

République Algérienne Démocratique et Populaire

تـيـطـار قـمـيـد لـا تـيـرئ اس ج ل ا تـيـر و هـم ج ل ا تـيـبـش ل ا

Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ecole Nationale Supérieure Agronomique (ENSA)-El Harrach-Alger

المدرسة الوطنية العليا للفلاحة



École Doctorale Amélioration de la Production Végétale et Ressources Phylogénétiques
(ED-APVRG)

THESE

PRESENTÉE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE DOCTEUR EN
SCIENCES AGRONOMIQUES

Thème

**Étude de la diversité génétique de la lentille (*Lens culinaris*
Medik.) cultivée en Algérie par l'utilisation de marqueurs
morpho-agronomiques et moléculaires (SSR).**

GAAD Djouher

Soutenue publiquement le 11/10/2018

Devant le jury composé de :

Mr. OUNANE S.M.	Professeur, ENSA	President
Mme. LAOUAR M.	Maitre de Conférences classe A, ENSA	Directrice de thèse
Mr. ABDELGUERFI A.	Professeur, ENSA	Co-Directeur de thèse
Mr. AISSAT A.	Professeur, Univ. Blida	Examinateur
Mr. BENBELKACEM A.	Directeur de Recherche, INRAA	Examinateur
Mr. MEBARKIA A.	Maitre de Conférences classe A, Univ. Sétif	Examinateur

Année Universitaire 2017/2018

DEDICACES

Je dédie cette thèse à A ma très chère mère Tassadite affable, honorable, aimable : Ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études. Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices que tu n'as cessé de donner à tes enfants. Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur.

A mon Père Ahmed, je me souviens de mes premier pas vers l'école c'était vraiment éprouvent tu me porté contre mon gré mais par la suite ça devient un plaisir.

A ma très chère grand sœur Leila, son mari Djelali et leurs enfants. En témoignage de l'affection que je porte pour vous. Malgré la distance, vous êtes toujours dans mon cœur. Je vous remercie pour votre hospitalité sans égal et votre affection si sincère. Je tu dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de réussite.

A mon très cher frère Mustapha, son épouse Ghnima et leurs enfants. Mon cher frère qui m'est le père, les mots ne suffisent guère pour exprimer l'affection que je porte pour vous. Je tu dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de réussite.

A mon très chère frère défunt Farid je me souviens des soirées au coin du feu en famille, à raconter nos envies, nos craintes, nos joies, nos colères, nos désaccords, nos émotions, jusqu'à plus de bois. Après 14 années passées, ne nous fera jamais oublier, quel merveilleux homme et courageux tu étais.

A ma très chère petit sœur fatiha, son époux Mouloud, et leurs deux anges. Patience, délicatesse, Intelligence gentillesse, ce ne sont que très peu de tes si nombreuses qualités. Je tu dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de réussite.

A mon très cher frère Slimane Je te souhaite un avenir plein de joie, de bonheur, de réussite et de sérénité. Que Dieu te guérisse bientôt Incha Allah.

A mon très cher petit frère Younes et son épouse Dahbia, malgré ton caractère un peu difficile tu été toujours présents dans les moments difficile. Votre affection et votre soutien m'ont été d'un grand secours.

Remerciements

Au-delà d'un véritable défi scientifique, la réalisation d'une thèse s'inscrit comme une réelle aventure humaine. Grâce à la volonté d'ALLAH, le présent travail est rendu possible. Merci Dieu le tout-puissant et miséricordieux, pour la force et la patience que vous m'aviez données pour accomplir ce modeste travail.

J'exprime mes profonds remerciements à ma Directrice de thèse **Mme. ABDELGUERFI-LAOUAR Meriem** pour la confiance et le soutien sans faille qu'elle m'a accordés tout au long de ce travail. Elle m'a conseillée avec franchise et efficacité dans mes choix scientifiques tout en me laissant la liberté dans la gestion de mon projet de thèse, et j'ai beaucoup appris à son contact sur la façon de mener un travail de recherche.

Je remercie le Professeur, **ABDELGUERFI Aïssa**, Co-Directeur de cette thèse, qui a accepté, sans aucune hésitation, de m'orienter bien qu'engagé dans de multiples projets et activités de recherche. Il s'est toujours rendu disponible, y compris dans les moments difficiles. Qu'il trouve dans ce travail un hommage vivant à sa haute personnalité.

Grand merci au Professeur **OUNANE Sidi Mohamed**, ancien responsable du département phytotechnie, pour sa présidence du jury de thèse.

Mes vifs remerciements vont également aux membres du jury: **Mr. AISSAT A.** (Professeur à l'Université de Blida), **M. BENBELKACEM A.** (Directeur de Recherche à l'INRAA) et **M. MEBARKIA A.** (Maître de conférences classe A à l'Université de Sétif), pour avoir accepté d'examiner cet ouvrage et l'avoir enrichi par leurs questions et commentaires lors de la défense.

Je tiens à remercier intensément tous **les agriculteurs** que j'ai rencontrés lors des prospections réalisées en 2011 et qui ont eu l'aimable gentillesse de converser avec moi, aussi pour m'avoir permis d'accéder à leurs champs pour le prélèvement des échantillon et parfois m'offrir une poignée de leurs semences précieuses.

Je remercie particulièrement **Dr. UDUPA S.**, responsable de l'unité biotechnologie à l'ICARDA Maroc, pour son accueil, son soutien, sa disponibilité et l'aide qu'il m'a apportée tout au long de mon séjour à l'ICARDA Maroc. Il a plusieurs fois trouvé la clef scientifique qui m'a permis de résoudre le problème auquel j'étais confronté, et il a largement dépassé son rôle de chef d'unité par le temps qu'il m'a consacré. Sans son application et sa rigueur scientifique, l'article sur l'aspect moléculaire ne serait jamais publié.

Je remercie également **l'ICARDA, FAO/ITPGRFA** ; l'Union Européenne et le programme de subvention de collaboration ICARDA-Maroc pour leur soutien et leur support financier lors de la réalisation de la partie moléculaire de cette thèse.

Je remercie également **Dr. McPHEE K.**, Professeur à Montana State University (USA), car il a toujours été disponible par email pour me fournir de précieuses informations concernant les analyses moléculaires et la diversité génétique et pour sa large collaboration à la correction des articles. Je garde en mémoire son accueil et son hospitalité lors de mon séjour à l'université de North Dakota (NDSU, USA).

Je remercie particulièrement **Dr. PIRSEYEDI SEYED F.** (Post-Doc à l'NDSU, USA) pour les quelques discussions, trop rares mais toujours instructives, que nous avons eues à propos de la génétique des populations et l'analyse de la diversité. Ainsi que son assistance dans le travail de laboratoire.

Parmi toutes les personnes à qui je souhaite adresser mes plus sincères remerciements, **M. STYCZYNSKID D.**, spécialiste en légumineuse alimentaire (Département plant sciences, NDSU) pour les facilités offertes durant l'installation et le suivi de l'essai expérimentale à la station Prosper (NDSU, USA) et **Mme. HOCHHALTER J.**, responsable de la serre au niveau de l'INSDU pour la formation sur le travail dans la serre et sa disponibilité.

Mes sincères remerciements pour **M. SELLAMI et M. MENSSOURI** (Enseignants au Département Génie Rural, ENSA) et **Mme. GABOUN F.** (Chercheuses au Département statistique, INRA Maroc) pour qui les statistiques sont un jeu d'enfant, et qui a dû parfois voir passer des lueurs de désespoir ou d'incompréhension dans mes yeux ...

Je tiens également à adresser ma reconnaissance à **Mlle HENKRARE F.**, chercheur assistante pour son soutien théorique et pratique ainsi que pour sa disponibilité tout au long de mon stage à l'ICARDA Maroc. Ainsi que pour le temps qu'elle m'a accordé dans l'apprentissage et l'utilisation des logiciels de Power Marker; et aussi pour les analyses moléculaires en un temps-record, ce qui m'a permis d'obtenir les résultats dans le temps qui m'était impartis.

Je remercie aussi **Mlle NYIRAGUHIRWA S.**, doctorante et stagiaire à l'ICARDA pour son soutien, sa disponibilité et l'aide qu'elle m'a apportés tout au long de mon séjour au Maroc.

Les personnels de la station ITGC El-Khroub Constantine (**M. SAKHRI EH.**, Directeur de la station, **M. ZENTLI A.**, responsable de service semence, **Linda et Rosa**, Ingénieurs au niveau de la station, **M. BOUAAROUG R.** responsable du service appuie, et **les ouvriers** ont aussi leur place dans ces remerciements, pour leurs encouragements et aides précieux lors de l'installation du deuxième essai.

Parmi toutes les personnes à qui je souhaite adresser mes plus sincères remerciements, les étudiants de 5ème année phytotechnie (**Sihem, Chahira, Habib et Katia**) pour leur aide durant l'installation de l'essai expérimental à la station de Baraki. Les ouvriers de ladite station (**Saïd, Hakim...**) qui ont sué sang et eau par 40°C au soleil pour l'arrachage manuel des mauvaises herbes et la récolte de la lentille, et qui ont nettoyé et trié près de 15 kg de grain sec : la lentille n'a plus aucun secret pour eux.

Sont vivement remerciés quelques membres de l'équipe du projet lentille au niveau du CRBt Constantine (**M. DEBBI A.**, responsable de la partie maladie, les ingénieurs : **Houda, Hamed, Mohamed Amine Abdou, Mahdi, Imen**), pour leurs aides efficaces durant le récolte et les opérations poste récolte (nettoyage et triage des grains) ainsi que leurs implication dans la manipulation des grains (mesures biométriques).

Je voudrais remercier, **Djihad, Dahbia, et Yanis**, doctorants (Département pytotechnie, ENSA), ainsi que **Farid**, l'ingénieur de labo, qui ont apporté un vent de fraîcheur et d'ingéniosité dans le laboratoire de biologie moléculaire mais aussi de la bonne humeur à toute épreuve.

Les doctorants rattachés au laboratoire des légumineuses alimentaires (Département plant sciences, NDSU) : **Anjen, Dedytoti, Élina, Rahil**, et **Angela** pour leur sympathie, leur soutien et leurs encouragements.

Une attention particulière pour l'équipe LBM (INRA, Maroc), avec **Amine, Hassena, Sanna, Ashraf et Abdellah**, toutes des personnalités adorables, et qui ont toujours été prêtes à m'aider ! De par leurs compétences, leur patience et leur bonne humeur, j'ai partagé de très bons moments avec ces personnes.

Mlle ABED N. et **Mme. DJENNADI C.** de l'INRAA, ont aussi leur place dans ces remerciements, pour leurs encouragements et leurs soutiens durant mon séjour au Maroc.

Un clin d'œil aux grands amis **Lila, Dalila, Hossem, Fateh, Lila, Malika et Kahina** pour leur soutien moral, les moments de récré indispensables, l'esprit bon enfant dont ils font preuve et qui entretient la bonne humeur.

Dans un cadre moins scientifique, mais tout aussi important, je me dois de remercier tous les étudiants étrangers à NDSU (USA) (en particulier **Wessam, Sahar** «Jordanie», **Meriem** «Tunisie», **Nesserine**, et son époux **Ahmed** « Égypte » et la seule étudiante algérienne **Ibtissem.**), pour le bon temps passé en leur compagnie durant mes six mois passés a Fargo (USA).

Je profite aussi de cet espace offert pour effectuer mes remerciements, nombreux et sincères aux diverses personnes exerçant au niveau des divers établissements nationaux ou internationaux :

National :

Alger : **M. AIT OUARAB K.** (Responsable de service statistique au niveau du ministère de l'agriculture) ; **Khair-Eddine** (réceptionniste au niveau de la direction générale ITGC El-Harrach); **Mlle HIDOUCHE et Mlle MEZIANE** (Ingénieurs, ITGC El-Harrach) ; **Monsieur le Directeur Général de l'OIAC** ; **Mlle RAHMANI S.** (étudiante en 5^{ème} année, ENSA) ; **Anissa** (Responsable de la bibliothèque phytotechnie) ; **Mme. MAMMERI F.** (Responsable de laboratoire ressources phylogénétique, INRAA Baraki) ; **Mme. ABED** (Responsable de laboratoire Amélioration des plantes, INRAA Baraki); **Mlle DEJDOU R., Mlle KOUAFI L., Mme. ZINE F. et Mme. REHAL BOUZIANE H., Mlle BOUZIDI L.** (Laboratoire ressources phylogénétiques, INRAA Baraki) ; **Mme. RAMELA D.** et son époux **Saïd** (Laboratoire Amélioration des plantes INRAA Baraki) ; **Mr. SEMIANI M.** (Laboratoire de Bioclimatologie INRAA Baraki) ; **Mme. YATA D., Mme. TILIOUINE O. et Mme. BOUKECHA D.** (Laboratoire Amélioration des plantes, INRAA Baraki); ainsi que les **trois chauffeurs de l'ENSA.**

Aïn Témouchent : **M. MEAAIZE A.** (Directeur de l'ITMA) ; **M. ABDELATIF K.** (Ingénieur à la station INRAA) ; **M. BRACHED E.H.** (Subdivisionnaire Daïra EL-Maleh) ; **M. AMIRA A.** (Subdivisionnaire Daïra Agllal) et **les employées de l'ITMA.**

Bouira : **Mlle HADJ MOUSSA H.** (Ingénieur subdivision Dirah) ; **M. ABDA S.** (Délégué commune Riden) ; **M. HAMELAOUI S.** (Directeur de ferme pilote Khebozia) ; **M. ELHADJ** (Subdivision d'Ain Bessam) et **le délégué de la subdivision Ain Bessam.**

Constantine : **M. OUFROUKH** (Phytopathologiste, INRAA) ; **M. BELBDJAOUI M.** (PDG Société Axiom) ; **M. NASERI M.** (Société Axiom).

Médéa : **M. LAMERANI A. et Mlle. IMINE K.** (Ingénieurs, ITGC, station Béni Slimane).

Sétif : **M. MEHNANE S.** (Agriculteur et responsable d'exploitation Béni Fouada).

Sidi-Bel-Abbès : **M. AMARA A.** (Responsable de programme semence, ITGC) ; **M. ATTALAH A.** (Technicien supérieur, ITGC) ; **le Directeur de la station ITGC** ; les braves gens de la DSA ; **M. LABDI M.** (Responsable station INRAA). Et enfin **M. SARDI M.** et son fils **Amin.**

Tiaret : **M. AIT ABDERAHIM** (Agriculteur, Biologiste) ; **M. ADDA M.** (Enseignant-Chercheur à l'université de Tiaret, Faculté des Sciences Naturelles) ; **M. SAHNOUNE** (Directeur de la faculté des sciences) ; **Mlle LABDELLI A.** (Étudiante en Magister) ; la famille **LABDELLI** ; **M. BELAID** (FDPS-Dahmouni, Tiaret) ; **le responsable de programme légumineuses** (Station Sbeane) et **le Directeur de CCl's Mahdia.**

Tissemsilt : **M. ABDELOUHAB K.** (Subdivision Ammari).

Tizi ouzou : **L'agent communal de vulgarisation**, commune Yakouren) ; **Kahina** (Ingénieur, Subdivision Azazga) ; **Farhat** (Ancien collègue et technicien supérieur à la subdivision Azazga) et **le subdivisionnaire d'Azazga**.

International

Australie : **Pr. KADAMBOT S.** (Chair and Director of Agriculture Institute, University of Western Australia) ; **Dr. McNEIL D.** (Chair of Agricultural Science University of Tasmania) ; **Dr. REDDEN B.** (Curator Australian Temperate Field Crops Collection) ; **Pr. W. ERSKINE** (Director of Centre for Legumes in Mediterranean Agriculture (CLIMA) ; **Pr. R. FORD** (Associate Professor, University of Melbourne).

Canada : **Dr. A. TULLU** (Crop Développement Centre, Plant Sciences Département) ; **Pr. VANDENBERG A.** (Lentil Breeder at Crop Développement Center, Univ. of Saskatchewan) et **Dr. W. TAYLOR** (Recherche Scientiste).

Espagne : **Pr. FRATINI R.M.** (Professeur Université de León) ; **Pr. PEREZ DE LA VEGA M.** (Université de León) ; **Dr. De LOS MOZOS PASCUAL M.** (Curator of the Bank of Plant Germoplasm of Cuenca).

Allemagne : **Pr. HORNEBURG B.** (Department of Crop Sciences, University of Göttingen).

Syrie : **Dr. KHATIB R.** (Administrative Assistant Social, and Policy Research Program, ICARDA) ; **Dr. AGRAWAL SK.** (Lentil Breeder, BIGM Program ICARDA) ; **Dr. KUMARI S., Dr. HAMWIEH A., Dr. BAUM M., Dr. AMRI A., Dr. SARKER A., Dr. ZEWDIE B., Dr. BAYAA B.** (Researchers at ICARDA) ; **Dr. STREET K.** (Legume curator, ICARDA) ; **Dr. HADDAD A.** (Agronomist, Weed Specialist, ICARDA).

Etats-Unis : **Dr. LARSEN R.** (Research Geneticist, USDA) ; **Dr. CLARICE J.C.** (Geneticist/Curator USDA Agricultural Research Service) ; **Dr. WEIDONG C.** (Grain Legume Genetics Physiology Research, USDA) ; **Dr. MUEHLBAUER F.** (Department of Crop and Soil Sciences, Washington State University).

De façon plus personnelle, un grand merci à **ma famille en particulier ma mère** qui m'a encouragée et soutenue durant toutes ces années d'apprentissage, se demandant sans cesse quand ces études allaient-elles bien pouvoir se terminer ?

Une attention très particulière pour un ami spécial (**R.E.P.**) témoin de mes hauts et de mes bas, et dont le soutien m'a été indispensable d'un bout à l'autre de ce travail. Je le remercie aussi pour sa patience, son sang-froid et son efficacité, puisqu'il a supporté maintes fois ma nervosité et mon impatience.

Enfin, je remercie toutes les personnes que j'ai côtoyées durant ces années, et avec qui mes rapports furent aussi divers qu'enrichissants. Et ceux qui ont croisé mon chemin un jour où l'autre et qui ont apporté aide et inspiration.

Table des matières

Dédicace.....	i
Remerciements.....	ii
Table des matières.....	I
Résumé.....	V
صحي	VI
Abstract.....	VII
Liste des abréviations.....	VIII
Liste des tableaux	IX
Liste des figures.....	X
Les travaux réalisés dans le cadre de cette thèse.....	XIII
INTRODUCTION GENERALE.....	01
1. Problématique.....	02
1.1. Problématique sur le plan socio-économique.....	03
1.2. Problématique de point de vu sélection et amélioration génétique.....	03
2. Objectifs du travail de recherche.....	04
3. Plan de la thèse.....	04
Chapitre I: Synthèse bibliographique.....	06
1. Présentation de l'espèce <i>Lens culinaris</i> M.....	07
1.1. Taxinomie.....	07
1.2. Historique.....	07
1.3. Origine.....	08
1.4. Domestication.....	08
1.5. Pools génétiques.....	09
1.6. Distribution géographique.....	10
1.7. Description botanique.....	10
2. Adaptation et agro-écologie.....	12
2.1. Caractéristiques des zones de production.....	12
2.2. Effet des conditions du milieu sur le comportement de la lentille.....	12
2.2.1. <i>Effet de la photopériode et la température sur la floraison chez la lentille.....</i>	<i>12</i>
2.2.2. <i>Effets des stresses abiotiques.....</i>	<i>13</i>
2.2.3. <i>Effet des stresses biotiques.....</i>	<i>14</i>
2.3. Amélioration de l'adaptation de la lentille par la compréhension de GXE.....	14
2.4. Effet des techniques agricoles sur le comportement de la lentille.....	15
2.4.1. <i>Effet de la date de semis.....</i>	<i>15</i>
2.4.2. <i>Effet du désherbage.....</i>	<i>15</i>
2.4.3. <i>Effet des méthodes de récolte.....</i>	<i>16</i>
3. Utilisation de la lentille.....	16
4. Les ressources génétiques de la lentille.....	17
4.1. Les collections <i>ex situ</i>.....	17
4.1.1. <i>International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICRDA).....</i>	<i>17</i>
4.1.2. <i>Australian Temperate Field Crops Collection (ATFCC).....</i>	<i>18</i>
4.1.3. <i>Institute of Biodiversity Conservation (IBC).....</i>	<i>18</i>
4.1.4. <i>Agricultural Research Service (ARS), USDA.....</i>	<i>18</i>
4.1.5. <i>Vavilov Research Institute of Plant Industry (VIR).....</i>	<i>18</i>
4.1.6. <i>National Bureau of Plant Genetic Resources (NBPGR).....</i>	<i>19</i>
4.2. La constitution d'une collection réduite « <i>core collection</i> » de lentille.....	19
4.3. La conservation <i>in situ</i>.....	19
5. Les marqueurs utilisés dans l'estimation de la diversité chez la lentille.....	19
5.1. Les marqueurs morphologiques	20

5.2. Les marqueurs biochimiques.....	23
5.3. Les marqueurs moléculaires.....	23
6. Importance économique de la lentille.....	26
6.1. Superficies, Production et Rendement.....	26
6.2. Exportations.....	27
6.3. Demande et consommation.....	29
7. La lentille en Algérie.....	30
7.1. Historique et importance économique.....	30
7.2. Diversité de la lentille en Algérie.....	32
7.2.1. <i>Les variétés de lentille décrites par Barulina (1930 in Laumont 1940)</i>	32
Type macrosperma.....	32
Type microsperma.....	32
7.2.2. <i>Les variétés de lentille sélectionnées par Laumont et Chevassus (1950).....</i>	33
7.2.3. <i>Autres variétés de lentille décrites par Laumont et Chevassus (1960).....</i>	35
Type macrosperma.....	35
Type microsperma.....	35
7.2.4. <i>Les variétés locales sélectionnées par l'ITGC depuis 1980.....</i>	37
7.2.5. <i>Les variétés introduites et obtenues par l'ICARDA depuis 1986</i>	37
7.2.6. <i>Les variétés en cours de réalisation par l'ITGC en collaboration avec l'ICARDA.....</i>	37
7.3. Synthèse sur les travaux de caractérisation sur la lentille en Algérie.....	37
Chapitre II: Prospection, collecte, étude ethnobotanique et caractérisation préliminaires d'une collection de la lentille.....	39
1. Introduction.....	40
2. Matériels et méthodes.....	41
2.1. Prospection et collecte.....	41
2.1.1. <i>Sites de prospection.....</i>	41
Région Centre-Nord.....	41
Région Ouest.....	42
Région Est.....	42
Région Sud	42
2.1.2. <i>La collecte.....</i>	43
Échantillonnage.....	43
Fiche de renseignements par site de collecte.....	44
2.2. Enquêtes ethnobotanique et agronomique.....	44
2.3. Caractérisation préliminaire.....	44
2.4. Analyse des données.....	45
2.4.1. <i>Élaboration d'une carte de distribution géographique des sites de prospections</i>	45
2.4.2. <i>Analyse de fréquence.....</i>	46
2.4.3. <i>Analyses multi variées.....</i>	46
3. Résultats.....	46
3.1. Distribution géographique des sites de collecte.....	46
3.2. Résultats des enquêtes.....	46
3.2.1. <i>Provenance des semences collectées.....</i>	46
3.2.2. <i>Caractéristique des agriculteurs cultivant la lentille.....</i>	47
3.2.3. <i>Caractéristiques agronomiques des sites de prospection.....</i>	48
3.2.4. <i>Caractéristiques ethnobotaniques.....</i>	48
3.3. Evaluation préliminaire.....	52
3.3.1. <i>Analyse de fréquence.....</i>	52
Caractères quantitatifs.....	52
Caractères qualitatifs.....	56
3.3.2. <i>Analyse en Composantes Principales (A.C.P)</i>	60

3.3.3. Classification Ascendante Hiérarchique (C.A.H).....	61
3.3.4. Analyse de Correspondance Multiple (A.C.M).....	64
4. Discussions	65
4.1. Prospection et collecte	65
4.1.1. Données de collecte.....	65
4.1.2. Étude ethnobotanique et agronomique.....	66
4.2. Diversité des morphotypes	68
4.2.1. Collection nationale.....	68
Dans le groupe macrosperma.....	68
Dans le groupe microsperma.....	69
4.2.2. Collection témoin.....	69
5. Conclusion	70
Chapitre III: Caractérisation agro-morphologique de quarante-quatre (44) accessions de lentille dans deux sites agro écologiques différents	71
1. Introduction	72
2. Matériels et méthodes	72
2.1. Matériels	72
2.2. Méthodes	72
2.2.1. Conditions expérimentales des deux sites.....	72
Site 1.....	72
Site 2.....	72
2.2.2. Protocol expérimental.....	73
2.2.3. Suivi des deux essais.....	73
2.2.4. Caractérisation morpho-agronomique.....	74
2.2.5. Analyses statistiques.....	80
3. Résultats	81
3.1. Caractères quantitatifs	81
3.1.1. Variabilité phénotypique de la lentille dans chaque site.....	81
3.1.2. Variabilité phénotypique de la lentille dans les deux sites.....	82
3.1.3. Comparaison des moyennes.....	84
La hauteur de la plante (cm).....	84
La hauteur de la première gousse fertile (cm).....	84
La maturité (jours).....	85
Poids de cent grains (g).....	85
Diamètre des grains (mm).....	86
Épaisseur des grains (mm).....	87
3.2. Caractères qualitatifs	87
3.2.1. Variabilité des accessions à partir des caractères qualitatifs.....	87
Pigmentation de la tigelle.....	87
Type du port.....	88
Couleur des feuilles.....	89
Taille des feuilles.....	89
Couleur des fleurs.....	90
Strie violet de l'étendard.....	90
Vigueur des plants.....	91
Couleur de tégument de la graine.....	91
Aspect de la graine.....	92
Couleur des cotylédons.....	92
La forme du grain.....	93
3.2.2. Variabilité de la collection de lentille à partir des caractères qualitatifs.....	93
3.2.3. Analyse de Correspondance Multiple (ACM).....	94

4. Discussion	95
5. Conclusion	101
Chapitre IV: Caractérisation moléculaire et analyse de la diversité génétique de 30 accessions de lentille par des marqueurs moléculaires SSR	103
1. Introduction	104
2. Matériels et méthodes	104
2.1. Matériels	104
2.2. Méthodes	104
2.2.1. <i>Extraction de l'ADN génomique</i>	104
2.2.2. <i>Optimisation des conditions d'amplification</i>	105
2.2.3. <i>Choix des marqueurs SSR et révélation des bandes</i>	106
2.2.4. <i>Analyses statistiques des données moléculaires</i>	107
3. Résultats	107
3.1. Extraction d'ADN	107
3.2. Amplification des amorces SSR	107
3.3. Distance génétique entre les accessions	108
4. Discussions	109
5. Conclusion	110
Chapitre V: Synthèse des résultats, Conclusion générale et Perspectives	111
1. Synthèse des résultats	112
1.1. Synthèse des résultats de l'enquête ethnobotanique	112
1.2. Synthèse de l'évaluation préliminaire de la collection de lentille	113
1.2.1. <i>Dans le groupe macrosperma</i>	113
1.2.2. <i>Dans le groupe microsperma</i>	113
1.3. Synthèse de la caractérisation agro-morphologique	113
1.4. Synthèse des résultats de la caractérisation moléculaire	114
2. Conclusion générale et Perspectives	115
2.1. Conclusion générale	115
2.2. Perspectives	116
Références Bibliographiques	118
Annexe	133
Articles	

Résumé. La lentille (*Lens culinaris* Medik.) est l'une des principales légumineuses en Algérie. En plus que la base génétique des variétés de lentille est étroite, la disparition des variétés locales accentue d'avantage la déperdition de la diversité. Par conséquent, la collecte, la caractérisation et la préservation des accessions locales est donc indispensable et urgente. Dans cette étude, la diversité à différentes échelles, ethnobotanique, agro-morphologique et moléculaire a été étudiée. La prospection de 10 wilayas et la collecte de 30 accessions de lentille ont été réalisées. La caractérisation agro morphologique des 18 accessions locales et une collection témoin composée de 26 accessions étrangères, a été réalisée sur la base de 12 caractères quantitatifs et 11 qualitatifs. L'étude a été réalisée dans deux sites l'un sub-humide (Alger) et l'autre semi-aride (Constantine). Parallèlement, une caractérisation moléculaire de 27 accessions locales et 3 accessions de l'ICARDA a été réalisée à partir de 10 marqueurs microsatellites. Il y a un effet significatif de l'interaction accession x site pour 6 traits quantitatifs. Trois accessions algériennes de type *macrosperma* sont caractérisées par un nombre de gousses/plant, un nombre de graines/plant et un rendement élevés. Les autres accessions locales sont tardives avec des plants hauts aptes pour une mécanisation. L'analyse hiérarchique a regroupé les accessions en cinq groupes distincts indépendamment de l'origine géographique et a révélé la répartition des accessions algériennes dans tous les groupes. Une grande variabilité génétique caractérise la collection de lentille. Le nombre d'allèles par locus varie de 3 (SSR90, SSR83) à 9 (SSR202) et l'indice PIC variait entre 0,40 à 0,85 avec une moyenne de 0,64. La fréquence de l'allèle le plus courant à chaque locus varie de 17 % (SSR202) à 71 % (SSR28, SSR183). Sur la base des coefficients de similarité génétique, l'analyse de dendrogrammes a révélé une grande diversité parmi les géotypes et a séparé les accessions en quatre groupes. Certaines accessions algériennes ont partagé une similitude génétique avec ceux de l'ICARDA.

Mots clés: Lentille, ethnobotanie, morphologie, caractères agronomiques, interaction géotype x environnement, marqueurs SSR, structuration de la diversité.

Abstract. Lentil (*Lens culinaris* Medik.) is one of the important pulse crops in Algeria. The narrow genetic base and the disappearance of many local accessions contribute to the loss of lentil biodiversity. Therefore, collection, characterization and preservation of existing local accessions of lentils is important. Lentil accessions were collected across different agro-ecological zones of Algeria. From ten regions (Departments), fifteen villages were surveyed and 30 accessions were collected. Eighteen local (18) accessions and twenty six (26) foreigner accessions have been used for agro morphological evaluation. The assessment was performed in two locations, sub-humid and semi-arid conditions, based on twelve (12) quantitative and 11 qualitative traits. For genetic characterization, twenty seven (27) Algerians accessions collected previously and 3 improved lines from ICARDA were evaluated using 14 simple sequence repeat markers (SSR). The result of ANOVA shows a significant effect of the interaction genotype x location for 6 quantitative traits. Three *macrosperma* Algerian accessions characterized by a high number of pod/plant, number of seed/plant and seed yield/plant were positioned on PCA1. The remaining Algerian accessions were positioned on PCA2 and were characterized by later flowering and maturity with high plant stature and height of the lowest pods. Hierarchical cluster analysis grouped the accessions into five distinct clusters independently of the accessions origins and revealed the distribution of Algerian accessions in all of the groups. Large genetic variability was found within the germplasm collection for SSR analysis. The total number of alleles was 52, averaging 5.2 alleles per locus. The number of alleles ranged from 3 (SSR 90, SSR83) to 9 (SSR202) and the polymorphic information content value varied from 0.40 to 0.85 with an average of 0.64. The frequency of the most common allele at each locus ranged from 17 % (SSR202) to 71 % (SSR28, SSR183). On the basis of the genetic similarity coefficients, clustering analysis revealed significant diversity among the genotypes and separated the accessions into four groups. Some Algerian accessions shared similar genetic backgrounds with the lines from ICARDA.

Key words: Lentil; agro morphological evaluation; quantitative and qualitative characters; SSR markers; genetic diversity.

LISTE DES ABREVIATIONS

ACM	Analyse des Correspondances Multiples.
ADN	Acide Désoxyribonucléique.
AFLP	Amplified Fragment Length Polymorphism.
APS	Persulfate d'ammonium.
BET	Bromure d'éthidium.
CAH	Classification Ascendante Hiérarchique.
CTAB	Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide.
CV	Coefficient de variabilité.
°C	Degré Celsius.
dNTP	Désoxyribonucléotide.
DO	Densité optique.
EcoRI	Escherichia coli RI.
EDTA	Ethyl Diamine Tétra acétyle.
ENSA	Ecole Nationale Supérieure Agronomique.
EST-SSRs	Expressed Sequence Tag- Simple Sequence Repeats.
FAO	Food and Agriculture Organisation.
HINDIII	Haemophilus influenzae DNA type III.
ICARDA	International Center for Agricultural Research in the Dry Areas.
INRAA	Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie.
IPGRI	Institut International des Ressources Phytogénétiques.
ITGC	Institut Technique des Grandes Cultures.
Kb	Kilo baess.
Mb	Mégabases.
mM	Millimolaire.
mm	Millimètre.
mV	Millivolt.
µg	Microgramme.
µl	Microlitre.
ng	Nanogramme.
pb	paires de bases.
PCR	Polymerase Chain Reaction.
pmol	Pico mole.
PNUD	Programme des Nations Unies pour le Développement.
QTL	Quantitative Trait Loci.
RAPD	Random Amplified Polymorphic DNA.
RFLP	Polymorphisme de longueur des fragments de restriction.
RILs	Recombinant Inbred Lines.
rpm	Rotation par minute.
SAM	Sélection Assistée par Marqueurs.
Sec	Secondes.
SNPs	Single Nucleotide Polymorphisms.
SSR	Simple Sequence Repeats.
TAE	Tris, Acétate, EDTA.
Taq	De <i>Thermus aquaticus</i> (bactérie qui vit dans les sources chaudes).
TBE	Tris - Borate- EDTA.
TE	Tris – EDTA.
TEMED	Tetramethylethylenediamine.
UPGMA	Unweighted Pair Group Method with Arithmetic mean.
UPOV	Union internationale pour la Protection des Obtentions végétales.
USDA	United States Department of Agriculture.
V	Volt.

