10,5	10,6	12,9	8,6	11,6	5,9	6,8	15,0	17,2	7,6	24,9	38,5	24,0	27,4	22,6	8,7
R²(multiple)		0,99 ^{***}	0,66 ^{**}	0,71 ^{***}	0,63 [*]	0,48 ^{NS}	0,80 ^{***}	0,33 ^{NS}	0,32 ^{NS}	0,44 ^{NS}	0,71 ^{**}	0,68 ^{**}	0,71 ^{***}	0,69 ^{**}	0,73 ^{***}	0,64 [*]	0,67 ^{**}	0,83 ^{***}

*, **, *** significatifs à p<0,05, p<0,01 et p<0,001 respectivement. NS : non significatif au seuil de 5%. **ddl** : degré de liberté. **R²(multiple)**=coefficient de détermination. **NJSE** = Nombre de jours semis-épiaison ; **1** : **Caractères mesurés sur maître-brin** ; **HP** = Hauteur de la plante ; **HT** = Hauteur de la tige ; **LE**= Longueur de l'épi ; **LB**= Longueur des barbes ; **LDP** = Longueur du pédoncule ; **NN**= Nombre de nœuds ; **NEN** =nombre d'entre-nœuds ; **NG/E**= Nombre de grains par épi ; **PG/E**= Poids des grains par épi. **CE**= Compacité de l'épi. **2** : **Caractères mesurés sur la plante** ; **NE/P**=Nombre d'épis par plante ; **PG/P**=Rendement en grains par plante ; **PP/P**=Rendement en paille par plante ; **BA/P**=Rendement biologique par plante. **IR**= indice de récolte. **PMG**= Poids de mille grains. **3**=Moyenne générale de l'essai ; **4**=Coefficient de variation résiduel

Tableau 6: Comparaison phénotypique entre un groupe de mutants en M6 et leur variété parentale pour les caractères phéno-morphologiques

Géotypes	Caractères									
	NJSE (j)		HP (cm)	HT (cm)	LE (cm)	LB (cm)	LDP (cm)	NN	NEN	CE (mm)
	m±se ¹	D ²	m±se	m±se	m±se	m±se	m±se	m±se	m±se	m±se
Plaisant (P)	158,7±1,3		50,9±1,8	45,1±1,7	5,8±0,3	10,3±0,5	16,0±0,1	5,4±0,1	4,4±0,2	3,3±0,1
PLSM-A-3Gy	104,3±0,3	-54***	70,4±5,6* ⁺	64,1±5,3** ⁺	6,3±0,5	10,6±0,1	27,5±2,4*** ⁺	5,2±0,1	4,3±0,2	3,0±0,1
PLSM-B-3Gy	106,0±2,0	-53***	68,0±0,2* ⁺	61,9±0,0* ⁺	6,2±0,2	10,1±0,2	25,9±0,1** ⁺	5,0±0,0	4,0±0,0	3,0±0,1
PLSM-C-3Gy	104,0±0,0	-55***	72,2±2,7** ⁺	66,3±2,5** ⁺	5,9±0,2	10,0±0,1	23,9±1,5* ⁺	5,0±0,1	4,0±0,1	3,2±0,0
PLSM-D-3Gy	105,3±1,3	-53***	64,4±4,6	58,5±4,1	5,9±0,6	10,4±0,4	24,6±2,1** ⁺	5,1±0,1	4,1±0,1	3,2±0,2
PLSM-E-3Gy	104,0±0,0	-55***	72,8±1,4** ⁺	66,9±1,4** ⁺	5,9±0,1	10,8±0,5	26,3±1,7*** ⁺	5,1±0,1	4,1±0,1	3,0±0,2
PLSM-F-3Gy	104,0±0,0	-55***	64,1±3,8	58,0±3,3	6,1±0,5	10,4±0,1	22,3±2,3	4,9±0,2	3,9±0,2	3,2±0,1
PLSM-G-3Gy	105,3±1,3	-53***	65,8±2,1	61,1±2,3	4,7±0,3	10,8±0,5	25,7±1,3** ⁺	5,1±0,1	4,1±0,1	3,3±0,2
PLSM-H-10 Gy	105,3±1,3	-53***	60,5±7,0	55,7±6,5	4,8±0,5	8,4±1,5	24,6±1,0** ⁺	5,1±0,2	4,1±0,2	3,0±0,1
PLSM-J-10 Gy	105,3±1,3	-53***	63,1±4,1	57,7±3,9	5,4±0,3	10,4±0,1	23,0±2,0* ⁺	5,1±0,2	4,1±0,2	3,1±0,1
PLSM-K-15 Gy	108,7±0,7	-50***	61,6±1,1	56,5±0,9	5,1±0,3	9,8±0,2	25,7±1,1** ⁺	4,9±0,1	3,9±0,1	3,3±0,1
PLSM-L-15 Gy	127,3±0,7	-31***	52,5±5,1	45,2±4,2	7,3±0,9	9,6±0,5	13,7±0,8	4,9±0,3	3,9±0,3	4,0±0,1* ⁺
PLSM-M-15 Gy	129,0±0,0	-30***	51,6±0,8	44,4±0,5	7,2±0,3	10,7±0,1	18,1±0,3	5,0±0,0	4,0±0,0	3,7±0,1

*, **, *** significatifs à p<0,05, p<0,01 et p<0,001 respectivement. d'après le test de Dunnet au seuil de 5%. (1)=les valeurs présentées sont la moyenne ± erreur standard. (2)=différence par rapport au parent. (+)=moyennes significativement supérieures au témoin d'après le test de Dunnet au seuil de 5%

c) Longueur des barbes (LB) (cm)

L'analyse de la variance des résultats de la longueur des barbes n'a révélé aucune différence significative entre les génotypes étudiés ($p=0,1617$) (tableau 05).

La plus grande moyenne pour le caractère longueur de barbes est enregistrée par les mutants **PLSM-E** et **PLSM-G** avec une valeur de 10,8 cm. La valeur la plus faible a été enregistrée par le génotype **PLSM-H** (8,4cm) (Figure 13).

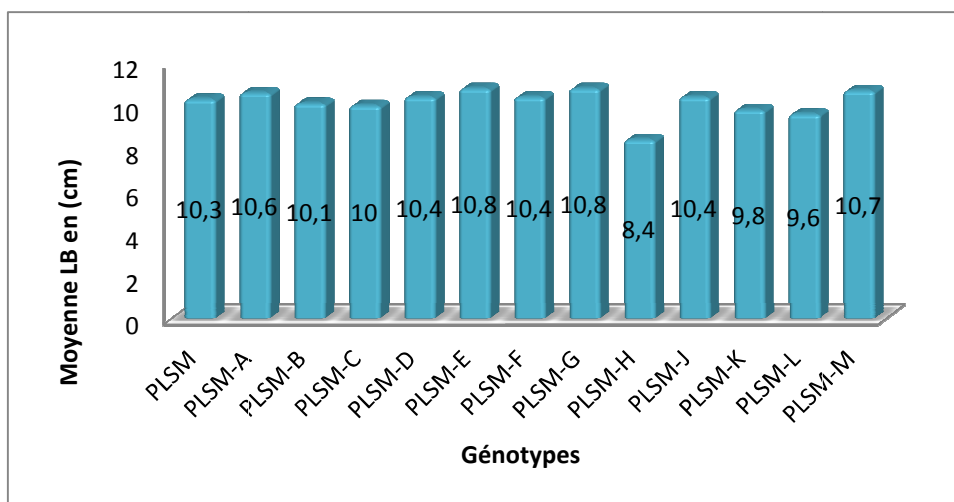


Figure 13: Moyenne de la longueur des barbes des génotypes.

d) Hauteur de la plante (HP) (cm)

L'analyse de la variance de la hauteur des plantes des différents génotypes révèle une différence très significative ($p= 0,0027$) (Tableau 5, page 35).

La plus grande moyenne pour ce caractère est enregistrée par les génotypes **PLSM-E** (72,8cm) et **PLSM-A** (70,4 cm). La valeur la plus faible a été enregistrée par la variété parentale **Plaisant** (50.9 cm) (Figure 14).

L'analyse Post hoc faite par le test Dunette a montré qu'il existe une différence significative pour le caractère (HP) entre la variété parentale et les mutants **PLSM-E**, **PLSM-C**, **PLSM-A** et **PLSM-B** qui se montrent significativement supérieurs à ce dernier. Aucun mutant ne s'est révélé significativement inférieur au parent pour ce caractère (Tableau 6, page 36).