Liste des Tableaux

Tab.1	Les pools génétiques de la lentille, d'après Muehlbauer et McPhee (2005).....	09
Tab.2	Exportation annuelle de la lentille des premiers pays exportateurs pour 2013....	27
Tab.3	Les cinq premiers pays importateurs et les quantités en tonnes de lentille leur correspondant, en 2013.....	29
Tab.4	Les variétés de lentille sélectionnées et retenues par Laumont et Chevassu (1950).....	33
Tab.5	Caractères qualitatifs et quantitatifs des grains de lentille.....	45
Tab.6	Caractéristiques qualitatifs étudiés chez la lentille.....	74
Tab.7	Coefficient de variabilité (CV%), moyenne, valeurs extrêmes (minimum et maximum), écart-type et signification statistique pour 12 caractères quantitatifs pour chaque site.....	83
Tab.8	Coefficient de variabilité (CV%), moyenne, valeurs extrêmes (minimum et maximum), écart-type et signification statistique pour 12 caractères quantitatifs pour les deux sites.....	83
Tab.9	Composition du mélange réactionnel pour PCR/SSR selon Reddy <i>et al.</i> (2010) modifié.....	106

Liste des Figures

Fig.1	Distribution géographique des différents groupes de <i>L. culinaris</i>	10
Fig.2	Morphologie de la lentille, (a) grains secs; (b) grain humide imbibé; (c) nouvelle plantule émergée montre la germination hypogée; (d) jeune plantule avec deux feuilles cotylédonaire; (e) branches avec des feuilles, fleurs et gousses.....	11
Fig.3	Distribution géographique des collections du genre <i>Lens</i> de l'ICARDA....	18
Fig.4	Evolution annuelle des superficies (million ha), productions (million tonnes) et rendement (Kg/ha) de la lentille dans le monde entre 1961 et 2016	28
Fig.5	Evolution annuelle des superficies (million ha), productions (million tonnes) et rendement (Kg/ha) de la lentille en Algérie entre 1961 et 2016.....	31
Fig.6	Les zones de prospections de la lentille en Algérie (les chiffres représentent les codes des wilayas prospectés).	43
Fig.7	Fréquence des différentes provenances de semences pour les 10 sites de collecte.....	47
Fig.8	Fréquence des types du sol pour les 10 sites de collecte.....	48
Fig.9	Fréquence des utilisations de la lentille pour les 10 sites de collecte.....	49
Fig.10	Fréquence des raisons du maintien de la culture pour les 10 sites de collecte.....	49
Fig.11	Fréquence de l'époque de la pratique de la culture pour les 10 sites de collecte.....	50
Fig.12	Fréquence de la destination de produit de récolte pour les 10 sites de collecte.....	50
Fig.13	Fréquence de la culture pour les 10 sites de collecte.....	51
Fig.14	Fréquence des contraintes de la culture de lentille pour les 10 sites de collecte.....	51
Fig.15	Classes de fréquences de diamètre de la graine pour les 10 sites de collecte.....	52
Fig.16	Classes de fréquences de l'épaisseur de la graine pour les 10 sites de collecte.....	53
Fig.17	Classes de fréquences de poids de cent grains pour les 10 sites de collecte.....	53
Fig.18	Classes de fréquences de diamètre de la graine pour la collection témoin.....	54
Fig.19	Classes de fréquences de l'épaisseur de la graine pour la collection témoin	55
Fig.20	Classes de fréquences de poids de cent grains pour la collection témoin.....	55
Fig.21	Fréquence de couleur de tégument des graines pour les 10 sites de collecte.....	56

Fig.22	Fréquence de tigrure des graines pour les 10 sites de collecte.....	57
Fig.23	Fréquence de couleur de cotylédon des grains pour les 10 sites de collecte	57
Fig.24	Fréquence de la forme des graines pour les 10 sites de collecte.....	58
Fig.25	Fréquence de la forme des graines pour la collection témoin.....	58
Fig.26	Diversité des morphotypes de grains des lentilles cultivées en Algérie; dans le groupe <i>macrosperma</i> : MA1, MA2, MA3 et MA4, dans le groupe <i>microsperma</i> : mi ₁ , mi ₂ et mi ₃ . Des formes globulaires observées chez la collection témoin: mi ₄ , mi ₅ et mi ₆	59
Fig.27	Projection des 52 accessions (32 de la collection nationale +20 de la collection témoin) sur le plan formé par les deux axes de l'ACP de 2 facteurs avec 3 caractères quantitatifs.....	61
Fig.28	Dendrogramme de distances génétiques de 52 accessions de la lentille....	63
Fig.29	Projection des 4 caractères qualitatifs et les 32 individus de la collection nationale sur les deux premiers axes de l'ACM.....	64
Fig.30	Photographie des stades phénologiques de la lentille: a) la levée, b) stade végétatif, c) la floraison, d) la formation des gousses, e) la maturité, f) la sénescence et récolte.....	75
Fig.31	Hauteur de la plante, a) fin floraison, b) début de formation des gousses...	76
Fig.32	Différentes tailles et couleurs des feuilles de la lentille: a) feuille large à couleur vert foncé, b) feuille intermédiaire à couleur vert claire, c) feuille petite à couleur vert grise.....	76
Fig.33	Différentes couleurs des fleurs de la lentille, a) fleur bleu, c) fleur blanche à strie violet.....	77
Fig.34	Différentes couleurs des fleurs de la lentille, a) fleur bleu, b) fleur violacé, c) fleur blanche à strie violet.....	77
Fig.35	Différents type de port: (a) Prostré, (b) Erigé, (c) Semi érigé, (d) Intermédiaire, (e) Semis prostré.....	78
Fig.36	Différents aspects de la graine: a) Ponctué, b) Tacheté, c) Marbré, d) Complexe, e) Sans.....	79
Fig.37	Représentation de la hauteur des plantes (cm) des 43 accessions de lentille caractérisées.....	84
Fig.38	Représentation de la hauteur de la première gousse fertile (cm) des 43 accessions de lentille.....	85
Fig.39	Représentation de la maturité des 43 accessions de lentille.....	85
Fig.40	Présentation du poids de 100 grains (g) de 43 accessions de lentille.....	86
Fig.41	Présentation du diamètre des grains (mm) de 43 accessions de lentille...	86
Fig.42	Présentation de l'épaisseur des grains (mm) de 43 accessions de lentille...	87
Fig.43	Pourcentage de la présence-absence de pigmentation de la tigelle chez 43 accessions de lentille.....	88
Fig.44	Pourcentage des types de port chez 43 accessions de lentille.....	88
Fig.45	Pourcentages des couleurs des feuilles chez 43 accessions de lentille.....	89
Fig.46	Pourcentage des tailles des feuilles chez 43 accessions de lentille.....	89
Fig.47	Pourcentage des couleurs des fleurs chez 43 accessions de lentille.....	90

Fig.48	Pourcentage de la présence-absence des stries violettes de l'étendard chez 43 accessions de lentille.....	90
Fig.49	Pourcentages des vigueurs chez 43 accessions de lentille.....	91
Fig.50	Pourcentage des couleurs du tégument chez 43 accessions de lentille.....	91
Fig.51	Pourcentage des aspects des grains chez 43 accessions de lentille.....	92
Fig.52	Variabilité intra accessions de couleur de cotylédon chez 43 accessions de la lentille.....	92
Fig.53	Pourcentage des formes du grain chez 43 accessions de lentille.....	93
Fig.54	Projection des 11 caractères qualitatifs et les 43 accessions de la lentille sur les deux premiers axes de l'ACM.....	95
Fig.55	Marqueur de poids moléculaire (Lambda DNA/EcoRI+HindIII) pris comme référence pour la quantification d'ADN.....	105
Fig.56	Test de 5 amorces SSR sur 4 plants de lentille. M: marqueur de taille 100 pb.....	108

Les travaux réalisés dans le cadre de cette thèse

Articles dans des revues Internationales

D. GAAD, M. LAOUAR, and A. ABDELGUERFI 2014. Morphological and Biometrical Characterization of Seeds of Some Algerians Lentil Accessions: Quantitative and Qualitative Characters.” *World Journal of Agricultural Research*, vol. 2, no. 4 (2014): 183186. DOI: 10.12691/wjar-2-4-8.

D. GAAD, M. LAOUAR, S.M. UDUPA, A. ABDELGUERFI, K. McPHEE, F. HENKRAR 2017. Diversity study of Algerian accessions of lentil (*Lens culinaris* Medik.) by using microsatellite markers. *Res. on Crops* **18** (4): 722-727 (2017). DOI: 10.5958/2348-7542.2017.00119.

D. GAAD, M. LAOUAR, F. GABOUN and A. ABDELGUERFI, 2018. Collection and agro morphological characterization of Algerian accessions of lentil (*Lens culinaris*). *Biodiversitas* Vol. 19, Number 1, January 2018 Pages: 183-193. ISSN: 1412-033X-E-ISSN: 2085-4722. DOI: 10.13057/biodiv/d190125.

D. GAAD, M. LAOUAR, A. ABDELGUERFI, 2018. Collection and Ethno botanical Investigation of Lentil (*Lens Culinaris* Medik.) In Algeria. *Recent Research in Science and Technology*. Vol. 10, March 2018: 2076-5061.

D. GAAD, M. LAOUAR, F. GABOUN and A. ABDELGUERFI, 2018. Characterization of some Algerians and foreigners accessions of lentil (*Lens culinaris*) by qualitative traits. *Horticultural Biotechnology Research* 2018 4: 43-47.doi: 10.25081/hbr.2018.v4.3560.

Communications Nationales

D. GAAD, M. LAOUAR, and A. ABDELGUERFI. 2018. Diversity of lentil (*Lens culinaris* M.) morphotypes cultivated in Algeria. Congrès national sur les ressources Phytogénétiques en Algérie: évaluation, valorisation et conservation. 22 ,23 et 24 octobre 2018, INRAA-Alger.

Communications Internationales

D. GAAD, M. LAOUAR, and A. ABDELGUERFI.2014. Morphological and Biometrical Characterization of Seeds of Some Algerians Lentil Accessions: Quantitative and Qualitative Characters.” 6th International Food Legumes Research Conference (IFLRC VI) and 7th International Conference on Legume Genetics and Genomics (ICLGG VII). University of Saskatchewan-Canada July 7 to 11, 2014.

D. GAAD, M. LAOUAR, and A. ABDELGUERFI. 2016. Prospection, collecte et Caractérisation préliminaire des variétés locales de la lentille (*Lens culinaris* M.) cultivées en Algérie. Journées Internationales de biotechnologie (JIB2016) de l'Association Tunisienne de biotechnologie (AT Biotech). Sousse du 18 au 22 December 2016.

D. GAAD, M. LAOUAR, and A. ABDELGUERFI. 2017. Genetic diversity analysis of Algerians accessions of lentil using molecular markers. 2 Workshop International Gestion et Amélioration Génétique Des Ressources Végétales Et Microbiennes (GRPM2017).Tlemcen, Algérie.

D. GAAD, M. LAOUAR, A. ABDELGUERFI. H. BENBOUZA, M.BELBDJAOUI, 2018. An Overview of Lentil Improvement in Algeria. La rencontre de l'Agriculture et de la Biologie (RAB 2018). Du 04 au 07 Mai 2018, Constantine-Algérie.

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

La diversité phytogénétique est menacée par l'érosion génétique, un terme inventé par les scientifiques pour désigner l'ensemble de processus qui conduit à l'appauvrissement progressif du patrimoine végétal et par conséquent à une perte de la diversité (Marcheny et Lagarde, 1986). Cette perte constitue une sérieuse menace à moyen et à long terme pour la sécurité alimentaire mondiale.

Parmi les espèces végétales d'intérêts alimentaires, qui n'échappent pas au fléau de l'érosion génétique, la lentille occupe une place importante dans l'alimentation de la population algérienne, car elle constitue une des principales sources de protéine végétale disponible localement (Abdelguerfi et Ramdane, 2003).

La lentille est plus riche en protéine (22 % - 35 %) que la fève et le pois chiche et est 2 à 3 fois plus riche que les céréales, notamment le blé (Hussain *et al.*, 2002 ; Cicerali, 2004 ; Rashmi Vamil et Agnihotri, 2010). Elle est également riche en fibre alimentaire (Han et Baik, 2008) et fournit une quantité considérable de vitamine A et B (Maqsood *et al.*, 2000 ; Sulieman *et al.*, 2007).

Son intérêt nutritionnel s'accompagne d'un impact positif sur la conservation des sols. Comme toutes les légumineuses, la lentille a un effet positif sur l'amélioration des caractéristiques physiques et chimiques du sol.

En Algérie, la culture de la lentille date de la période coloniale (Laumont, 1940). Pour les petits agriculteurs, la culture de la lentille constitue un moyen essentiel de subsistance. Elle est soit utilisée pour la consommation familiale ou pour une commercialisation au niveau local. Cette culture, qui est bien adaptée au climat semi-aride, ne peut pas être marginalisée dans les systèmes de cultures en Algérie. Toutefois, le manque de recherche, dans le domaine de la sélection, a accentué la diminution des rendements et a freiné l'émergence de la culture de la lentille. La conservation et la valorisation des ressources génétiques de la lentille sont un préalable à tout programme de sélection qui devrait être pris en considération.

1. Problématique

Notre pays présentait une diversité remarquable de la lentille, observée à travers les nombreuses populations locales cultivées depuis longtemps (Laumont et Chevassus, 1960). Ces variétés locales, bien adaptées aux conditions de sécheresse, ont été remplacées par des variétés modernes à haut rendement, capable de mieux utiliser les ressources chimiques (engrais, pesticide, etc.). Ces nouvelles variétés n'ont pas permis d'atteindre les productions

escomptées et le déficit, à chaque année, est assuré par des importations. Le secteur semencier est aussi en souffrance puisque ce sont souvent les importations qui assurent la disponibilité des semences pour les agriculteurs.

C'est pour cette raison que dans ce travail, nous nous sommes intéressées à établir une collection de variétés locales en vue de l'étudier sur le plan agronomique, morphologique et génétique. Nous considérons qu'une collection de lentille locale sera d'une grande aide pour l'amélioration et la création variétale.

1.1. Problématique sur le plan socio-économique

S'agissant de l'indice de pauvreté, le rapport du PNUD pour l'année 2011, fait ressortir que 6,79 % de la population algérienne vivent sous le seuil de pauvreté (PNUD, 2011). La promotion d'une plante comme la lentille, à forte teneur nutritive, permettrait d'assurer une fonction importante en corrigeant les carences en protéines animales inaccessibles à une large couche de la population.

Les charges à l'hectare, d'une culture de légumineuse alimentaire comme la lentille en mode de conduite traditionnelle sont élevés, car les postes «désherbage» et «récolte» nécessitent beaucoup de main d'œuvres et génèrent plus de postes d'emplois. Une enquête faite dans la région du Serssou (Tiaret) a mis en évidence l'importance de la phase récolte dans la détermination du prix de la lentille pour les deux modes de récolte (manuel et mécanisé). En effet, pour 100 ha de lentille, la durée du travail est de 6,6 jours/ha avec un nombre d'ouvriers saisonniers entre 66 à 77 en mode de récolte manuel comparé à 2 heures/ha de travail avec deux moissonneuses-batteuses et seulement de 3 à 4 ouvriers en mode de récolte mécanique (Leval, 1978). La mécanisation est donc un moyen de faire baisser le prix de la lentille produite localement. En effet, les importations moyennes de cette culture durant la période 2010 à 2013, été de 76 480 tonnes ; ce qui revient à une moyenne de dépense de 69 113 \$ (FAOSTAT, 2017).

1.2. Problématique de point de vue sélection et amélioration génétique

La diversité des pratiques agronomiques et celles des systèmes traditionnels de production de la lentille ont été étudiées particulièrement selon les critères de productivité, de précocité, la hauteur de la plante, de résistance aux contraintes du sol et de résistance aux ravageurs.

La lentille a fait l'objet de plusieurs travaux d'amélioration soutenu durant la période coloniale qui a montré que les souches tirées des populations locales sont plus intéressantes (précocité, productivité) que les variétés d'introduction (Laumont et Chevassus, 1960). Après

l'indépendance, les travaux de sélection et d'amélioration ont souvent été menés par les instituts techniques et de recherche tels que l'ITGC et l'INRAA en collaboration avec le Centre International de Recherche en Région Aride (ICARDA). Ces travaux se résument à l'amélioration de rendement potentiel et la stabilité de ce dernier ; tolérance à la sécheresse ; résistance aux maladies (la rouille et la fusariose) ; adaptation à la mécanisation et la qualité des grains (couleur, forme, protéine, temps de cuisson, etc.). Un nombre important des lignées améliorées ont été testées et des nouvelles variétés ont été réalisées (ICARDA, 2005) : NEL 468 (1983), Balkan 755 (1983), Syrie 229 (1983), ILL 4400 (1986) et NEL 45R (1990) et d'autres en voie de réalisation : Seybouse, Atlas, Tafrent, Nador et Djebel Dira.

Cependant, il n'existe pas au niveau algérien, une collection centralisée de génotypes de la lentille qui permettrait d'être utilisée comme matériel génétique de base pour la sélection. En l'absence d'une telle collection convenablement caractérisée phénotypiquement et génotypiquement, il est difficilement concevable de développer un programme de sélection végétale de la lentille qui puisse répondre aux besoins d'un pays soumis à des conditions climatiques aussi diverses que celles de l'Algérie.

2. Objectifs du travail de recherche

Au-delà des actions de conservation, l'établissement d'une large collection de germoplasme local de lentille et l'application des techniques modernes d'identification et de caractérisation variétale ouvrirait la voie à la sélection assistée par marqueurs moléculaires. En effet, si la variabilité génétique est la matière première du sélectionneur, on ne peut la conserver efficacement qu'après une connaissance précise de celle-ci. Non seulement cette connaissance permet une bonne conservation ; mais en plus, elle fait état de la diversité disponible pour l'amélioration.

La prospection et la collecte de germoplasme local ont été réalisées dans le but de collecter le maximum d'accessions en vue d'une caractérisation agro-morphologique et génétique. Des enquêtes ethnobotaniques ont été menées pour renseigner sur l'importance de la culture, les pratiques culturelles de cette légumineuse et sur l'état de la perte de germoplasme local.

En même temps, cette étude permet de mutualiser les efforts isolés de diverses institutions algériennes (ENSA, INRAA...) en vue de conserver et d'utiliser les écotypes locaux des légumineuses alimentaires dans des programmes d'amélioration.

3. Plan de la thèse

La présentation de ce travail est organisée en cinq chapitres.

Le premier chapitre (**chapitre I**) porte sur la "Synthèse bibliographique", qui consiste à présenter l'espèce *Lens culinaris* sur le plan botanique, agronomique, son origine, ces exigences et sa situation en Algérie.

Dans chacun des chapitres qui se suivent, nous présentons le matériel végétal étudié, les outils d'analyse employés ainsi que les résultats obtenus et leurs discussions.

Le second chapitre (**chapitre II**), intitulé : "Prospection, collecte, étude ethnobotanique et évaluation préliminaire de la lentille en Algérie", décrit la méthodologie de la collecte des accessions algériennes et l'étude ethnobotanique ainsi que la caractérisation des graines des différentes accessions collectées et de celles étrangères issues des banques de gènes.

Le troisième chapitre (**chapitre III**), intitulé : "Caractérisation agro-morphologique d'une collection de lentille", il s'agit de l'évaluation au champ, durant deux années consécutives (Alger et Constantine), d'une collection algérienne et d'une collection témoin.

Le quatrième chapitre (**chapitre IV**), intitulé : "Caractérisation moléculaire des accessions algériennes", consiste en l'analyse de la diversité génétique à partir de la caractérisation moléculaire des accessions, issues des prospections, par des marqueurs microsatellites (SSR).

Le dernier chapitre (**chapitre V**), présente une synthèse des résultats obtenus et une conclusion générale.

Chapitre I: Synthèse bibliographique

Synthèse bibliographique

1. Présentation de l'espèce *Lens culinaris* M.

1.1. Taxinomie

La lentille cultivée, *Lens culinaris* M., appartient à la sous-division *Dicotyledonea* de la division *Anthopyta*, à la tribu des *Viceae*, à l'ordre des *Rosales*, sous ordre *Rosineae*, à la sous-famille *papilionacée*, de la famille des *Fabaceae* ou *Leguminosae* (Williams *et al.*, 1974 ; Muehlbauer *et al.*, 1980). Le genre *Lens* occupe une position intermédiaire entre *Vicia* et *Lathyrus*, mais il apparaît qu'il est plus proche de *Vicia* (Davis et Plitmann, 1970). On retrouve parmi les genres de la tribu *Viceae* : *Lathyrus* L., *Lens* M., *Pisum* L., *Vicia* L. et *Vavilovia* A. (Kupicha, 1977). Tous ces genres comportent des espèces cultivées excepté *Vavilovia*. Le genre *Lens* contient huit taxa dont quatre sont des espèces (Ferguson *et al.*, 2000 ; Ferguson et Erskine, 2001) :

L. culinaris Medikus:

subsp. *Culinaris*.

subsp. *orientalis* (Boiss.) Ponert.

subsp. *tomentosus* (Ladizinsky) Ferguson, Maxted, van Slageren & Robertson.

subsp. *odemensis* (Ladizinsky) Ferguson, Maxted, van Slageren & Robertson.

L. ervoides (Bring.) Grande.

L. nigricans (M. Bieb) Godron.

L. lamottei Czefr.

Seule *L. culinaris* subsp. *culinaris* est cultivée. Tandis que, tous les autres sont des espèces spontanées. Sharma *et al.* (1996), par l'utilisation des marqueurs RAPD, ont observé que la sous-espèce *L. orientalis* est le plus proche de la lentille cultivée. Alors que *L. ervoides* est le taxon sauvage le plus distinct, suivi par *L. nigricans*. Ces résultats ont été confirmés par les marqueurs AFLP (Sharma *et al.*, 1996). L'espèce, *L. culinaris* a été divisée par Barulina (1930 in cubero, 2009) en deux sous-espèce à savoir *macrosperma* (le diamètre de graine est entre 6-9 mm) et *microsperma* (le diamètre de graine est entre 2-6 mm.). Le type *macrosperma* est caractérisé par des cotylédons jaunes tandis que le type *microsperma* est caractérisé par des cotylédons oranges ou jaune. Elle avait groupé ces deux sous-espèces dans six grèges: *Europeae*, *Asiaticae*, *Intermediae*, *Subspontanea*, *Aethiopicae* et *Pilosae* (Cubero, 1981).

1.2. Historique

L'histoire de la lentille est aussi vieille que celle de l'agriculture (Helbeck, 1963). Les restes carbonisés de la lentille ont été datés de onze mille ans avant J.C. Ils ont été trouvés dans la

caverne de Franchthi en Grèce et sont considérés comme les plus vieux restes connus (Sandhu et Singh, 2007). Aussi, des grains de petit diamètre (2 à 3 mm) ont été trouvés à Tell Mureybit en Syrie et qui datent entre 8500–7500 avant J.C. (Van Zeist et Bottema, 1971 ; Zohary, 1978). Dans un site Archéologique au nord de la Palestine, la présence d'un grand entrepôt de la lentille, met en évidence qu'aux alentours de 6 800 ans avant J.C. la lentille fit déjà partie des produits de la ferme.

1.3. Origine

Lens culinaris est native du Moyen-Orient et l'Asie Centrale (Sandhu et Singh, 2007). L'ancêtre présumé de la lentille cultivée, *Lens culinaris* subsp. *orientalis* (Bioss.) Ponert, a été trouvé en Turquie, Syrie, Liban, Palestine, Jordanie, Iraq, Iran, Afghanistan, Grèce et Ouzbékistan (Zohary, 1978 ; Ladizinsky, 1979 ; Cubero, 1981).

L. orientalis a évolué probablement à partir d'espèces pérennes et devenu par la suite le parent de l'espèce cultivée, *L. culinaris* (Singh, 2001). Cela a été confirmé par les études cytoplasmiques de Ladizinsky (1979).

Par contre, les analyses cytogénétiques des hybrides interspécifiques ont montré que trois chromosomes interchangeables ont été trouvés entre l'espèce cultivée *L. culinaris* et l'espèce sauvage *L. nigricans* alors que seulement un chromosome a été trouvé entre l'espèce cultivée *L. culinaris* et l'espèce sauvage *L. orientalis*, ce qui oriente plus vers l'hypothèse que *L. orientalis* est l'ancêtre de la lentille cultivée.

1.4. Domestication

La lentille est une espèce autogame, ce qui a joué un rôle essentiel dans la stabilité des lignées au fil du processus de domestication. Les études archéologiques, mentionnées ci-dessus, ont confirmé la présence de la lentille en Turquie, Syrie et Irak durant la période 8500–600 avant J.C. Ces régions ont probablement joué un rôle important dans la domestication de la lentille et sa diffusion au Nil, Grèce et l'Europe Centrale, ensuite vers l'Est et le Sud de l'Asie (Nene, 2006). En même temps, la lentille s'est propagée aussi en Éthiopie, Afghanistan, Inde, Pakistan et la Chine et plus tard dans le nouveau monde y compris l'Amérique Latine (Ladizinsky, 1979 ; Cubero, 1981 ; Duke, 1981).

La lentille est l'une des premières espèces végétales domestiquées par l'homme, ses restes étant aussi vieux que ceux du blé, de l'orge et du pois (Zohary, 1978). D'après Ladizinsky (1979), le processus de domestication de la lentille se serait étalé sur une période d'environ 25 ans.

1.5. Pools génétiques

Selon Demol (2002), on distingue quatre pools génétiques qui représentent la diversité génétique. Le pool génétique primaire (PG-1) correspond à l'espèce biologique et il se compose des variétés modernes (dont la variabilité est souvent restreinte), des variétés anciennes (qui sont généralement très diversifiées), des variétés primitives (qui sont en voie de disparition), des sauvagéoïdes ou formes sub-spontanées (Sont des formes régressives résultantes d'hybridation entre les types sauvages et les variétés cultivées et des formes sauvages de l'espèce, présentant un potentiel de diversité intact).

Le pool secondaire (PG-2) se caractérise par toutes les espèces dont le transfert des gènes est possible mais parfois difficile avec les (PG-1).

Le pool tertiaire (PG-3) constitue l'extrême limite des ressources génétiques utilisables (par les voies habituelles de sélection et d'amélioration des plantes). Le matériel végétal de ce dernier groupe peut être croisé avec ceux du pool primaire, mais les hybrides sont stériles. Par ailleurs, le transfert de gènes n'est possible que par des techniques très poussées comme la fusion de protoplastes (Singh et Jauhar, 2005). Le pool génique quaternaire (PG-4) a été récemment désigné pour comprendre tous les organismes vivants au-delà du PG-3 (Spillane et Gepts, 2001 in Belattar, 2007).

Deux espèces apparentées de la lentille appartiennent au pool génétique tertiaire qui possède beaucoup de traits agronomiques importants tels que la résistance aux maladies (Bayaa *et al.*, 1994, 1995 ; Ahmad *et al.*, 1997), la tolérance au froid (Hamdi *et al.*, 1996) et la résistance à la sécheresse (Hamdi et Erskine, 1996), qui seraient utiles pour la lentille cultivée. Des hybrides résistants à l'*Anthracnose* ont été créés par le sauvetage des embryons, entre la lentille cultivée et *L. lamottei* (Fiala, 2006).

Le tableau 1 montre la classification des espèces de la lentille dans les trois premiers pools génétiques :

Tab.1: Les pools génétiques de la lentille, d'après Muehlbauer et McPhee (2005).

Pool génétique primaire	Pool génétique secondaire	Pool génétique tertiaire
<i>Lens culinaris</i>	<i>Lens ervoides</i>	<i>Lens culinaris</i> subsp.
subsp. <i>culinaris</i>	<i>Lens nigricans</i>	<i>Lens tomentosus</i>
subsp. <i>orientalis</i>		<i>Lens lamottei</i>
subsp. <i>odomensis</i>		

1.6. Distribution géographique

Originaire du croissant fertile, la lentille cultivée a été introduite en Grèce, en Europe Centrale et en Europe de l'Ouest, tout le long du fleuve du Danube ; ensuite dans le Delta du Nile, et dans l'Est jusqu'à l'Inde (Cubero *et al.*, 2009). La distribution géographique des six groupes du type *microsperma* et le seul type *macrosperma* est résumée par Barulina (1930 in Cubero *et al.*, 2009) dans la figure 1. En effet, le groupe *pilosae* est limité au subcontinent Indien, le groupe *aethiopicae* à l'Éthiopie et le Yémen, et le groupe *subspontanea* à la région Afghane près du subcontinent Indien. Alors que, le groupe *intermediae* gagne la Sicile, et le groupe *asiaticae* atteint la Sardaigne, le Maroc et l'Espagne. L'origine de cette dissémination de la lentille est l'introduction dans ces pays de stocks de lentille provenant de l'Europe Centrale. Par contre, le type *macrosperma* est introduit en Italie, France et Espagne et par la suite a atteint l'Algérie.

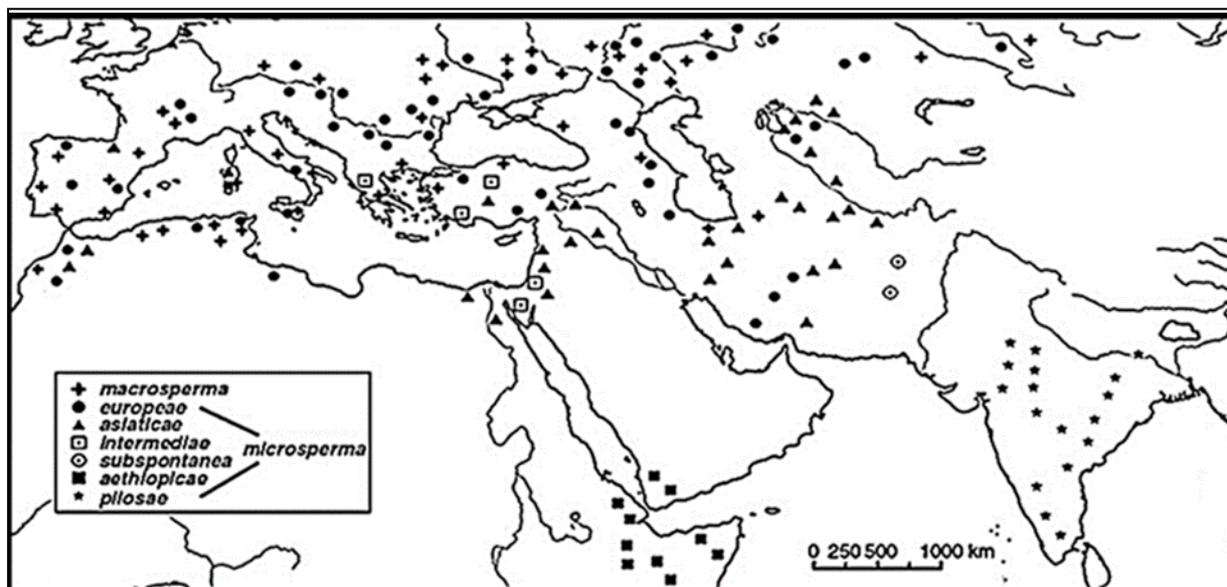


Fig.1: Distribution géographique des différents groupes de *L. culinaris* (Barulina, 1930 in Cubero *et al.*, 2009).

1.7. Description botanique

L'espèce cultivée *L. culinaris* subsp. *culinaris* est une légumineuse annuelle, herbacée avec un port érigé, semi-érigé ou prostrée (Sandhu et Singh, 2007) (Fig.2). La germination des grains est hypogée (Sandhu et Singh, 2007).

La tige est habituellement fine et très ramifiée, de couleur vert-clair de 15 à 75 cm de hauteur (Duke, 1981).

Les pétioles de 4 à 5 cm de longueur comportent 10 à 15 folioles de 5 à 8 paires. Généralement, les feuilles supérieures sont en forme de vrille, tandis que les feuilles inférieures sont lancéolées (Muehlbauer *et al.*, 1985).

Les feuilles sont en position alternées, composées, pennées, de forme oblongue de couleur verte-jaunâtre, vert-jaune-clair, vert-foncé, ou vert-grisâtre, les stipules sont petites ou absentes.

Les racèmes auxiliaires comportent généralement 1 à 4 fleurs sur un petit pédoncule de 2,5 à 5,0 cm de long (Sandhu et Singh, 2007).

Les fleurs chez la lentille sont de 4 à 8 mm de longueur et sont de couleur blanchâtre ou violette qui se distinguent des autres légumineuses. La fleur comprend un grand pétale supérieur, l'étendard, deux pétales latéraux, les ailes et deux pétales inférieurs recourbés vers le bas, formant la carène (Wilson et Hudson, 1978).

Les gousses sont oblongues, bombées, lisses. Elles sont de 1–2 cm de long avec un bec incurvé et un calice persistant. Les gousses contiennent une à trois graines (Sandhu et Singh, 2007).

Les graines sont biconvexes, rondes, petites avec un poids de 100 graines entre 2 g à 8 g. C'est de la ressemblance avec la graine que le dispositif optique tire son nom. Selon Barulina (1930 *in* Cubero et al., 2009), il y a deux types de graines, le type *macrosperma* de diamètre entre 4 à 6 mm et le type *microsperma* entre 2 à 4 mm.

La couleur du tégument des grains varie entre roses, jaune, verte, grise, beige, marron et noire. Elle est souvent accompagnée par des marbrures, taches, ou point qui parfois se retrouvent toutes ensemble. Tandis que les cotylédons peuvent être de couleur jaune, orange ou verte (Kay, 1979).

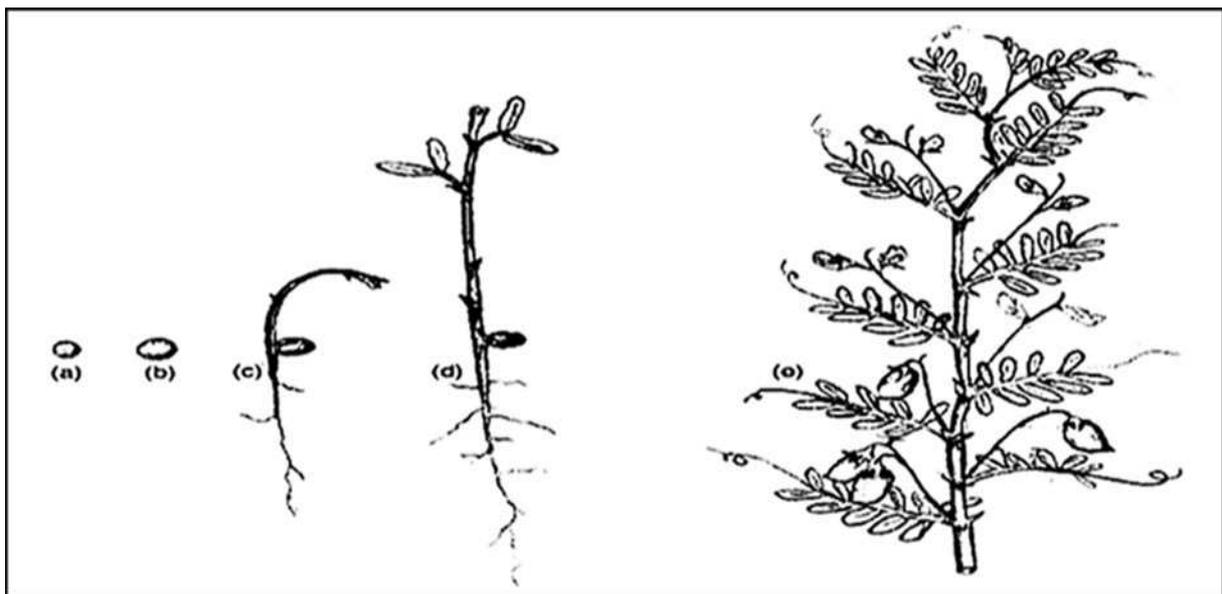


Fig.2 : Morphologie de la lentille, (a) Grains secs ; (b) Grain humide imbibé ; (c) Nouvelle plantule émergée montre la germination hypogée ; (d) Jeune plantule avec deux feuilles cotylédonaires ; (e) Branches avec des feuilles ; fleurs et gousses (Saxena, 2009) .

2. Adaptation et agro-écologie

La lentille s'adapte à différents environnements agro-écologiques, mais la production est très limitée dans les zones tropicales. La distribution géographique de l'espèce peut être reliée aux variations des facteurs climatiques et édaphiques.

2.1. Caractéristiques des zones de production

La température, la répartition et la quantité des précipitations semblent être les facteurs déterminant des zones de la production de la lentille à travers le monde.

À l'Ouest de l'Asie, en Afrique du Nord et en Australie, la lentille est semée en hiver dans les zones qui reçoivent une pluviométrie annuelle entre 300 et 450 mm (Materne et Siddique, 2009). Dans les régions subtropicales du Pakistan, Inde, Népal et Bangladesh, la lentille est aussi cultivée comme une culture d'hiver « *rabi* ». Par contre, dans les régions à haute altitude et/ou latitude comme la Turquie centrale, les États-Unis, l'Europe et le Canada, où les hivers sont trop froids (-20°C), le semis est retardé jusqu'au printemps (Materne et Siddique, 2009).

2.2. Effet des conditions du milieu sur le comportement de la lentille

Les conditions du milieu influencent largement la croissance et le développement de la lentille et son adaptation à un environnement écologique donné (Erskine *et al.*, 1989). En effet, le stress hydrique et le stress thermique, notamment la sécheresse et les températures élevées, sont les contraintes majeures qui limitent la production de la lentille dans la plupart des milieux, particulièrement pendant les stades de floraison et de formation des graines.

Summerfield *et al.* (1989), ont rapporté que l'application graduelle des températures élevées durant le stade post-floraison, ralentie le développement végétatif, accélère la maturité et réduit le rendement chez la lentille. En Syrie, les deux phases, floraison et reproduction, étaient négativement corrélées avec le rendement en conditions sèche, contrairement aux conditions humides (Silim *et al.*, 1993).

2.2.1. Effet de la photopériode et la température sur la floraison chez la lentille

Summerfield *et al.* (1996), ont rapporté que les stades phénologiques de la majorité des espèces annuelles, telles que les céréales et les légumineuses à graines, sont contrôlées par leur sensibilité au photopériodisme et thermopériodisme. Ces espèces échappent aux conditions climatiques critiques par la clôture de leurs cycles biologiques durant la période favorable. La floraison, qui est sensible, surtout à la sécheresse, a un effet direct sur la date de maturité et sur le rendement final de l'espèce. Pour tester l'effet de la photopériode et la température sur la floraison, Erskine *et al.* (1990) ont caractérisé, sous serre, 231 accessions

de lentille. La même expérience était reconduite en plein champ (Erskine *et al.*, 1994). Pour les deux études, une large variabilité a été constatée au sein des géotypes pour le stade de floraison, et leur réponse à la photopériode et la température a été liée à l'origine géographique des accessions. Les accessions des pays de basses latitudes comme l'Inde, l'Éthiopie et l'Égypte, étaient moins sensibles à la photopériode, mais plus sensibles à la température (Erskine *et al.*, 1994).

2.2.2. Effets des stressés abiotiques

Comparée à d'autres légumineuses alimentaires comme la fève et le pois chiche, la lentille est cultivée dans les régions arides de WANA à des précipitations annuelles minimums de 250 mm (Materne et Siddique, 2009). Cependant, le déficit en eau reste une contrainte majeure pour la production de la lentille dans le monde. Sous les conditions pluviales, la sélection naturelle et artificielle avait permis la création des variétés qui utilisent efficacement les ressources en eau. Différents mécanismes, comme le choix de bonnes variétés à grande vigueur et à floraison et maturité précoces, contribuent à l'évitement de la déshydratation. En Australie, des géotypes précoces donnent des rendements élevés dans les milieux à faible pluviométrie (Materne, 2003).

Tout comme le déficit en eau, la lentille ne tolère pas l'excès en eau ou l'inondation. La partie végétative et les racines sont sévèrement affectées par l'inondation après la levée (Jayasundara *et al.*, 1998). En effet, l'excès en eau peut réduire le rendement de la lentille à toute période pendant la saison de la culture, spécialement dans les sols à structure pauvre où le drainage est bloqué.

Les lentilles sont adaptées à une large gamme de sol, allant de neutre jusqu'à alcalin mais les rendements sont compromis dans les sols acides, sodiques, salins ou avec un niveau élevé en bore. L'allègement de ces problèmes de toxicité à travers la modification de sol n'est pas une solution économique ou solution pratique (Materne et Siddique, 2009) ; par conséquent, opter pour des variétés tolérantes est considérée comme la meilleure approche pour surmonter ces contraintes.

Les symptômes de déficience en fer sont communs chez la lentille, particulièrement dans les sols à pH élevé ou le fer devient moins disponible. En Inde, les pertes en rendement sont de 18 à 25 % chez les géotypes susceptibles au déficit en fer (Ali et Johnson, 2000). Parallèlement, en Syrie, les pertes en rendement sont estimées à 47 % chez les géotypes qui ont présentés des symptômes sévères au déficit en fer, mais il n'a pas été constaté de pertes en rendement chez les accessions à symptôme visuel modéré à la carence en fer (Erskine *et al.*, 1993).

Une pauvre fixation azotée affecte la plante hôte et par conséquent réduit le rendement chez la lentille. De ce fait, la relation symbiotique plante hôte-rhizobium est importante pour assurer une bonne fixation azotée, une bonne assimilation de phosphore et un rendement élevé (Materne et Siddique, 2009). Tandis que, les rhizobiums sont bien adaptés à certains sols, leur persistance et performance peuvent être relativement limitées en sol acide et/ou salin (Slattery et Pearce, 2002). Des souches de rhizobium et des variétés (plante hôte) tolérantes à ces types de sol ont été associées pour améliorer la production dans les sols acides et/ou salins (Rai et Singh, 1999 ; Slattery et Pearce, 2002).

2.2.3. Effet des stressés biotiques

Les maladies restent les premières causes de la baisse de rendement obtenue en champ. Par exemple, les pertes due à la maladie de la fusariose en Algérie sont estimées à 10% mais peuvent atteindre 66 % (Belabid *et al.*, 2004). La résistance ou la tolérance, à la plupart des maladies, est la clé pour l'adaptation de la lentille dans différentes régions, particulièrement quand les pesticides deviennent indisponibles ou économiquement moins rentables. Des variétés résistantes à différents pathogènes ont été mises à la disposition des agriculteurs. Par exemple, en Syrie, des variétés résistantes à la maladie de la fusariose ont été obtenues, et des variétés résistantes à la rouille au Bangladesh (Materne et Siddique, 2009). Cependant, la pression de sélection, exercée sur les variétés à résistance monogénique, favorise le développement de nouveaux biotypes capables de contourner ces résistances, ce qui nécessite la recherche continue et rapide de nouveaux gènes de résistance (Najimi *et al.*, 2003).

Les maladies interagissent aussi avec les pratiques agricoles qui affectent les conditions du milieu dans lesquels la plante évolue, ce qui a un impact sur l'effet de la maladie sur l'hôte. Par exemple, en Australie, le semis précoce favorise la prévalence des maladies causées par *Ascochyta lentis* et *Botrytis* spp. (Knights, 1987 ; Materne, 2003).

2.3. Amélioration de l'adaptation de la lentille par la compréhension de l'interaction génotype x milieu

Dans toutes les études menées sur la lentille, la complexité de l'adaptation est illustrée par l'efficacité de l'interaction génotype x environnement. Bien que le potentiel pour identifier cette interaction dépend du nombre des génotypes, des sites et/ou des années. Le grand challenge est d'identifier soit des génotypes bien adaptés à une région bien définie «adaptation spécifique» soit des génotypes adaptés à des régions particulières « adaptation générale ».

La littérature internationale est extrêmement riche en références qui expliquent l'interaction Génotypes (G) x Environnements (E) chez la lentille. Les premiers travaux dans ce sens

portent sur l'influence du milieu sur la floraison (Erskine et Witcombe, 1984 ; Erskine *et al.*, 1989). L'amélioration de la stabilité du rendement est l'un des objectifs essentiels qui préoccupent l'améliorateur. En effet, dans des essais multilocaux et pluriannuels, les deux génotypes tardifs ILL4400 et ILL4401, testés en Syrie, donnent des bons rendements (Murinda et Saxena, 1983), mais une fois expérimentés dans des régions arides, ils ne tolèrent pas la sécheresse et donnent des rendements faibles comparés aux génotypes précoces (Silim *et al.*, 1993).

Dans deux études séparées en Inde, l'interaction G x E n'est pas significative, des génotypes à rendement stable pendant 3 ans d'essais ont été identifiés (Sharma, 1999; Solanki, 2001). En Éthiopie, la signification de l'interaction G x E est en fonction de la répartition des pluies saisonnière qui favorise les génotypes tardifs quand les précipitations surviennent sur une longue période (Bejiga *et al.*, 1995). Dans certaines études, le meilleur génotype n'est pas toujours le meilleur dans tous les environnements. C'est le cas des génotypes de la lentille à rendements élevés, mais instables une fois testés dans des milieux à faibles capacités (Bejiga *et al.*, 1995 ; Chowdhury *et al.*, 1998 ; Elwafa, 1999 ; Sharma, 1999 ; Solanki, 2001).

2.4. Effet des techniques agricoles sur le comportement de la lentille

Les techniques agricoles sont de plus en plus reconnues comme des éléments-clés dans l'amélioration de la production de la lentille.

2.4.1. Effet de la date de semis

Le semi-précoce de la lentille produit des rendements élevés dans la plupart des milieux. Toutefois, la stratégie d'esquive qui consiste à décaler les stades phénologiques les plus sensibles au déficit hydrique (souvent la floraison) par le choix de variétés précoces ou de semis précoces pourrait avoir des conséquences néfastes, telles que des attaques de parasites, les maladies cryptogamiques et les dégâts causés par le froid.

2.4.2. Effet du désherbage

En raison de la croissance ralentie de la lentille durant l'hiver et sa faible biomasse, elle entre peu en compétition avec les mauvaises herbes, et le contrôle de ces derniers est d'une grande contrainte pour la culture de la lentille particulièrement pour les variétés à semi-précoce. Dans la plupart des pays où la lentille est cultivée d'une manière traditionnelle, la méthode de contrôle des adventices est souvent le désherbage manuel (sarclage), une des activités qui mobilisent le plus de main-d'œuvre et de temps. Par contre, la production dans certaines régions, particulièrement en Amérique du Nord et l'Australie, est dépendante de l'utilisation des herbicides pour le contrôle des mauvaises herbes. Cependant, les herbicides à action

foliaire ont une limitation et la plupart peuvent causer des lésions pour la lentille. Le travail du sol réduit aussi l'impact des adventices, mais cela peut retarder le semis et augmente le risque d'érosion et la dégradation du sol. Des variétés de bonne vigueur et tolérantes aux herbicides comme le *Diflufenica*, le *Metribuzin* (Muehlbauer et Slinkard, 1983) et le *Trifluralin* (Basler, 1981) offrent un grand potentiel de contrôle des adventices chez la lentille.

2.4.3. Effet des méthodes de récolte

Dans les pays développés, la récolte de la lentille est à grande échelle mécanisée, alors que dans les pays sous-développés, la récolte est encore réalisée manuellement. Toutefois, la récolte manuelle est considérée comme une contrainte majeure à la production de la lentille et les charges très coûteuses engendrent une grande diminution de la production, tel est le cas en Jordanie et en Syrie (Erskine et Goodrich, 1991). Des variétés adaptées à la mécanisation ont été créées en Syrie, Liban, Irak et Turquie et leur utilisation combinée avec la mécanisation, augmente le revenu net des agriculteurs (Sarker et Erskine, 2002). Une faible hauteur, un port prostré, l'indéhiscence et l'égrenage des gousses, la verse et une maturité échelonnée, représentent des freins majeurs pour une récolte mécanisée de la lentille (Erskine *et al.*, 1991 ; Ibrahim *et al.*, 1993 ; Erskine, 1985 ; Silim *et al.*, 1993). Cette dernière exige des variétés adaptées, une bonne préparation de lit de semence et le réglage adéquat de la barre de coup de la moissonneuse-batteuse.

L'amélioration génétique peut aider la mécanisation à travers le développement des variétés à grande hauteur, résistants à la verse, à maturité homogène et retenant leurs gousses et grains jusqu'à maturité. Cependant, aux États-Unis, des variétés à tige longue et à port érigé donnent un faible rendement et ne rentrent pas en compétition avec les adventices comparés aux plantes à tige courte et à ramifications intenses (Muehlbauer *et al.*, 1995). Erskine et Goodrich (1988) trouvent que les plantes à tige haute et à maturité tardive sont sensibles à la verse. Donc, pour une meilleure mécanisation, l'utilisation des géotypes tardifs à hauteur intermédiaire est une bonne indication de la résistance à la verse. Les variétés améliorées à port érigé sont aussi plus disposées aux chutes de gousses à cause des vents forts, ce qui accélère la nécessité d'améliorer les deux caractères en même temps (Materne *et al.*, 2002).

3. Utilisation de la lentille

La lentille est destinée presque exclusivement à la consommation humaine. La lentille entière ou cassée est utilisée dans la préparation de salades, de soupes, de ragoûts, de plats cuits en cocotte. La lentille, moulue en farine et mélangée avec d'autres types de farine, entre dans la fabrication de produits de boulangerie ou de nourriture pour bébés. Elle est mélangée à la

farine de blé dans la production de pain et de gâteau. En outre, elle sert souvent comme sauce de viande dans les menus végétariens.

Les résidus de lentille y compris les tiges et les feuilles ainsi que les grains de lentilles de moins bonne qualité sont utilisés dans l'alimentation des animaux.

Plusieurs des effets bénéfiques de la consommation de lentille sur la santé humaine ont été démontrés. En effet, les soupes de lentilles ont une place dans la médecine traditionnelle, elles sont prétendues améliorer la digestion et sont prescrites pendant la convalescence et également considérées comme épurateur de sang (Sandhu et Singh, 2007).

Des recherches récentes menées en santé humaine ont fourni des résultats prometteurs quant à une éventuelle activité anti-cholestérol et anticancéreuse de certains composés de la lentille ainsi qu'une activité oestrogénique (Favier *et al.*, 1995 ; Fratini et Ruiz, 2002 ; Mahmoudian *et al.*, 2002 ; Bayrac, 2004 ; Sulieman *et al.*, 2006 ; Kumar, 2007 ; Gaffarzadeh-Namazi *et al.*, 2007 ; Janas *et al.*, 2010 ; Tahir *et al.*, 2010).

4. Les ressources génétiques de la lentille

4.1. Les collections *ex situ*

Parmi les objectifs de la conservation des collections de germoplasme, la préservation et la caractérisation de la diversité génétique des espèces en vue de leurs utilisations et valorisation à court, moyen et long termes.

Les espèces du genre *Lens*, dont l'espèce cultivée *L. culinaris* subsp. *culinaris*, ont fait l'objet de nombreuses collections dans le monde. De nombreux organismes internationaux, nationaux et privés, ont créé des banques de gènes qui peuvent compter plusieurs dizaines de milliers d'accessions. De nos jours, on peut citer six principales banques de gènes qui gèrent les ressources génétiques de *Lens* :

4.1.1. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA)

L'ICARDA a été mandaté de mener des prospections et des collectes de la lentille à travers le monde coordonnée par le Groupe Consultatif International de l'Agriculture (CGIAR). De ce fait, la collection la plus importante de germoplasme de *Lens* se trouve à l'ICARDA. Cette collection compte 10 800 accessions collectées à travers le monde entier, dont 8 860 appartiennent à l'espèce annuelle cultivée *L. culinaris* subsp. *culinaris* provenant de plus de 70 pays différents représentant les quatre régions géographiques majeures de globe (Fig.3) (Furman *et al.*, 2009).

Aussi, l'ICARDA compte 1 373 lignées et 583 accessions appartenant aux six espèces sauvages de genre *Lens*, originaire de 24 pays. Cependant, la région de l'Afrique du Nord, comme l'Algérie, la Libye et la Tunisie et le Soudan sont mal représentées dans cette collection, c'est le cas aussi de la région de l'Ouest et de l'Asie Centrale (Ferguson et Erskine, 2001).

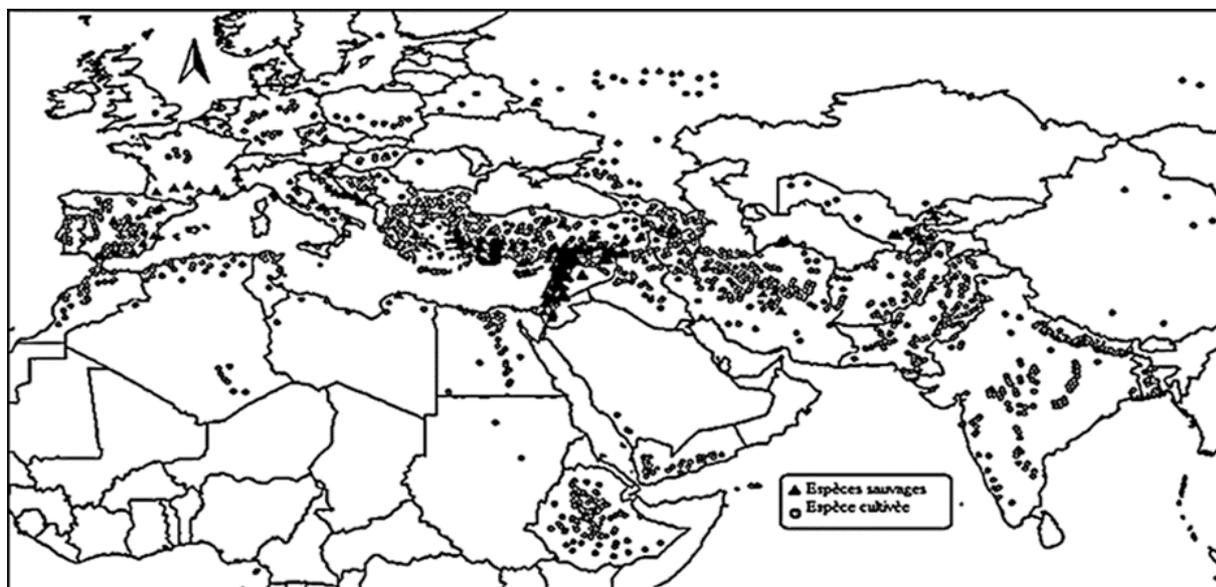


Fig.3: Distribution géographique des collections du genre *Lens* de l'ICARDA (Furman *et al.*, 2009).

4.1.2. Australian Temperate Field Crops Collection (ATFCC)

Une autre importante collection est celle détenue au département d'Industries à Victoria en Australie avec 5 250 accessions ([http : //149.144.200.50:8080/QMWebRoot/ SiteMain.jsp](http://149.144.200.50:8080/QMWebRoot/SiteMain.jsp)).

4.1.3. Institute of Biodiversity Conservation (IBC)

En Afrique tropicale, la plus grande collection des ressources génétiques (Environ 370 accessions existent au niveau de l'Institut de la Conservation de la Biodiversité (IBC), à Addis-Abeba (Éthiopie), pays considéré comme un centre secondaire de la diversité pour la lentille.

4.1.4. Agricultural Research Service of United States Department of Agriculture (ARS/USDA)

Cet organisme possède 2 797 accessions obtenues par donation. Cette collection provient de plusieurs pays. Les informations requises pour l'ensemble de ces accessions sont publiées sur le web, sur le site Germplasm Resources Information Network (GRIN) (<http://www.ars-grin.gov/npgs/>).

4.1.5. Vavilov Research Institute of Plant Industry (VIR)

En Russie, à l'Institut Vavilov (à St. Pétersbourg), il existe environ 2 400 accessions de la lentille (<http://vir.nw.ru/>).

4.1.6. National Bureau of Plant Genetic Resources (NBPGR)

L'Inde à travers son bureau national des ressources génétiques possède environ 2 212 accessions de lentille (Dwivedi *et al.*, 2006).

4.2. La constitution d'une collection réduite « core collection » de lentille

L'ICARDA a créé une « core collection » pour la lentille dans le cadre de « Generation Challenge Program » du groupe CGIAR, qui a pour objectif l'exploration de la diversité génétique des collections de germoplasme maintenues par les centres de recherche de CGIAR (<http://www.generationcp.org>).

Une collection réduite composée de seulement 1 000 accessions parmi les 10 800 accessions totales a été établie. Elle présente une large diversité génétique et comprend des accessions de différentes zones agroécologiques. Cette collection rassemble des variétés anciennes et des populations naturelles, qu'elles soient cultivées ou sauvages, des espèces apparentées et des germoplasmes élités (Furman *et al.*, 2009).

4.3. La conservation *in situ*

À nos jours, il n'y a eu aucune tentative systématique pour conserver la diversité de *Lens* qu'elle soit au niveau des fermes ou dans des réserves. Cependant, des aires protégées où sont abrités différents genres des espèces de genre *Lens* existent, mais elles restent toujours une forme de conservation passive et par conséquent sujette à l'érosion génétique.

La conservation la plus active de la diversité du genre *Lens* se trouve dans quelques réserves ménagées à l'Est de la Méditerranée (Exemple : Ammiad à l'Est de Galilee, Palestine ; Turquie à Kaz-Dag dans le Sud-Est). Cette dernière est particulièrement importante du fait que cette aire est l'un des centres de diversité génétique de *Lens culinaris* subsp. *orientalis* (Ferguson *et al.*, 1998_a).

Malgré les récents progrès réalisés en matière de conservation *in situ* de la diversité génétique du genre *Lens*, notamment dans les aires à grande diversité, il y a une nécessité urgente d'établir systématiquement à la fois des réserves pour les espèces sauvages et des projets au niveau des fermes pour la conservation des anciennes variétés de l'espèce cultivée, *Lens culinaris* subsp. *culinaris*.

5. Les marqueurs génétiques utilisés dans les études de la diversité chez la lentille

La diversité génétique est le résultat de plusieurs phénomènes dont la sélection, les mutations, la migration et la dérive génétique. Ces forces évolutives ont toutes des effets sur l'importance et l'organisation de la variabilité génétique. Les effets de ces forces portent sur l'ampleur et l'organisation du polymorphisme : la mutation et la migration augmentent la diversité alors que la sélection et la dérive la diminue (Mebarki, 2009). Les marqueurs génétiques sont des caractéristiques héréditaires qui renseignent sur le génotype de l'individu qui les porte (De Vienne 1998 *in* Mebarki, 2009). Trois types sont largement utilisés pour l'évaluation de la variabilité génétique, à savoir les marqueurs morphologiques, les marqueurs biochimiques et les marqueurs de l'ADN.

5.1. Les marqueurs morphologiques

Dans les programmes de sélection des plantes, les caractères morphologiques sont les premiers à être observés. Ils correspondent généralement aux caractères qualitatifs (couleur des grains, couleur de la tige et des fleurs, etc.) et quantitatifs (date de floraison, hauteur de la plante, poids de 100 grains, etc.) qui peuvent être évalués visuellement et par des mesures. Cependant, beaucoup de facteurs limitent l'utilisation des marqueurs morphologiques à savoir pour leur dépendance importante à l'environnement et leur demande de moyens importants pour leur réalisation (temps, coût). Par ailleurs, ces marqueurs ne doivent pas être négligés malgré leurs limites, car ce sont encore les critères utilisés pour décrire et identifier les taxons, lignées et variétés.

La publication de nombreux descripteurs de caractérisation par « *International Plant Genetic Resources Institute* » (IPGRI) et « *Union pour la protection des obtentions végétales* » (UPOV) pour les espèces végétales, témoigne de l'importance des marqueurs morphologiques.

Les descripteurs de la lentille publiés en 1985 par « *International Board for Plant Genetic Resources* » – IBPGR (puis « *International Plant Genetic Resources Institute* » – IPGRI) et l'Union pour la protection des obtentions végétales (UPOV) en 2013, sont utilisés dans la caractérisation morphologique quantitative et qualitative de la lentille. Ces descripteurs, mondialement utilisés, sont complétés avec des caractères établis par les sélectionneurs locaux. L'intérêt est d'uniformiser la caractérisation des collectes pour la conservation et la rationalisation de l'utilisation du germplasma.

La première étude, sans précédent, de la diversité morphologique de la lentille (*Lens culinaris* M.) a été réalisée par Barulina (1930 *in* Cubero, 1981) qui a examiné les grandes collections faites par beaucoup d'expéditions sous les auspices du Russe *Vavilov*. Les principaux caractères pris en compte dans son étude sont les graines et les gousses. À partir des années

80, l'ICARDA a été mandatée de mener la recherche sur la lentille et pris en charge la caractérisation morpho-agronomique d'une grande collection de lentille composée de 4 550 accessions de différentes origines géographiques (Erskine et Witcombe, 1984). Les caractères morphologiques avaient été étudiés et ont été notés dans différentes conditions climatiques pour leurs utilisations dans les programmes de sélection et d'amélioration.

Par la suite, de nombreux travaux ont été réalisés sur les caractérisations phénotypiques et agronomiques de la plante parmi lesquels : Erskine (1983) avait étudié en premier lieu la relation entre le rendement en grains et le rendement biologique de 3 586 accessions de la lentille semées dans un seul site et par la suite dans trois sites différents. Les 20 meilleures accessions présentent un rendement biologique moyen de 9 123 kg/ha. Dans le même contexte, Bakhsh *et al.* (1993), ont trouvé une association positive élevée entre le rendement en grains et le rendement biologique chez 50 accessions de la lentille.

Erskine *et al.* (1989), suite à l'analyse de 9 traits quantitatifs sur une collection de lentille composée de 1 370 accessions provenant de 13 pays, ont identifié 3 groupes: *Levantine* groupe (Égypte, Jordanie, Liban et Syrie), *Northen* groupe (Grèce, Iran, Turquie et Ex-URSS), et le troisième groupe qui contient les accessions originaires d'Éthiopie et l'Inde. Dans cette étude, les caractères les plus discriminants étaient la date de maturité, la hauteur de la première gousse fertile et le poids de 100 grains.

Ultérieurement, Bejiga *et al.* (1996), dans l'étude de la diversité de 156 variétés locales de lentille en Éthiopie (dix provinces) dans trois sites différents en altitude et sur 6 caractères quantitatifs ont montré une variabilité significative des variétés locales entre les localités pour la date de floraison et de maturité, le poids de 100 grains, le nombre de grains/gousse et la hauteur de la plante. Par contre, Toklu *et al.* (2009_a), dans une étude de 39 variétés locales de lentille en Turquie, ont montré une variabilité significative de la pigmentation de la tigelle, la couleur des fleurs, la pubescence des feuilles, la couleur des grains et la tigrure des grains.

En Espagne, Lazaro *et al.* (2001), ont évalué sur le plan agronomique une collection de 101 germoplasm de lentille. Les résultats indiquent, que la plupart des variétés originaires des régions tempérées à régime méditerranéen sec, possèdent une pigmentation à la base de la tige, une légère pubescence des feuilles, des fleurs blanches à stries violettes, un tégument vert sans marbrure et à cotylédon jaune. Deux groupes distincts basés sur les caractères des grains ont été établis et qui correspondent à la description de Barulina des deux types *macrosperma* et *microsperma*.

Dans une étude menée par Khan *et al.* (2001), le coefficient de variation, de 25 génotypes introduits de lentille, était très faible pour la date de maturité (1,16 %), la floraison (4,36 %), et le rendement en grains/plant (10,22 %), mais élevé pour le nombre de gousses/plant (44,03 %), le nombre de grains/gousse (22,84 %), le rendement biologique (21,48%) et la hauteur de la plante (20,75 %).

Abdel-Rahman *et al.* (2002) ont étudié l'effet de la dose et la date de semis sur le rendement et les composantes de rendement chez une variété locale de Jordanie; ils concluent que le rendement n'est pas affecté par la dose de semis.

Biçer et Sakar (2004), ont trouvé une grande variabilité pour le rendement biologique, le rendement en grains, le poids de 100 grains et 50 % de floraison chez une collection de 5 variétés cultivées et 26 lignées de lentille. Les mêmes auteurs ont évalué en 2008, 64 accessions de l'ICARDA dans la localité de Diyarbakir en Turquie. Ils y avaient 42 génotypes adaptés à la mécanisation et présentent une hauteur moyenne supérieure à 25 cm. Le rendement en grains variait entre 0,5 g et 2,36 g/m².

Au Pakistan, 317 accessions de lentille étaient caractérisées pour la couleur de la tige, la couleur du pédicelle, le type du port, la pubescence des feuilles, la taille des folioles, la pigmentation des gousses, l'indéhiscence des gousses, la tigrure des grains, la couleur des téguments, la couleur du cotylédon. Les résultats obtenus indiquent une grande variabilité pour tous les caractères exceptés la couleur du cotylédon (Sultana *et al.*, 2005).

Sur une collection de 15 hybrides, 8 mutants et 7 variétés introduites de lentilles (30 d'origine différentes (Pakistan, Argentine et Syrie), Asghar *et al.* (2010), suite à l'analyse métrogyphique qui consiste en classification de germoplasme de la lentille en groupe distinct et identifier les génotypes les plus désirables en vue de leurs utilisations dans les programmes d'amélioration, avaient trouvé que cette technique utile dans l'identification des génotypes à rendement amélioré et dans la sélection des génotypes supérieurs.

En Jordanie, sous des conditions contrôlées, Al-Ghzawi *et al.* (2011), ont trouvé que les variétés locales jordaniennes présentent une différence significative pour le rendement en grains, le rendement biologique, le nombre de gousses par plant, le poids des grains, la hauteur de la plante et le nombre de branches primaires.

Bermejo *et al.* (2014), ont étudiés 25 lignées recombinées (RILs.) de la génération F5 (*microsperma* et *macrosperma*) qui présentent un rendement élevé. L'analyse des données a montré deux groupes distincts. Le premier comprend quatre variétés du type *microsperma*,

tandis que le second regroupe tous les *macrosperma*. Les deux groupes montrent également des différences dans le rendement et la hauteur de la plante.

5.2. Les marqueurs biochimiques

Avant que les marqueurs moléculaires ne deviennent disponibles, les marqueurs biochimiques avaient été les marqueurs de choix dans l'étude de la diversité chez la lentille. L'électrophorèse de protéines et d'iso-enzymes a été employée pour estimer la variabilité chez des variétés de la lentille : Iso-enzymes (Ferguson et Robertson 1996 ; Kumar *et al.*, 2004 ; Tahir *et al.*, 2010 ; Cristóbal et Herrero, 2016) et les protéines (Scippa *et al.*, 2008 ; Sultana et Ghafoor 2009 ; Viscosi *et al.*, 2010). Toutefois, les principaux inconvénients de ces techniques sont la quantité limitée de polymorphisme détecté parmi les génotypes très proches.

5.3. Les marqueurs moléculaires

Les RFLP sont les premiers types de marqueurs moléculaires utilisés dans l'étude de la diversité génétique chez la lentille (Havey et Muehlbauer, 1989; Muench *et al.*, 1991 ; Fiocchetti *et al.*, 2009). À l'heure actuelle, des outils de biologie moléculaire basée sur la PCR comme les AFLP (Toklu *et al.*, 2009_b ; Torricelli *et al.*, 2012 ; Alghamdi *et al.*, 2014), les RADP et les ISSR (Ford *et al.*, 1997 ; Ferguson *et al.*, 1998_b, 2000 ; Rahman et Zafar, 2001 ; Sonnante et Pignone, 2001 ; Durán et De La Vega, 2004 ; Yuzbasioğlu *et al.*, 2006 ; Fikiru *et al.*, 2007 ; Rana *et al.*, 2007 ; Scippa *et al.*, 2008 ; Sultana et Ghafoor 2009 ; Hoque et Hasan, 2012 ; Seyedimoradi et Talebi, 2014) sont aussi utilisés pour l'étude de la diversité de la lentille.

Plus récemment, les SNPs deviennent des outils incontournables dans l'étude de la diversité génétique de genre *Lens*, en raison de leur haute précision et le polymorphisme élevé qu'ils engendrent (Sharpe *et al.*, 2013 ; Varshney *et al.*, 2016).

Les microsatellites sont constitués de répétitions en tandem de motifs mono-, di-, tri-, ou tétra nucléotidique sur une longueur inférieure à 100 paires de bases (pb). L'intérêt principal des microsatellites, est leur capacité à être de bons marqueurs génétiques. Ils sont abondants dans les génomes (pour la très grande majorité des êtres vivants), co-dominants, neutres (situés dans des régions non-codantes en général, libres d'évoluer rapidement), surtout hypervariables en taille (taux de mutation avoisinant les 10^{-3} par locus par génération) (Leclercq, 2007), et donnant des résultats fiables et reproductibles.

Ces marqueurs ont été très utiles pour des études de diversité génétique, phylogénétiques, ainsi que pour l'évaluation des ressources génétiques et la construction de cartes génétiques. Cependant, l'un des inconvénients de ce type de marqueurs est qu'ils soient spécifiques, et donc ils nécessitent un développement (quasi) unique pour chaque espèce étudiée.

Les marqueurs microsatellites spécifiques pour la lentille ont été développés par plusieurs auteurs : Hamwieh *et al.* (2005) ont développé 56 amorces microsatellites, dont 30 se sont montrées polymorphes dans le germoplasme cultivé de la lentille. En 2009, Hamwieh *et al.* (2009), ont publié 14 nouvelles amorces microsatellites, toutes ont produit des amplifications polymorphes parmi 109 accessions du germoplasme sauvage et cultivé, ce qui prouve le transfert de gènes possibles entre les espèces du genre *Lens*.

Verma *et al.* (2014), ont développé des marqueurs SSR à travers la construction d'une librairie génomique enrichie en motif GA/CT. Comme résultat, 122 paires d'amorces ont été développées à partir de 151 locus microsatellites et validés dans la variété cultivée nommée Précoc. Parmi lesquels, 30 marqueurs SSR ont été utilisés pour l'analyse de la relation génétique entre les espèces cultivées et sauvage du genre *Lens* et d'autres légumineuses.

Pour développer des marqueurs SSRs chez la lentille, quatre librairies génomiques de $(CA)_n$, $(GA)_n$, $(AAC)_n$ et $(ATG)_n$ motifs répétés ont été construits par Andeden *et al.* (2015). Un total de 360 amorces SSR étaient développées et validées par l'utilisation de 15 variétés cultivées de lentille. Le motif répété le plus polymorphe était GA et CT. Soient dix-huit 18 amorces SSR génèrent un total de 400 allèles polymorphes.

Les marqueurs microsatellites deviennent de plus en plus impliqués dans l'analyse de la diversité chez la lentille en raison de leur grand nombre, leur polymorphisme et la facilité du génotypage :

Babayeva *et al.* (2009), ont réalisé l'analyse de la diversité de 39 accessions de la lentille originaire de l'Asie Centrale et du Caucase, par l'utilisation de cinq microsatellites à polymorphisme très élevé. Un ensemble de 33 allèles a été déterminé à raison de 3 à 8 allèles par locus. L'estimation de la valeur de la diversité génétique était de 0,66. L'indice de similarité génétique entre les 39 accessions varie de 0,24 à 1.

Bacchi *et al.* (2010), ont montré dans leur étude portant sur l'analyse de la diversité génétique de 25 accessions de lentille originaires de l'Italie, que les microsatellites sont capables de fournir une vision significative sur la discrimination des accessions selon leur origine.

La diversité génétique de 83 génotypes du genre *Lens* (23 du types sauvages, 19 variétés locales, 5 lignées introduites et 36 lignées a été étudiée par Tewari *et al.* (2012) en utilisant 15 marqueurs RAPD et 8 marqueurs SSR. Un total de 112 bandes a été amplifié. Cette étude a montré que le polymorphisme au sein de l'espèce cultivée, *L. culinaris* spp. *culinaris*, est faible, alors que la diversité génétique est très élevée entre les différentes espèces du genre *Lens*.

D'après une étude menée par Zaccardelli *et al.* (2012), sur des accessions originaires d'Italie, les marqueurs microsatellites (SSR) ont permis de donner des informations très utiles sur la variation génétique et la relation entre les variétés population avec leur origine. En effet, les variétés étaient groupées dans différents clusters et sub-clusters basés principalement sur leur origine géographique. Le niveau élevé de la diversité génétique était observé chez les variétés population originaire des régions de *Castelluccio di Norcia*, *Colliano* et *Villalba*.

Trente et un (31) marqueurs du type EST-SSR et douze SSR génomique ont été utilisés dans l'étude de la diversité génétique de 86 espèces du genre *Lens* par Dikshit *et al.* (2015). Le panel des accessions évaluées comprend diverses variétés et lignés avancées Indiennes, deux lignés précoces de l'ICARDA et cinq espèces apparentées endémiques de la région méditerranéenne. Les SSRs génomiques montrent un polymorphisme élevé en comparaison aux EST-SSRs. Le marqueur GLLC598 produit 5 allèles avec une valeur de diversité génétique élevée de l'ordre de 0,80. Basé sur la distance génétique de Nei l'espèce cultivée *L. culinaris* subsp. *culinaris* était proche du parent sauvage *L. culinaris* subsp. *orientalis*.

Kushwaha *et al.* (2015) ont caractérisé 96 accessions de lentille originaires de l'Inde, Népal et l'ICARDA par analyse moléculaire, en utilisant trente-trois marqueurs SSR polymorphes. Toutes les accessions avaient montré une variabilité génétique due à l'origine géographique et différentes constitutions génétiques des accessions.

Idrissi *et al.* (2015), ont caractérisé pour la première fois, 53 variétés populations originaires du Maroc par l'utilisation des marqueurs SSR et des marqueurs AFLP. Dix-neuf SSRs ont produit 213 allèles et ont montré un polymorphisme. Par la suite Idrissi *et al.* (2016), ont élargi la collection à d'autres origines de la Méditerranée (70 accessions). Les accessions marocaines se distinguent de celles du nord de la Méditerranée (Italie, Turquie et Grèce).

Outre leur intérêt dans l'étude de la diversité génétique, les marqueurs moléculaires, particulièrement les SSRs, constituent des outils puissants dans plusieurs branches de la biologie, notamment la biologie moléculaire (clonage positionnel), la génétique évolutive

(cartographie comparative), la génétique quantitative (détection et identification du locus contrôlant les caractères quantitatifs) et l'amélioration des espèces (sélection assistée par marqueurs) (Najimi *et al.*, 2003).

6.Importance économique de la lentille

La lentille est largement cultivée pour la consommation humaine dans de nombreux pays du monde (Turk *et al.*, 2004). Elle est, la sixième, légumineuse alimentaire la plus importante dans le monde après le haricot (*Phaseolus vulgaris* L.), le pois (*Pisum sativum* L.), le pois chiche (*Cicer arietinum* L.), la fève (*Vicia faba* L.) et le niébé (*Vigna unguiculata* L.) (Erskine *et al.*, 2009). Elle est produite dans plus de quarante-huit pays (Biçer, 2009).

6.1. Superficies, Production et Rendement

D'après les statistiques de la FAO (Fig.4), la production mondiale des lentilles a augmenté de façon progressive à partir d'une moyenne de 917.000 tonnes durant la période 1961-1963 à 3.787.000 tonnes en 2004-2006, ensuite 444.3958. 273 tonnes entre 2006 et 2016. Le gain de la production provient, d'une part, de l'augmentation des superficies ensemencées et d'autre part, de l'accroissement du rendement par hectare. En effet, sur la période de dix ans (2006-2016) la superficie annuelle occupée par la lentille avait atteint 4 155 569 ha et le rendement global moyen atteint 1059 kg/ha durant la même période.

Soixante-dix pourcent (70 %) de la production globale proviennent de quatre régions de globe : l'Inde (1020 00 tonnes/an ; 1340 millions d'ha) qui représente 36 %, l'ouest du Canada (1987 00 tonnes/an ; 1217 millions d'ha) qui représente 18 %, le Sud-Est de la Turquie (417 000 tonnes /an ; 243 millions ha) qui représente 15 % et l'Australie (264 017 tonnes/an; 162 millions ha) qui représente 4 % des productions mondiales (FAOSTAT, 2017). L'Afrique ne représente que 4,4 % de la production de lentilles au niveau mondial, les seuls importants pays producteurs sont l'Éthiopie avec une surface moyenne de récolte de 113 685 ha et le Maroc avec 9 581 ha (FAOSTAT, 2017). Durant les trois derniers décennies la production de la lentille en Algérie et Egypte jadis importante, est devenue insignifiante, les deux pays devenus des importateurs.

L'Europe compte seulement 1,1 % de la production globale de la lentille avec une production annuelle de 49.000 tonnes en 2014. En termes de la superficie, les principaux pays producteurs sont par ordre de descendance, sont l'Espagne, la France et la Russie (FAOSTAT, 2017).

La production de la lentille en Amérique du Nord constitue 32,2 % de la production mondiale. Le Canada est actuellement le premier pays producteur de la lentille avec une moyenne de rendement élevé de 1632 kg/ha en 2014 (FAOSTAT, 2017).

En Amérique du Sud la production annuelle totale de la lentille avoisine seulement 7569 t/ans est actuellement en nette régression à cause de la diminution de la production durant les deux dernières décennies en Argentine, Chili et la Colombie, où la lentille était autrefois très importante.

La production de la lentille est d'environ 70 % de variétés à cotylédons orange de type *microsperma* nommée la lentille rouge, 35 % de variétés à grosses graines aplaties (4 à 6 mm de diamètre) et à cotylédons jaunes du type *macrosperma* et 5 % de lentille marron et d'autres types.

6.2. Exportations

L'exportation annuelle globale de la lentille était de 2 664 668 tonnes en 2013, environ 31,7% de la production totale (FAOSTAT, 2017). Le Canada est le premier pays exportateur de la lentille correspondant à 1 806 336 tonnes en 2014 (Tab.2).

Le marché d'exportation est composé de différents types de grains de lentille : les lentilles à petites graines à cotylédon orange sont vendus soit cassée, ou non cassée mais décortiquée (nommées 'football') soit entières (parfois jaune). Il y a aussi les lentilles vertes à larges graines plus aplati à cotylédon jaune. Le marché des lentilles à cotylédon rouges est dominé par l'Australie, le Canada et la Turquie, alors que le marché des lentilles vertes est détenu par le Canada et les États-Unis (Erskine *et al.*, 2009).

Tab.2 : Exportation annuelle de la lentille des premiers pays exportateurs pour 2013 (FAOSTAT, 2017).