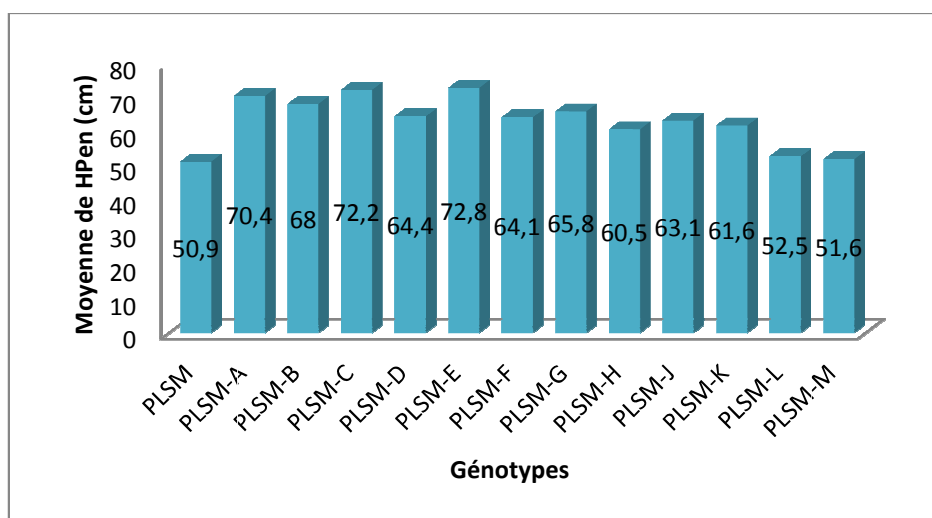


Figure 14: Moyenne de la hauteur de la plante des génotypes.

e) Longueur du pédoncule (LDP) (cm)

L'analyse de la variance des résultats relatif à la longueur du pédoncule révèle une différence très hautement significative entre les génotypes avec **P= 0,0000** (Tableau 5, page 35).

PLSM-A présente la longueur moyenne du pédoncule la plus élevée (27,5 cm), la valeur la plus faible est notée chez **PLSM-L** (13,7cm).

L'analyse Post hoc faite par le test Dunnett a montré qu'il existe une différence significative pour le caractère (LDP) entre le parent et les génotypes **PLSM-A, PLSM-E, PLSM-B, PLSM-G, PLSM-K, PLSM-D, PLSM-H, PLSM-C** et **PLSM-J** qui se sont montrés significativement supérieur au parent pour ce caractère. Aucun mutant ne s'est montré inférieur au parent pour ce caractère (Tableau 6, page 36).

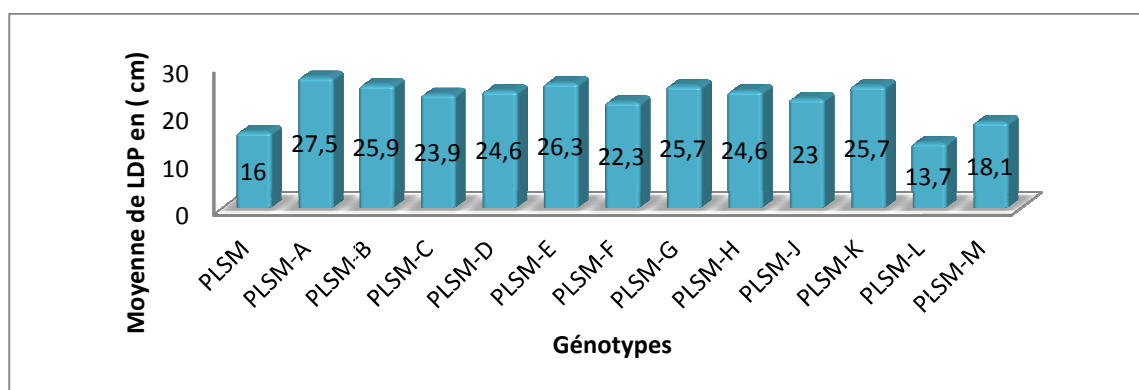


Figure 15: Moyenne de la longueur du pédoncule (LDP) des génotypes.

f) Nombre de nœuds (NN)

L'analyse de la variance des résultats relatif au nombre de nœuds n'a révélé aucune différence significative entre les génotypes ($P= 0,5821$), les résultats sont représentés dans le tableau 05.

La plus grande moyenne pour le caractère nombre de nœuds est enregistrée par la variété parentale **Plaisant** de valeur 5,4 (Figure, 16).

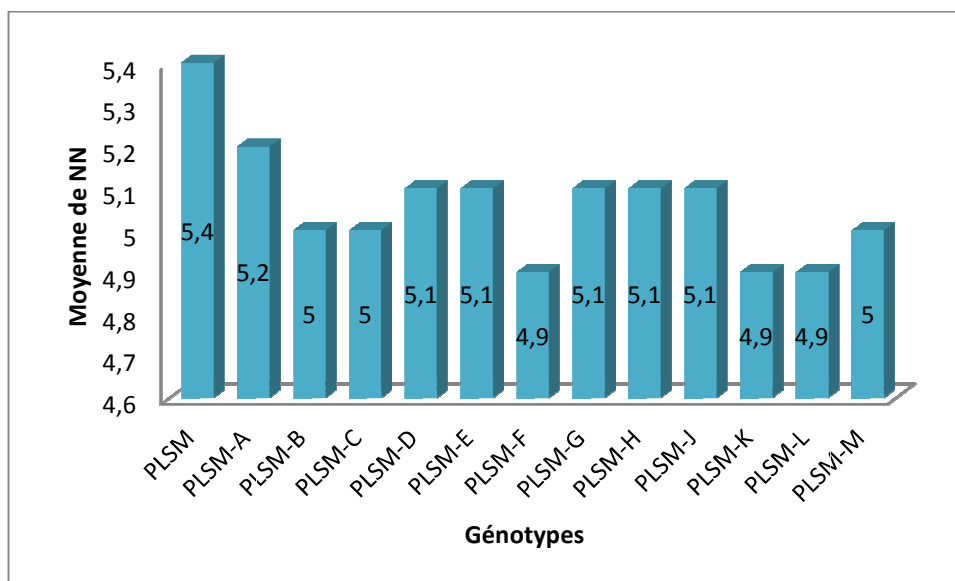


Figure 16: Moyenne du Nombre de nœuds des génotypes.

g) Nombre d'entre-nœuds (NEN)

L'analyse de la variance des résultats relatif au nombre d'entre nœuds n'arévélé aucune différence significative entre les génotypes pour ce caractère ($P =0,6510$), les résultats sont représentés dans le tableau 5.

La plus grande moyenne pour le caractère nombre d'entre nœuds est enregistrée chez la variété parentale **Plaisant PLS** de valeur 4,4(Figure,17).

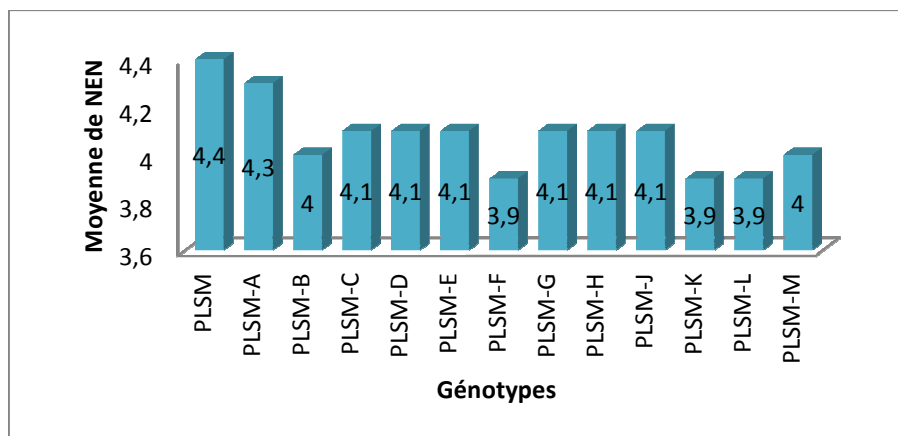


Figure 17: Moyenne du nombre d’entre nœuds des génotypes.

h) Compacité de l’épi (CE)

L’analyse de la variance du caractère compacité de l’épi a révèlé une différence hautement significative entre les génotypes avec une probabilité de 0,0014, les résultats sont représentés dans le tableau 5, page 35.

La plus grande moyenne pour ce caractère a été enregistré chez les mutants **PLSM-L** avec une valeur 4 (Figure, 18).

L’analyse Post hoc faite par le test Dunnet a mis en évidence une supériorité significative du mutant **PLSM-L** vis-à-vis du parent pour ce caractère. Aucun mutant ne s’est montré inférieur au parent pour ce caractère (Tableau 6, page 36).

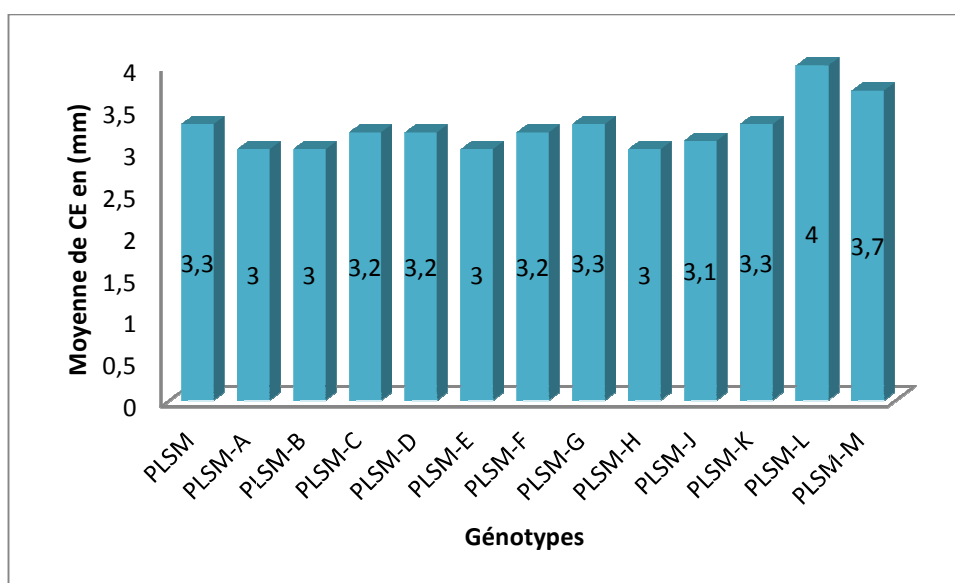


Figure 18: Compacité moyenne de l’épi des génotypes.

4. 2. 2- Caractères agronomiques

a) Nombre d'épis par plante NE/P

Les résultats de l'analyse de variance relèvent une différence très hautement significative entre les génotypes pour le caractère nombre d'épis par plante (NE/P), avec une probabilité est 0,0002, les résultats sont consignés dans le tableau 5, page 35 .

La plus grande valeur pour le caractère (NE/P) a été enregistrée par le mutant **PLSM-C** qui était de 15,5. La valeur la plus faible a été obtenue par le mutant **PLSM-M** (2,5) (Figure 19.)

L'analyse Post hoc par le test Dunnett a mis en évidence la supériorité des mutants **PLSM-B, PLSM-C et PLSM-D** par rapport au parent **Plaisant**. Ce test a également montré qu'aucun mutant n'était inférieur au parent pour ce caractère (Tableau 7, page 42).

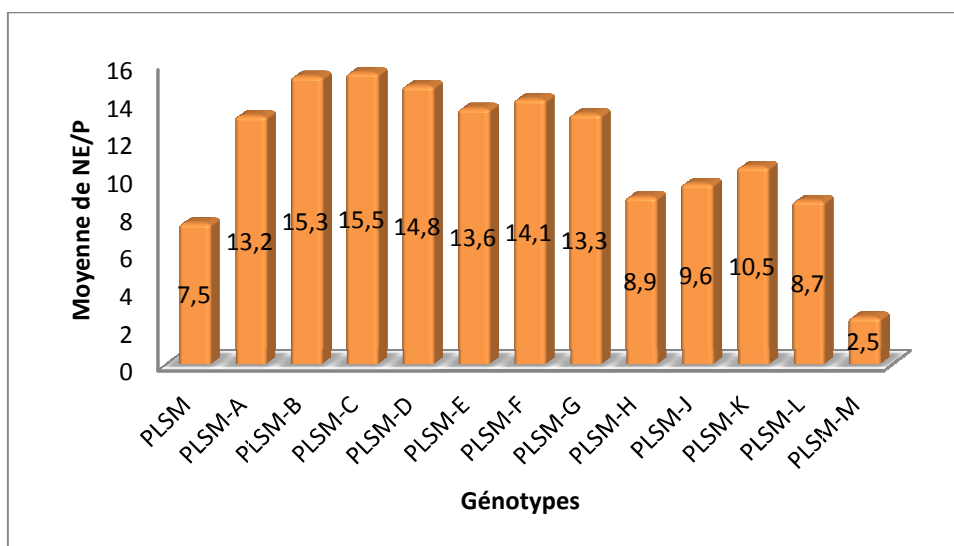


Figure 19: Moyenne du nombre d'épis par plante des génotypes.

Tableau 7: Comparaison phénotypique entre un groupe de mutants et leur variété parentale pour les caractères agronomiques de rendement

Génotypes	Caractères													
	NG/E	PG/E(g)		NE/P		PG/P (g)		PP/P (g)		BA/P (g)	IR(%)		PMG (g)	
	m±se ¹	m±se	D (%) ²	m±se	D (%)	m±se	D (%)	m±se	D (%)	m±se	m±se	D (%)	m±se	D (%)
Plaisant (P)	51,2±4,0	1,4±0,1		7,5±1,2		5,3±0,8		28,0±5,0		33,3±5,8	16,0±0,6		26,1±1,1	
PLSM-A	61,4±7,8	2,3±0,2	+39,7*	13,2±0,3	+43,3	18,3±3,8	+71,2*	25,1±1,6	-10,2	43,5±4,2	13,3±1,2	-17,0	37,5±2,1	+43,4**
PLSM-B	61,1±3,2	2,0±0,1	+30,8	15,3±0,1	+51,1*	17,2±0,5	+69,3	25,3±0,8	-9,6	42,5±0,3	11,3±0,3	-29,3	32,5±0,1	+24,3
PLSM-C	61,3±3,3	2,7±0,2	+48,3***	15,5±2,6	+51,8*	23,4±4,7	+77,4***	33,3±3,0	+18,9	56,7±7,2	15,0±2,1	-6,1	43,0±2,4	+64,6***
PLSM-D	60,8±5,5	2,4±0,3	+41,7*	14,8±1,7	+49,4*	21,1±4,9	+75,0*	27,0±4,2	-3,5	48,1±9,1	16,5±1,8	3,0	37,9±2,5	+45,0**
PLSM-E	59,2±2,9	2,5±0,3	+44,2***	13,6±0,4	+44,9	20,2±1,3	+73,8*	29,9±3,9	+6,9	50,1±5,1	13,7±1,7	-14,1	41,7±1,9	+59,5***
PLSM-F	56,5±3,3	2,3±0,3	+41,0	14,1±2,1	+47,0	20,0±2,9	+73,6*	25,6±3,2	-8,5	45,6±6,1	14,3±1,7	-10,3	40,4±2,5	+54,5***
PLSM-G	44,4±3,6	1,4±0,1	+3,7	13,3±0,7	+43,6	14,3±0,9	+63,0	21,6±2,3	-22,8	35,9±3,4	10,2±0,9	-36,2	31,5±1,4	+20,5
PLSM-H	51,7±5,1	1,9±0,2	+29,2	8,9±2,3	+15,5	11,9±4,1	+55,6	16,7±3,1	-40,4	28,3±7,4	9,7±1,3	-39,1	37,4±2,2	+43,2**
PLSM-J	53,7±3,9	2,3±0,3	+40,3*	9,6±1,9	+22,0	14,4±4,6	+63,2	21,0±3,6	-25,0	35,4±8,1	11,2±1,2	-30,0	42,8±1,0	+63,7***
PLSM-K	47,5±3,6	1,8±0,2	+22,6	10,5±1,6	+28,9	10,0±2,7	+47,1	20,5±4,4	-26,8	30,5±6,6	12,7±2,2	-20,3	37,5±1,2	+43,4**
PLSM-L	54,4±8,9	1,6±0,4	+12,4	8,7±2,3	+13,8	8,0±3,3	+34,2	45,4±4,6	+62,2*	53,4±7,7	23,7±1,7	+23,7*	28,2±2,8	+7,8
PLSM-M	51,2±0,7	1,6±0,0	+14,1	2,5±0,7	-67,1	2,1±0,3	-60,8	12,1±1,0	-56,7*	14,2±1,3	17,9±3,9	+17,9	30,7±0,4	+17,4

*, **, *** significatifs à p<0,05, p<0,01 et p<0,001 respectivement. d'après le test de Dunnet au seuil de 5%. (1)=les valeurs présentées sont la moyenne ± erreur standard. (2)=différence en (%) par rapport au parent.

b) Poids des grains par plante (PG/P)

L'analyse de la variance montre une différence très significative entre les géotypes pour ce caractère (PG/P), avec une probabilité de 0,0013, les résultats sont représentés dans le tableau 5, page 35.