Pays	Exportation (millier de tonnes)
Canada	1 143 438
Inde	978 000
Australie	199 577
Turquie	167 814
USA	136 391
Syrie	17 789

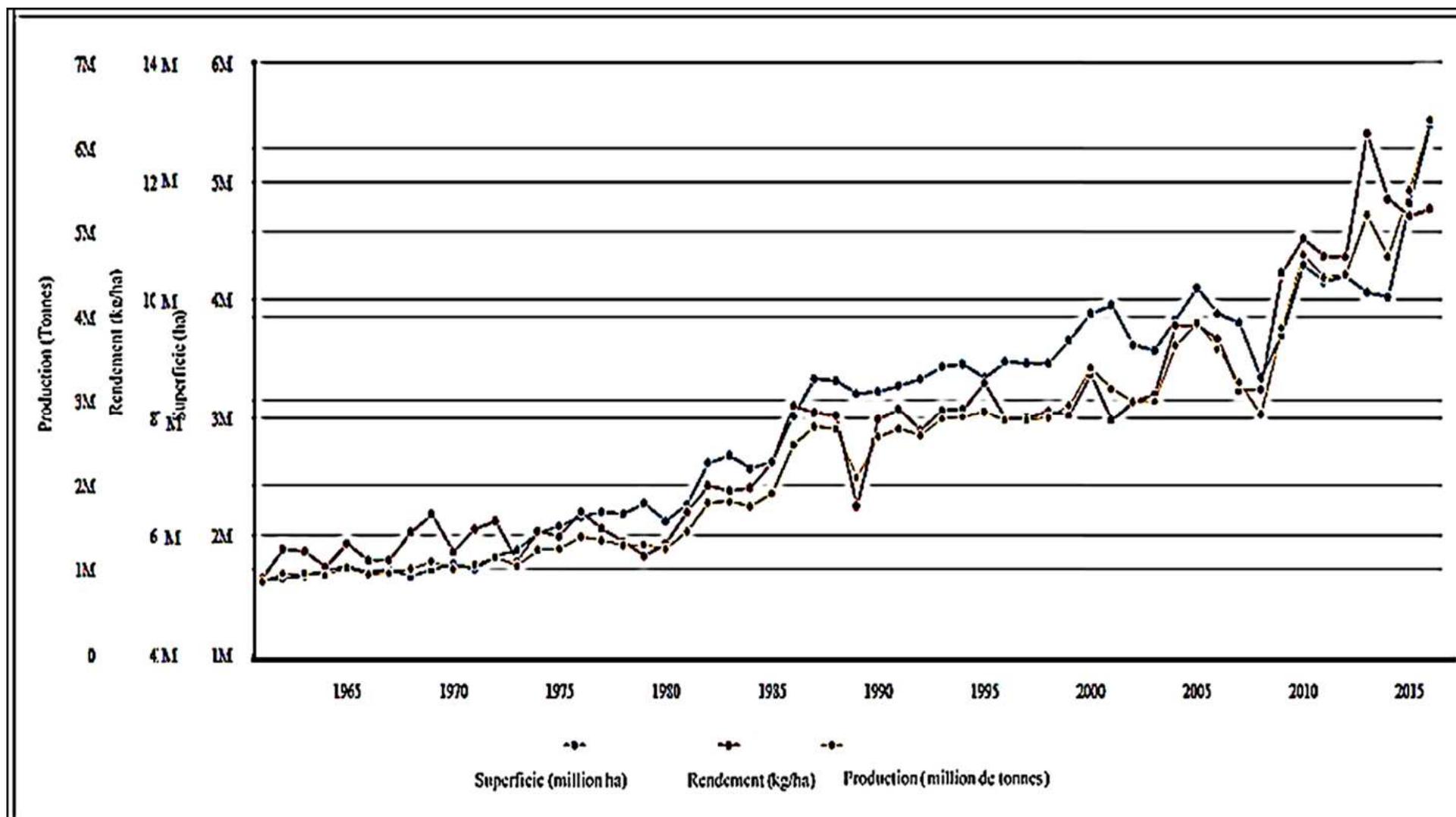


Fig.4: Evolution annuelle des superficies (million ha), productions (millions tonnes) et rendement (Kg/ha) de la lentille dans le monde entre 1961 et 2016 (FAOSTAT, 2017).

6.3. Demande et consommation

La lentille est principalement cultivée dans les pays sous-développés, plus particulièrement en Asie. Les pays développés comme le Canada, les États-Unis et l'Australie produisent la lentille pour l'exportation vers les pays du tiers-monde. Les grains de la lentille sont riches en protéines, contiennent des fibres alimentaires, la vitamine B1 et les minéraux. Les lentilles sont généralement mixées avec les carbohydrates à base de riz et blé, ce qui donne un aliment complet riche en protéines. Concernant les importations, la situation est beaucoup plus compliquée que pour les exportations. En effet, parmi les pays importateurs, il existe divers types :

- *Premier groupe* : Il y a l'Inde et la Turquie, qui sont tous les deux à la fois de grands producteurs et consommateurs et ils importent lorsque la production nationale est insuffisante.
- *Deuxième groupe* : Il y a les pays qui sont consommateurs et producteurs mais qui au fil du temps leur production a diminué et le manque a été remplacé par des importations ; c'est le cas de l'Égypte, l'Algérie, le Pakistan et la Colombie.
- *Troisième groupe* : Il y a les pays qui sont stables dans la production mais présente une croissance rapide de leurs populations et une demande de consommation de plus en plus élevée. Ils comblent le besoin par des importations ; ce groupe comprend le Mexique et le Bangladesh.
- *Quatrième groupe* : Il y a des pays Européens comme l'Espagne, l'Italie et la France où il y a une demande pour la nourriture végétarienne, comme les lentilles et cette demande dépasse l'offre locale ce qui engendre des importations.
- *Cinquième groupe* : Il y a des pays comme le Sri Lanka et certains pays du Moyen-Orient, où la lentille n'est pas produite mais ils sont des consommateurs. Donc tout leur besoin est importé.

Le tableau 3 présente les cinq pays les plus grands importateurs de lentille.

Tab.3 : Les cinq premiers pays importateurs et les quantités en tonnes de lentille leur correspondant, en 2013 (FAOSTAT, 2017).

Rang	Pays	Importations (millier de tonnes)
1	Inde	679 662
2	Bangladesh	219 603
3	Turquie	199 476
4	Sri Lanka	151 129
5	Algérie	82 010

7. La lentille en Algérie

7.1. Historique et importance économique

Avant la colonisation (1830), la lentille a été initialement cultivée dans les jardins et dans les champs des agriculteurs (surtout en Kabylie) que pour la satisfaction de la consommation familiale (Laumont et Chevassus, 1960).

Durant la période de colonisation et au cours des années 1920, la culture de la lentille dite "Verte du Puy" a été introduite en Algérie sur des surfaces limitées (Jarrige, 2009), dans la région de *Trumelet* en assolement avec les céréales.

La consommation à l'époque étant peu répandue en Algérie, cette production est en partie exportée vers la France où elle entre en concurrence avec celle récoltée en Auvergne (Jarrige, 2009). En 1930, un agriculteur au nom de Jarrige M.A. a introduit dans la plaine de Serssou, la lentille dite "*Large Blonde de Chili*" sur une superficie de 3 270 ha et la production avait atteint 21 499 quintaux. Au cours de 10 ans, la surface couverte par cette variété avait atteint environ 20 000 ha (Laumont et Chevassus, 1960).

À la fin des années quarante, la culture de la lentille a connu un remarquable essor dépassant 34 000 ha en 1949 pour atteindre 39 500 ha en 1952 (Laumont et Chevassus, 1960). À partir de cette date et jusqu'à l'indépendance, une diminution régulière a été constatée. D'après Laumont et Chevassus (1960), cette diminution a pour cause de la saturation du marché locale par la concurrence grandissante et sérieuse des importations exotiques (principalement celles du Chili), mieux présentées et moins chères.

Après l'indépendance, la politique d'intensification de la production céréalière adoptée été aussi un frein au développement de la lentille. À partir de l'année 2000, la culture de la lentille avait repris en partie sa place grâce à la politique incitative de l'Etat en faveur des légumineuses alimentaires. Mais une chute brusque des superficies de la culture de lentille a été enregistrée dès 2012 et continue jusqu'à nos jours. Parmi les causes, le problème de la mécanisation de la récolte qui engendre beaucoup de perte du fait de la verse et de l'égrenage des gousses à la maturité. Aussi, le contrôle des mauvaises herbes est un facteur non encore maîtrisé par les agriculteurs. La figure 5 décrit l'évolution des superficies cultivées et la production de la lentille depuis l'indépendance jusqu'au 2016.

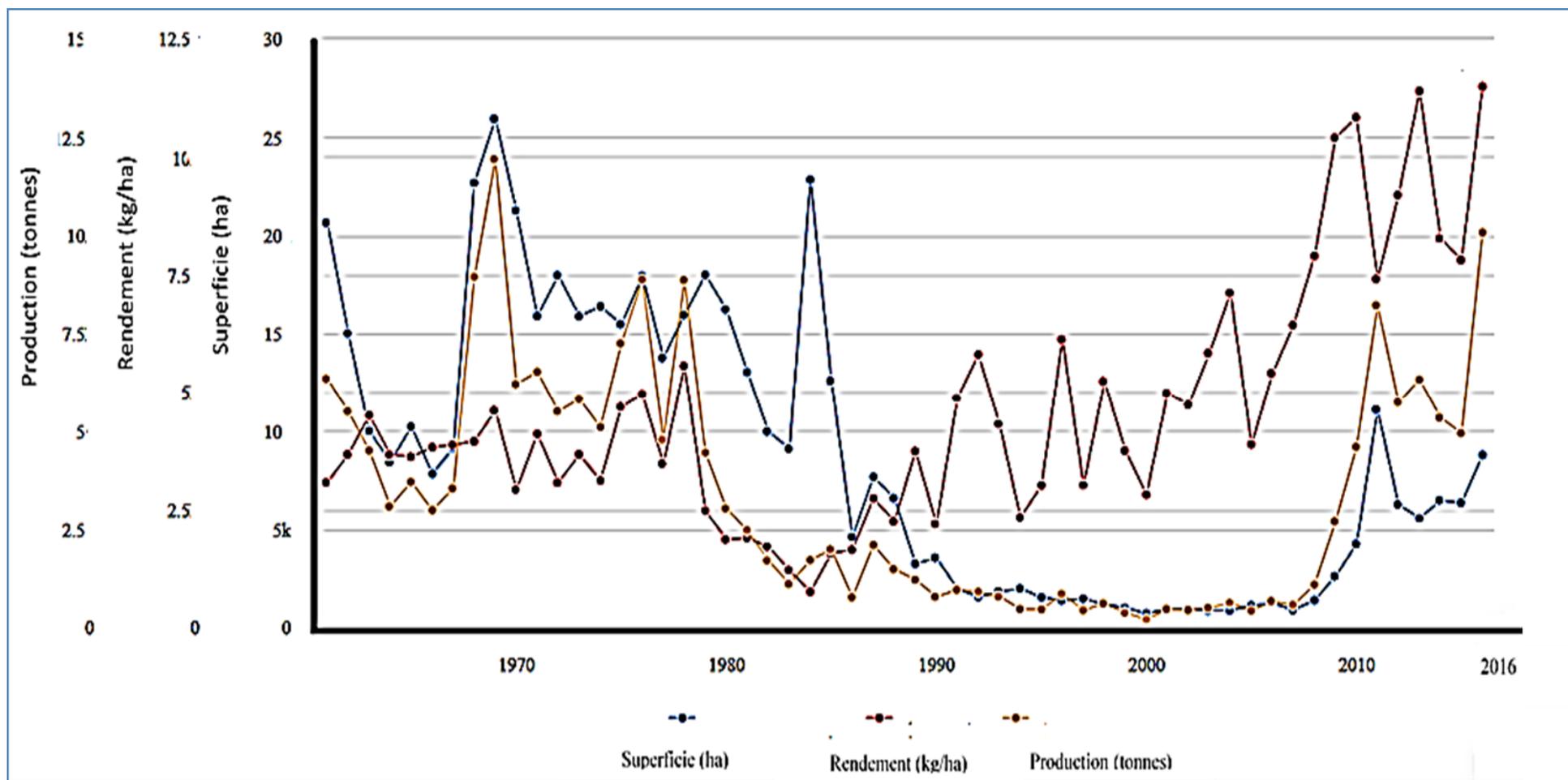


Fig.5: Evolution annuelle des superficies (millions ha), productions (millions tonnes) et rendement (Kg/ha) de la lentille en Algerie entre 1961 et 2016 (FAOSTAT, 2017).

7.2. Diversité de la lentille en Algérie

En Algérie, les variétés locales de la lentille ont développé une forte adaptation aux environnements divers et une large diversité génétique. Toutefois, le changement des habitudes alimentaires du consommateur a provoqué l'abandon de la consommation des variétés locales (Padilla, 2003).

Conscients des conséquences néfastes que peut engendrer le déclin de la diversité génétique sur la production agricole, un projet de recherche sur les ressources génétiques des légumineuses alimentaires, notamment la lentille, a été initiée par l'INRAA en l'an 2000. Parmi les objectifs du projet : la collecte et la caractérisation des ressources génétiques locales des légumineuses alimentaires et la conservation des variétés locales.

Solh et Erskine (1984) citent l'Algérie comme une région prioritaire pour la collecte de la lentille qui est en voie de disparition, et mentionnent la collecte de 49 écotypes. Auparavant, dans le cadre des expéditions organisées par le CNR Bari (Italie), conjointement avec la FAO, des écotypes locaux de *Lens esculentas* et *Lens culinaris* ont été collectés dans les régions suivantes : Hoggar (9 écotypes), Djanet (5 écotypes), Adrar et Bechar (2 écotypes), Tlemcen (1 écotype), Sidi-Bel-Abbès (8 écotypes) et Constantine (2 écotypes) (Porceddu, 1975 ; Perrino *et al.*, 1976 ; Perrino et Zamanis, 1977 ; Polignand, 1978).

7.2.1. Les variétés de lentille décrites par Barulina (1930 in Laumont 1940):

Type *macrosperma*:

Ces variétés sont caractérisées par les grains à gros diamètre de 6 à 9 mm et des fleurs blanches :

Var. nummularia Alef. Présente des graines jaune-grise à cotylédons jaunes (lentille large blonde, lentille plate de Russie).

Var. Iberia Bar. Présente des graines grise-rouge parfois tachetées en couleur noir et parfois ne l'ai pas et à cotylédons jaunes (lentille d'Espagne).

Var. rubiginosa Bar. Présente des graines de couleur gris-rouge parfois tachetées en couleur noir et parfois ne l'est pas et à cotylédons oranges.

Type *microsperma* :

Ces variétés sont caractérisées par les grains à petit diamètre de 3 à 6 mm et fleurs bleu-clair ou blanches :

Var. nigripunctata Bar. Les graines sont de couleur jaune clair-rose, avec des cotylédons orange et tégument ponctué de noir.

Var. violascens Bar. Les graines sont de couleur grisâtres-rougeâtre (à reflets violets) avec des cotylédons rouges et sans marbrure.

Var. punctata Bar. Les graines sont de couleur grisâtre-rougeâtre (à reflets violets) et des cotylédons rouges avec une marbrure ou panachures noires.

Var. viridula Bar. Les graines sont de couleur jaune-grise et les cotylédons sont jaunes.

Var. dupuyensis Bar. Les graines sont de couleur jaune-verte à marbrure vert foncé. Les cotylédons sont jaunes (lentille verte du Puy, lentille verte d'Algérie).

Var. vulgarisa Bar. Les graines sont grises à rougeâtres avec parfois un tégument marbré et des cotylédons jaunes.

Var. prostrata Bar. Les graines sont grises à rougeâtre avec un tégument parfois marbré et des cotylédons oranges.

7.2.2. Les variétés de lentille sélectionnées et retenues par Laumont et Chevassus (1950)

Le tableau 4 récapitule les principales variétés sélectionnés et retenues par Laumont et Chevassu (1950).

Tab.4 : Les variétés de lentille sélectionnées et retenues par Laumont et Chevassu (1950).

En grandes multiplications		Large blonde Métropole 3.870/4	Très large blonde du Chili 487	Large blonde du Chili 485
Origine		Isolée en 1942 dans une introduction métropolitaine.	Isolée en 1942 dans une introduction chilienne.	Isolée en 1942 dans une introduction chilienne.
Aptitude	Vegetative	Végétation très vigoureuse, un port dressé et de très bonne fertilité (2-3 gousses par inflorescence, 2 grains par gousse).	Vigueur moyen, un port dressé, assez bonne fertilité (2-3 gousses par inflorescence, 1 grain par gousse).	Vigueur moyen, un port dressé, bonne fertilité (2-3 gousses par inflorescence, 1 a 2 grains par gousse).
	Physiologique	Demi Précoce.	Demi tardive, assez résistante au mildiou.	Demi Précoce.
	Cultural	Bonne Variété passe partout, rendement moyen élevé (10 15qx/ha), difficilement sur passable. A semer à 80 kg/ha (en lignes de 70 cm).	Réclame de bonne terre et des demis épais (100kg/ha), rendement moyen.	Terre moyenne, rendement voisin de ceux de LBM. A semer un peu épais (90kg/ha) en demi-saison.
	Culinaire	Très bonne.	Bonne.	Assez bonne.
	Commercial	Bonne variété de commerce (4 à 15% de grains de diamètre inférieure à 6mm).	Exportation (à réserver aux marchés les plus exigeants).	Commerce intérieure et exportation.

Tab.4. Suite

En grand multiplications		Large blonde Métropole 3.870/4	Très large blonde du Chili 487	Large blonde du Chili 485
Destination		Commerce intérieure exportation.		
Station multiplicatrice		Batna	Sétif	Sidi-Bel-Abbes
En grandes multiplications		Large verte d'Algérie 462/64	Lentille petite blanche Larissa	Lentille petite blanche de Syrie 560
Origine		Isolée en 1950 dans une population massale d'un hybride naturel (J. petite verte x L. large blonde) trouvé aux environs de Tiaret (1943).	Introduction de Grèce (Station Larissa).	Isolée en 1952 (dans une introduction du Levant cultivée en Algérie « Dahra »).
Aptitude	Vegetative	Très vigoureuse à port prostré. Demi-précoce a très bonne fertilité (2-3 gousses par inflorescence, 2 grains par gousse). Port prostré étalé à maturité.	Végétation très vigoureuse à port semi-dressé. Demi-tardive a bonne fertilité (2-3 gousses par inflorescence, 2 grains par gousse).	Végétation faible à port nain dressé. Très précoce, très fertile (2-3 gousses par inflorescence, 2 grains par gousse).
	Physiologique	Demi-Précoce. Floraison échelonnée.	Demi tardive, résistante au mildiou et à la rouille.	
	Cultural	Terre a blé dur ou bonne terres à blé tendre (à proscrire en terrain trop calcaire ou tufeux). A semer assez tôt à la densité de 75kg/ha. A récolter dès le jaunissement (pour éviter une décoloration et un ternissement du tégument du grain).	Variété passe partout, bon rendement moyen. A semer en demi-saison à 55-60 kg/ha.	Toute terre. Rendement inférieur en culture normale (0 à 80 cm). A semer tard en lignes rapprochées (50cm-60cm) a la dose de 70kg/ha.
	Commerciale		Assez bonne. grain bombé, épais de petit calibre.	Assez bonne, grain épais.
	Culinaire	Bonne.		Cuisson rapide, Grains se délatte a la cuisson.
Destination		Commerce intérieure exportation	Peu prise pour l'exportation.	Culture et consommation familiale (Ragout, Cherba) traditionnelles.
Station multiplicatrice		Aïn Témouchent	Guelma	Sétif

7.2.3. Autres variétés de la lentille décrites par Laumont et Chevassus (1960) :

Type macrosperma

Lentille large blonde (vraie) (var. *nummularia al. et sub-nummularia* P.Laumont et A.Chevassus) : encore appelée *lentille large blonde d'Algérie* (L. du Sersou ou L. Jarrige) ; *lentille blonde du Chili* ; *lentille plate de Russie*, etc. Cultivée en Algérie avant 1939, proviens d'introductions faites de la provenance du Chili ou de la Métropole pour remplacer la lentille petite blanche. Les souches introduites en premier ont été multipliées sans sélection pendant longtemps et représentaient un mélange accusé de forme divers à grain plus au moins tigrée de coloration non uniforme. De diamètre variable et à cotylédon jaune ou orange. Cependant, une certaine amélioration a pu être constatée à la suite de nouvelles introductions du Chili et de l'édification au Serssou de centre privé ou coopérative de triage et conditionnement (ayant permis une certaine homogénéisation et régularisation du calibre des grains et de la présentation générale).

Lentille large violette (var. *violacea sub-violacea* P.Laumont et A.Chevassus): Non appréciée pour la couleur violacée du tégument de ses graines.

Lentille large verte d'Algérie (var. *algeriensis* P.Laumont et A.Chevassus) : provenant de la descendance d'un hybride naturel rencontré dans la région de Tiaret en 1943 à la limite des zones de culture de la lentille large blonde et de la lentille petite verte du Puy. Productive, alliant les qualités culturels et culinaires de ses deux parents et de conditionnement facile (Grains de calibre élevé: 5,7 mm à 6,7 mm).

Type microsperma

Lentille petite rouge d'Egypte (var. *Violascens Barulina*) : rencontrée dans des introductions Egyptiennes qui correspondent à un groupe apprécié des consommateurs locaux (Lentillon d'Algérie) comprennent également la var. *punctata Barulina*. Les *Lentilles moyennes blondes* (var. *Sub-nummularia, subatrovirens Barilina*) : pourraient présenter quelque intérêt s'il n'existait pas les larges blondes de calibre supérieur et livrant au conditionnement un pourcentage plus au moins élevé de grains de diamètre voisin ou légèrement inférieur à 6 mm qui trouve facilement preneur sur les marches en lots de deuxième catégorie. Seuls ont été conservées les lignées dont le grain est nettement plus bombé.

Lentille petite verte du Puy (var. *dupuyensis Barulina et sub-dupuyensis* P.Laumont et A.Chevassus) : est la plus ancienne des variétés introduites en culture par les Européens.

Vraisemblablement importées en Algérie dès les débuts de la colonisation. Sa production toujours localisée, est en voie de régression régulière (1930-1932) surtout depuis que l'appellation d'origine a été accordée aux agriculteurs de Massif Central. Réglementation qui ne permet plus l'exportation des récoltes locales que sous le qualificatif de lentille (petite) verte d'Algérie, moins appréciée dans la métropole. Malgré ses qualités évidentes, culturelles et culinaires, cette variété (de conditionnement par ailleurs difficile en raison de faible calibre de ses grains) doit céder la place à la petite blanche de Syrie (de même aire d'adaptation que la large blonde, ne redoutant pas les terrains calcaires ou tufeaux qui nuisent à la bonne cuisson des grains) et à la large verte d'Algérie (même aire de culture qu'elle et meilleures situations que la large blonde). Pour les mêmes causes et en plus pour la coloration orangées de leurs cotylédons, les *var. sersuensis et sub-sersuensis P.Laumont et A.Chevassus* n'offrent pas d'intérêt culturel.

Lentille petite blanche dite aussi de Syrie (var. vulgaris (Al.) Barulina) : a été introduite, essayée et cultivée au Serssou à partir de 1932 où elle a vu sa culture se développer rapidement, en remplacement de celle de la lentille du Puy pour les raisons sus-indiquées. Cette excellente variété a connu pendant plusieurs années la faveur des colons par sa rusticité et ses rendements élevés. La bonne qualité de ses grains (facile à cuire, même en provenance de récolte venues en terrains calcaires ou tufeux). Appréciée comme lentille de troupe ou de pensionnat, elle a cependant peu à peu cédé la place à la lentille large blonde à partir de 1939-1940 pour disparaître à peu près complètement par la suite des emblavures algériennes. Sa place commerciale a été prise pratiquement par les issues de triage de la large blonde (grains de calibre de 5 à 6 mm). Cette défaveur paraît injustifiée et sa culture devrait connaître un renouveau de faveur. Surtout, en milieu traditionnel ou elle devrait se substituer à celle de lentillons. À son intérieur, deux catégories ont été remarquées, se différenciant par l'épaisseur des grains : une à grains très bombés (épais) qui correspond au type oriental et à laquelle il a été conservé le nom de lentille petit blanche de Syrie ; l'autre à grains moins bombés (plus aplatis) rencontré dans les anciennes cultures, désigné sous le nom de lentille petite blanche d'Algérie. De ces formes, seule la première présente de l'intérêt devant les exigences commerciales qui réclament des grains renflés. Cependant, la deuxième n'est pas à rejeter complètement par les sélectionneurs, car elle renferme (comme la lentille de Puy d'ailleurs) des types résistants à la rouille utilisables comme géniteurs éventuels ou pour la culture directe dans les zones littorales où cette maladie, brutale et dangereuse est à redouter.

Lentille large verte (var. viridissima) : un type nouveau, elle a été sélectionnée en 1954 à partir d'une lignée de la large verte 64. Elle se différencie des autres variétés par la coloration de ces plantes qui reste d'un vert foncé à maturité (au lieu d'être de couleur paille ou brun clair) et par la coloration claire de ces cotylédons après la récolte.

7.2.4. Les variétés locales sélectionnées par l'ITGC à partir de 1970:

Métropole : est semi-précoce, vigoureuse et de très bonne qualité culinaire.

Dahra : est très précoce et sensible à la rouille. Elle est adaptée aux conditions climatiques défavorables.

Radjas : a un port dressé et un large grain vert. Elle est semi-tardive à tardive, sensible à l'anthracnose, sensible à la sécheresse et présente des rendements moyens à élevés.

Sétif 618 : a un port dressé, semi-tardive à tardive avec un rendement moyen à élevés.

Kreta : a un port semi-dressé et un large grain marron. Elle est tardive, tolérante aux gelées hivernales et son rendement est moyen.

7.2.5. Les variétés introduites et obtenues par l'ICARDA depuis 1986 (ICARDA, 2005) :

Balkan755 : a un port dressé, de larges grains. Elle est semi-tardive à tardive et tolérante aux gelées. Elle présente un rendement moyen.

Nel45R : a un port dressé et de larges grains. Elle est semi-tardive à tardive et sensible aux maladies cryptogamiques et son rendement est moyen.

Syrie229 : a un port dressé et des grains de couleur jaune vert. Elle est semi-précoce avec des grains ronds (lentillon) et est tolérante aux gelées hivernales. Son rendement est moyen.

7.2.6. Les variétés en cours de réalisation par l'ITGC en collaboration avec l'ICARDA :

Ce sont : Seybouse, Atlas, Tafrent, Nador et Djebel Dira.

7.3. Synthèse sur les travaux de caractérisation sur la lentille en Algérie

Laumont et Chevassus (1960) étaient les premiers auteurs qui ont entrepris la caractérisation morpho-agronomique de la lentille cultivée en Algérie. D'après ces auteurs, les caractères variétaux, les plus discriminants sont : la coloration des cotylédons, la coloration des téguments, la tigrure des grains, le calibre des grains et la qualité culinaire.

Depuis l'indépendance, les travaux de recherche réalisés sur la lentille ont porté essentiellement sur des aspects de techniques culturales et de comportement :

Benlala (1986) a étudié l'influence de la date et de la dose de semis sur le rendement de la variété Syrie229. Par contre, Annawe (1990) avait entrepris une étude comparative de quelques lignées de lentille, en vue de leur introduction dans des programmes d'amélioration. Par ailleurs, Hadj et Hachemi (1992) ont procédé à l'identification des virus qui affectent la lentille, notamment le BYMV. Par la suite, Boughzouz et Sid Ahmed (1993) ont caractérisé ce virus isolé à partir de la semence du cultivar ILL1918.

Belabid et Fortas (2002), ont identifié les races physiologiques de la maladie *Fusarium oxysporum* qui attaque la lentille. Ils arrivent à une conclusion qu'il existe une race singulière, la raison pour laquelle les populations algériennes de *Fusarium oxysporum* sont considérées comme uniformes. Ces résultats ont été confirmés par Belabid *et al.* (2004), en utilisant des marqueurs moléculaires (RAPD et AFLP).

La symbiose de la lentille avec le rhizobium a été étudiée par Haddadj (2002). Des variations intra-spécifiques importantes de la nodulation et de la fixation d'azote ont été observées dans les mêmes sols chez quatre variétés de lentille.

Amanzougarene (2012), avait caractérisé 20 accessions algériennes de lentille issues de la prospection réalisée par Gaad *et al.* (2014). Les caractères pris en compte sont ceux liés à la phénologie (floraison, maturité...), les composantes du rendement (nombre de grains/plant, nombre de gousses/plant, nombre de grains/gousse...). Ils ont conclu que huit de ces accessions présentent les meilleurs caractères.

Chapitre II : *Prospection, collecte, étude ethnobotanique et caractérisation préliminaires d'une collection de la lentille en Algérie.*

1. Introduction

L'Algérie constitue un centre de diversification de plusieurs espèces cultivées. Les variétés de ces espèces portent souvent le nom de l'agriculteur qui les a sélectionnés ou de la localité où elles ont été cultivées. Parmi ces espèces cultivées, on cite les légumineuses alimentaires qui avec les céréales occupent une place privilégiée dans l'agriculture algérienne. Abdelguerfi *et al.* (1998), ont signalé que les légumineuses bien qu'elles aient bénéficié de plusieurs programmes de développement, leur production n'a pas connu l'évolution escomptée tant sur le plan des superficies que sur la production. Toutes les espèces ont régressé, mais c'est surtout la lentille qui a enregistré le taux de diminution de superficie le plus élevé.

La lentille assure une fonction importante en corrigeant les carences en protéines animales inaccessibles à une large couche de la population. Les variétés locales de cette espèce ont développé une forte adaptation aux environnements divers et présentent une large diversité génétique (INRAA, 2006). Cependant, depuis plusieurs années, une érosion génétique des variétés locales de la lentille a été remarquée. En plus, la culture de la lentille tend à disparaître du paysage agricole en Algérie, car très peu de surfaces restent emblavées (Hamadache, 2014). Les zones de prédilection de cette culture sont les hautes plaines et les plaines intérieures, mais la région du Sersou (Tiaret) reste la principale région (INRAA, 2006).

Les changements des habitudes alimentaires du consommateur algérien, en plus du remplacement des variétés locales par celles productives, mais peu adaptées aux systèmes de production semi-intensif à extensif, ont provoqué l'abandon des variétés locales et marginalisé leurs cultures et ont même engendré la disparition de certaines d'entre elles. Des variétés locales comme la Large Blonde de Radjas et la Petite Blonde de Dahra adaptées aux contraintes biotiques et abiotiques peuvent être cultivées directement ou utilisées comme géniteurs dans les programmes de sélection.

La tâche actuelle est donc de préserver la variabilité génétique de la lentille et de valoriser les potentialités génétiques de ces ressources. Trautil (1935), Laumont et Chevassus (1960), Perrino *et al.*, (1976), ont indiqué plusieurs variétés de lentilles qui ont été sélectionnées selon les conditions et les besoins, à l'époque, de la métropole.

Compte tenu du manque d'information sur les ressources génétique de la lentille en Algérie, ce travail de prospection et de recensement de variétés de la lentille a pour objectifs : (1) la collecte de variétés de lentille en vue de leur conservation. (2) l'établissement d'un bilan sur

l'état de la diversité de la lentille en Algérie. (3) la détermination des pratiques culturelles de la lentille. (4) la caractérisation des variétés collectées.

2. Matériels et méthodes

2.1. Prospection et collecte

2.1.1. Sites de prospection

En Algérie, la prospection sur la lentille a été réalisée durant la campagne 2010/2011 au Centre-Nord (Bouira, Médéa et Tizi-Ouzou), à l'Ouest (Aïn Témouchent, Sidi-Bel-Abbès et Tiaret), à l'Est (Constantine, Mila et Sétif) et au Sud au niveau de la région de Djanet (*Fig. 6 ; annexe 1(a)*).

Les prospections ont débuté le 13/12/2010 et sont achevées le 06/06/2011. Le choix des wilayas s'est basé sur les informations recueillies au niveau de la direction des statistiques agricoles et des personnes de terrain. Dans chaque région, le choix des localités à prospecter a été effectué, avec l'aide des services locaux de l'agriculture, sur la base de l'importance des surfaces emblavées en lentille et la pratique de cette culture par les agriculteurs.

Le choix des zones de prospections a été élargi aux zones assez reculées comme les petits hameaux en montagne, les petites fermes, là où souvent les variétés locales sont encore cultivées dans les jardins potagers (agriculture familiale). Les instituts techniques ont également été pris en compte dans la prospection pour assurer la collecte des variétés commercialisées. Les coordonnées géographiques des lieux de prospection des différentes accessions de lentille sont représentées en *annexe 1 (b)*.

Région Centre-Nord

Tizi-Ouzou : la wilaya de Tizi-Ouzou présente un relief montagneux fortement accidenté qui s'étale sur une superficie de 2 994 km². De par l'aspect du relief de la wilaya, on distingue plusieurs zones de potentialités qui correspondent à des types d'agriculture bien différentes.

C'est au niveau de la zone 2 que les légumes secs sont cultivés. Elle est composée de vallées et plaines dont la pente est entre 3 % et 12,5 % ; le sol est limono-sableux et la pluviométrie est supérieure à 600 mm en moyenne par an.

Bouira : elle s'étend sur une superficie de 4456,26 km². La pluviométrie moyenne est de 660 mm/an au Nord et de 400 mm/an dans la partie Sud. Les températures varient entre 20 et 40 °C de mai à septembre et de 2 à 12 °C de janvier à mars. La wilaya dispose de deux grands périmètres agricoles à l'Est, le périmètre de M'chedallah, 1 600 ha et à l'Ouest, le périmètre

des Aribes (Ain-Bessam), 2 200 ha. La production agricole au niveau de la wilaya est à prédominance céréalière et oléicole. La culture des légumineuses alimentaires notamment la lentille est dominante dans la dépression centrale dans les plaines des Aribes.

Médéa : situé au cœur de l'Atlas tellien, la wilaya de Médéa est caractérisée par une altitude élevée et un relief mouvementé enserrant quelques plaines assez fertiles, mais de faibles extensions pour s'estomper ensuite aux confins des hautes plaines steppiques, en une série de collines mollement ondulées. Les légumineuses sont cultivées dans la région de Béni Slimane.

Région Ouest

Tiaret : la ville de Tiaret est située à 1 080 m d'altitude sur le mont du Gezoul qui fait partie de la chaîne de l'Atlas tellien. Une importante surface agricole utile est cultivée annuellement en céréales, fourrages, légumes secs et cultures maraîchères, l'arboriculture fruitière occupe une surface non-négligeable.

Sidi-Bel-Abbès : la wilaya est située sur la Mékerra, à 470 m d'altitude. Les légumineuses sont cultivées dans les régions de Hassi Zahana, Merine et Ain Trid.

Aïn Témouchent : les légumineuses sont cultivées dans la région d'El-Maleh et les plaines intérieures, qui sont caractérisées par une pluviométrie abondante en hiver.

Région Est

Sétif : est située dans les hauts plateaux, et s'élève à 1 100 m d'altitude. Bien que la région des hauts plateaux soit à vocation céréalière, les légumes secs tiennent une place dans les systèmes de production, car ils sont réputés bien s'insérer dans les systèmes céréaliers comme précédent.

Mila : elle se distingue par sa vocation agricole. Le relief et le climat déterminent les activités dominantes, qui sont les cultures céréalières et fourragères (avec une jachère largement pratiquée).

Région Sud

Djanet : c'est une oasis qui se trouve dans la partie sud-est de l'Algérie. Géographiquement, l'oasis de Djanet se trouve nichée au pied du Tassili n'Ajjer. L'oasis de Djanet est relativement riche en eau permettant des exploitations de polycultures intensives. La palmeraie est importante, mais aussi la plupart des légumes (pomme de terre, betterave, tomates...) et des fruits (olive, agrume...), nécessaires à l'économie locale.

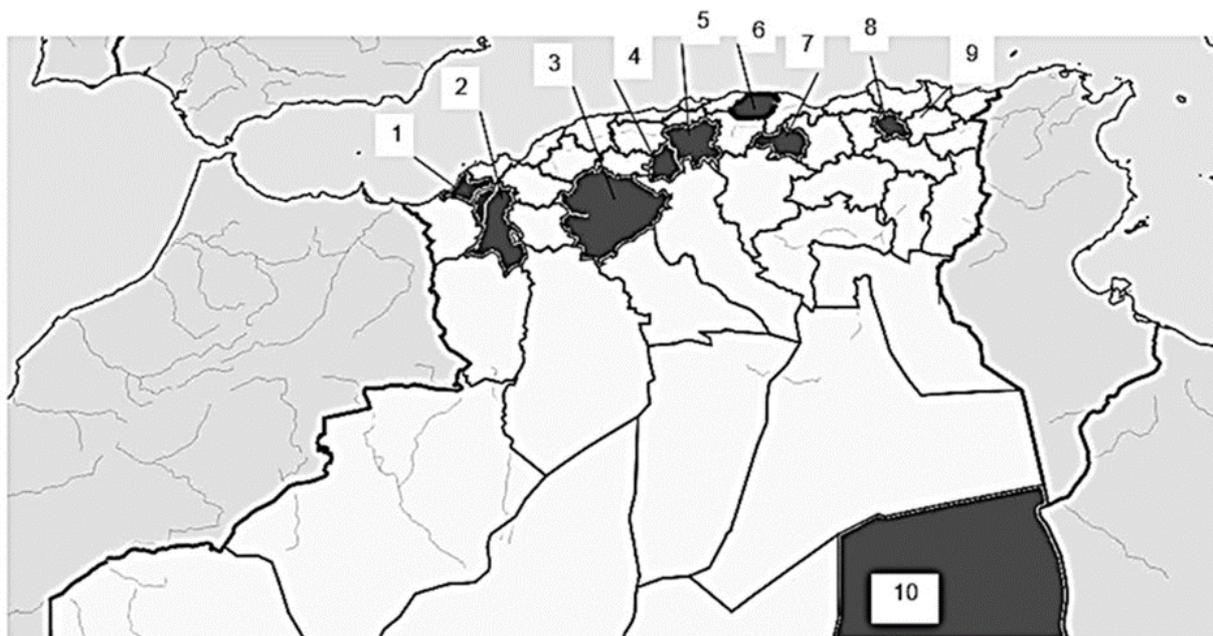


Fig.6 : Les zones de prospections de la lentille en Algérie (Les chiffres représentent les codes des wilayas prospectées : 1. Aïn Témouchent, 2. Sidi-Bel-Abbès, 3. Tiaret, 4. Médéa, 5. Bouïra, 6. Tizi Ouzou, 7. Sétif, 8. Constantine, 9. Mila, 10. Illizi).

2.1.2. La collecte

La collecte ne consiste pas seulement à ramasser des plantes ou parties de plantes en attribuant à chacune une fiche de renseignements. Cette activité, à la différence de la prospection proprement dite, doit tenir compte de quelques règles qu'il est indispensable de respecter (Marchany et Lagarde, 1987).

Échantillonnage

Le prélèvement des échantillons sur champs s'est fait selon la méthode d'échantillonnage « au hasard ». En période de maturité des gousses (juin), on a cueilli arbitrairement 5 gousses mûres sur 3 pieds adjacents, tous les 3 pas, de façon à atteindre le total des 50 graines à chaque « arrêt ». C'est la méthode préconisée par Marcheny et Lagarde (1986), pour la collecte des grains des légumineuses alimentaires.

Lorsque la collecte se fait à partir des stocks de graines chez les agriculteurs ou aux marchés de semences, l'échantillonnage s'est réalisé aussi au hasard.

Au total, 30 accessions de la lentille ont été collectées et 2 accessions locales obtenues des banques de gènes de l'ICARDA et l'USDA ; ceci a constitué la collection algérienne (Gaad *et al.*, 2017). Les graines des différentes accessions collectées sont mises dans les sacs en papier étiquetés et conservés à 4 °C dans la chambre froide.

Fiche de renseignements par site de collecte

Des entretiens avec les agriculteurs et la visite au champ ont été réalisés pour chaque site de collecte. Les données de passeports ont été collectées en utilisant une fiche de renseignement (*annexe 1(c)*). Il est indiqué sur ces fiches les informations sur le site de prélèvement comme le nom de la localité, les données longitudinales (latitude et longitude), altitude, climatiques (le climat et la pluviométrie), ainsi que le nom de l'organisme collecteur. Le nom du ou des collecteur(s), la date de la collecte et les données sur l'agriculteur (l'âge et le sexe du donateur). Pour les semences collectées à partir des stocks, le plus important était de connaître l'origine, la date de récolte ainsi que l'usage auquel elles sont destinées (consommation ou semences).

Ces informations sont complétées par des enquêtes ethnobotaniques et agronomiques menées au niveau des sites de collecte et auprès d'autres agriculteurs cultivant la lentille que nous avons rencontrés au cours de notre itinéraire de prospection.

2.2. Enquêtes ethnobotanique et agronomique

Les données ethnobotaniques concernent les savoirs et les pratiques liés aux cultivars : les utilisations de la plante, la qualité gustative, les méthodes culturales, les renseignements sur l'historique de son introduction, l'origine de son nom local, les raisons de son maintien en culture ou les causes de sa disparition.

Des données agronomiques liées aux caractéristiques agronomiques et physiologiques de la plante ; l'adaptation aux conditions du milieu ; réactions aux parasites et aux maladies, sont également pris en compte lors des enquêtes.

Les enquêtes ethnobotaniques ont été menées au niveau de quinze zones rurales appartenant au long aux dix wilayas. Les fermes ont été choisies sur la base du savoir local détenu par les agriculteurs qui cultivent encore des variétés locales de lentille. Au total, 47 agriculteurs ont été interviewés. Les interviews semi-structurées ont été faites au moyen des questions ouvertes (*annexe 1 (d)*).

2.3. Caractérisation préliminaire

Avant le choix des accessions à caractériser sur le terrain, une évaluation préliminaire de toutes les accessions collectées et d'une collection témoin composée de 20 accessions provenant de différentes Banques de gènes internationales (ICARDA, USDA et ATFCC) a été réalisée (*annexe 1(e)*). Il a été utilisé comme support pour l'évaluation de la lentille le descripteur l'IPGRI (1985) et le manuel de l'UPOV (2013). Des caractères qualitatifs des grains, couramment utilisés pour décrire les variétés de la lentille, ont été retenus. Il s'agit de

la couleur du tégument et du cotylédon, la texture des grains ainsi que la forme des grains (Tab.5). Des caractères quantitatifs des grains ont été également considérés, tels que le diamètre et l'épaisseur des grains et le poids de 100 grains (Tab.5). Du fait qu'au-delà de la durée de vie de 3 mois, la couleur et la texture des grains sont altérées (IPGRI, 1985), ces caractères ont été seulement notés chez les accessions fraîchement récoltées.

Tab.5 : Caractères qualitatifs et quantitatifs des grains de lentille.

Caractères	Code	Définition	Période d'observation	Catégories	Echelle/Classe
Couleur des cotylédons	CCD	Coloration interne du grain (20 graines prises par hasard de chaque accession).	Grains de moins de 3 mois de stockage	Jaune	1
				Orange	2
Couleur des téguments	CTG	Coloration externe du grain (20 graines prises par hasard de chaque accession).	Grains de moins de 3 mois de stockage	Marron	1
				Beige	2
				Vert	3
				Noir	4
Aspect des graines	TGG	Distribution de pigmentation sur la couleur externe du grain (20 graines prises par hasard de chaque accession).	Grains de moins de 3 mois de stockage	Sans	1
				Tacheté	2
				Ponctué	3
				Marbré	4
				Complexe	5
Forme des graines	FLG	Figure géométrique du grain (20 graines prises par hasard de chaque accession)	Grains de moins de 3 mois de stockage	Globulaire	1
				Plate	2
Diamètre des graines	DMT	Mesure de diamètre de la graine de la lentille (20 graines prises par hasard de chaque accession)		Classe 1	6 mm-6,2 mm
				Classe 2	5,02 mm-6 mm
				Classe 3	4,64 mm-5,02 mm
Epaisseur des graines	EPS	Mesure l'épaisseur de la graine de la lentille (20 graines prises par hasard de chaque accession)		Classe 1	2,82 mm-3,28 mm
				Classe 2	2,38 mm-2,82 mm
				Classe 3	1,92 mm-2,38 mm
Poids de 100 graines	PCG	Poids moyen d'un échantillon de 100 grains prélevé de chaque accession		Classe 1	5,94 g-6,96 g
				Classe 2	4,98 g-5,94 g
				Classe 3	3,00 g-4,98 g

2.4. Analyse des données

2.4.1. Élaboration d'une carte de distribution géographique des sites de prospections

Les données de l'altitude et longitude des sites de prospection ont été transformées en coordonnées décimales (CD), en utilisant la formule suivante :

$$\text{Degrés décimaux} = [(\text{Degrés } (^{\circ}) + \text{Minutes } (^{\prime}) / 60 + \text{Secondes } (^{\prime\prime}) / 3600)] * H$$

H = 1 lorsque la coordonnée est dans l'hémisphère Est (E) ou l'hémisphère Nord (N).

H = -1 lorsque la coordonnée est dans l'hémisphère Ouest (O) ou l'hémisphère Sud (S).

L'utilisation de ces coordonnées décimales nous a permis de créer une carte de distribution géographique des accessions collectées, à l'aide de logiciels DIVA-GIS version 7.5.0 (Robert *et al.*, 2012).

2.4.2. Analyse de fréquence

Les données obtenues à partir des enquêtes ont été soumises à une analyse descriptive (fréquence, moyenne, pourcentage) à l'aide du logiciel Minitab 16.2.0. (Minitab, 2011). Les résultats sont présentés sous forme des tableaux et des graphiques construits avec le logiciel Excel 2013 (Microsoft® Excel, 2013).

2.4.3. Analyses multi-variées

Afin de définir les liens qui existent entre les variables quantitatives étudiées et de regrouper les morphotypes ayant les mêmes similitudes, une analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée suivie d'une classification ascendante hiérarchique (CAH). Pour l'ACP, l'altitude et la pluviométrie, des sites de prospection, ont été considérées comme des variables supplémentaires.

Pour mettre en évidence les relations entre les modalités des différentes variables qualitatives, une analyse en correspondance multiple (ACM) a été réalisée.

Ces analyses ont été effectuées à l'aide du logiciel XLSTAT version 14 (XLSTAT, 2014).

3. Résultats

3.1. Distribution géographique des sites de collecte :

Le programme DIVA-GIS, nous a permis de visualiser la distribution spatiale des trente (30) accessions collectées. Chaque points représenté sur la figure 1 (Gaad *et al.*, 2018_b).

3.2. Résultats des enquêtes

3.2.1. Provenance des semences collectées

La figure 7 indique que la moitié des échantillons des graines collectées (50 %) proviennent des semences d'agriculteurs des wilayas suivantes: Aïn Témouchent-Bouira-Sidi Bel-Abbas et Tizi-Ouzou. Seulement 3,33 % sont issus des greniers (wilaya de Tiaret).

Les institutions de développement nous ont procuré 30 % des semences collectées (Médéa et Tiaret). Seulement 16,66 % des semences proviennent de champs d'agriculteurs (Constantine, Mila, Sétif et Djanet).

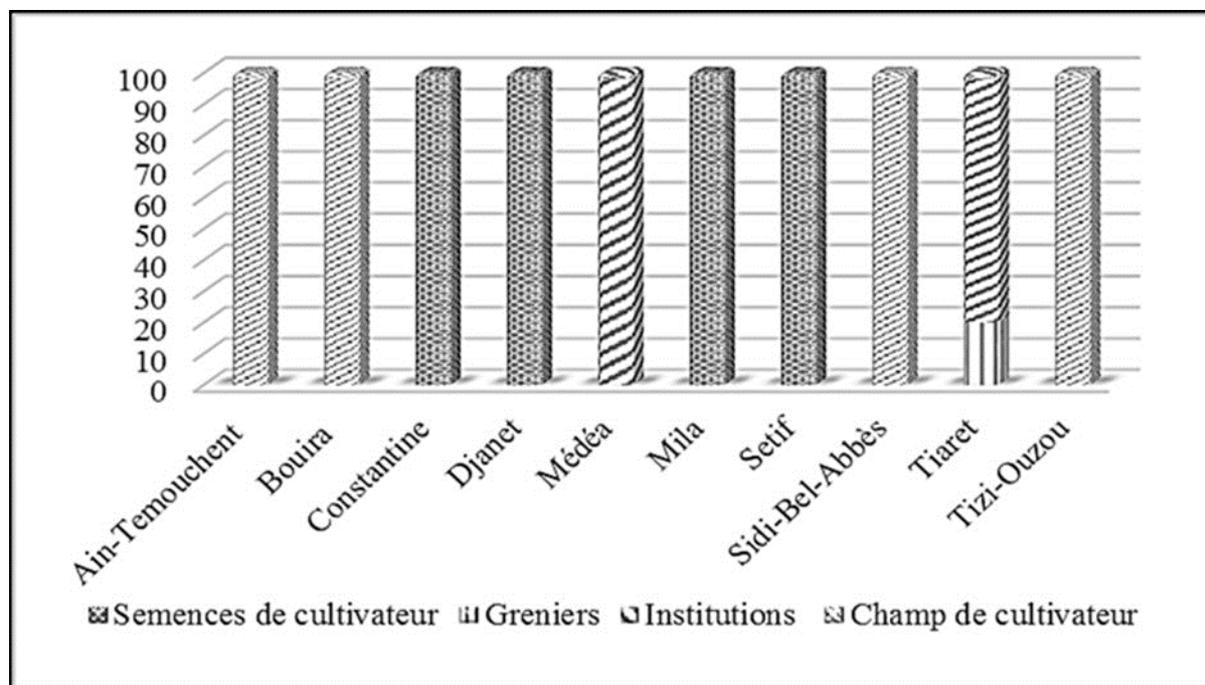


Fig.7: Fréquence des différentes provenances des semences pour les 10 sites de collecte.

3.2.2. Caractéristique des agriculteurs cultivant la lentille

Les résultats de données relatives à la proportion de l'âge et le sexe des agriculteurs pratiquant la culture de la lentille sont indiqués dans le tableau 1 (Gaad *et al.*, 2018_a).

La pratique de la culture de la lentille en fonction du sexe, dans le milieu rural, dépend des régions et des traditions locales. Dans une partie de l'Ouest du pays (Aïn Témouchent et Sidi-Bel-Abbès) et à l'Est (Constantine, Sétif et Mila), la culture de la lentille est exclusivement dévolue aux hommes (69,19 %). Par contre, dans le sud du pays plus précisément à Djanet, toutes les tâches relatives à la culture de la lentille sont entièrement exécutées par le genre féminin. Au centre du pays (Tizi-Ouzou, Bouira et Médéa) les tâches sont partagées entre les deux genres (17,01 %).

La culture de lentille est principalement pratiquée par les agricultures dont la tranche d'âge est entre 45 et 65 ans (65,94 %). Seules les régions de Djanet et Sétif ont la tranche dépassant 65 ans (14,89 %). Par contre, en Kabylie (Tizi-Ouzou et Bouira) et Médéa, la lentille est parfois cultivée par des jeunes agriculteurs de moins de 45 ans (19,14 %).

3.2.3. Caractéristiques agronomiques des sites de prospection

Les différents types de sol sur lesquels la lentille est cultivée sont illustrés par la figure 8. Dans la plupart des wilayas prospectées, d'après les agriculteurs interrogés, le semis de la lentille est largement réalisé sur les sols argilo-limoneux (87,5 %). Tandis que, dans 10 % des régions (Djanet), la lentille est semée sur un sol argilo-sableux. Seulement dans la région de Sidi-Bel-Abbès, une partie du sol sur lequel est cultivée la lentille est de type argileux calcaire (2,5 %).

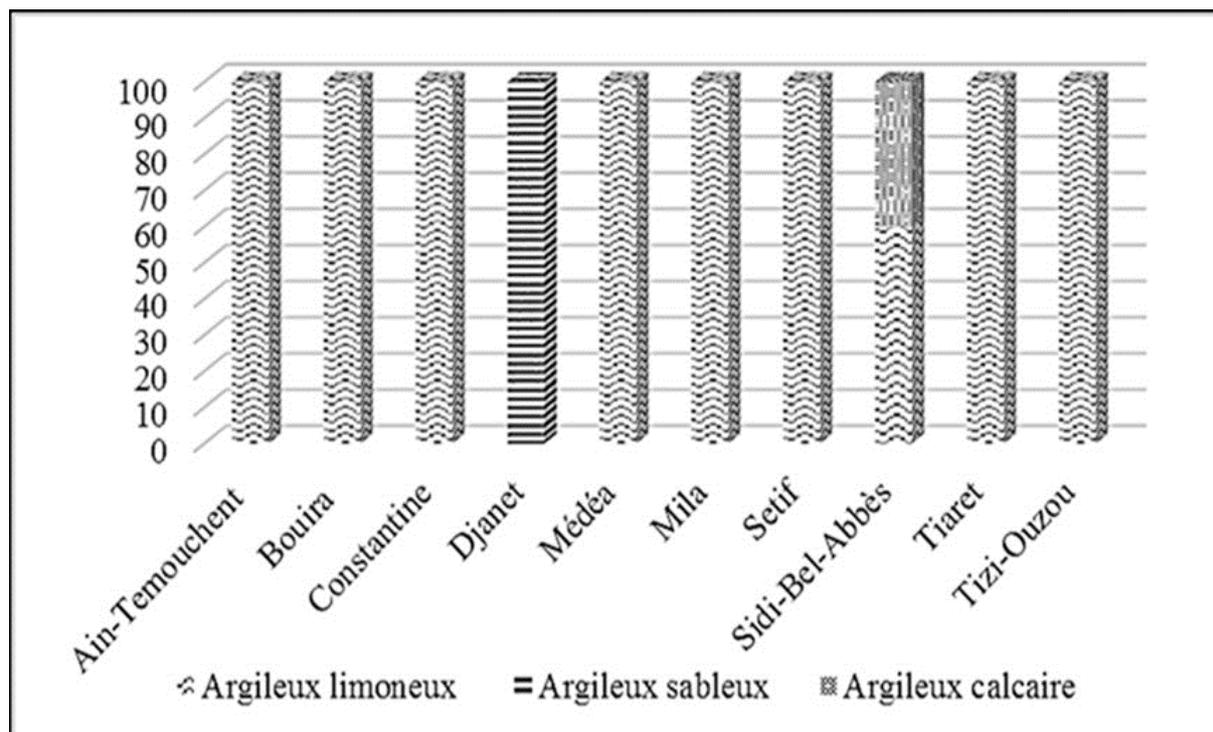


Fig. 8 : Fréquence des types du sol pour les 10 sites de collecte.

3.2.4. Caractéristiques ethnobotaniques

Pour la partie de la plante utilisée, deux principales parties sont exploitées par les agriculteurs questionnés (Fig.9) : les grains à des fins alimentaires dans la préparation d'un plat très connu sous le nom de « *tadjin* », la partie aérienne utilisée comme fourrage après récolte. En effet, 57,34 % d'interviewers profitent des deux parties. Tandis que 42,66 % préfèrent justes utiliser les graines surtout en Kabylie (Tizi-Ouzou) et au Sud (Djanet).

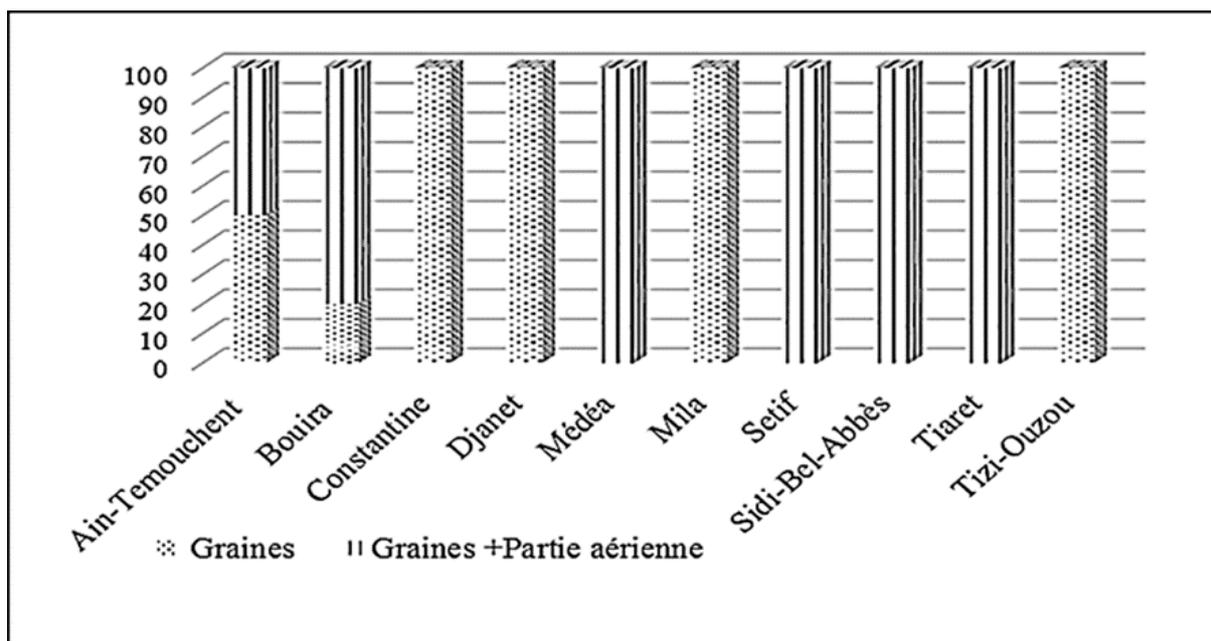


Fig.9 : Fréquence de la partie de la plante utilisée pour les 10 sites de collecte.

La majorité des agriculteurs interrogés (97,5 %) révèlent que la culture de la lentille est encore maintenue et cultivée en raison de sa haute valeur nutritive, spécialement sa teneur en protéines. Cependant, 2,5 % des agriculteurs, plus particulièrement dans la région de Djanet, considèrent que c'est un héritage culturel lié aux pratiques séculaires au fil des générations (Fig.10).

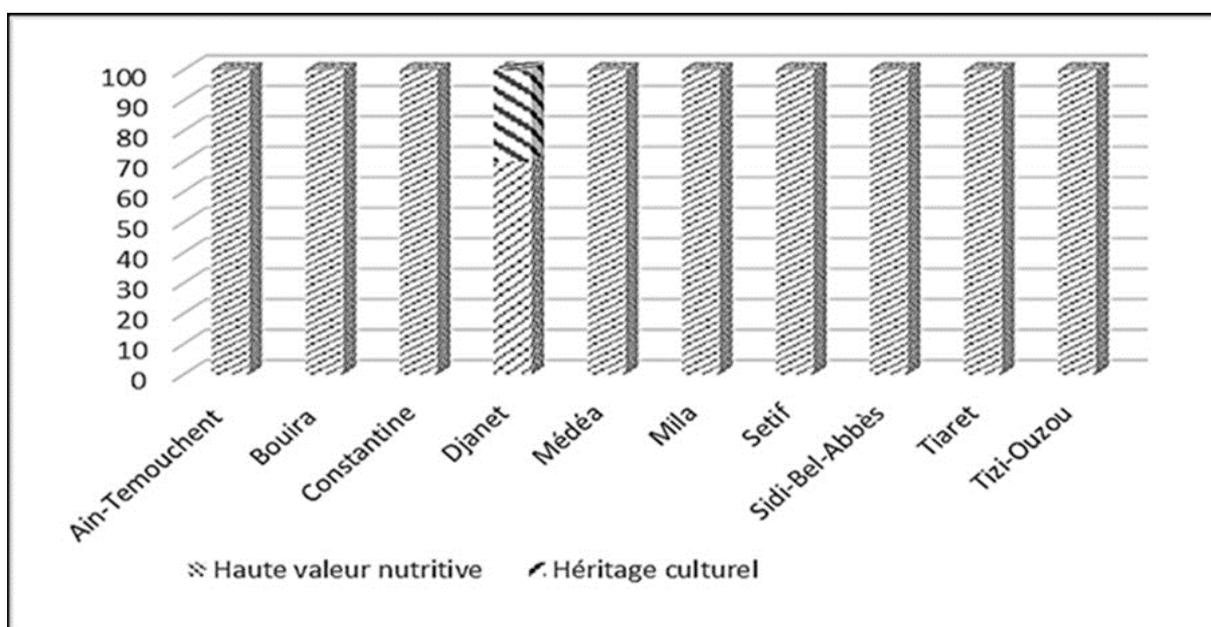


Fig.10: Fréquence des raisons du maintien de la culture pour les 10 sites de collecte.

La figure 11, montre que la plupart des agriculteurs (77,5 %), spécialement des régions de l'Ouest (Tiaret, Sidi-Bel-Abbès et Aïn Témouchent) et de la Kabylie (Tizi-Ouzou et Bouira), indiquent que la lentille est cultivée depuis la période coloniale. Alors que 20 % déclarent

qu'ils cultivent la lentille seulement durant les cinq dernières années. 2,5 % ne connaissent pas la période exacte d'introduction de la lentille.

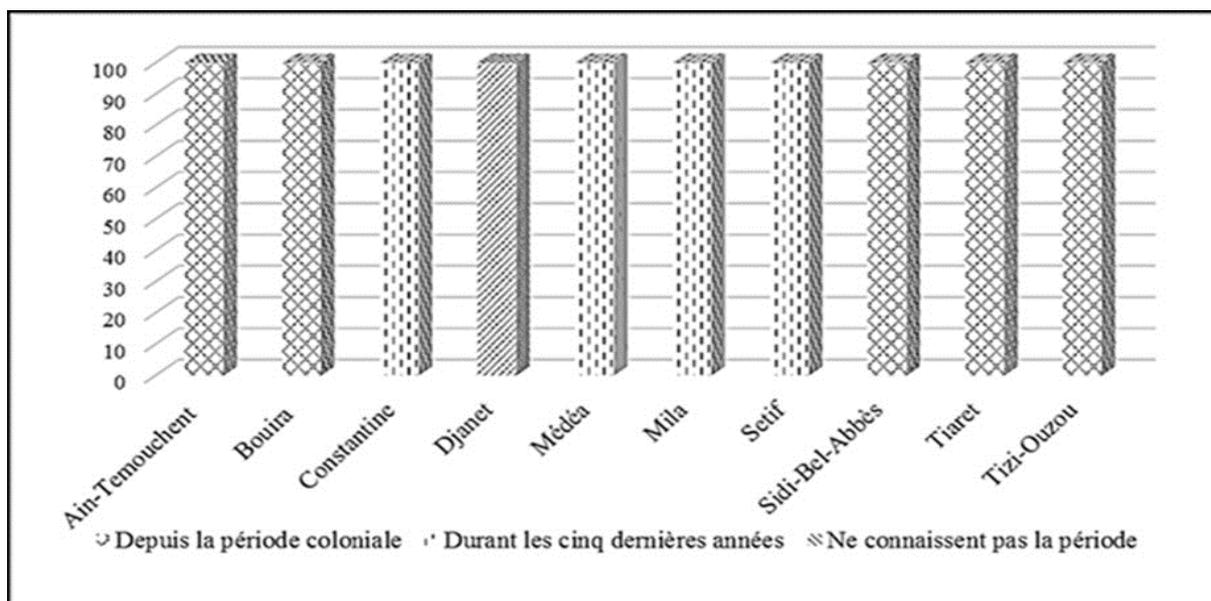


Fig.11: Fréquence de l'époque de la pratique de la culture pour les 10 sites de collecte.

Pour la destination du produit de la récolte (Fig.12), la majorité des agriculteurs utilisent la lentille pour l'autoconsommation (76 %) et cela dans les régions suivantes: Djanet et Médéa et à moindre degré à Aïn Témouchent et Tizi-Ouzou. Dans les régions de l'Est du pays (Constantine, Sétif et Mila), à Bouira, à Sidi-Bel-Abbès et à Tiaret, le produit de récolte est principalement destiné à la commercialisation, soit par la vente au marché local, à des voisins ou à des coopératives agricoles.

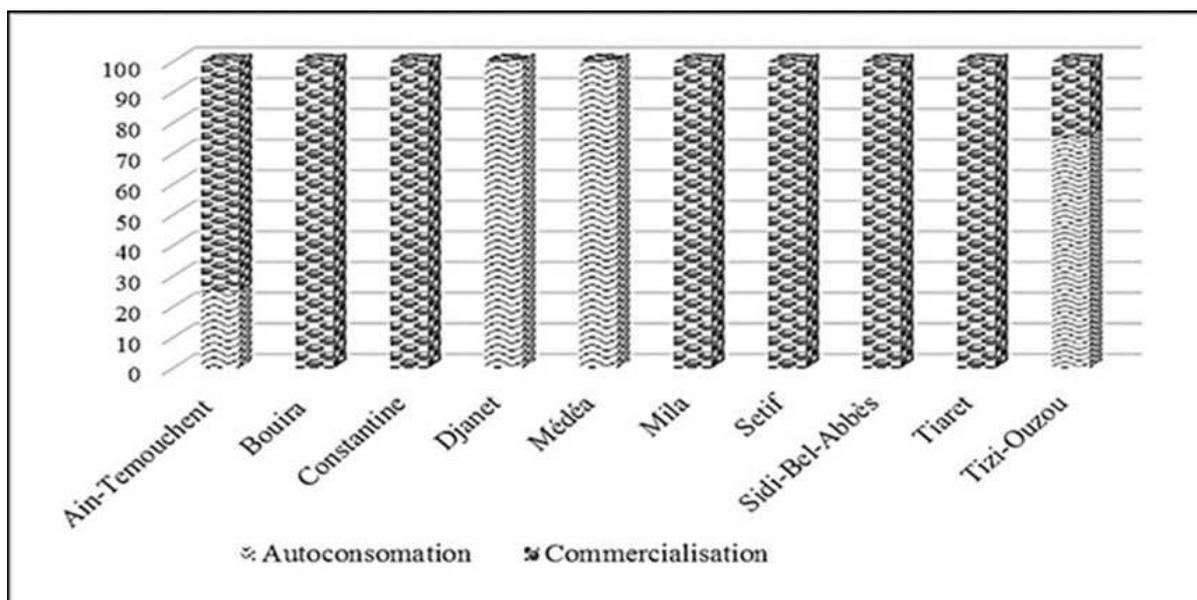


Fig.12 : Fréquence de la destination de produit de récolte pour les 10 sites de collecte.

Selon la figure 13, la lentille est fortement cultivée dans seulement 20 % des régions prospectées (Tiaret et Sidi-Bel-Abbès) et moyennement cultivée dans 60 % des régions (cette situation a été observée dans certaines localités des wilayas suivantes : Aïn Témouchent, Bouira, Constantine, Médéa et Sétif). Mais faiblement cultivée dans 20 % des localités visitées (Djanet et Tizi-Ouzou).

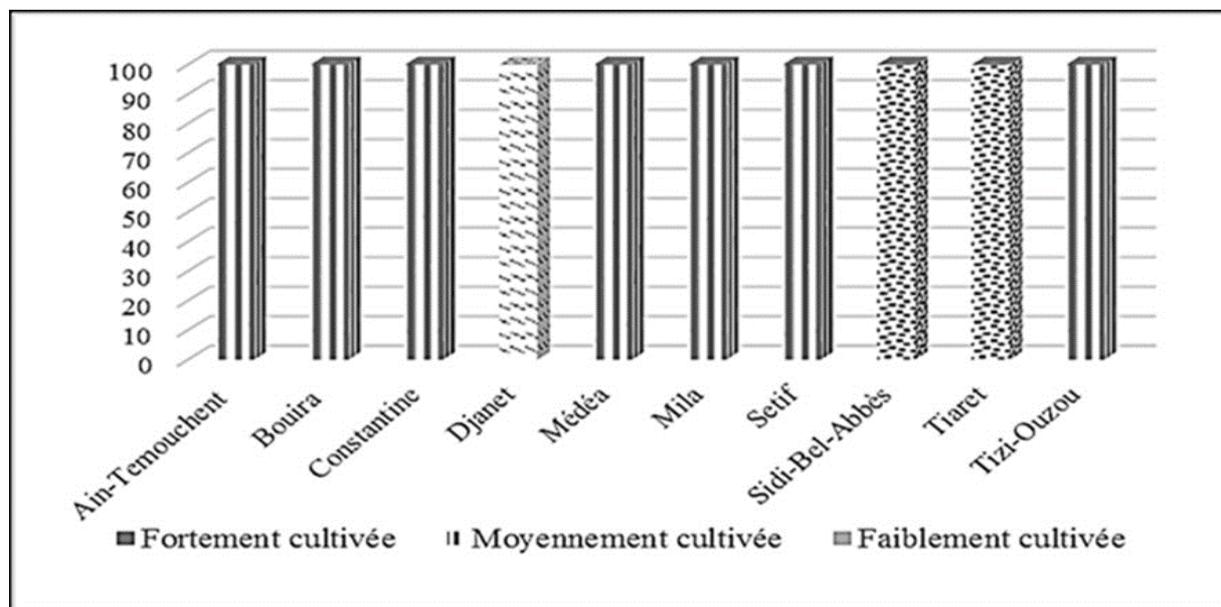


Fig.13: Fréquence de la collecte pour les 10 sites de collecte.

Trois principales contraintes entravent la production de la lentille selon les agriculteurs (Fig. 14), la première reliée à des faibles rendements (40 % des réponses), ensuite vient en second lieu les maladies et les attaques des insectes (36 %), et finalement les faibles précipitations (24 %) particulièrement dans la région sud (Djanet).

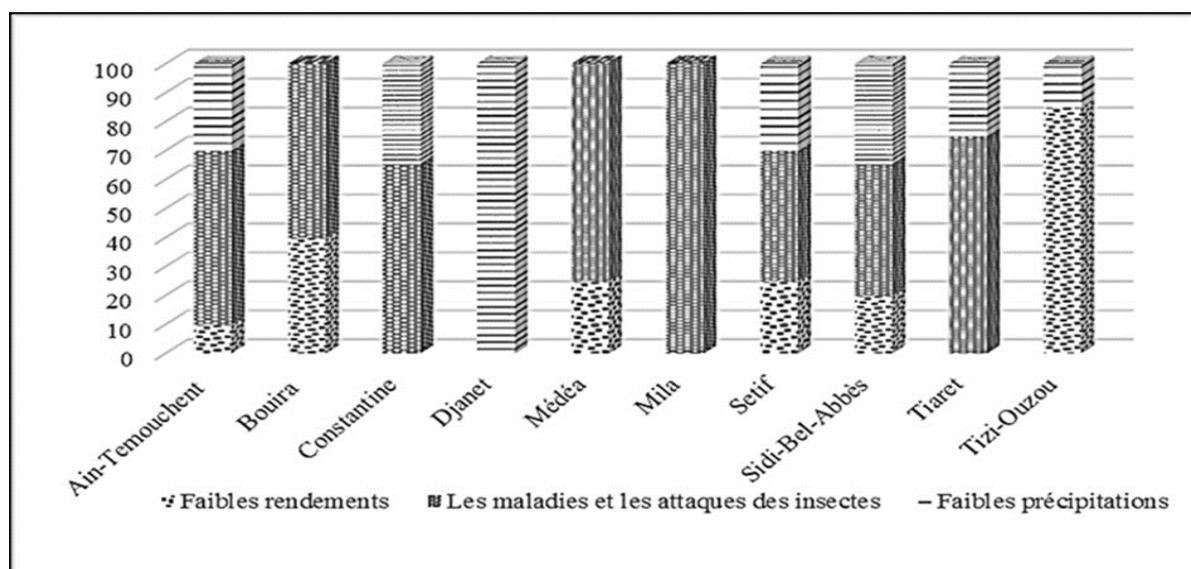


Fig.14 : Fréquence des contraintes de la culture de lentille pour les 10 sites de collecte.

3.3. Evaluation préliminaire

3.3.1. Analyse de fréquence

Caractères quantitatifs

La distribution de fréquence, sous forme d'histogramme, a permis d'estimer la variabilité morpho-métrique des accessions de lentille des deux collections (collection nationale et collection témoin) ; cette distribution est basée essentiellement sur leur diamètre et le poids de cent grains.

D'après la figure 15, l'accession originaire du sud Algérien (Djanet) est caractérisée par un diamètre élevé, entre 6,00 et 6,92 mm. Ce diamètre est aussi partagé par la variété Métropole originaire de Mila. Les régions du centre, Bouira et Tizi-Ouzou présentent, respectivement, les fréquences de 48,30 % et 48,84 % des accessions de diamètre entre 5,02 et 6,00 mm et un diamètre entre 6,00 et 6,92 mm avec des fréquences respectives de 51,69 % et 51,19 %. Les graines collectées dans les régions de Constantine (56,37 %), Médéa (30,73 %) et Tiaret (28,40 %) sont de petits diamètres entre 4,64 et 5,02 mm. L'Ouest du pays (Aïn Témouchent et Sidi-Bel-Abbès) présente des accessions de diamètre intermédiaire entre 5,02 et 6,00 mm presque de même fréquence (54,81 % et 53,33 %).

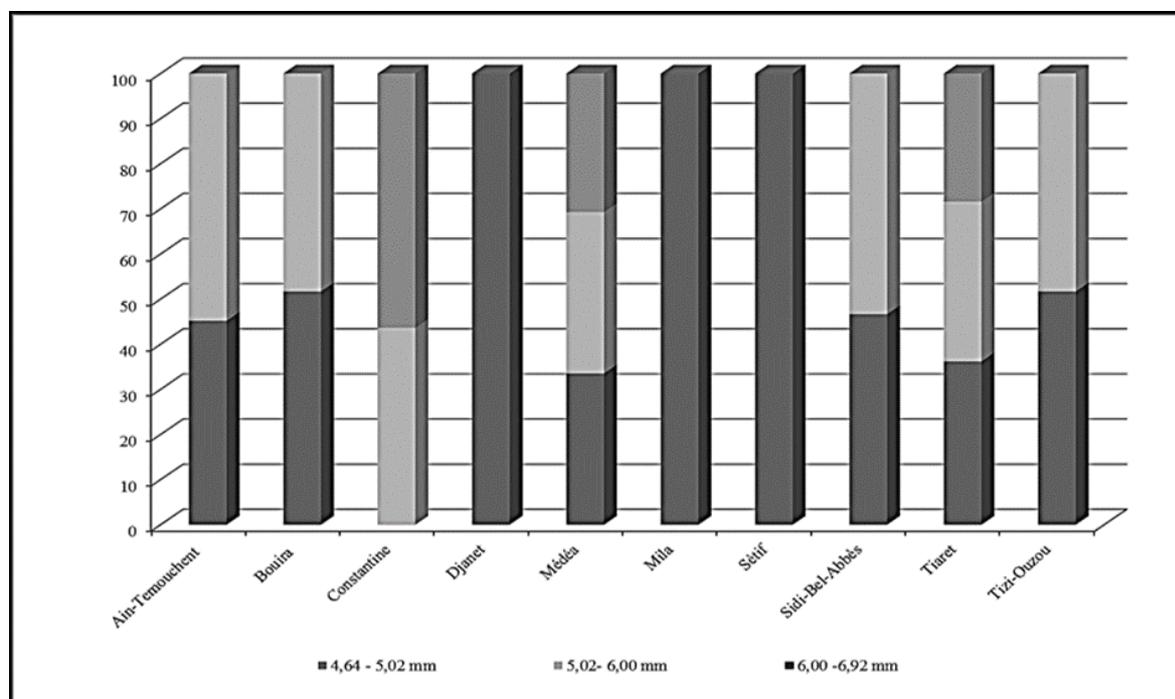


Fig.15 : Classes de fréquences de diamètre de la graine pour les 10 sites de collecte.