Le mutant **PLSM-C** présente le poids des grains par plante le plus élevé (23,4 g), la valeur la plus faible est notée chez le géotype **PLSM-M** (2,1g) (Figure 20).

L'analyse Post hoc faite par le test Dunnett a montré qu'il existe une différence significative pour le caractère (PG/P) entre le parent plaisant et les mutants **PLSM-A**, **PLSM-C**, **PLSM-D**, **PLSM-E** et **PLSM-F**. Ces mutants ont montré une supériorité (en %) vis-à-vis du parent, pour ce caractère, de 71,2 % pour **PLSM-A**, 77,4 % pour **PLSM-C**, 75,0 % pour **PLSM-D**, 73,8 % pour **PLSM-D**, 73,8 % pour **PLSM-E** et 73,6 % pour **PLSM-F**. Aucun mutant ne s'est montré inférieur vis-à-vis du parent pour ce caractère (Tableau 7, page 42).

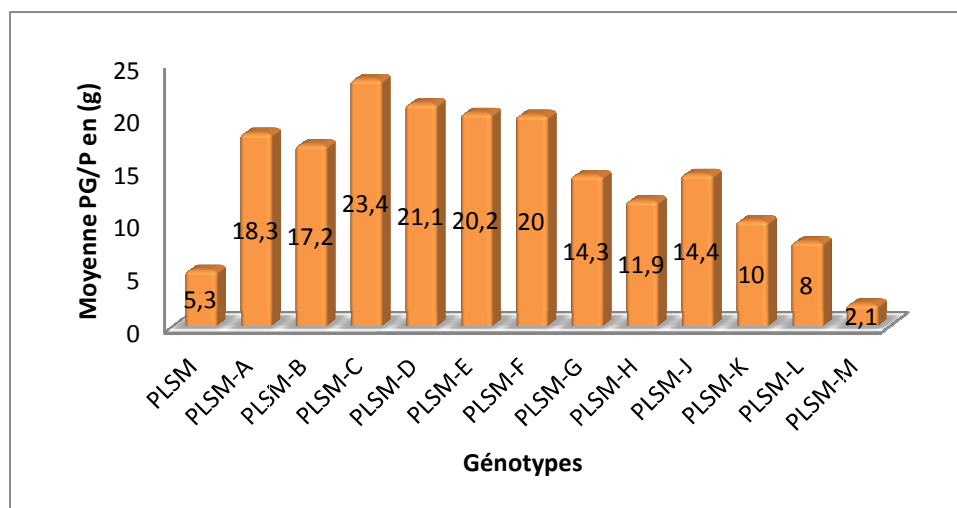


Figure 20: Moyenne du poids des grains par plante des géotypes

c) Nombre de grains par épi (NG/E)

L'analyse de la variance du nombre de grains par épi n'a révélé aucune différence significative entre les géotypes ($P= 0,2310$), (Tableau 5, page 35).

La plus grande moyenne pour le caractère (NG/E) est enregistrée chez le géotype **PLSM-A** (61,4 cm), la valeur la plus faible est notée chez **PLSM-G** (44,4 cm) (Figure, 21).

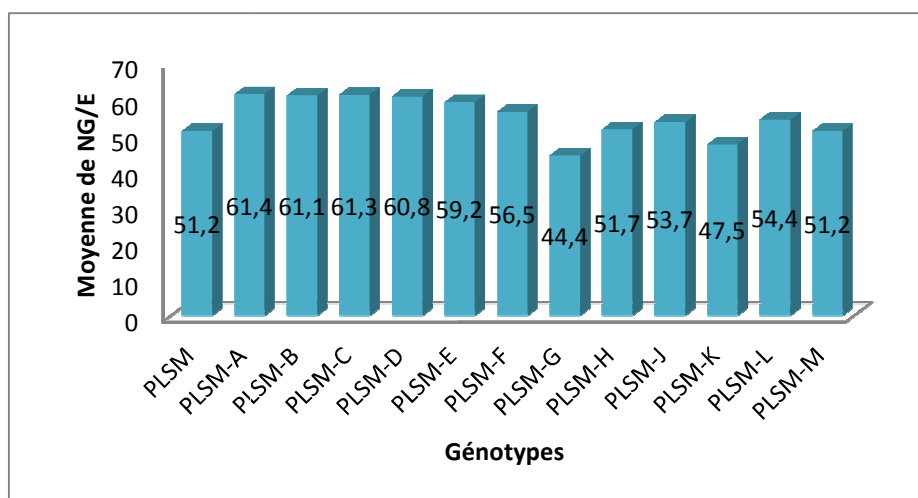


Figure 21: Moyenne du nombre de grains par épi (NG/E) des génotypes

d) Poids des grains par épi PG/E

L'analyse de la variance dupoids des grains par épi a révélé une différence très hautement significative entre les génotypes,avec une probabilité de 0,0008, les résultats sont consignés dans le tableau 5, page 35.

Le mutant **PLSM-C** présente la valeur la plus élevée (2,7 g), la valeur la plus faible est notée chez mutant **PLSM-G** (1,4 g) (Figure 22).

L'analyse Post hoc faite par le test Dunnett a montré que six mutants étaient supérieurs au parent pour ce caractère. Cette supériorité vis-à-vis du parent, estimée en %, est de **48,3 %** pour PLSM-C, **44,2 %** pour PLSM-E, **41,7 %** pour PLSM-D, **40,3 %** pour PLSM-J de **39,7 %** PLSM-A, et **30,8 %** pour PLSM-B. Aucun mutant ne s'est montré inférieur au parent pour ce caractère (Tableau 7, page 42 42).

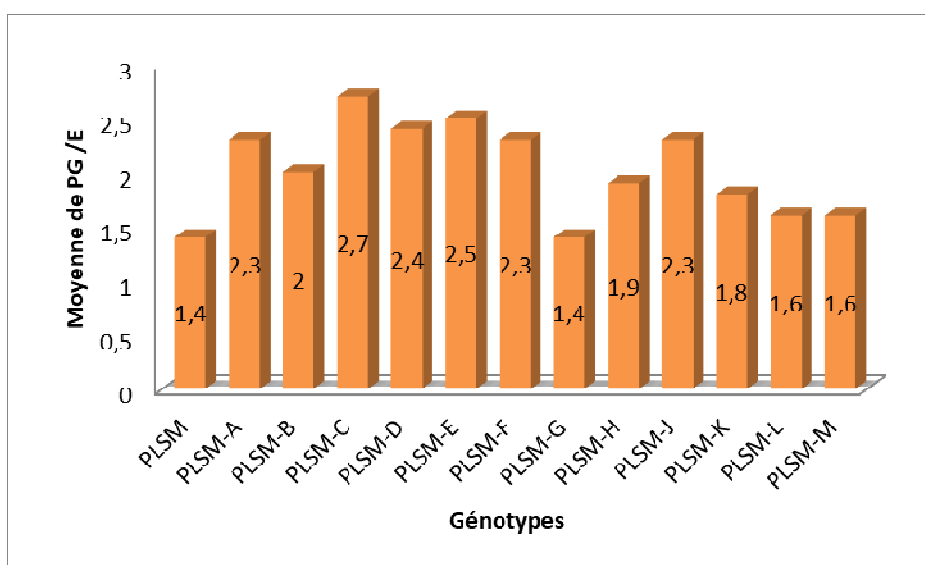


Figure 22 : Moyenne du poids des grains de l'épi (PG/E) des génotypes

e) Biomasse aérienne par plante (BA)

L'analyse de la variance a révélé une différence très significative entre les génotypes étudiés, avec $P=0,0046$ (Tableau 5, page 35).

Le génotype **PLSM-C** présente le rendement en biomasse aérienne le plus élevé (56.7 g), la valeur la plus faible est notée chez le génotype **PLSM-M** (14.2 g) (Figure, 23).

L'analyse Post hoc faite par le test Dunnett n'a cependant pas pu mettre en évidence de différence entre les mutants et le parent.