La figure 16 montre que les graines originaires de Djanet présentent de grosses épaisseurs (entre 2,82 et 3,28 mm), alors que les graines de provenance de Bouira, Aïn Témouchent, et

Mila présentent des épaisseurs moyennes (entre 2,38 et 2,82 mm). Les accessions collectées de Tiaret et Médéa présentent à la fois des graines de grande épaisseur (~37%), des graines d'épaisseur intermédiaire (~33%) et des graines de faible épaisseur (~30%).

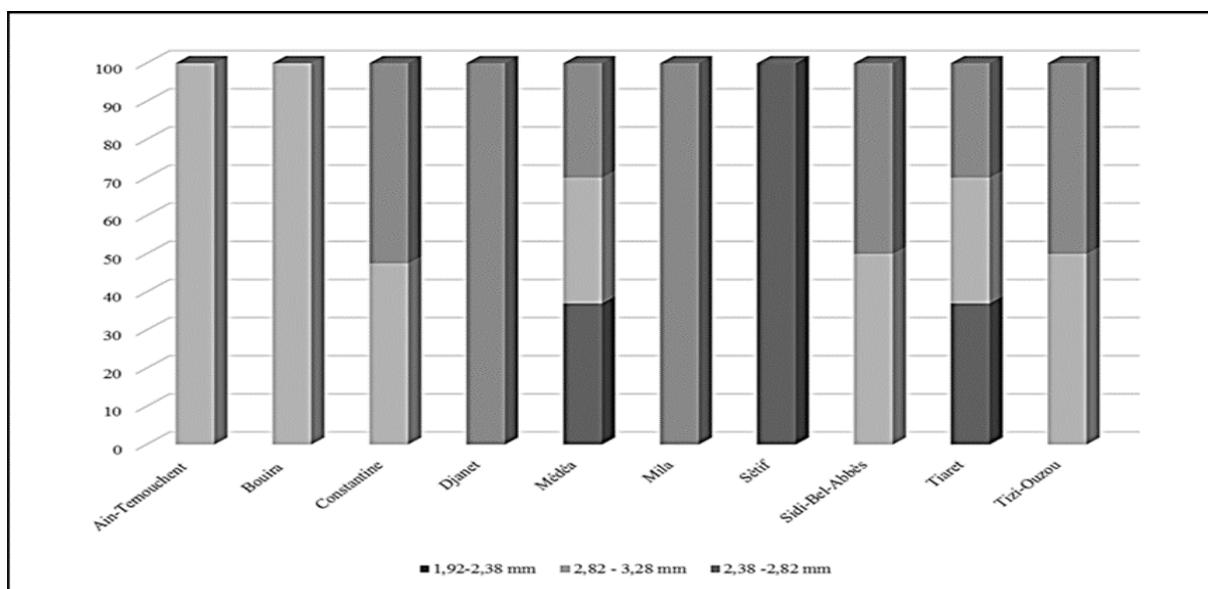


Fig.16 : Classes de fréquences de l'épaisseur de la graine pour les 10 sites de collecte.

La variété Métropole, cultivée dans la région de Mila, est caractérisée par un poids de cent graines élevé (entre 5,94 et 6,96 g) alors que la forme collectée dans l'oasis de Djanet se caractérise par un poids de cent grains moyens (entre 4,98 et 5,94 g). Des graines de faible poids de 100 grains (entre 3,00 et 4,98 g), pour 28,01 % des échantillons en provenance du Tizi-Ouzou, 36,33 % des graines collectées à Tiaret, 40 % de Sidi-Bel-Abbès, Aïn Témouchent et Médéa, 31,91 % originaires de Constantine et 46,80 % en provenance de Bouira (Fig.17).

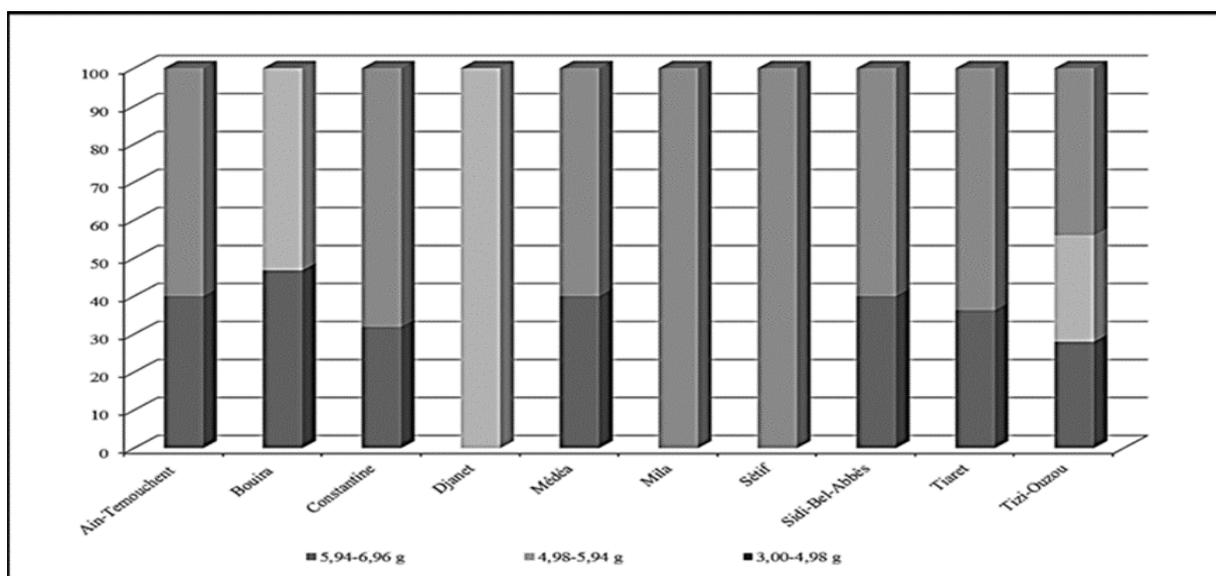


Fig.17: Classes de fréquences de poids de cent grains pour les 10 sites de collecte.

La collection témoin :

Il ressort, de la figure 18, que les échantillons de provenances de l'Australie présentent un diamètre moyen (entre 4,40 et 5,70 mm). Alors que les graines originaires de la Russie sont de petits diamètres (entre 2,46 et 4,60 mm). Les graines originaires de l'Amérique Latin (Argentine, Colombie et Chili) sont à large diamètre (entre 5,70 et 7,00 mm). Les pays du pourtour méditerranéen (Maroc, Syrie, Turquie et Espagne) montrent une diversité importante concernant la taille des graines, environ 27 % des accessions ont des petites graines (entre 2,46 et 4,60 mm) alors que près de 31 % ont un diamètre moyen (entre 4,40 et 5,70 mm). Les graines originaires des USA sont à grand diamètre ou à diamètre moyen, alors que celles originaires de l'Inde sont à diamètre moyen ou à petit diamètre.

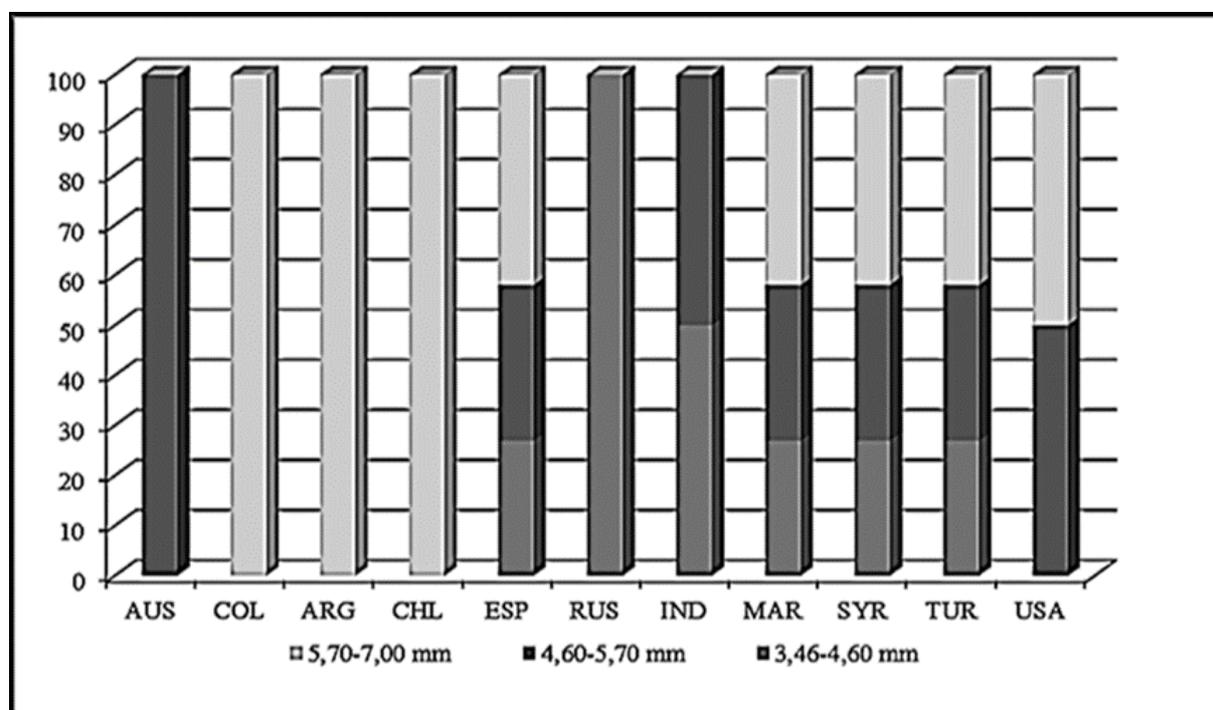


Fig.18 : Classes de fréquences de diamètre de la graine pour la collection témoin.

D'après la figure 19, les graines originaires de Colombie ont une épaisseur moyenne entre 2,30 et 2,60 mm, tandis que celles originaires du Chili présentent une faible épaisseur (0,15 à 2,30 mm). Presque la moitié des échantillons en provenance de l'Argentine (51,81 %), de l'Espagne (52,32 %), de Russie (50,63 %) et des USA (52,05 %) présentent des graines d'épaisseurs moyennes. 30% des accessions originaires de l'Inde, du Maroc, de Syrie, de Turquie et d'Australie, montrent des grains à grande épaisseur (2,6-2,92 mm). Les accessions en provenance d'Australie sont soit de petites, de moyennes ou de grandes épaisseurs.

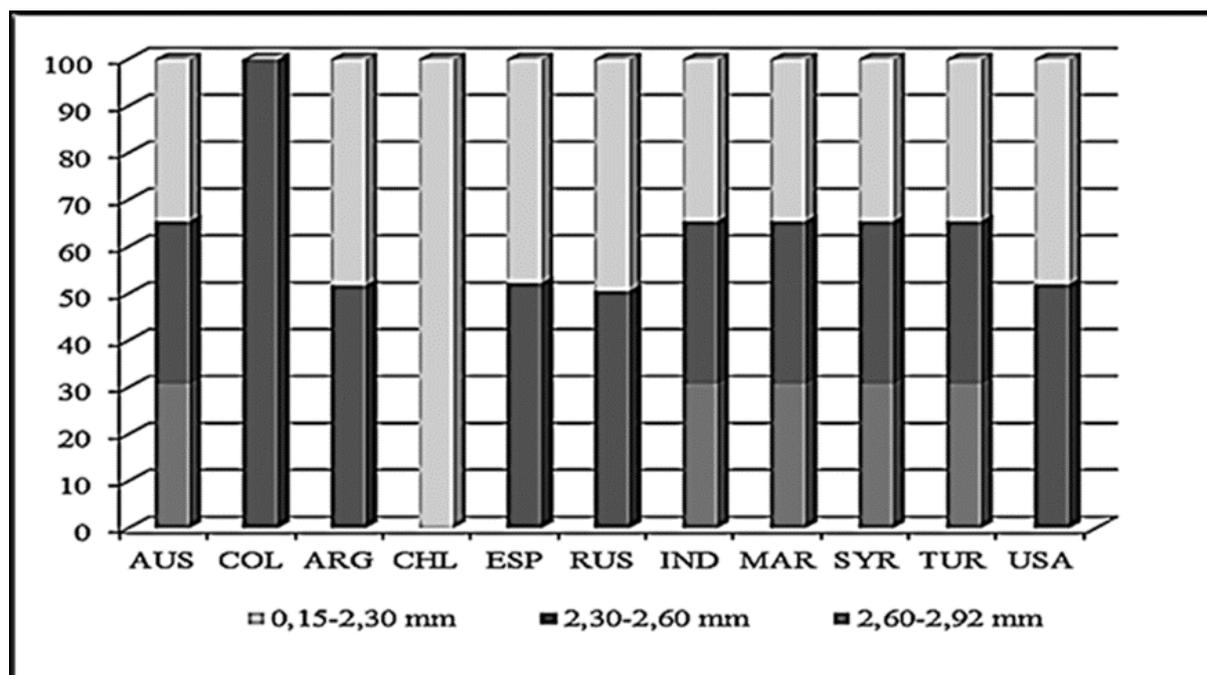


Fig.19 : Classes de fréquences de l'épaisseur de la graine pour la collection témoin.

Les graines originaires d'Argentine et du Chili présentent des graines lourdes (entre 4,5 à 7,43 g). Le poids de cent grains des échantillons, en provenance des États-Unis, de Turquie, d'Espagne et de Colombie, contient à la fois des grains de poids moyens (entre 2,30 et 4,5 g) avec respectivement 45,21 %, 34,65 %, 40,86 % et 40,69 %, et des grains de gros calibre (entre 4,5 et 7,43 g). Par contre, les échantillons issus des pays suivants : Syrie, Maroc, Inde, Russie et Australie contiennent un pourcentage de grains de petit calibre (1,03 et 2,3 g) avec 18,06%, 21,67 %, 39,51 %, 45,94 % et 20,01 % respectivement (Fig.20).

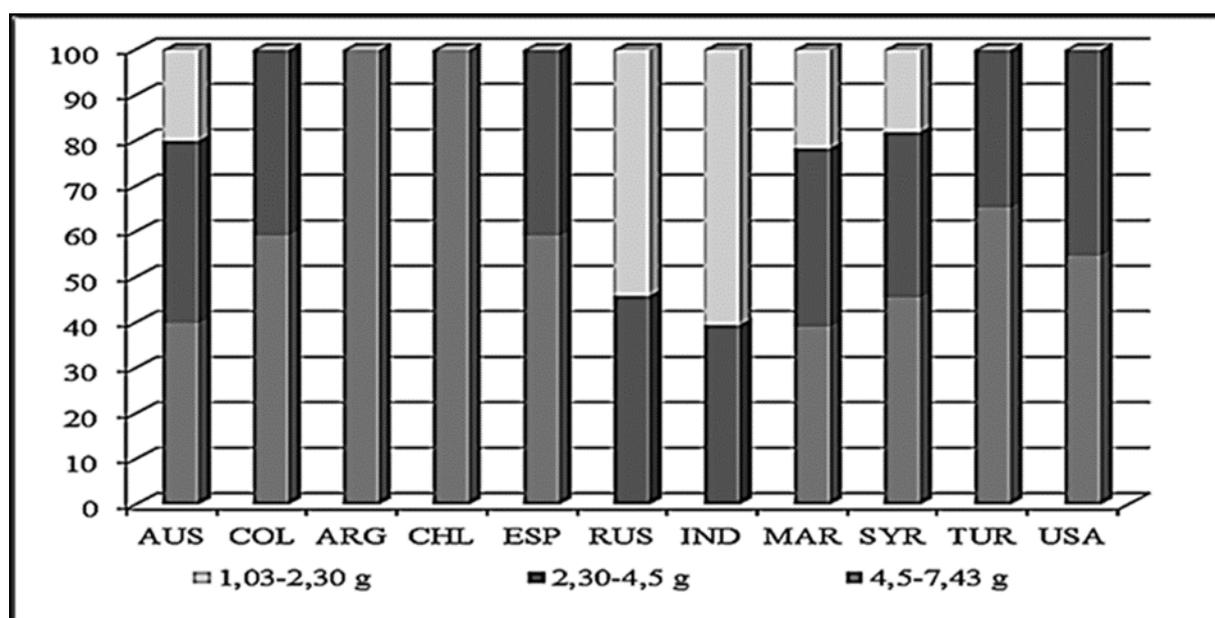


Fig.20 : Classes de fréquences de poids de cent grains pour la collection témoin.

Caractères qualitatifs

Ces caractères sont seulement pris en compte pour la collection nationale (voir matériel et méthodes), excepté pour la forme de la graine.

Le tégument est de couleur marron chez la plupart des accessions originaires des régions suivantes : Tizi-Ouzou, Djanet, Sétif, Mila et Tiaret. La moitié (50 %) des graines originaires d'Aïn Témouchent a des téguments beiges ; alors que seulement 14,28 % des graines originaires de Médéa sont beiges. Le tégument vert est rencontré chez les accessions originaires des wilayas suivantes : Bouira, Sidi-Bel-Abbès et Constantine avec respectivement, 25 %, 58 % et 33,33 % (Fig.21).

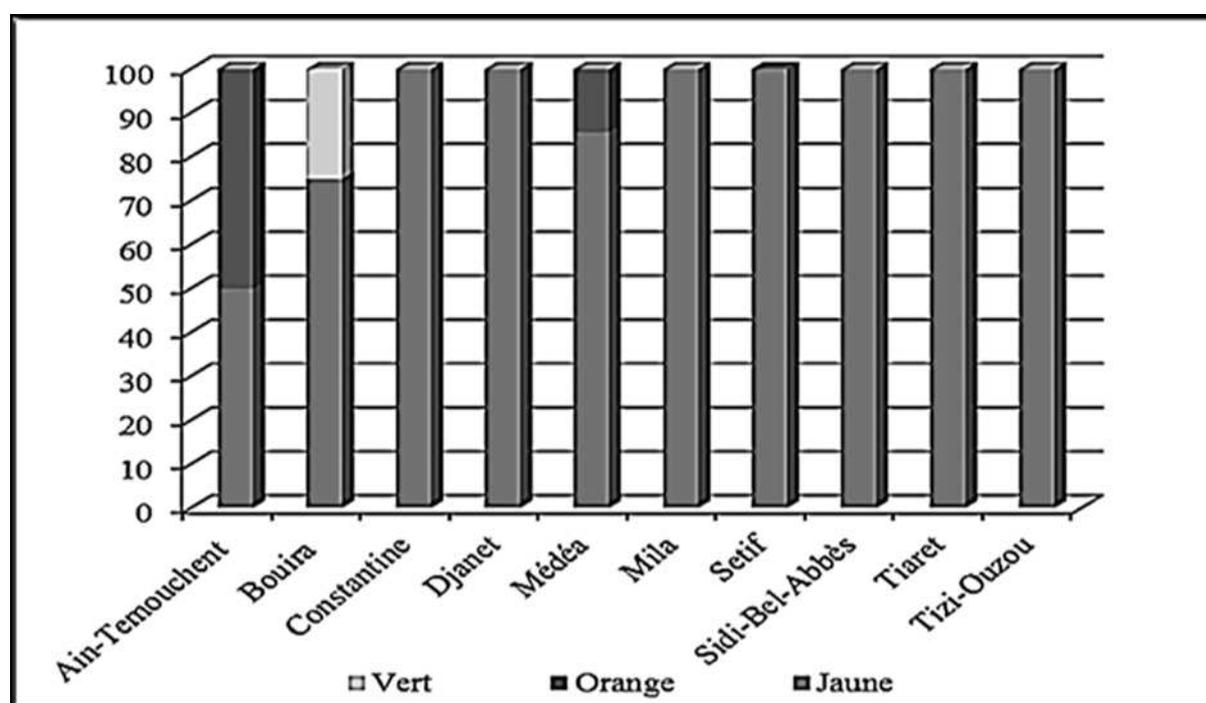


Fig.21: Fréquence de couleur de tégument des graines pour les 10 sites de collecte.

La figure 22 montre que les graines originaires des régions suivantes : Constantine, Sidi-Bel-Abbès, Aïn Témouchent, Bouira, Djanet, Sétif, Mila et Tiaret ne présentent aucune tigrure à leur surface. Les accessions de Médéa ont des graines qui présentent des taches et des points avec une proportion égale (14,28 %), le reste des graines (71,44 %) est sans tigrure. Environ soixante-sept pour-cent (66,67 %) des échantillons de la wilaya de Tizi-Ouzou sont sans tigrure, alors que trente-trois pour cent (33,33 %) possèdent des graines tachetées.

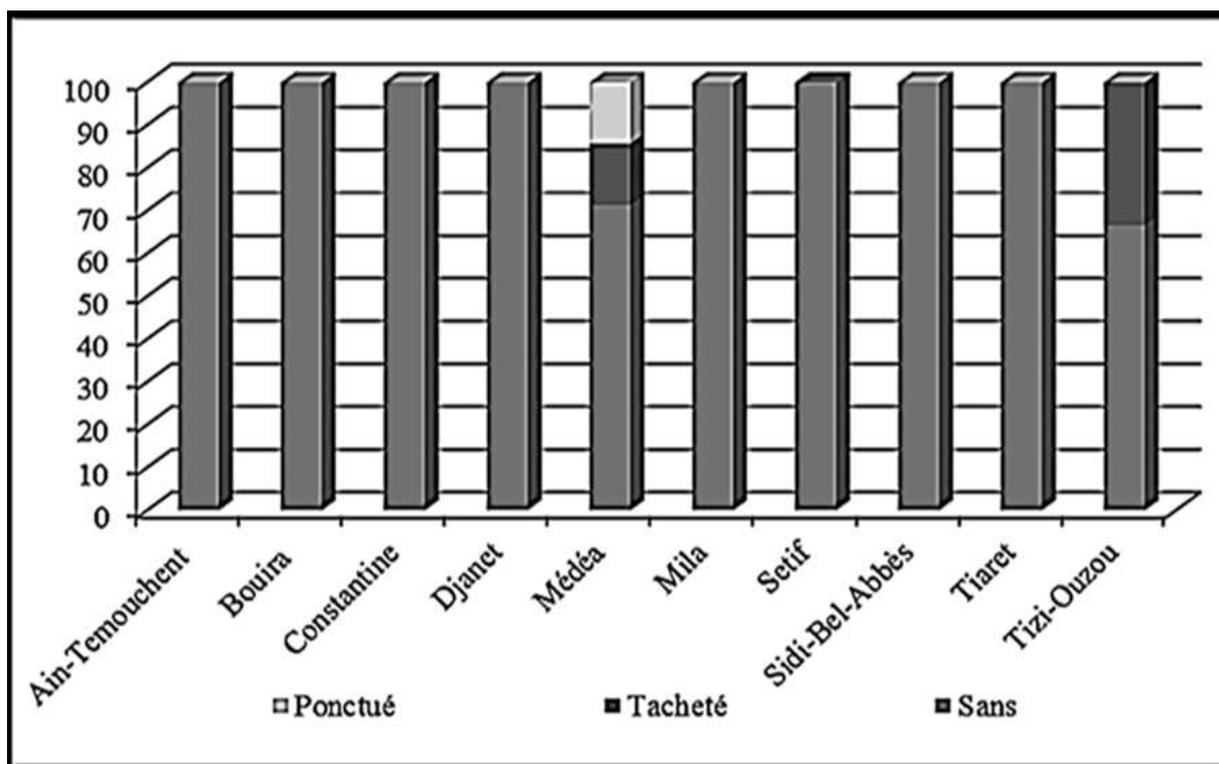


Fig.22 : Fréquence de tigrure des graines pour les 10 sites de collecte.

Selon la figure 23, les cotylédons jaunes dominent chez la plupart des accessions originaires des régions suivantes: Tiaret, Mila, Djanet, Tizi-Ouzou, Sidi-Bel-Abbès et Constantine. La moitié des accessions originaires d'Ain Témouchent possèdent des cotylédons orange ; alors que seulement 14,28 % des échantillons de Médéa ont des cotylédons de couleur orange. La région de Bouira est la seule qui présente des graines avec des cotylédons verts (25 %).

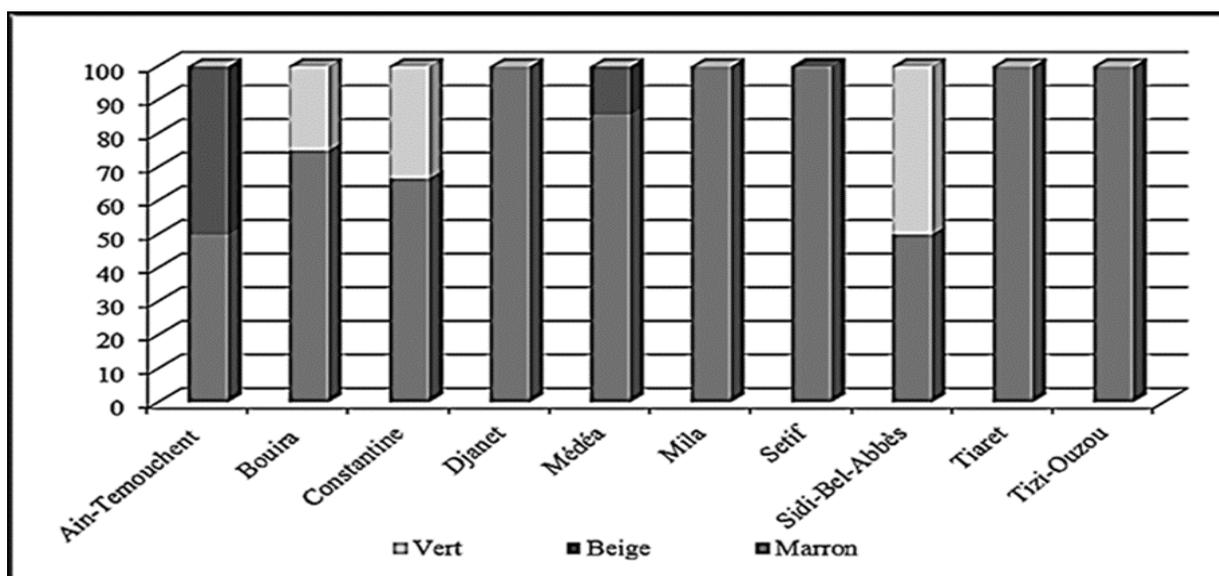


Fig.23 : Fréquence de couleur de cotylédon des grains pour les 10 sites de collecte.

La forme plate (*macrosperma*) des graines domine dans la région Est de pays (Mila et Constantine) et le Sud (Djanet). Par contre, la forme globulaire (*microsperma*) est le type le plus dominant dans la région de Sétif. En Kabylie (Bouira et Tizi-Ouzou), 75 % des accessions ont des graines de forme plate ; alors que 25 % sont de type globulaire. Dans la région de Média, la forme plate est signalée avec une fréquence de 57,15 %, la forme globulaire est identifiée avec une fréquence de 42,85 % (Fig.24).

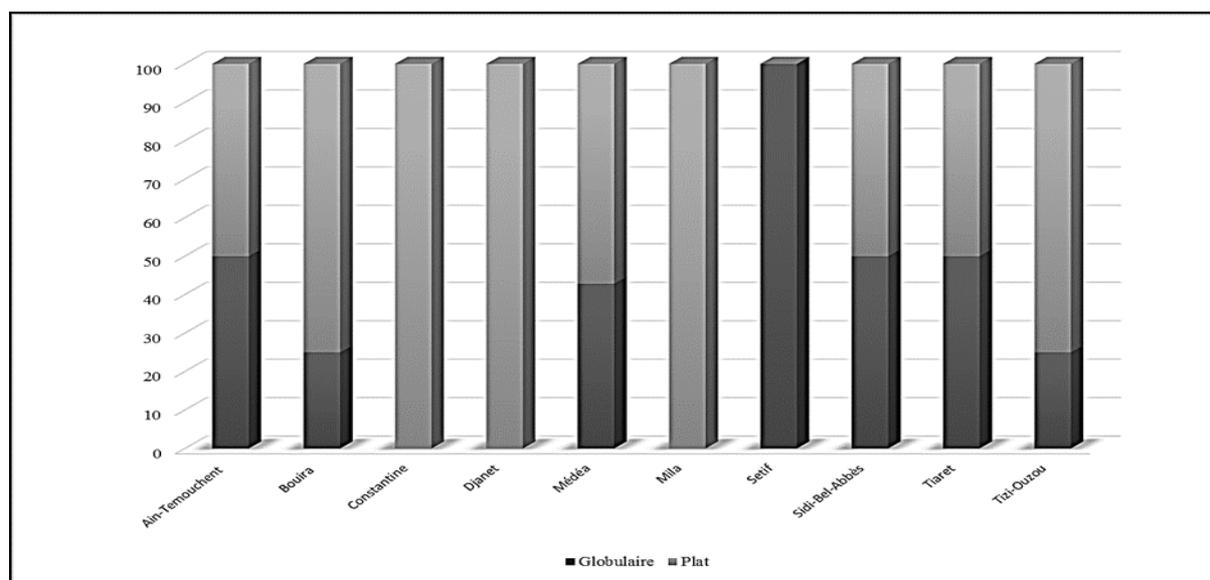


Fig.24 : Fréquence de la forme des graines pour les 10 sites de collecte.

La collection témoin :

La forme globulaire (type *microsperma*) domine dans les régions suivantes : l'Inde et l'Australie ; alors que la forme plate (*macrosperma*) domine aux USA, en Colombie, en Argentine, au Chili, en Espagne et en Russie. La plupart des échantillons en provenance de la région méditerranéenne (Turquie, Syrie et Maroc) possèdent des graines de forme plate, en général, avec respectivement : 89,47 %, 68,75 % et 80 % (Fig.25).

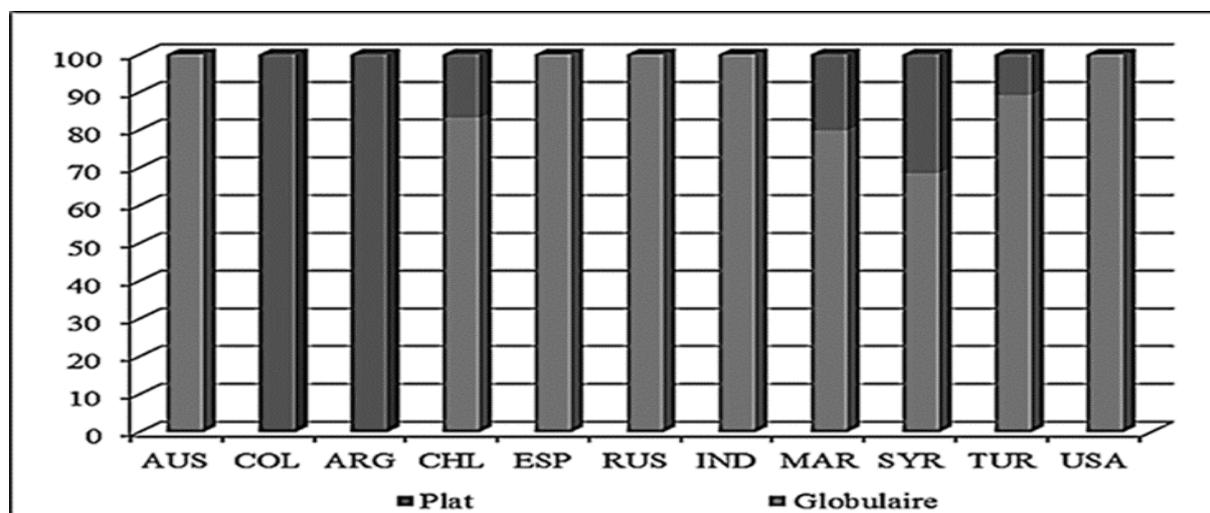


Fig.25 : Fréquence de la forme des graines pour la collection témoin.

Enfin et afin d'avoir une idée sur la diversité rencontrée, la photographie suivante (Fig.26) présente la diversité des morphotypes de grains des lentilles cultivées en Algérie, ainsi que les formes globulaires au niveau de la collection témoin.

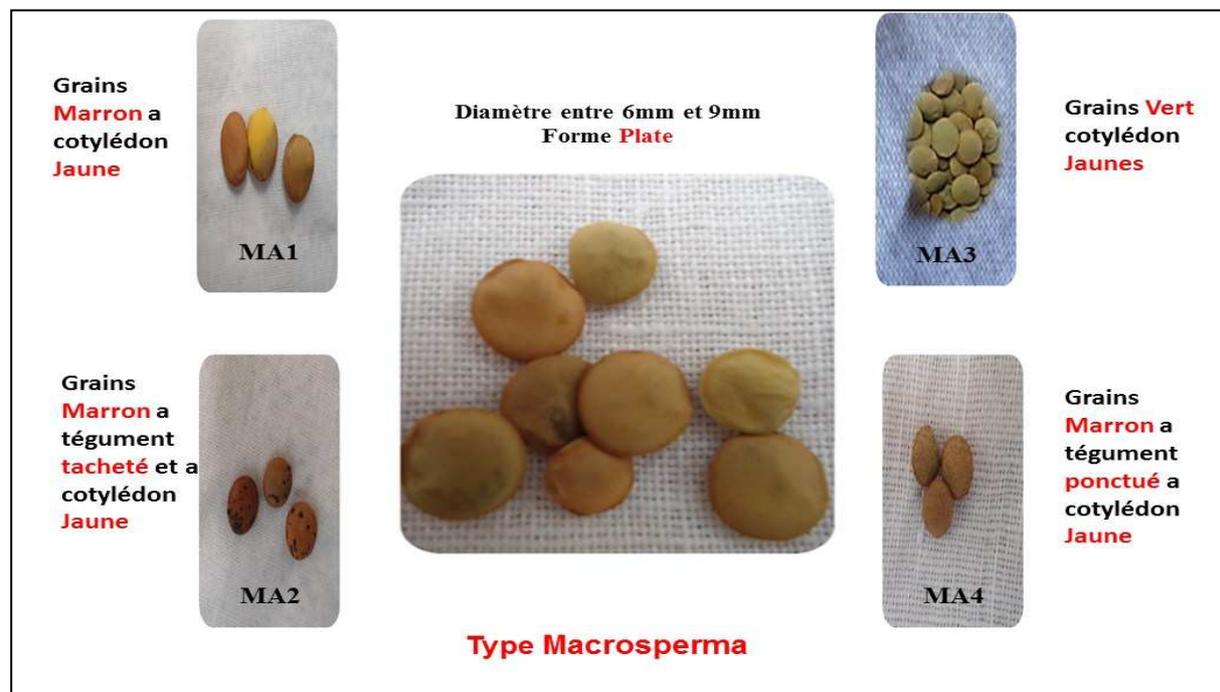


Fig.26 : Diversité des morphotypes de grains des lentilles cultivées en Algérie; dans le groupe *macrosperma*: MA1, MA2, MA3 et MA4, dans le groupe *microsperma*: mi₁, mi₂ et mi₃. Des formes globulaires observées chez la collection témoin: mi₄, mi₅ et mi₆.

3.3.2. Analyse en Composantes Principales (A.C.P)

Une analyse en composante principale (A.C.P) a été réalisée pour l'ensemble des accessions des deux collections (national et témoin) pour comparaison. Le cercle des corrélations pour le plan formé des deux premiers axes factoriels est représenté en figure 27, toutes les variables sont bien représentées dans ce plan factoriel puisque leurs corrélations avec les axes sont relativement importantes (les projections sont proches du cercle de corrélation.). Les seuls deux premiers axes de l'Analyse en Composantes Principales expliquent près de 93.69 % de la variabilité ; ils ont été retenus.

L'axe 1 a absorbé 58,32 % de la variation, il a associé les caractères : diamètre de la graine, le poids de cent grains. L'axe 2, qui explique 35,36 % de la variation, est défini par l'épaisseur de la graine.

La projection des individus sur le plan factoriel défini par les axes 1 et 2 a montré une assez importante distribution sur le plan.

En effet, l'axe 1 est défini sur la partie positive par les accessions originaires de la région centre (Tizi-Ouzou: ALG3) et l'Ouest du pays (Tiaret: ALG9), les deux Amériques (nord et sud) représentées par les USA (PI486127 et PI619099), Chili (IG1828) et la région méditerranéenne représentée par les accessions originaires du Maroc (PI374120) et de Syrie (IG5514). Par contre, la partie négative de l'axe est définie beaucoup plus par les accessions originaires de l'Est (Mila) et l'Ouest (Tiaret) du pays (ALG5 et ALG6) pour la collection national. Pour la collection témoin, il y a les accessions originaires de l'Australie (CASSAB et V69-10010), des pays méditerranéens [Turquie (IG5514), Maroc (PI374119) et Espagne (PI533690)] et de l'Asie [Inde (PI472126) et Russie (PI320936)].

L'axe 2 a isolé sur le côté négatif les accessions suivantes : ALG4 et ALG10 originaires de Tizi-Ouzou et Sidi-Bel-Abbès respectivement et les deux accessions originaires de l'Amérique du sud [Argentine (PI297287) et Colombie (IG1647)], une seule accession de l'Australie (ILL5823) et une seule de la Syrie (IG26). Et sur le côté positif par les deux accessions : ALG8 (Tiaret), et ALG12 (Sidi-Bel-Abbès) et les deux accessions originaires de l'Australie (ILL5728 et ILL5722) et une seule accession de la Turquie (IG572).

L'interprétation que l'on peut faire de ce graphique est la suivante : le premier axe factoriel semble opposer les accessions qui présentent un diamètre des grains et poids de cent grains élevés, originaire des régions à haute altitude et à forte pluviométrie aux accessions ayant des diamètres et des poids de cent grains réduits, elles sont originaires des régions à faible altitude et pluviométrie. Le second axe factoriel semble se caractériser par des accessions à graines d'épaisseur réduite.

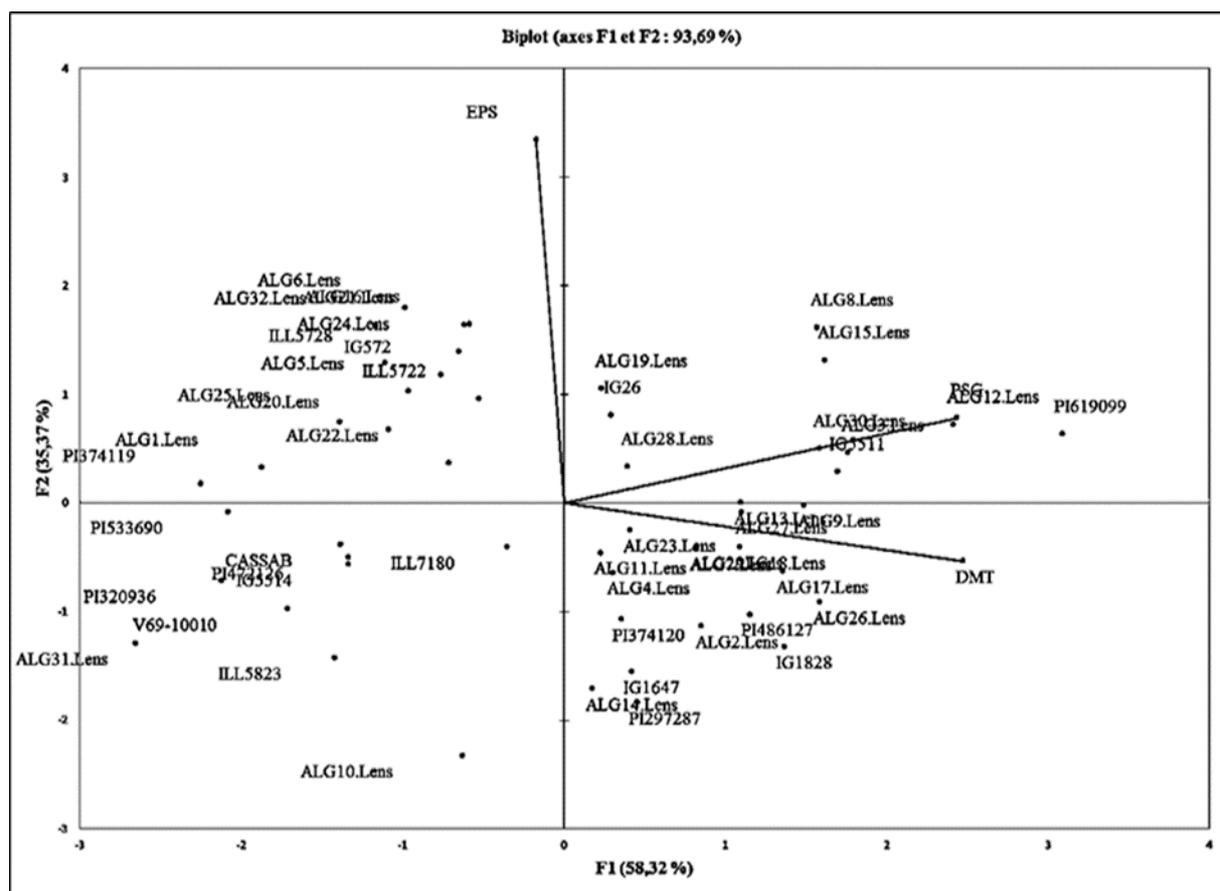


Fig.27 : Projection des 52 accessions (32 de collections nationales +20 de collection témoin) sur le plan formé par les deux axes de l'ACP de 2 facteurs avec 3 caractères quantitatifs.

3.3.3. Classification Ascendante Hiérarchique (CAH)

La classification ascendante hiérarchique (CAH), par la méthode de distance euclidienne, a permis de répartir les accessions, à un niveau de di-similarité donné, indépendamment de l'origine géographique. En effet, pour un index de di-similarité fixé à 14,51 il ressort 3 classes (Classe A, Classe B et Classe C) (Fig.28) :

La classe A regroupe des 24 accessions caractérisées par une grande épaisseur des graines (EPS), mais présentant un faible diamètre (DMT) et un faible poids de cent grains (PCG). Cette classe est divisée en 2 sous-classes :

- La première sous-classe comporte les accessions algériennes suivantes : ALG5 (Mila), ALG6 (Tiaret), ALG20, ALG21, ALG22 (Médéa), ALG24 (Bouira), ALG16 (Aïn Témouchent) et ALG32 (Sétif), et les accessions étrangères suivantes : ILL5722, ILL5728 et ILL7180 (Australie) et IG572 (Turquie).
- La deuxième sous-classe renferme les accessions suivantes : ALG25 (Constantine), et ALG10 (Sidi-Bel-Abbès), ALG31 (Djanet) et ALG1 (origine inconnu), et les accessions

étrangères: IG5823, V69-10010 et Cassab (Australie), PI472126 (Inde), IG5511 (Syrie), PI320937 (Allemagne), PI374119 (Maroc), PI533690 (Espagne).

La classe B regroupe 11 accessions caractérisées par un poids de cent grains et un diamètre élevé, elle est divisée en trois sous-classes :

- La sous-classe 1 renferme une seule accession étrangère : PI619099 (USA).

La sous-classe 2 contient des accessions originaires du Centre et Ouest du pays : ALG8 ; ALG9 (Tiaret), ALG12 ; ALG13 (Sidi-Bel-Abbès), ALG17 (Médéa), ALG26 ; ALG27 (Bouira), ALG3 ; ALG30 (Tizi-Ouzou) et ALG15 (Aïn Témouchent).

La classe C comporte 16 accessions caractérisées par des valeurs intermédiaires pour les deux caractères, diamètre et poids de cent grains, et des valeurs élevées pour l'épaisseur. Elle se divise en deux sous-classes :

- La sous-classe 1 comporte les neuf accessions suivantes : ALG19 ; ALG23 (Médéa), ALG28 (Bouira), ALG4 (Tizi-Ouzou), ALG14 (Sidi-Bel-Abbès), IG1647(Colombie), PI374120 (Maroc), IG26 (Syrie) et PI297287 (Grèce).

- La sous-classe 2 inclue des accessions algériennes suivantes : ALG21 (Médéa), ALG11 (Tiaret), ALG29 (Tizi-Ouzou), ALG7 (Tiaret), et deux accessions étrangères : IG1828 (Chili) et PI486127 (USA).

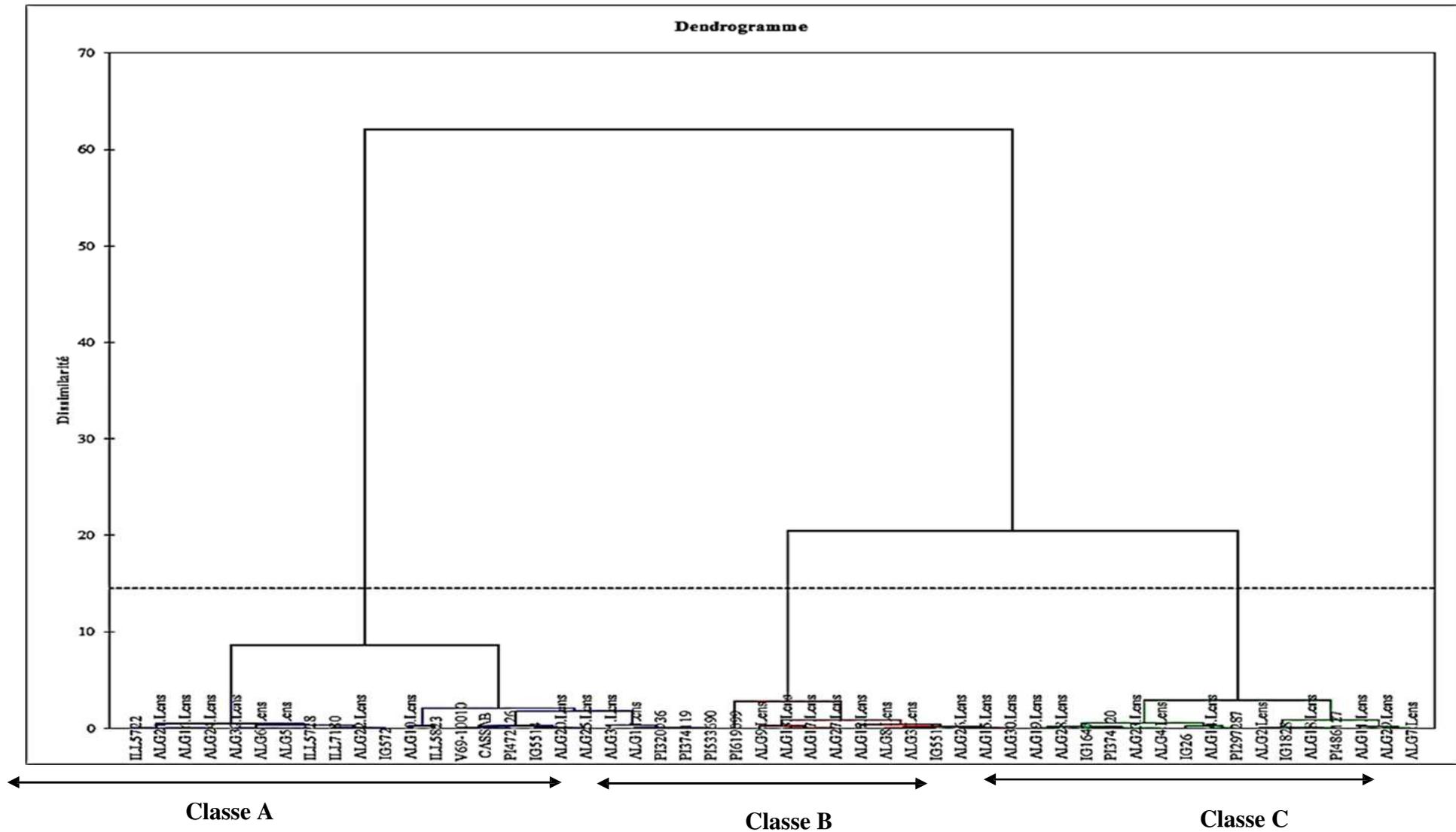


Fig.28 : Dendrogramme de distances génétiques de 52 accessions de la lentille.

3.3.4. Analyse de Correspondance Multiple (A.C.M)

Le plan des axes 1 et 2 de l'ACM représentant respectivement 50,87 % et 9,10 % de la variabilité totale, les deux axes cumulent ensemble 59,58 % de l'inertie totale (Fig. 29).

L'axe 1 est présenté dans sa partie positive par les variables : CTG (Beige), TGG (Tacheté) et par les deux accessions ALG15 (Aïn Témouchent) et ALG23 (Médéa) ; dans sa partie négative par CTG (marron).

L'axe 2 est déterminé dans sa partie positive par : FLG (Plat), TGG (Ponctué), CTG (Vert), CCD (Jaune) et CCD (Vert) et par les accessions suivantes : ALG3, ALG4, ALG29 et ALG30 (Tizi-Ouzou), ALG7, ALG8 et ALG9 (Tiaret), ALG10, ALG11, ALG12, ALG13 et ALG14 (S. B. Abbes), ALG17, ALG18 et ALG19 (Médéa), ALG26, ALG27 et ALG28 (Bouira), ALG31 (Djanet) et ALG32 (Sétif), et dans sa partie négative, il est défini par : FLG (Globulaire), TGG (Sans) et CCD (Orange) et par les accessions : ALG5 (Mila), ALG6 (Tiaret), ALG16 (Aïn Témouchent), ALG20, ALG21, ALG22 (Médéa), ALG24 (Bouira) et ALG25 (Constantine).

De ce fait, on peut conclure que l'axe 1 est caractérisé par les accessions ayant des graines de forme plate, tachetées à tégument marron ou beige et dont la plupart sont originaires de la région Centre et Ouest du pays ; l'axe 2 est caractérisé, quand à lui, par des accessions ayant des graines de forme plate ou globulaire, à tigrure ponctuée, à tégument vert à cotylédon vert ou orange.

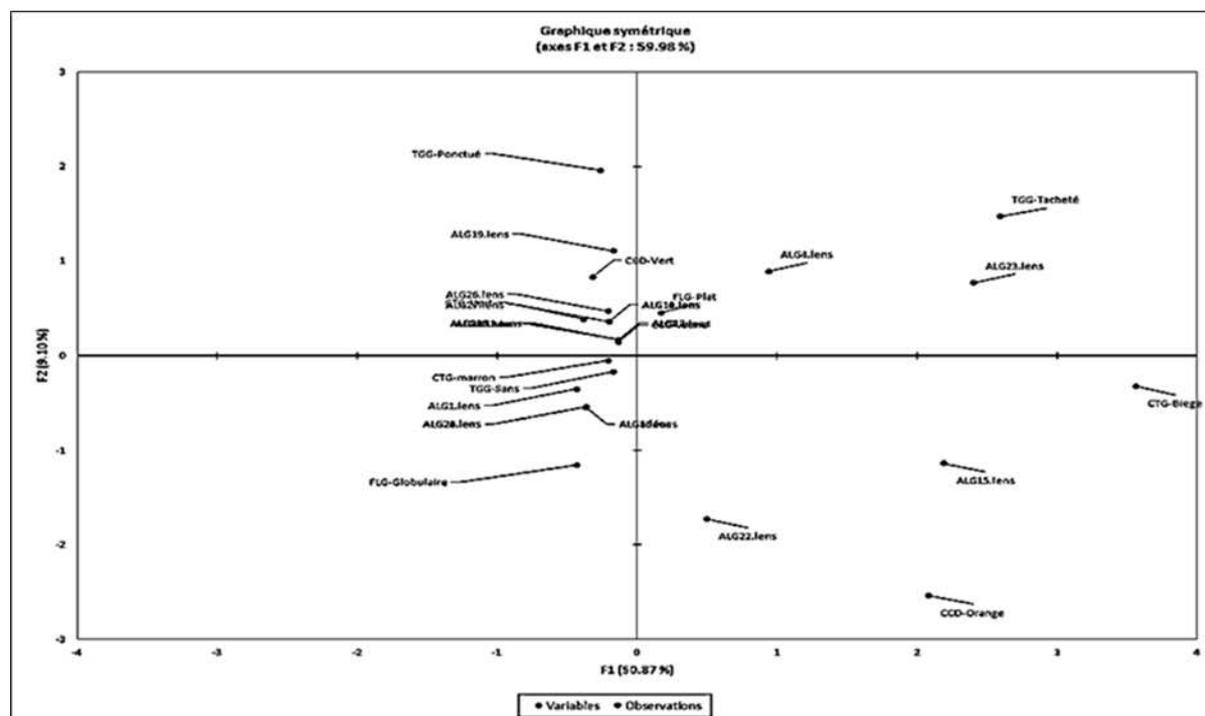


Fig. 29 : Projection des 4 caractères qualitatifs et les 30 individus de la collection nationale sur les deux premiers axes de l'ACM.

4. Discussion

4.1. Prospection et collecte

Au cours des années soixante-dix, l'Algérie, à travers ses structures mandatées, et en collaboration avec des partenaires étrangers (Australie, ICARDA, NRS Japon...), a effectué plusieurs missions de prospection et collecte. Ces missions ont permis de rassembler plusieurs échantillons de ressources génétiques de céréales, légumineuses à graines, plantes à tubercules et racines, de même que des légumes (Porceddu, 1975 ; Perrino et Zamanis, 1977 ; Polignand, 1978).

Mais toutes ces collections furent seulement le bonheur des banques de gènes étrangères (Italie, Australie, ICARDA et USDA). Heureusement, l'écrasante majorité des agriculteurs, de par le monde par choix ou par nécessité mènent des activités bénéfiques de conservation des ressources génétiques à intérêt agricole (RPGA). Ils sélectionnent et conservent des semences d'une année à une autre, pour la prochaine campagne de semis.

C'est ce qui nous a permis, en 2011, quand l'Institut National de Recherche Agronomique (INRAA), en collaboration avec l'École Nationale Supérieure Agronomique (ENSA), a de nouveau inscrit les RPGAA dans ses priorités, de reprendre les prospections; en effet, entre juin et juillet 2011, une prospection-collecte de deux mois a été effectuée en plusieurs missions à travers le territoire national.

Dix-huit (18) localités appartenant à 10 wilayas ont été prospectées. Ces missions de collecte nous ont permis de recueillir 30 accessions de lentille, parmi lesquelles 11 étaient des populations locales. Cela montre que malgré les pratiques de l'agriculture moderne intensive et l'utilisation des variétés modernes à haut rendement, il existe encore des variétés traditionnelles maintenues par les petits agriculteurs. Selon Chouaki *et al.* (2006), il existe deux types de lentilles cultivées en Algérie : l'autochtone et l'Européenne. Le premier type a été cultivé depuis l'époque ancestrale et c'est un mélange de formes diverses, principalement des petites graines (rarement large), à tégument marron et à cotylédon orange, très apprécié par la population locale.

4.1.1. Données de collecte

L'analyse des données de collecte, montre que la majorité des agriculteurs interrogés étaient des hommes, cela explique que les femmes sont rarement impliquées dans la culture de lentilles, mais sont généralement impliquées dans les opérations de récolte et de post-récolte (dégoussage, nettoyage...). Aussi, durant la période coloniale, les femmes accompagnant

leurs maris lors des déplacements à la recherche de pâturages, comme témoigne ci-après de François Jarrigue (Jarrigue, 2009) dans son livre autobiographique sur le mode d'embouche des nomades dans les opérations de la récolte de la lentille " ...le recrutement s'effectue par contrats passés entre les agriculteurs et les chefs de fraction de tribus (*chikhs*) composées d'environ 15 à 20 familles (*arch*) comptant de 80 à 100 personnes dont la moitié environ apte au travail demandé, les femmes en constituent la grand majorité avec les jeunes de 14 à 16 ans...". Par contre, Ghalmi (2011) dans le même contexte a constaté que les femmes sont plus actives que les hommes en ce qui concerne la culture traditionnelle de *Vigna unguiculata* (L.) en Algérie.

L'âge de la majorité des agriculteurs était entre 45 et 65 ans. Seuls quelques agriculteurs âgés (plus de 65 ans), surtout dans la région du sud, continuent de cultiver la lentille ; les générations plus jeunes (moins de 45 ans) semblent réticentes à cette culture. L'impression laissée par cette mission est l'exode rural des jeunes pour gagner leur vie en dehors des secteurs agricoles ou de la région. Cela témoigne que le savoir ancestral, possédé par les agriculteurs âgés, tend à disparaître.

4.1.2. Étude ethnobotanique et agronomique

Les interviews réalisées lors de la mission de prospection ont prouvé que les producteurs pratiquant plus la méthode de monoculture que celle des cultures associées. L'association culturale est adoptée par un seul agriculteur dans la région Est du pays (Constantine). Les associations réalisées sont généralement établies avec le pois fourrager. La culture de la lentille permet de faire des investissements, alors que le pois fourrager sert plutôt comme support de la lentille. L'étape de séparation est ensuite très rapide du fait de la différence de taille entre les deux types de graines. L'agriculteur dispose pour cela d'un séparateur à haute capacité importée de l'étranger. Au sud de l'Asie, les associations les plus pratiquées avec la lentille sont : le blé et l'orge. Cependant, ces associations ne sont pas toujours productives et profitables (Gangasaran et Giri, 1985).

Dans les régions les plus souvent montagneuses (surtout en Kabylie) et dans les Oasis (Djanet) où la culture de la lentille est pratiquée à petite échelle (sur des superficies réduites entre 0,5 ha et 5 ha), la destination de la production est généralement familiale pour l'autoconsommation. Par contre, dans les régions de plaines comme le Serssou (Tiaret), où la lentille est cultivée sur des superficies importantes (plus de 5 ha), la production est destinée beaucoup plus pour la commercialisation.

Les informations recueillies auprès des agricultures consultées, surtout les femmes, montrent que ces dernières obtiennent leurs semences de la récolte précédente, qu'elles gardent pour les semer l'année d'après. Une partie des agriculteurs ont adhéré à des programmes d'aide de l'Etat où ils utilisent des semences certifiées obtenues auprès des coopératives agricoles. Et d'autres achètent directement leurs semences du marché local. La perte des ressources génétiques des variétés locales a été constatée quand les agriculteurs mentionnent qu'ils cultivaient la lentille dans le passé et qu'actuellement, ils ne sont guère intéressés par cette spéculation.

Les plus importantes contraintes liées à la culture de la lentille, selon les agriculteurs interviewés sont : l'absence de mécanisation des récoltes, qui constitue une sérieuse entrave à la production de la lentille. Les agriculteurs de la région qui pratiquent la culture des lentilles presque exclusivement à la main, sont actuellement à court de bras, surtout au moment de la récolte. Ils se tournent de plus en plus vers d'autres spéculations plus rémunératrices, dont les céréales, qui peuvent rapporter davantage en raison notamment d'une mécanisation plus poussée. Erskine *et al.* (1991), rapportent que la récolte manuelle est considérée comme une contrainte majeure pour la production de la lentille en Afrique du Nord et au Moyen-Orient, et le coût élevé qu'elle engendre entraîne un déclin de sa culture en Syrie et en Jordanie. Selon les déclarations des agriculteurs, des contraintes d'ordre biotique et abiotique limitent également cette culture, c'est le cas des faibles précipitations, l'attaque des insectes et les maladies fongiques.

Dans les différentes régions prospectées, les grains de la lentille sont utilisés pour la préparation d'un plat traditionnel nommé *tajine*, préparé à base de viande et les légumes. Tandis que, les résidus de récolte riche en protéines sont utilisés comme fourrages pour les animaux. En Syrie, le revenu des agriculteurs obtenus par l'utilisation des fanes sèches est souvent plus grand que celui obtenu des grains (Robertson et Erskine, 1997).

Dans certains pays, les grains de la lentille sont aussi utilisés comme sources d'amidon par les industries des textiles et papeterie (Kay, 1979). Certaines femmes en Kabylie et Djanet utilisent la farine de la lentille mélangée avec le miel comme un remède contre l'anémie. D'autres utilisations médicinales de la lentille sont signalées dans la littérature, mais ne ressortent pas dans la présente enquête. Les lentilles peuvent être aussi bénéfiques dans la gestion du diabète type II du fait qu'elles contiennent un faible index de glycémie (< 55) ce

qui suggère que leur impact sur le niveau de glucose est faible, comparé à d'autres aliments riches en carbohydrates (Araya *et al.*, 2002).

4.2. Diversité des morphotypes

L'observation, à l'œil nu, des grains des échantillons collectés lors des missions de prospection ainsi que ceux envoyés par différentes banques de gènes étrangères, nous a permis de déceler un niveau très élevé du polymorphisme morphologique. Les analyses multivariées répartissent les accessions en différents morphotypes sur la base de la couleur de tégument, la couleur des cotylédons, la texture de tégument et la forme des graines.

4.2.1. Collection nationale

Les résultats, des différentes analyses effectuées (analyse de la fréquence, analyse ACP, analyse ACM et le CAH) et basées sur la combinaison de trois caractères quantitatifs et cinq caractères qualitatifs, nous ont permis de reconnaître à côté des morphotypes cités par Laumont et Chevassus (1960), des formes nouvellement introduites de l'ICARDA ou sélectionnées par l'ITGC. Parmi les morphotypes rencontrés :

Dans le groupe macrosperma

Le premier morphotype de graine (MA1) est à large diamètre et à faible épaisseur avec un poids de cent grains élevé. Ce morphotype est caractérisé par une couleur marron ou beige de tégument et à cotylédon jaune. Il est essentiellement rencontré dans l'Ouest du pays (Tiaret, Sidi Bel-Abbes et Aïn Témouchent), également dans le Centre du pays (Médéa, Bouira et Tizi-Ouzou) et au Sud de pays (Djanet). Ce morphotype correspond à peu près à celui décrit par Laumont et Chevassus (1960), sous l'appellation de la lentille large Blonde (Radja) ou large Blonde d'Algérie, ou encore appelée lentille blonde de Chili ou bien lentille plate de Russie, etc.

Le deuxième morphotype (MA2), aperçu beaucoup plus dans la région de Kabylie (Tizi-Ouzou) : à des graines de forme plates, marron ou beige, à tégument tacheté ou non de noir et à cotylédons jaunes. Ce type est caractérisé par un poids de cent grains élevé.

Des graines à tégument vert et à cotylédons jaunes caractérisent le troisième morphotype (MA3) qui est plus représentées dans les régions de Bouira et Sidi-Bel Abbas. Probablement, il s'agit de la lentille large verte d'Algérie, provenant de la descendance d'un hybride naturel rencontré par Laumont et Chevassus (1960), dans la région de Tiaret en 1943.

Signalons qu'un autre morphotypes a été rencontré, dans le type *macrosperma*. Il s'agit des morphotypes (MA4) à graines marron ou beiges ponctuées ou non de noir à cotylédons jaunes. Ce morphotype est une lignée introduite de l'ICARDA pour être testée dans la région de Médéa (station Beni-Slimane).

Dans le groupe microsperma

Seuls trois morphotypes ont été repérés dans ce type, le premier (mi_1) est à petites graines de forme globulaire à grande épaisseur, à couleur de tégument marron ou beige, et cotylédons jaunes et à faible poids de cent grains. Il est rencontré essentiellement dans l'Ouest du pays (Tiaret, Sidi-Bel-Abbès et Aïn Témouchent). Aussi, il a été repéré dans la région centre (Médéa et Bouira) et également à l'Est du pays (Constantine).

Le deuxième morphotype (mi_2) caractérisé par des graines marrons ou beige, à cotylédons orange, de faible diamètre et une grande épaisseur, exclusivement trouvé dans la région de Médéa.

Le troisième morphotype (mi_3) : il s'agit des graines de forme globulaire à tégument vert, à cotylédons jaunes, à faible diamètre et à poids de cent grains et épaisseur élevés. Il est recensé dans deux localités de Sidi-Bel-Abbès (Malza et Hassi Zahana). Ce morphotype semble identique à la lentille petite Verte du Puy : la plus ancienne des variétés introduite par les Européennes vraisemblablement importée en Algérie dès le début de colonisation (Laumont et Chevassus, 1960).

4.2.2. Collection témoin

Pour la collection témoin, sur la base des résultats de l'ACP et l'CAH, on distingue trois groupes dans cette collection:

Un groupe caractérisé par un diamètre, épaisseur et poids de cent grains intermédiaires, concentré principalement dans les pays du pourtour méditerranéen ;

Le deuxième groupe contient les accessions ayant des grains de forme globulaire, à grande épaisseur et à faibles diamètre et poids de cent grains, originaire principalement du continent Indien, de l'Australie et de quelques pays de la Méditerranée ;

Enfin, le troisième groupe est composé par les échantillons de provenance beaucoup plus du continent Américain (Nord et Sud), à diamètre et poids de cent grains (PCG) élevés et à faible épaisseur, de forme plate.

Barulina (1930 in Cubero *et al.*, 2009), en se basant sur la taille de la graine, considère deux sous-espèces de la lentille cultivées ; selon cet auteur, la sous-espèce *Lens culinaris* ssp *macrosperma*, caractérisée par de larges graines, de diamètre entre 6-8 mm sans groupe géographique distinct. La sous-espèce *Lens culinaris* ssp *microsperma*: grain petit ou intermédiaire de diamètre entre 3 à 6 mm, groupée en six régions : *Europea*, *Asiatica*, *Intermedia*, *sub-pontana* (Afghane), *Ethiopea* (Ethiopie et Yémen) et *pilosea* (Inde).

Les trois régions : Afghane, Éthiopie, Yémen et le continent Indien, ont des petits grains et une couleur foncée. Les trois autres groupes, *Europea*, *Asiatica* et *Intermedia*, sont plutôt cosmopolites, les graines sont variables en taille, mais généralement sont de plus que 4 mm.

5. Conclusion

La présente étude constitue une première évaluation de la diversité des populations et/ou variétés locales de la lentille cultivée en Algérie. Elle a eu pour but de réaliser un premier état des lieux de la diversité existante et mettre en place une collection représentative de la diversité de cette culture en Algérie.

Les prospections de terrain ont permis de collecter 30 accessions et ont révélé la présence d'une grande richesse variétale (variétés populations, variétés commerciales, lignées ...), de la lentille dans le pays. Elles ont contribué ainsi à constituer une collection de lentille, de différentes provenances géographiques, qui va permettre de mettre à la disposition des chercheurs la variabilité conservée dans ces géotypes, soit pour leur caractérisation soit pour leur utilisation dans des programmes de recherche.

L'enquête ethnobotanique et agronomique, met en évidence les savoirs et le savoir-faire locaux des populations rurales relatifs à la gestion, à la conservation et à l'utilisation de la lentille. Ce savoir, peut constituer une garantie pour le développement de stratégies de conservation et d'utilisation durable des ressources génétiques de la lentille.

L'évaluation préliminaire des graines des deux collections nous a permis une première caractérisation de la variabilité de la lentille.

Pour une meilleure structuration de la diversité, le chapitre qui suit, présentera la caractérisation des accessions collectées en comparaison avec une collection témoin sur la base des marqueurs agro-morphologiques.

Chapitre III : Caractérisation agro-morphologique de quarante-quatre (44) accessions de lentille dans deux sites agro-écologiques différents.

1. Introduction

Dans le processus de caractérisation phénotypique d'une collection, si l'objectif principal est de mesurer leur variabilité, il est conseillé de sélectionner des caractères (descripteurs) qui soient les plus discriminants possibles (Bautista Salas, 2009). Selon Sounigo *et al.* (1997 in Kouyaté, 2005), la description est nécessaire pour l'ensemble des activités d'amélioration génétique et de sélection variétale des plantes, car elle permet : (i) de cibler les caractères morphologiques intéressants et (ii) de connaître ceux qui sont liés aux facteurs environnementaux.

L'objectif de ce chapitre est la caractérisation agro-morphologique d'une collection de la lentille, composée d'accessions algériennes et d'une collection témoin étrangère, en vue de déterminer des caractères performants sur le plan végétatif et de reproduction pour les programmes, de sélection et d'amélioration génétique ultérieurs.

2. Matériels et méthodes

2.1. Matériels

Après la mission de prospection et de collecte, 18 variétés ont été sélectionnées pour la caractérisation agro-morphologique. Ce choix s'est fait en se basant sur la disponibilité de la semence. Une collection témoin composée de variétés et lignées provenant d'autres pays composée de: Huit (8) accessions de l'ICARDA, six (6) de l'ATFC et douze (12) accessions de l'USDA ont été incluses. Au total, 44 accessions ont fait l'objet de cette étude. La liste des 26 accessions de la collection témoin incluse dans l'évaluation agro morphologique et leurs caractéristiques sont mentionnées dans *l'annexe 2 (c)*.

2.2. Méthodes

2.2.1. Conditions expérimentales des deux sites

Deux essais au champ ont été réalisés ; le premier à Alger (site 1) mise en place en 2011/2012 et l'année d'après (2012/2013) le deuxième essai a été reproduit à Constantine (site 2). Les deux sites sont contrastés puisque Alger est classé dans l'étage bioclimatique sub-humide et Constantine au niveau du semi-aride.

Site 1 : le premier site est localisé à la station expérimentale de Mahdi Boualem de l'Institut National de Recherche Agronomique (INRAA) à Alger (région Nord). La parcelle est située à 18,5 m d'altitude, 36 °68' de latitude Nord et 3° 11' de longitude Est. Le sol est de texture argilo-limoneuse, de pH basique (8,12). Le précédent cultural était le blé tendre.

Site 2 : le deuxième site est situé à la station expérimentale d'El-Khroub de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) à Constantine (Région Est). La parcelle est située à

642 m d'altitude, 36° 6' de latitude sud et 6° 6' de longitude Ouest. Le sol est de texture argileuse à argilo-limoneuse, d'une forte capacité de rétention d'eau ; richesse faible en phosphore et potassium, niveau bas en matière organique (0,95-1,25 %), de pH basique (8,30-8,40). Le précédent cultural était une jachère travaillée.

Les données climatiques pour les deux sites sont représentées dans le tableau S1 (Gaad *et al.*, 2018_b). A noter que les conditions climatiques durant les deux années d'essais été exceptionnelles, car il a fait plus chaud à Alger qu'au niveau de Constantine et les précipitations été rares à Alger mais dans les normes à Constantine. En effet, les registres météorologiques moyens pour le site de Constantine, ont révélé un cumule de précipitations de l'ordre de 392, 3 mm, le tiers de ce dernier a été cumulé dans le mois de février (111mm). La moyenne annuelle est de 437 mm.

2.2.2. Protocole expérimental

Les deux essais (sites 1 et 2) ont été conduits en Alpha-Lattice (bloc incomplet) à raison de 4 répétitions (blocs). Dans chaque bloc, le nombre de lignes est 11 et le nombre de colonnes est de 4. L'accession est représentée par un « plot » (parcelle) contenant 9 plants. Le dispositif expérimental a été généré par le logiciel GENSTAT version 12 (GENSTAT, 2015).

2.2.3. Suivi des deux essais

La préparation du sol a été effectuée à l'aide d'une charrue à disques (0,20 à 0,25 m de profondeur). La désinfection de la semence a été faite en appliquant un fongicide, le THIRAM (dose de 1 pour mille), de manière à prévenir l'attaque de champignons.

Le semis a été effectué manuellement le 09 décembre 2011, pour le site d'Alger, et le 7 janvier 2013, pour le site de Constantine, en déposant trois graines par poquet distant de 0,50 m l'un de l'autre. Au total, on a semé, par parcelle, 27 grains dans 9 poquets. Le démariage a été effectué, dans un sol humide, 30 jours après le semis en laissant dans chaque poquet une plantule saine et vigoureuse, et ceci dans toutes les parcelles (9 plantes par accession par parcelle).

Le contrôle des mauvaises herbes a été effectué en appliquant un herbicide, le GESAGARD, à une dose de 3 l/ha après le semis. Aussi, un désherbage manuel a été réalisé aux cours du développement des plantes. Au stade floraison, il a été appliqué un fongicide le THIRAM (dose de 1 pour mille) de manière à prévenir l'attaque de champignons particulièrement le *fusarium*.

Il a été marqué parmi les 9 plantes/plot, 3 plantes qui se trouvent au milieu du plot à l'aide d'un ruban coloré. Ces plantes marquées ont fait l'objet de caractérisation agro-

morphologique et moléculaire.

La récolte manuelle a été effectuée lorsque 75 % des gousses de chaque plot (parcelle) sont arrivées à maturité. Les gousses ont été récoltées et conservées dans des sachets, en papier kraft, bien identifiés.

Un échantillon de 20 gousses, ensuite, a été pris au hasard pour déterminer les caractéristiques des gousses et des grains de chaque accession. Les grains obtenus ont été nettoyés de toute impureté et gardés dans la chambre froide à 4 °C.

2.2.4. Caractérisation morpho-agronomique

Les caractères étudiés ont été retenus selon le Descripteur de la lentille de l'IPGRI (1985) et les caractères indiqués par l'UPOV (2013).

Les évaluations des accessions ont été faites sur 3 plantes, préalablement marquées dans chaque répétition (bloc), donc au total 12 plantes par accession. Vingt-trois (23) caractères ont été évalués dont 11 qualitatifs (Tab.6) et 12 quantitatifs (les caractères quantitatifs sont mentionnés dans le tableau S2 : Gaad *et al.*, 2018_b).

La caractérisation des gousses et des graines de chaque accession a été réalisée sur un échantillon de 20 gousses/plot pris au hasard. Les caractères qualitatifs et quantitatifs se rapportent aux grains (forme de la graine, aspect de la graine, couleur des cotylédons, couleur des téguments, diamètre et épaisseur des grains, poids de cent grains) ; ils ont été notés sur 100 graines pris au hasard de chaque répétition. Les détails de ces caractères sont mentionnés dans le tableau 5(*chapitre II*).

Tab.6 : Caractéristiques qualitatifs étudiés chez la lentille.

Caractère	code	Définition	Période d'observation	Catégories	Echelles
Pigmentation de la tigelle	PMT	Présence d'une coloration violacée à la base de la tige	Stade plantule	Absence Présence	1 9
Type du port	TPR	Position /direction de la tige principale et ses ramifications par rapport à l'axe vertical	Préfloraison	Erigé Intermédiaire Prostré	1 2 3
Couleur des feuilles	CFE	Coloration des feuilles	Préfloraison	Vert foncé Vert claire Vert gris	1 2 3
Couleur des fleurs	CFL	Coloration des fleurs	floraison	Bleu Blanche	1 2
Vigueur de la plante	VGP	Aspect des plantes	50% de floraison	Faible Moyenne Forte	3 5 7
Strie violet de l'étendard	SVE	Présence de strie violette	50% de floraison	Absence Présence	1 9
Taille des feuilles	TFE	Dimension des feuilles	50% de floraison	Petit Intermédiaire Long	1 2 3

Quelques stades repères de la plante sont illustrés dans la figure 30. Des Caractères qualitatifs relatifs à la tige (pigmentation de la tigelle, type de port), aux feuilles (taille et couleur des feuilles), aux fleurs (couleur des fleurs) et à la graine (aspect de la graine). En plus d'un caractère quantitatif (hauteur des plants) sont présentés dans les figures 31 ; 32 ; 33 ; 34 ; 35 et 36 respectivement.



Fig.30 : Stades phénologiques de la lentille, a) La levée ; b) Stade végétatif ; c) La floraison ; d) La formation des gousses ; e) La maturité ; f) La récolte.