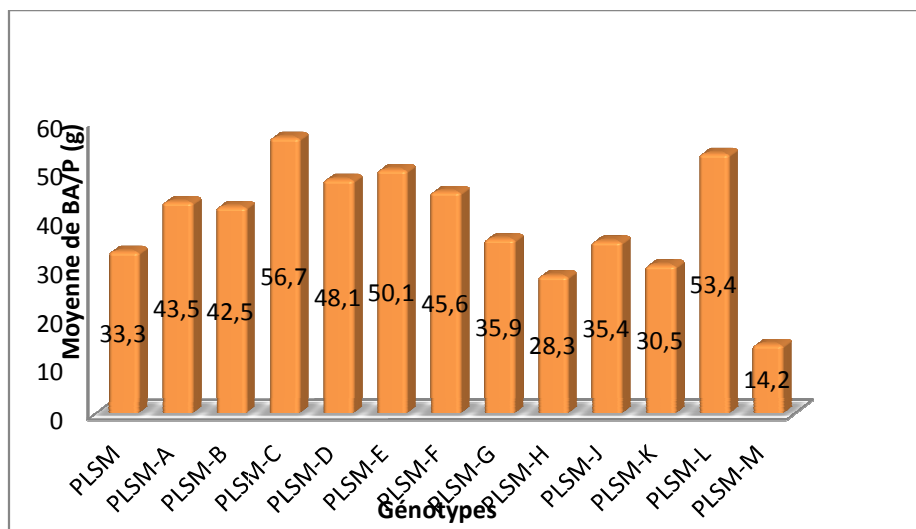


Figure 23: Comparaison de la moyenne de biomasse aérienne des génotypes

f) Rendement en paille (PP/P)

L'analyse de la variance a montré une différence très hautement significative entre les génotypes pour le caractère rendement en paille par plante (PP/P), la probabilité est de 0,0002. Les résultats sont représentés dans le tableau 5, page 35.

La plus grande moyenne pour ce caractère a été enregistrée par le mutant **PLSM-L** avec une valeur de 45,4(g), la moyenne la plus faible a été enregistrée par le mutant **PLSM-M** (12,1g) (Figure, 24).

L'analyse Post hoc faite par le test Dunnett a montré qu'il existe une différence significative pour ce caractère entre le parent Plaisant et les mutants **PLSM-L** et **PLSM-M**. Ces mutants se sont en effet montrés :

- Significativement supérieur au parent, pour le mutant **PLSM-L**, avec une différence de (+62,2 %).

- Significativement inférieur au parent, pour le mutant **PLSM-M** avec une différence de (-56,7 %)(Tableau 7, page 42).

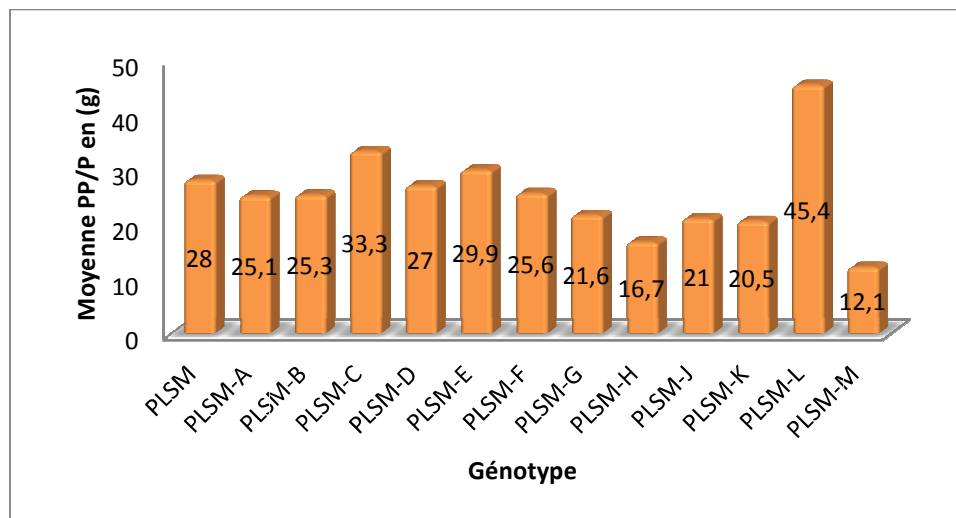


Figure 24: Moyenne du rendement en paille par plante des génotypes.

g) Indice de Récolte (IR)

Les résultats de l'analyse de variance relèvent une différence très significative entre les génotypes pour le caractère (IR), la probabilité est de 0,0017 les résultats sont représentés dans le tableau 5, page 35.

La plus grande moyenne pour ce caractère est enregistrée par le mutant **PLSM-L** avec une valeur de (23,7 %), la moyenne la plus faible a été enregistrée par le mutant **PLSM-H** (9,7%) (Figure 25).

L'analyse Post hoc faite par le test Dunnett a montré qu'il existe une différence significative pour le caractère (IR) entre le parent plaisant et le mutant **PLSM-L** qui a montré une supériorité de +23,7 %. Le reste des mutants n'ont montré aucune différence avec le parent (Tableau 7, page 42).

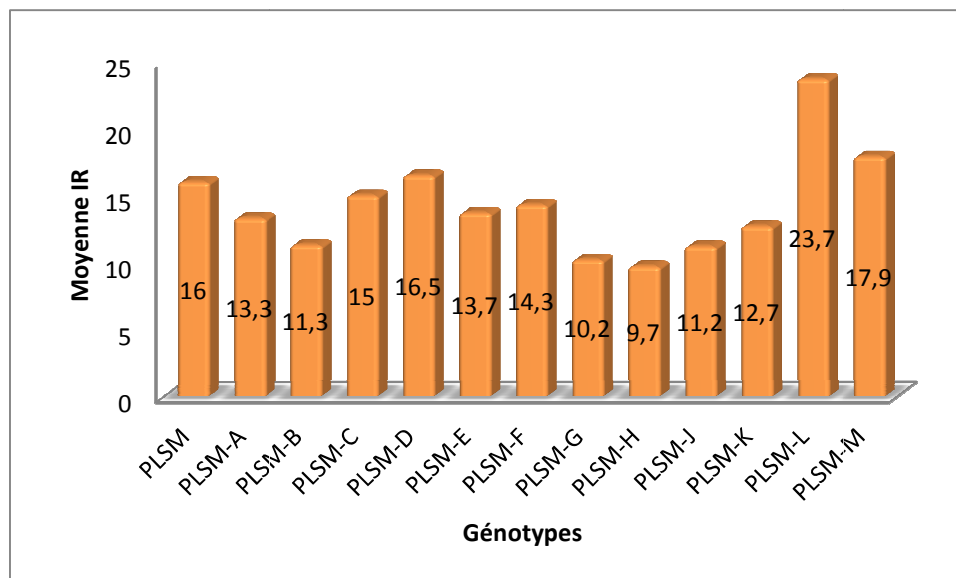


Figure 25: Moyenne de l'indice de récolte des génotypes

h) Poids de mille graines PMG

Les résultats de l'analyse de variance relèvent une différence très hautement significative entre les génotypes, la probabilité est de 0.0000, les résultats sont représentés dans le tableau 06.

La plus grande moyenne pour le caractère poids de mille graines est enregistrée par le génotype **PLSM-C** avec une valeur (43,0 g), la valeur la plus faible est enregistrée par la variété parentale **Plaisant** (26,1g) (figure 26).

L'analyse Post hoc faite par le test Dunnett a montré qu'il existe une différence significative pour le caractère (PMG) entre le plaisant et la majorité des mutants étudiés **PLSM-C, PLSM-J, PLSM-E, PLSM-F, PLSM-D, PLSM-K, PLSM-A, PLSM-H**, qui se sont tous montrés significativement supérieurs au parent, avec des différences qui varient de 43,2 % à 64,6 %. Aucun mutant ne s'est montré inférieur au parent (Tableau 7, page 42).

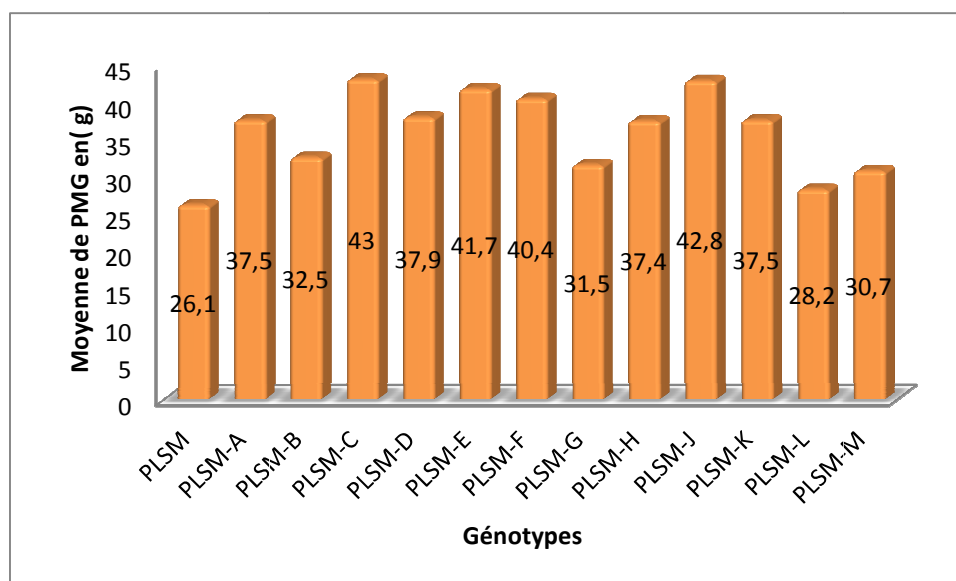


Figure 26: Moyenne du Poids de Mille grains des génotypes

Discussion générale

Cette présente étude a été effectuée pour caractériser 12 mutants d'orges et évaluer les mutations positives et négatives qui se sont produites, en comparant les mutants à la variété parentale dont ils sont issus. Ainsi, sur les dix-sept (17) caractères analysés, douze (12) ont montré des mutations, dont la plupart étaient positives (Tableau 8, page 49).

- **Ainsi pour le caractère phénologique :**

Tous les génotypes mutants ont montré avoir subi une mutation positive pour ce caractère, en effet tous ces mutants ont totalisé un nombre de jours entre le semis et l'épiaison inférieur à celui totalisé par le parent, et sont tous ainsi plus précoces (Tableau 8, page 48).

Ceci a une grande importance dans les régions semi-arides et arides, la précocité à l'épiaison est en effet un critère de sélection pour améliorer les productions dans les zones sèches (Benlaribia, 1990 ; Ben Salem et al., 1997). Chez les céréales, la période la plus sensible au déficit hydrique élevé est celle qui va de la formation du grain de pollen (stade gonflement) à la fécondation. Tout déficit hydrique survenant à ce moment affecte le nombre de grains/épillet (Gâte et al., 1990).

Tableau 8: Nombre de caractères ayant subi des mutations significatives sur 17 caractères étudiées.

Caractères	Code	Nombre de mutants significativement		Total caract.
		>parent	<Parent	
Phénologiques				
Nombre de jours semis-épiaison (j)	NJSE	0	12	1
Morphologiques				
Hauteur de la plante (cm)	HP	4	0	4
Hauteur de la tige (cm)	HT	4	0	
Longueur de l'épi (cm)	LE	0	0	
Longueur des barbes (cm)	LB	0	0	
Longueur du pédoncule (cm)	LDP	9	0	
Nombre de nœuds	NN	0	0	
Nombre d'entre-nœuds	NEN	0	0	
Compacité de l'épi (mm)	CE	1	0	
Composantes du rendement en grains				
Poids des grains par plante (g)	PG/P	5	0	4
Nombre d'épis par plante (g)	NE/P	3	0	
Nombre de grains par épi (g)	NG/E	0	0	
Poids de mille grains (g)	PMG	8	0	
Poids des grains par épi(g)	PG/E	6	0	
	Total			
Autres caractères agronomiques de rendement				
Poids de la paille par plante (g)	PP/P	1	1	3
Biomasse aérienne par plante (g)	BA/P	0	0	
Indice de récolte (%)	IR	1	0	
Total caractères		10	2	12

***Pour les caractères morphologiques**

Concernant les caractères morphologiques, les résultats montrent l'induction de mutations pour quatre des huit caractères étudiés, à savoir la hauteur de la plante, la hauteur de la tige, la longueur du pédoncule et la compacité de l'épi.

La comparaison entre les génotypes mutants et la variété parentale montre une variabilité génétique entre mutants pour les caractères cités.

Par ailleurs, il est important de signaler que ces mutations ont permis une amélioration positive de ces caractères en induisant une supériorité par rapport au parent pour ces caractères :

Quatre mutants supérieurs pour la hauteur de la tige, quatre mutants supérieurs pour la hauteur de la plante, neuf mutants supérieurs pour la longueur du pédoncule et un mutant supérieur au parent pour la compacité de l'épi.

Ces résultats sont en accord avec ceux OBARE *et al.*, 2014, qui ont conclu que le rayonnement gamma induit une plus grande variabilité et une amélioration de différents caractères tels que la longueur des épis et le rendement par épi.

***Pour les caractères agronomiques**

Sur les huit caractères analysés, six ont révélé des mutations. La comparaison entre les génotypes mutants et la variété parentale permet de constater une variabilité génétique pour les caractères de rendement suivant : poids des grains par épi, nombre d'épis par plante, rendement en grains par plante, rendement en paille par plante, poids de mille grains, indice de récolte.

Il est important de signaler que la quasi-totalité de ces mutations sont positives, ainsi cinq mutants pour poids des grains par plante, trois mutants pour le nombre d'épis par plante, huit pour le poids de mille grains, six pour le poids des grains par épis, un mutant pour le rendement en paille et un pour l'indice de récolte. Pour tous les caractères, un seul mutant a montré une régression par rapport au parent pour le rendement en paille.

Selon OBARE *et al.*, 2014, qui dans une étude a comparé le poids de 1000 grains de lignées d'orges mutantes à un type d'orge sauvage, la mutation a eu un effet significatif sur ce caractère et dans un sens positif. Ainsi, des lignées présentant un poids plus élevé par rapport au matériel non mutant ont pu être sélectionnées. Toujours selon OBARE *et al.*, 2014, la mutagenèse a permis de générer la variabilité nécessaire. Elle a eu un effet sur les caractères agronomiques, ce qui a permis de sélectionner positivement les lignées mutantes supérieures.

L'amélioration de ces caractères est une d'une grande importance dans les programmes de sélection, BOUZERZOUR *et al.* 1998 trouvent que la précocité, l'indice de récolte et la biomasse aérienne sont des caractères étroitement associés au rendement en grains. Ces caractères interviennent donc directement ou indirectement dans l'élaboration du rendement de l'orge.

La comparaison des moyennes de poids de grains par épis montre une amélioration chez un six mutant significativement supérieur par rapport aux parents dans les plus élevés : PLSM-C PLSM-E PLSM-D PLSM-J PLSM-A PLSM-B

L'augmentation du rendement en grains de ces mutants est due soit à une augmentation du nombre de talles productives, soit à une augmentation du nombre de grains par épi, soit aux deux (Prasad et al, pp.58.61).

D'après kayyal, les températures élevées diminuent la durée du remplissage du grain, en augmentant la vitesse de croissance de ce dernier ; donc le poids du grain mur diminue significativement aux températures les plus élevées qui sont enregistrées au mois de mai de la campagne 2010/2011.

Selon (I.J. OBARE, M.G. KINYUA et O.K. KIPLAGAT 2014) la Mutagenèse a permis de générer la variabilité nécessaire. Elle a eu un effet sur les caractères agronomiques, ce qui a permis de sélectionner positivement les lignées mutantes supérieures.

Cependant aucune différence significative signalée entre les génotypes et leurs parents par rapport aux nombres de graine par épis.

Ajoutant que la précocité à l'épiaison peut donc être utilisée comme critère de sélection pour améliorer les productions dans les zones sèches (Benlaribia, 1990 ; Ben Salem et al., 1997). Chez les céréales, la période la plus sensible au déficit hydrique élevé est celle qui va de la formation du grain de pollen (stade gonflement) à la fécondation. Tout déficit hydrique survenant à ce moment affecte le nombre de grains/épillet (Gâte et al., 1990).

Conclusion

L'expérimentation réalisée durant la campagne 2020/2021, a porté sur l'évaluation et la caractérisation de 12 génotypes de mutant d'orge issus de parent plaisant et pour arriver aux résultats, on a basé notre étude sur l'évaluation de certains caractères de rendements, de la morphologie, et de la phénologie (précocité). Notre objectif en effectuant cette recherche est de déterminer les lignées mutantes supérieures au parent Plaisant, celles qui sont plus précoces et les plus performantes.

L'analyse des ensembles des paramètres et la comparaison des génotypes mutants au parent Plaisant nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

- Plusieurs mutants se sont montrés supérieures à la variété parentale pour le caractère de précocité à l'épiaison et ont gagné en précocité, il faut citer les mutants PLSM-C, PLSM-E, PLSM-F et PLSM-A.
- Les mutants PLSM-C, PLSM-A, PLSM-B, PLSM-D, PLSM-E ont montrés de meilleures capacités de rendement, elles se sont révélées supérieures à Plaisant.
- PLSM-A, PLSM-B, PLSM-C, PLSM-D, PLSM-E, PLSM-E, PLSM-K, PLSM-J, PLSM-H PLSM-G, elles sont supérieures au parent pour les caractères morphologiques.

Enfin, on a conclu que la création des fiches descriptives, la connaissance de la phénologie et des caractères de production sont des outils précieux qui constituent le point de départ de tout programme d'amélioration variétale raisonné.

Ce travail démontre que la mutagenèse est un puissant outil au service des programmes d'amélioration de l'orge, il permet d'atteindre d'importants résultats et d'obtenir de nouveaux cultivars répondant aux besoins des agriculteurs des régions arides.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

-A-

- Acquaah G., 2007.** Principles of plant genetics and breeding. Ed. Oxford: Willey-Blackwell, 740 p.
- **Acquaah G. 2006.** Principles of plant genetics and breeding. Chichester: Wiley-Blackwell.560p.
- **Adjabi A.,Bouzerzour H. et Benmahammed A.,2016.** Study of the effects of physiological trait selection on the yield potential in durum wheat (*triticum durum* Desf.) under semi-arid conditions. *Advances in environmental biology*, Vol.10,n°5,pp.153-163 .
- **Ahloowalia, B.S., Maluszynski, M., and Nichterlein, K. 2004.** Global impact of mutation-derived varieties. *Euphytica* 135, 187-204.
- Anderson M. K, et Reinbergs E., 1985** - Barley breeding. In: (D.C. Rasmusson, ed). Barley. Agronomy Monograph 26. American Society of Agronomy, Madison, WI, pp 231-268 .
- **Auerbach, C. 1949.** Chemical mutagenesis. *Biological Reviews* 24, 355-391 .

-B-

- **Belaïd DJ., 1986.** Aspect de la céréaliculture algérienne, éd :OPU, 207p.
- Benlaribi M., Monneveux Ph. et Grignac P., 1990-** Etude des caractères d'enracinement et de leur rôle dans l'adaptation au déficit hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). *Agronomie* 10, pp: 305-322.
- **Ben Mohammed A., 2004.** La production de l'orge et possibilités de développement en Algérie. *Céréaliculture*. 41, 34-38. ITGC, Alger.
- **Boyeldieu J,1997** .Techniques Agricoles Fascicule. paris n°2020
- **Bonjean A et., Piccard E, 1990.** Les céréales à pailles : Origine, histoire, économie et sélection. Edition Nathan, 235p.
- **Boubekeur AIT SALAH 2005** ; etudephenologique et selection de quelques varietes du ble dur introduites et cultivees dans plusieurs environnements p114.
- Bouzerzour H ., Benmhammed A., Hassous .K.L ,1997** . variabilité génétique , hérabilité et corrélation entre caractères mesuré sur l'orge sur milieu semi-aride . *Céréaliculture*,n °30 .pp 11-15 .

- **Bouzerzour, H, Benmahammed, A., Mekhlouf ,A. et HARZALLAH D.** 1998. Evaluation de quelques techniques de sélection pour la tolérance aux stress chez le blé dur en zone semi-aride d'altitude. Céréaliculture 33 : 27-33.
- Bouzerzour, H., & Benmahammed, A.** 1993. Environmental factors limiting barley yield in the high plateau of eastern Algeria. Rachis, 12(1/2), pp: 14-19.
- **Brisson et Delacolle,1993** .Utilisation des modèles mécanistes de culture comme outils de raisonnement de la composante génétique de la résistance à la sécheresse .In tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranéenne (diversité génétique et amélioration variétale). Ed .INRA France , les colloques n° 64.pp 187- 190 .
- Brown J, et Caligari P.D.S., 2008** -An introduction to plant breeding, Blackwell, Oxford, 216p.

-C-

- **Ceccarelli S. and Grando, S., 2006.** Hordeumvulgare L. In: Brink, M. & Belay, G. Editeurs. PROTA 1: Cereals and pulses/Céréales et légumes secs. PROTA, Wageningen, Pays Bas, pp : 92-97.
- Ceccarelli S. and Grando S., 1996.**Hordeumvulgare L. In: Grubben, G.J.H. &Partohardjono, S. (Editors). Plant Resources of South-East Asia. Cereals Backhuys Publishers, Leiden, Netherlands, 10.pp: 99–102
- Ceccarelli S. 2010.** Plant breeding and climate change. In Ceccarelli, S. and Grando, S. (eds) 2010. Proceedings of the 10th International Barley Genetics Symposium, 5-10 April 2008, Alexandria, Egypt, 16-29 .
- Chadefaud M. et Emberger L., (1960)** Traité de botanique :Systématique. Les végétaux vasculaires.ed :Chadefaud ; paris. Tom II, 753p.
- **Clément J.M , 1981** . Dictionnaire Larousse Agricole.éd Librairie Larousse. ISBN 2-03-514301-2. 1207p .

-D-

- **Demrley Y et SIBI M., 1996** ‘‘ Amélioration des plantes et biotechnologies’’, éd. John LibbeyEurotext, London-Paris, 151p

- **Djeghdali -Benkherbach N., 2002** .contribution de la sélection à l'amélioration et à la stabilité de rendement de l'orge .(Hordeum vulgare .L) .en zone semi-aride d'altitude .thèse de magister , INA , EL Harrache .p 50 .

-E-

- **E., 1990**. Les céréales à paille : origine, histoire, économie,sélection. Ed. INRA. Paris-France. :350.

-F-

- FAO-STAT. 2012** .food and agriculture organization of the United Nations. [enligne].

Disponible sur <http://faostat.fao.org> .

- **FAO/IAEA 2018**. Manual on Mutation Breeding - Third edition, M.M. Spencer-Lopes, B.P. Forster, and L. Jankuloski, eds. (Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations), pp. 301

- Feillet P , (2000)** . Le grain de blé :Composition et utilisation. Mieux comprendre.éd :INRA. ISSN : 1144- 7605. ISBN : 2- 73806 0896-8. P308.

- Feldman M., 2001** - Origin of cultivated wheat. Cite par Bonjean A.P. et Angus W.J, 2001. The world wheat Book: a history of wheat breeding. Intercept limited, Andover, Angle Terre, 3-58.

-G-

- **Gallais A., 2002**. Evolution des concepts, méthodes et outils de l'amélioration des plantes. In : Colloque "L'amélioration des plantes, continuités et ruptures", Montpellier, PP : 1-6.

- Gallais A.,2011** .méthodes de création de variétés en amélioration des plantes .Edition QUAE, collection savoir -faire , paris , 22p .

- Gallais A .,2015** .comprendre l'amélioration des plantes : Enjeux , méthodes , objectifs et variétés de sélection .Edition : QUAE, collection synthèse , Versailles , France ,14p.

- **Gager, C.S., and Blakeslee, A.F. 1927**. Chromosome and gene mutations in Datura following exposure to radium rays. Proc NatlAcadSci USA 13, 75-79.

- Gate P., Brain P., Colenne J. et Briffeaux G., 1990** - Pour les céréales à paille à chaque variété son époque de semis. Pres, Agric, 148 pp:20-27.

- **Gaul, H. 1961**. Use of induced mutants in seed-propagated species. In Proc Symposium on mutation and plant breeding Pub 891, NAS-NRC, ed. (Washington), pp. 206-251.

-Giban, M., Minier, B., &Malvosi, R., 2003. Stades du blé ITCF. Ed ARVALIS. Institut du végétale, 68p.

-Gomez-Macpherson H., 2001. Hordeumvulgare.<http://ecoport.org/ep?plant=1232>.

- **Goulden C.H., 1939** – problems in plant selection. In: proc Seventh Genet.Ed. Cambridge University press, pp 132-133.

- **Grillot, G. (1939).**Les meilleures variétés d'orge. Extrait de la Terre Marocaine N° 116.

-Grillot G, 1959.La classification des orges cultivées : Annales de l'amélioration des plantes, 4 pp: 446-486.

- **Guenzaouz Habiba Soukaina., 2018** Evaluation de la diversité phénotypique, moléculaire et test de toxicité vis à vis de l'EMS sur l'orge (*Hordeum vulgare* L.) p36

-H-

-Hadjichristodoulou, 1993 .Barleygenotypes satisfying different needs in Dryland , Marginal lands and uncultivated Areas . in the agrometeorology of Rainfed -Barley -based Farming systems . Proceeding of an international symposium (6-10 march 1989, Tunis) .Ed .Jones M., Marthys G., Rijks D . PP 233-243 .

-Hadria, R, 2006. Adaptation et spatialisation du modèle STICS pour la gestion d'un périmètre céréalier irrigué en milieu semi-aride. Thèse de doctorat. UniversitéCadi Ayyad, Marrakech, Morocco. 197p.

-Hakimi M., 1993. L'évolution de la culture de l'orge : le calendrier climatique traditionnel et les données agro-météorologiques modernes. Proceeding of an International Symposium, Tunis, Ed. Jones M., Marthys G., RijksD. , pp. 157 – 166 .

-Hanifi-mekliche L. et Touadi S,1998. Etude du comportement de quelques lignées DH et F8 d'orge en zone méditerranéenne subhumide .Annales de l'institut national agronomique -El Harrach, vol.19,n°1 et 2 , pp.135-143 .

- **Hanifi L., 1999.** Contribution à l'étude de l'hétérosis et de l'intérêt des F1, F2 et lignées Haploïdes doubles chez l'orge. Thèse de doctorat d'Etat. Univ. Des sciences et technologies de Lille. 177 p.

-**Hanifi .L.,1999** . contribution a l'etude de l'hétérosis et de l'intéret de F1 ;F2 et lignées haploides doubles chez l'orge .these de doctorat d'Etat .Univ.des science et technologies de Lile . p177 .

- **Harlan J.R., 1922**- origins and processes of domestication Grass evolution and domestication .Ed. G.P Chapman, pp 159-175.

- **Heslot, H. 1961**. L'induction expérimentale de mutations chez les plantes cultivées. C R AcadAgr 47, 694-704.

-**Huber L., 2007** - Bioclimatologie. Concepts et applications de santé de Parcevaux. 246p.

-I-

- **IAEA (2015)**. IAEA mutant database. Vienna: International Atomic Energy Agency. Available from: <http://mvd.iaea.org/>

- **I.J. Obare et al., 2014**. Effects of Induced Mutagenesis on Agronomic traits in barley ; American journal of experimental agriculture .

-J-

- **Jean Charle DESWARTE (ARVALIS - institut du végétale) disponible sur**<https://www.agri-mag.com/2019/01/cereales-a-paille-la-resistance-au-froid-un-processus-dacclimatation-progressif/> .

- **Jestin L ; 1992** L'ORGE IN amélioration des espèces végétale cultivées INRA, paris pp : 55-70.

-K-

-**Kharkwal MC., Shu QY. 2009**.The role of induced mutations in world food security. In: Shu QY, editor. Induced plant mutations in the genomics era. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. pp : 33-38

- **Khin TN. 2006nj**. Rice mutation breeding for varietal improvement in Myanmar. Plant Mutation Rep. 1. pp : 34-36

- **Koudri S.L .,1999** .Etude de la tolérance a la sécheresse de quelques lignées d'orge.(Hordeum vulgare .L).thèse d'ingénieur .INA ,EL Harrache .p 73 .

-L-

-**Levitt J., 1972** - Reponses of plants to environmental stress. Éd: Acad. Press New York.

-Li X., Song Y., Century K., et al. 2001 A fast neutron deletion mutagenesis based reverse genetics system for plants. *Plant J.* 27. pp : 235–242.

-M-

-Mahadevappa M., Ikehashi H., Coffman WR., et al. 1983.Improvement of native rice for earliness though induced mutagenesis. *Oryza.* 20(1) pp : 40-46 .

- **Maluszynski M.** (2001) Officially released mutant varieties—The FAO/IAEA Database. *Plant Cell Tissue Organ Cult.* 65, pp : 175–177.

-Maluszynski M. 2001 Officially released mutant varieties—The FAO/IAEA Database. *Plant Cell Tissue Organ Cult.* 65, pp : 175–177

-Mba C., Afza R., Bado S., et al. 2010.Induced mutagenesis in plants using physical and chemical agents. In: Davey MR, Anthony P, editors. *Plant cell culture: essential methods.* Chichester: John Wiley & Sons, Ltd. Pp : 111-130.

-.(<https://tice.agroparistech.fr/>) .

-Mba C., Afza R., Shu QY. (2012). Mutagenic radiations: X-rays, ionizing particles and ultraviolet. In: Shu QY, Forster BP, Nakagawa H, editors. *Plant mutation breeding and biotechnology.* Wallingford: CABI. Pp : 83-90.

-Mba C. (2013). Induced mutations unleash the potentials of plant genetic resources for food and agriculture. *Agronomy.* 3(1), pp : 200-231.

-McCallum, C. M., L., Comai, E., A. Greene et S. Henikoff. 2000. Targeted screening for induced mutations. *Nature biotechnology* 18: 455-457 .

-McCallum, C.M., Comai, L., Greene, E.A., and Henikoff, S. 2000. Targeting Induced Local Lesions IN genomes (TILLING) for plant functional genomics. *Plant Physiology* 123, 439-442.

- **Menad, A., Meziani, N., Bouzerzour, H., & Benmahammed, A. 2011.**Analyse de l'interaction génotype x milieux du rendement de l'orge (*Hordeum vulgare* L.): application des modèles AMMI et la régression conjointe. *Nature &Technology*(5), 99 -106 l'enlever .

-Mittelsten Scheid O., Afsar K., and Paszkowski J. 1998 Release of epigenetic gene silencing by trans-acting mutations in *Arabidopsis*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 95, pp : 632–637.

-Monneveux P. 1991. Quelles stratégies pour l'amélioration génétique de la tolérance au déficit hydrique des céréales. In *Amélioration des plantes par l'adaptation aux milieux aride.* AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext. Pp:165-186.

-**Moule C., 1971.** Phytotechnie spéciale : Tome II. Céréales : Ed La Maison rustique, Paris, France, 235 p. [http :-\(www.hautconseildesbiotechnologies.fr\)](http://www.hautconseildesbiotechnologies.fr)

-P-

-**Prats H, (1960) .** Vers une classification des graminées.Ed : Revue d'Agrostologie Bull. SocBot. France pp:32-79.

Prasad et al., pp.58-61 barely genetics newsletter, vol.10, II. research notes .

-R-

-**Rahal-Bouziane H. et Abdelguerfi A., 2007.** Caractéristiques agronomiques et Morphologiques d'orges oasiennes (*Hordeum vulgare L.*) de la région d'Adrar (Algérie). Recherche Agronomique, Ed. INRA, Alger.vol:(19)pp: 7-1 .

- **Rahal-Bouziane H. et Abdelguerfi A.,2016.**Lodging resistance and its associated traits in barley landraces (*Horedeum vulgare L.)* from arid areas in algeria . Journal Algerian des regions arides ,n°13,pp: 107-112 .

- **Rieger R., Michaelis A., and Green M.1976** Glossary of Genetics and Cytogenetics. Springer Verlag, New York.

-**Rasmusson, 1992.**Barley breeding at present and in the future. In Munck L (ed.): Barley Genetics VI, vol. II. Munksgaard Int. Publ. Ltd. Copenhagen, 865-877 p.

-S-

- **Siddique K.L.M., Tenat D, Perry M. et Belford R.K. 1990.** Water use and WUE of old and modern cultivars in a mediterranean type environnement .Aust. J.Agric. Res.41. 431-447.

-**Simon M et al., 1989.**Identification et classification des variétésd'orge cultivées en France, éd. INRA. France. 16p.

- **Soltner, 2005.** Les grandes productions végétales : phytotechnie spéciale céréales, plantes sarclées, prairies : Sainte-Gemme-sur-Loire : Collection sciences et techniques agricoles, France, 472p.

- **Stadler, L.J. 1928.** Mutations in barley induced by X-rays and radium. Science 68, 186-187 .

-.(<https://tice.agroparistech.fr/>) .

-T-

- **Tourte Y., 2005** – Genetic Engineering and Biotechnology: Concepts, Methods and Agronomic Applications. Science publishers, Enfield NH, 199 p
- **Traits in Barley (*Hordeum vulgare* L).** American Journal of Experimental Agriculture , vol 4(12), pp:1536-1543.

-U-

- Urlich ,S, E .2002.** Genetic and breeding of barley feed quality attributes .pages 115-142 in: barley science : Recent advance from molecular biology to agronomy of yield and quality. G.A .Slafer ,J.L Molina-Cano, R .Savin ,J.L .Araus ,and I .Romasoga ,Eds Haworth press ,Inc ., New York .

-V-

- **Van Harten, A. M. 1998.** Mutation breeding:theory and practical applications. Cambridge University Press, UK, 330p.
- Verstegen H, et al ., 2014 .**The World Importance of Barley and Challenges to Further Improvements. In: Biotechnological Approaches to barley improvement. Eds. Germany Kumlehn, et N Stein, 431p .
- **Von BothmerR , 1992.** The wild species of *Hordeum*: Relationships and potential use for improvement of cultivated barley. Molecular Biology and Biotechnology. C.A.B. International, Wallingford Oxon, pp: 3-18.

-W-

- Wang W, Vinocur B, et Altman A., 2003** - Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta* 218:1–14. Mutation phys .
- Wani MR., Kozgar MI., Tomlekova N., et al. 2014.**Mutation breeding: a novel technique for genetic improvement of pulse crops particularly Chickpea (*Cicer arietinum* L.). In: Parvaiz A, Wani MR, Azooz MM, Lam-son PT, editors. Improvement of crops in the era of climatic changes. New York (NY): Springer; 2014. pp: 217-248.
- **Wendy A. Harwood, (2019).**Barley:Methods and Protocols,éd: Humana press . new York , 316p.

-Z-

- **Zahour, A. 1992.** [Elements of genetic plant breeding].