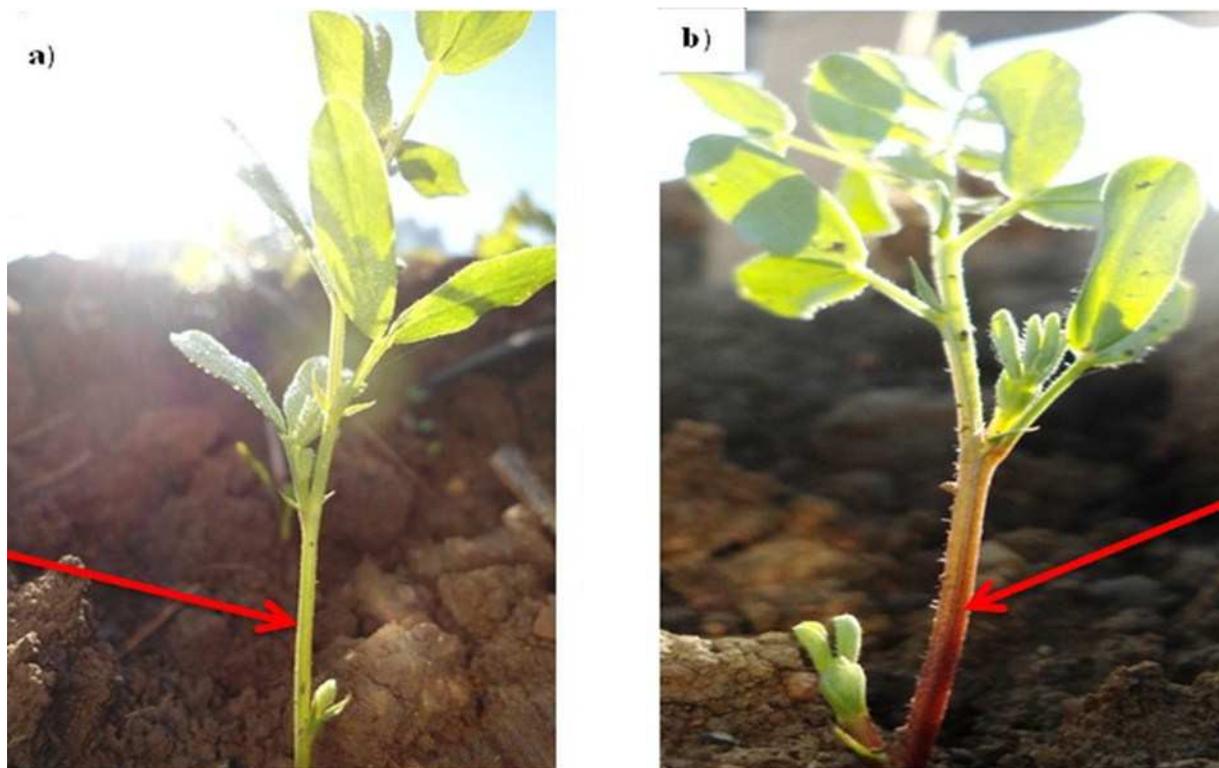


Fig.31 : Pigmentation anthocyanique de la tige, a) Absence ; b) Présence.



Fig.32 : Hauteur de la plante à la fin floraison (a) et début de formation des gousses (b).

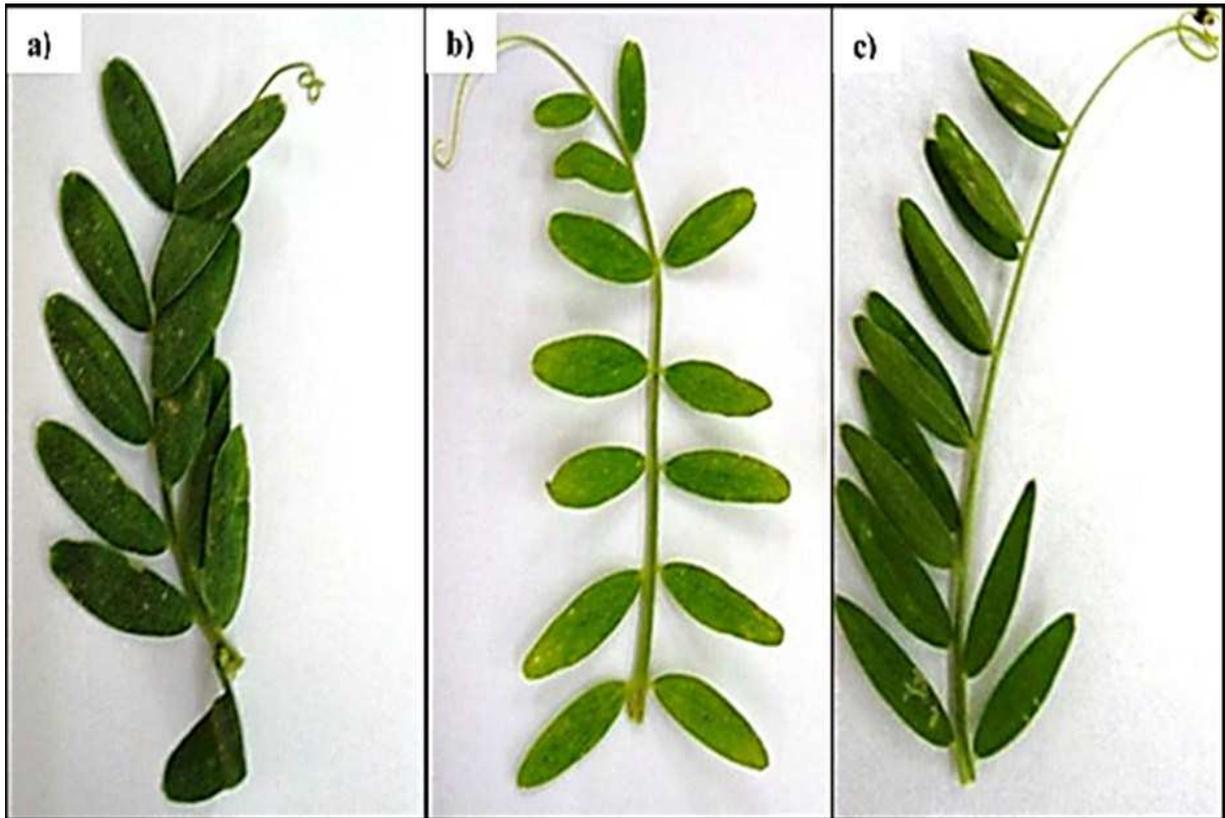


Fig.33 : Différentes tailles et couleurs des feuilles de la lentille, a) Feuille large à couleur vert foncé ; b) Feuille intermédiaire à couleur vert claire ; c) Feuille petite à couleur vert grise.

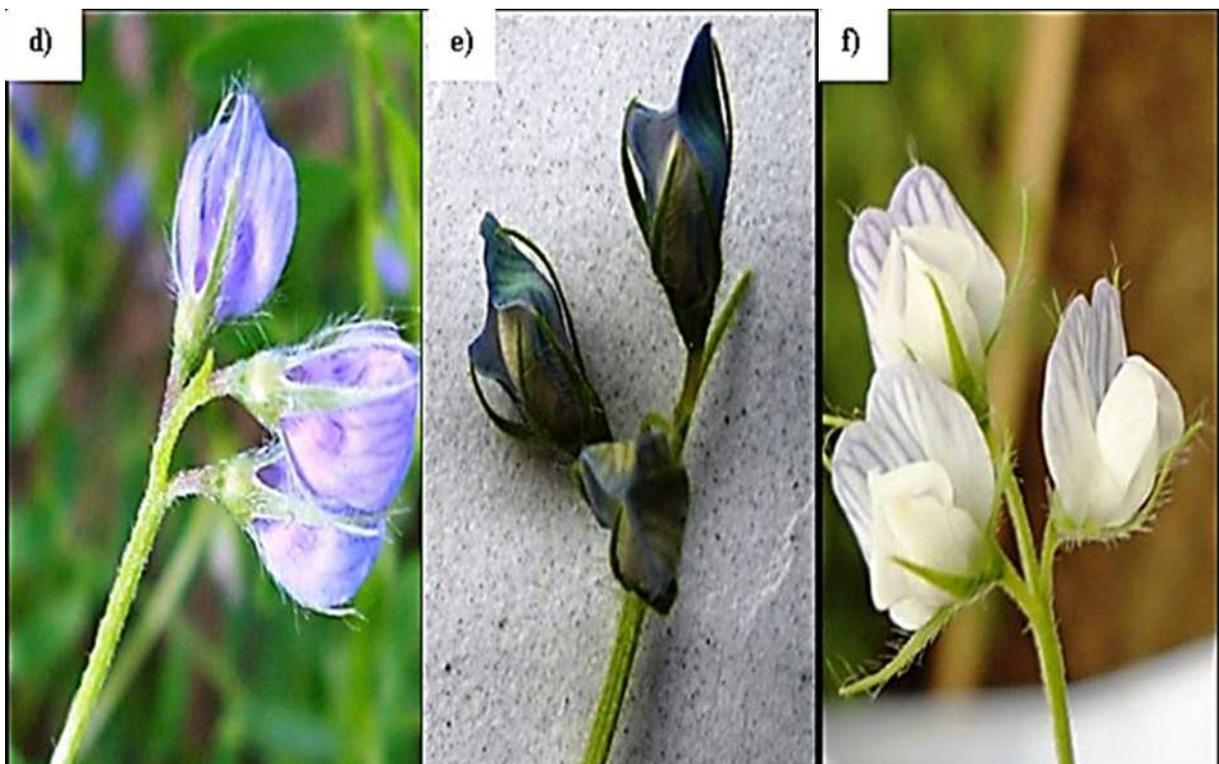


Fig.34 : Différentes couleurs des fleurs de la lentille, a) Fleur bleu ; b) Fleur violacé ; c) Fleur blanche à strie violet.

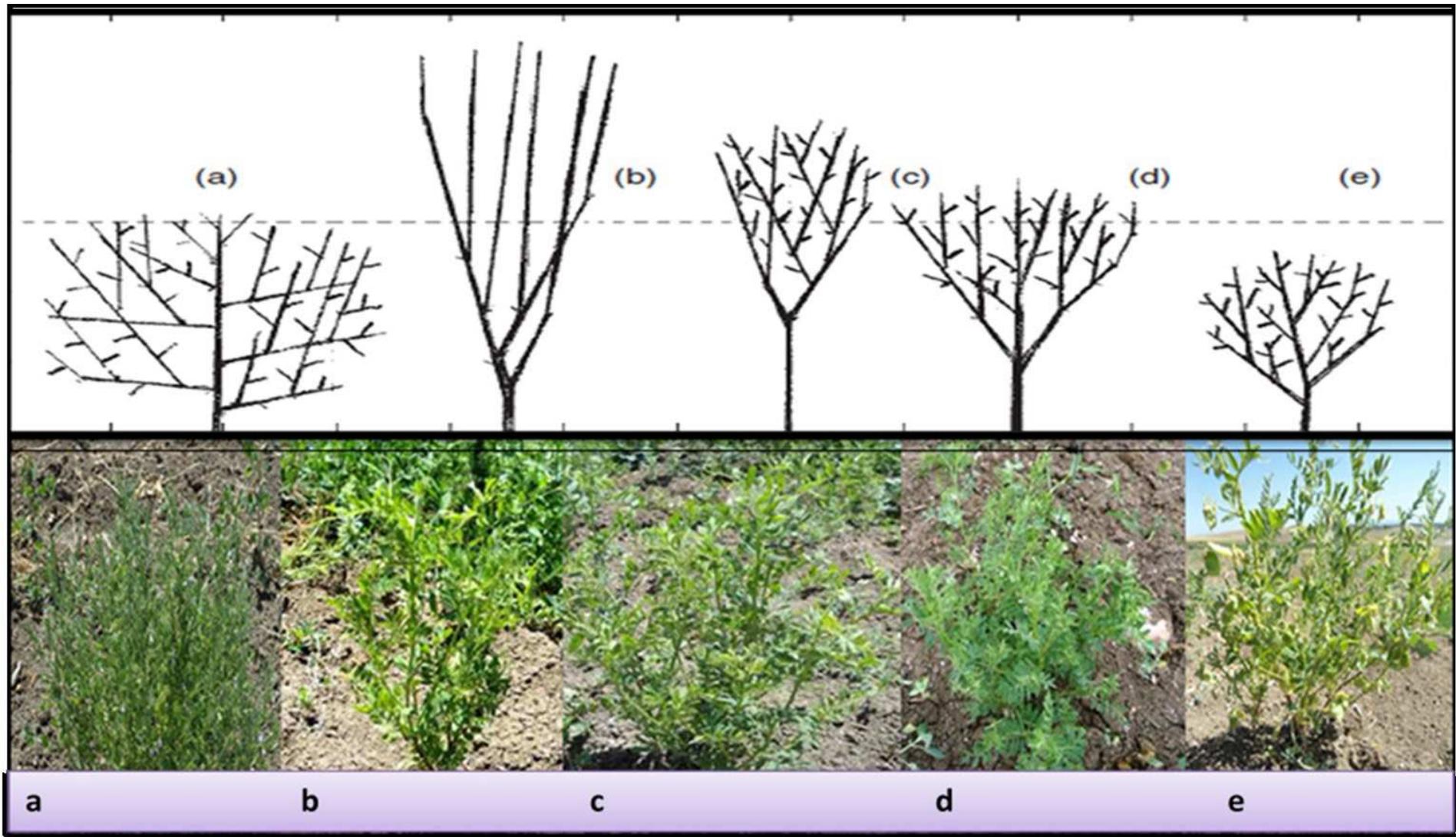


Fig.35 : Différents type du port, (a) Prostré ; (b) érigé ; (c) Semi érigé ; (d) Intermédiaire ; (e) Semis prostré.

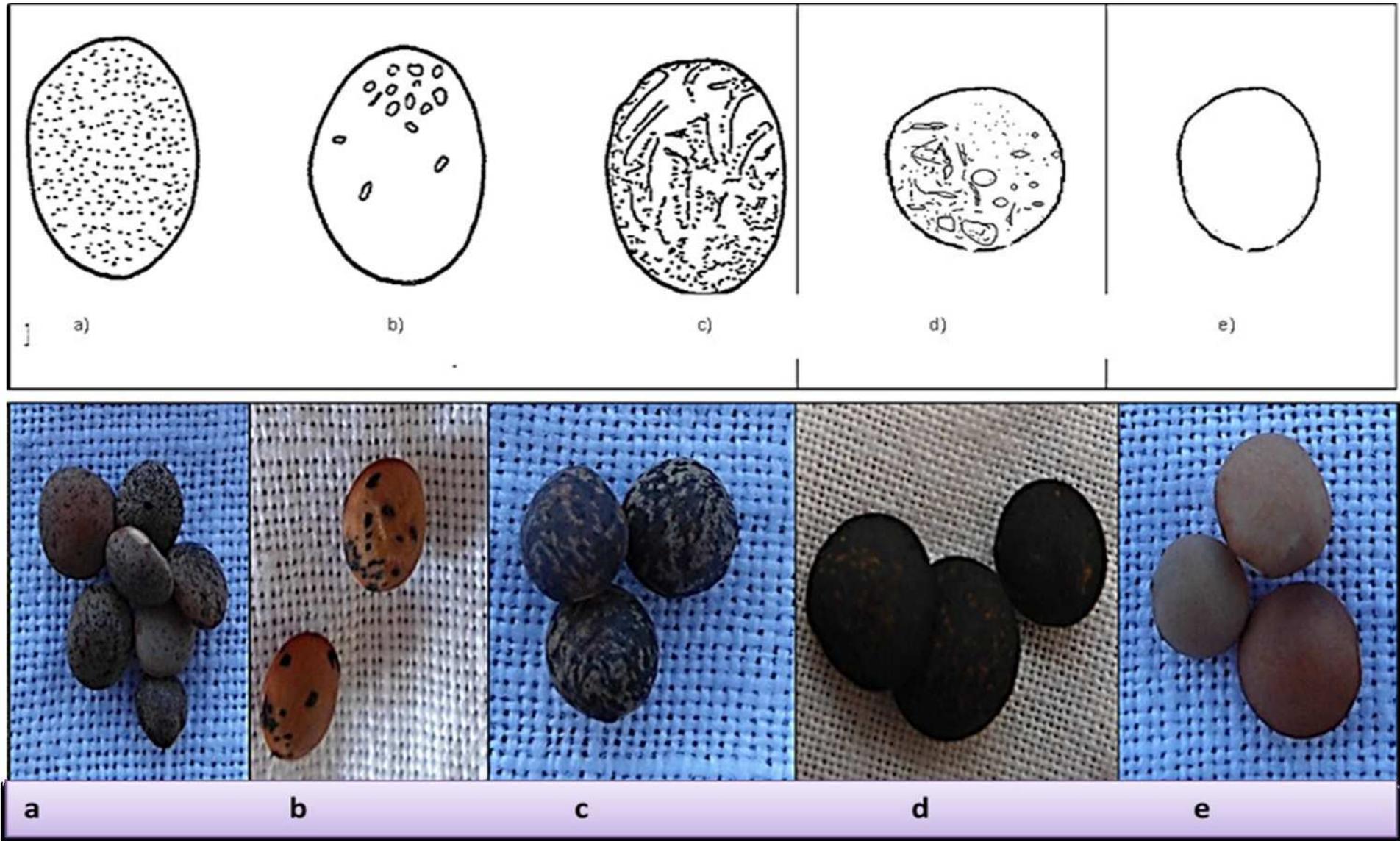


Fig.36 : Différents aspects de la graine, a) Ponctué ; b) Tacheté ; c) Marbré ; d) Complexe ; e) Sans.

2.2.5. Analyses statistiques

Pour les caractères quantitatifs des 43 accessions, la moyenne, l'écart-type et le coefficient de variation sont calculés pour l'ensemble des accessions afin d'évaluer la variabilité inter accessions et intra accessions. Des classes de variation sont constituées : (1) variation faible (CV= 0-10 %) ; (2) variation moyenne (CV= 10-20 %) ; (3) variation assez importante (CV= 20-40 %) ; et (4) variation importante (CV > 40 %).

L'analyse de variance ANOVA a été calculée en utilisant le modèle linéaire général (PROC GLM) du logiciel SAS version 9 (SAS, 2016). Une première analyse avait porté sur un seul facteur qui est l'accession : 44 (pour chaque site). Une deuxième analyse avait porté sur deux facteurs, l'accession et le site. Les moyennes ont été comparées par l'utilisation du test de Newman-Keuls à un niveau de 5 pourcent de probabilité.

Ensuite, une analyse de corrélation simple entre caractères a été réalisée (Pearson), pour voir la corrélation entre paires de caractères. La matrice de corrélation de Pearson a été élaborée sur la base de la moyenne de 12 caractères quantitatifs des deux sites.

Pour étudier le degré d'association entre les lignes et les colonnes d'un tableau de contingence (tableau croisé) élaboré à partir de la moyenne des 11 caractères qualitatives des deux sites, la statistique du χ^2 de Pearson a été appliquée et la distribution de fréquence a été présentée par la charte 2 D Pie. Pour cela, il a été utilisé le logiciel Stat Box version 6.40 (Stat Box, 2016).

Afin de définir les liens qui existent entre les variables étudiées et de regrouper les morphotypes ayant les mêmes similitudes, des analyses multi-variées ont été réalisées à l'aide de programme XLSTAT v13.01 (XLSTAT, 2014).

L'Analyse en Composantes Principales (ACP), pour les données quantitatifs et pour visualisation des observations dans un espace à deux ou trois dimensions, a été appliquée afin d'identifier des groupes homogènes d'observations. Les valeurs moyennes utilisées sont celles reprises dans le tableau 2 (Gaad *et al.*, 2018_a).

L'Analyse des Correspondances Multiples (ACM), pour les données qualitatives, a permis d'aboutir à des cartes de représentation sur lesquelles on peut visuellement observer les proximités entre les catégories des variables qualitatives et les observations.

Pour constituer des groupes homogènes d'objets (classes) sur la base de leur description par un ensemble de variables, ou à partir d'une matrice décrivant la similarité ou la di-similarité entre les objets, les caractéristiques morphologiques quantitatifs ont été aussi analysées par la classification ascendante hiérarchique (CAH), en formant des clusters ou des groupes. Les distances ont été déterminées graphiquement sur la base de la liaison moyenne entre les groupes (UPGMA), en élaborant un dendrogramme.

Dans cette analyse, les dix caractères ayant une contribution à la variabilité totale expliquée par les axes de l'ACP ont été utilisés : La levée (LEV), jours à 50 % de floraison (FD50), la maturité (DMT), la hauteur de la plante (HTP), la hauteur de la première gousse (HPG), le poids de cent grains (PCG), le nombre de gousses/plante (NGP), le nombre de grains /gousse (NGG), l'épaisseur des grains (EPS), et le rendement total de grains secs (RDP).

3. Résultats

3.1. Caractères quantitatifs

3.1.1. Variabilité phénotypique de la lentille dans chaque site

À noter que l'accession ALG29 n'a pas levée dans les deux essais expérimentaux, ceci peut être due à la faible faculté germinative. De ce fait seulement 43 accessions, on fait l'objet des analyses statistiques.

D'après l'ANOVA des données des deux sites analysées séparément, les caractères les plus significatifs pour le site d'Alger sont : stade levée (LEV), hauteur de la plante (HTP), hauteur de la première gousse fertile (HPG), date de maturité (DMT), poids de cent grains (PCG) diamètre des grains (DGR) et épaisseur des grains (EPS). Pour le site de Constantine, seulement quatre caractères sont les plus significatifs : DF50, HTP, PCG et DMT (Tab.7).

On note une importante variation entre les accessions de lentille dans les deux sites (Alger et Constantine) pour les caractères suivants : nombre de grains par plant (NGsP : CV= 56,93 % ; CV= 62,67 %), nombre de gousses par plant (NGP : CV= 68,47% ; CV= 69,21 %) et rendement en grains (RDP : CV= 72,65 % ; CV= 77,74 %), respectivement.

La variation de la levée et le nombre de grains par gousse est assez importante pour les deux sites ($20 \% \leq CV \leq 40 \%$). Il ressort que la valeur du CV pour le poids de cent grains est assez important à Constantine (CV= 23,09 %) mais moyenne à Alger (CV= 18,48 %).

En ce qui concerne la hauteur de la plante et la hauteur de la première gousse fertile, une variation moyenne est indiquée pour les deux sites : HTP (CV= 12,05 % ; CV= 16,16 %), HPG (CV= 18,20 % ; CV= 19,15 %), respectivement.

Il résulte que la durée de floraison (CV= 7,48 % ; CV= 3,33 %), la date de maturité (CV= 0,50 % ; CV= 2,37 %), et l'épaisseur des grains (CV= 5,66 % ; CV= 6,67 %) appartiennent à une même classe de variation (variation faible) pour les deux sites. Tandis que, le diamètre des grains a une variation faible à Alger (CV= 6,20 %) et une variation moyenne à Constantine (CV= 10,05 %).

La date de levée des 43 accessions de lentille est de $17,80 \pm 0,5$ jours à Alger et de $23,21 \pm 0,59$ jours à Constantine.

Les plants les plus hauts ($34,45 \pm 0,65$ cm) sont rencontrés à Alger comparés à ceux de Constantine ($28,84 \pm 0,38$ cm).

La hauteur moyenne de la première gousse fertile est de $13,32 \pm 0,21$ cm à Alger et à Constantine elle est de $11,50 \pm 0,18$ cm. Elle varie entre 7 et 23 cm à Alger et entre 5 et 18 cm à Constantine.

La floraison à Alger est de $108,82 \pm 0,63$ jours et de $117,19 \pm 0,33$ jours à Constantine. Les valeurs minimales et maximales observées à Alger sont 95 jours et 125 jours, respectivement. Celles observées à Constantine sont de 110,0 jours et 133,00 jours, respectivement.

Les 43 accessions de lentille arrivent à maturité à Alger en $167 \pm 0,81$ jours et à Constantine en $152,47 \pm 0,30$ jours. Les valeurs minimales et maximales observées à Alger sont 148 et 188 jours respectivement et à Constantine 148 et 156 jours, respectivement.

Les grains de lentille pèsent en moyenne $3,00 \pm 0,06$ g à Alger et $3,83 \pm 0,09$ g à Constantine. Le poids de 100 grains varie entre un minimum de 1,05 g et un maximum de 6,91 g à Alger et entre un minimum de 1,13 g et un maximum de 6,70 g à Constantine.

Le diamètre des grains mesure $5,40 \pm 0,06$ mm à Alger et $4,89 \pm 0,06$ mm à Constantine. Les valeurs minimales et maximales sont entre 3,36 et 7,10 mm à Alger, et 3,13 et 6,84 mm à Constantine respectivement.

3.1.2. Variabilité phénotypique de la lentille dans les deux sites

L'analyse de la variance indique des effets significatifs pour le facteur site, le facteur accession et l'interaction accessions x site (*Tab.S3 : Gaad et al., 2018_b*). En effet, l'effet site est statistiquement hautement significatif pour les caractères suivants : Stade de levée (LEV), date à 50 % de floraison (DF50), hauteur de la plante (HTP), hauteur de la première gousse fertile (HPG), date de maturité (DMT), poids de cent grains (PCG), diamètre des grains (DTM) et épaisseur des grains (EPS). L'effet accession et l'effet accessions x site sont statistiquement hautement significatif pour les précédents caractères sauf pour LEV et DF50.

La variabilité exprimée par le CV % (coefficient de variabilité) est faible pour : le diamètre et l'épaisseur des graines (8,30 % et 6,1 % respectivement), moyenne pour la hauteur de la plante (14,05 %) et assez importante pour le caractère hauteur de la première gousse fertile (18,38 %).

Les gammes de valeurs (maximum et minimum) entre les accessions sont variables. Par exemple, la hauteur de la plante varie entre 13,33 cm et 65 cm, la hauteur de la première gousse fertile varie entre 5 cm et 23 cm, la date de maturité entre 148 jours et 188 jours, le poids de 100 grains entre 1,05 g et 6,91 g, le diamètre des graines entre 3,13 mm et 7,10 mm et l'épaisseur des grains entre 1,25 mm et 3,08 mm. Les valeurs moyennes, le coefficient de variation (%) et l'écart-type des caractères les plus significatifs de 43 accessions de la lentille sont représentés dans le tableau 8.

Tab.7 : Coefficient de variabilité (CV %), moyenne, valeurs extrêmes (minimum et maximum), écart-type et signification statistique pour 12 caractères quantitatifs pour chaque site.

Statistiques	LEV (jours)	DF50 (jours)	DTM (jours)	HTP (cm)	HPG (cm)	NGsP (no)	NGG (no)	NGrP (no)	PCG (g)	DGR (mm)	EPS (mm)	RDP (g)
Alger												
Effectif	171	171	171	171	171	171	171	171	171	171	171	171
Moyenne	17,80	108,82	181,26	12,05	13,32	363,57	1,52	556,76	3,00	5,40	2,48	23,54
Ecart-type	0,50	0,63	0,33	0,65	0,21	15,79	0,03	28,73	0,06	0,06	0,01	1,35
Minimum	15,00	95,00	172,00	13,33	7,00	100,00	1,00	100,	1,05	3,36	1,25	7,06
Maximum	35,00	125,00	188,00	65,00	23,00	950,00	2,00	19000	6,91	7,10	2,99	87,15
CV	31,36	7,48	0,50	34,40	18,20	56,93	27,08	68,47	18,48	6,20	5,66	72,65
h ²	0,69	0,21	0,96	0,90	0,54	0,69	0,01	0,69	0,81	0,92	0,87	0,82
Signification (p=0,01)	S	NS	HS	HS	HS	NS	NS	NS	HS	HS	HS	NS
Constantine												
Effectif	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168
Moyenne	23,21	117,19	152,47	28,84	11,50	437,80	24,31	711,24	3,88	4,89	2,41	19,59
Ecart-type	0,59	0,33	0,30	0,38	0,18	20,23	0,02	37,39	0,30	0,06	0,018	1,18
Minimum	15,00	110,00	148,00	15,00	5,00	100,00	1,00	100,00	148,00	3,13	1,62	2,21
Maximum	35,00	133,00	156,00	63,66	18,00	980,00	2,00	1920,00	156,00	6,84	3,08	80,86
CV	32,36	3,33	2,37	16,16	19,15	62,67	1,59	69,21	23,09	10,05	6,67	77,74
h ²	0,29	0,28	0,40	0,36	0,47	0,27	0,14	0,27	0,72	0,87	0,81	0,39
Signification (p=0,01)	NS	S	NS	HS	NS	NS	NG	NS	HS	HS	HS	NS

HS : effet hautement significatif au seuil de 1%, S : effet significatif au seuil de 5%, NS : effet non significatif au seuil de 5 et 1%. h² : Héritabilité

Tab.8 : Coefficient de variabilité (CV %), moyenne, valeurs extrêmes (minimum et maximum), écart-type et signification statistique pour 12 caractères quantitatifs pour les deux sites.

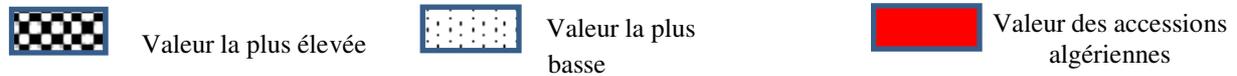
Statistiques	LEV (jours)	DF50 (jours)	DTM (jours)	HTP (cm)	HPG (cm)	NGsP (no)	NGG (no)	NGrP (no)	PCG (g)	DGR (mm)	EPS (mm)	RDP (g)
Moyenne	20,48	112,97	167	31,64	12,42	363,57	1,52	556,76	3,00	5,15	2,45	23,54
Ecart-type	0,41	0,42	0,81	0,40	0,14	15,79	0,03	28,73	0,06	0,04	0,01	1,35
Minimum	15	95	148	13,33	5,00	100	1,00	100	1,05	3,13	1,25	7,06
Maximum	35	133	188	65	23,00	950	2,00	1900	6,91	7,10	3,08	87,15
CV	32,75	5,75	1,59	14,05	18,38	59,63	25,78	68,49	21,85	8,30	6,14	74,37
Signification (p=0,01)	S	NS	HS	HS	HS	NS	NS	NS	HS	HS	HS	NS

HS : Effet hautement significatif au seuil de 1 %, S : Effet significatif au seuil de 5%, NS: Effet non significative au seuil de 5 et 1%.

LEV : la date de levée ; **DF50** : jours à 50 % de floraison ; **DTM** : date de maturité ; **htp** : hauteur du plant ; **HPG** : hauteur de la premier gousse ; **NGsP** : nombre de gousses par plante ; **NGG** : Nombre de grains par gousse ; **NGrP** : nombre de grains par plant ; **PCG** : poids de cent grains ; **DGR** : diamètre des grains ; **EPS** : Epaisseur des grains ; **RDP** : rendement total de grains secs.

3.1.3. Comparaison des moyennes

Pour chaque caractère, nous avons élaboré un histogramme sur la base des moyennes des accessions des deux sites. Les valeurs moyennes des accessions algériennes ainsi que les valeurs les plus élevées et les plus basses des différentes accessions ont été indiquées selon le code suivant :



Hauteur de la plante (cm)

Les résultats de la caractérisation morphologique (Fig.37) montrent que les valeurs minimales et maximales sont observées chez la variété australienne Matilda de type *microsperma* (40,91 cm) et l'accession IG5160 originaire de la Jordanie (20,55 cm), respectivement. La valeur moyenne est de $31,64 \pm 0,40$ cm. Les accessions algériennes ont des valeurs variables pour ce caractère.

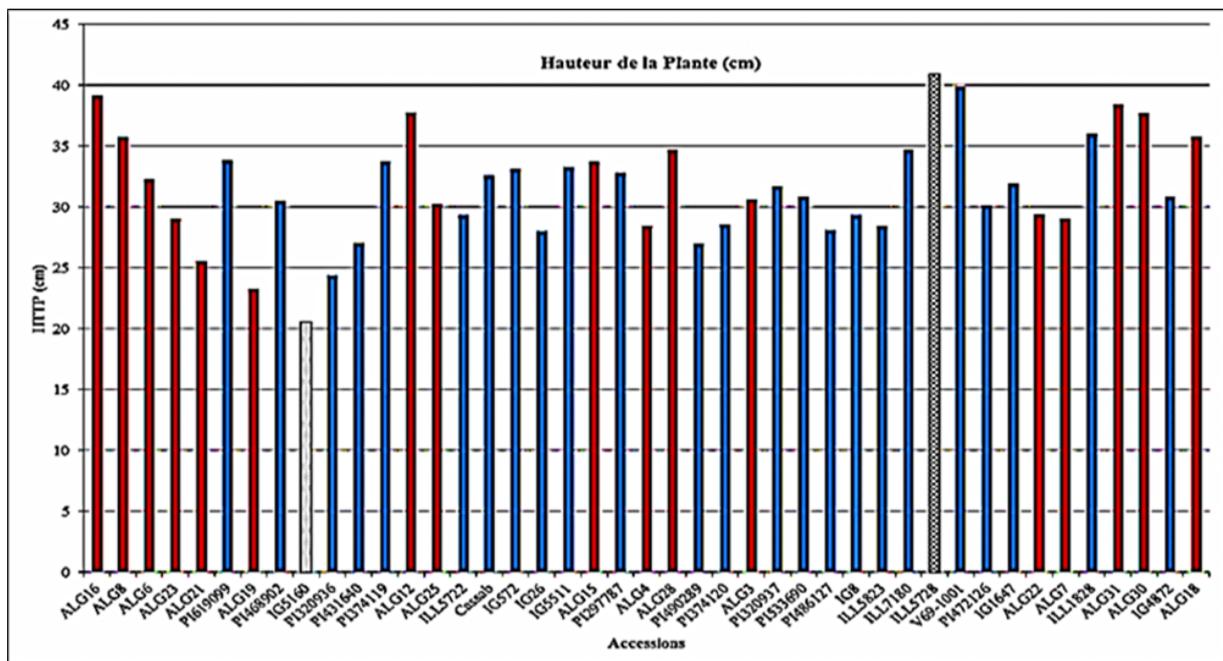


Fig.37: Représentation de la hauteur des plantes (cm) des 43 accessions de lentille caractérisées.

Hauteur de la première gousse fertile (cm)

Pour la caractéristique de la hauteur de la première gousse fertile (Fig.38), la variété algérienne, Syrie 229 : ALG6, de type *microsperma* présente la hauteur la plus élevée (14,87 cm), la variété cultivée ILL5722 (Digger : type *microsperma*) originaire de l'Australie présente la hauteur la plus basse (9,62 cm). La hauteur moyenne a été de $12,4 \pm 0,14$ cm.

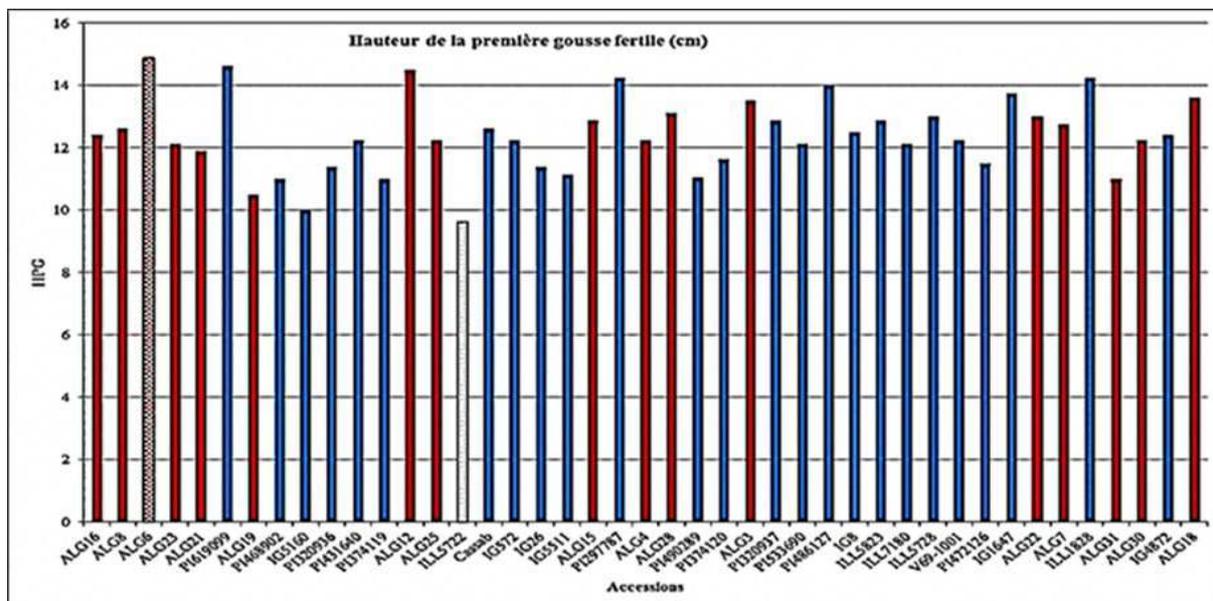


Fig.38 : Représentation de la hauteur de la première gousse fertile (cm) des 43 accessions de lentille.

La maturité (jours)

Les accessions algériennes ALG16 (Population locale : type *microsperma*) et ALG19 (Flip 90 31C : ligné hybride, type *macrosperma*) se sont montrées les plus précoces avec une moyenne de 162 jours à la maturité (Fig.39). Les accessions ALG15 (population locale, type *macrosperma*) et IG572 (variété cultivé originaire de la Turquie) ont été les plus tardives avec 172 et 151,5 jours à la maturité respectivement ; la valeur moyenne étant de 167 jours.

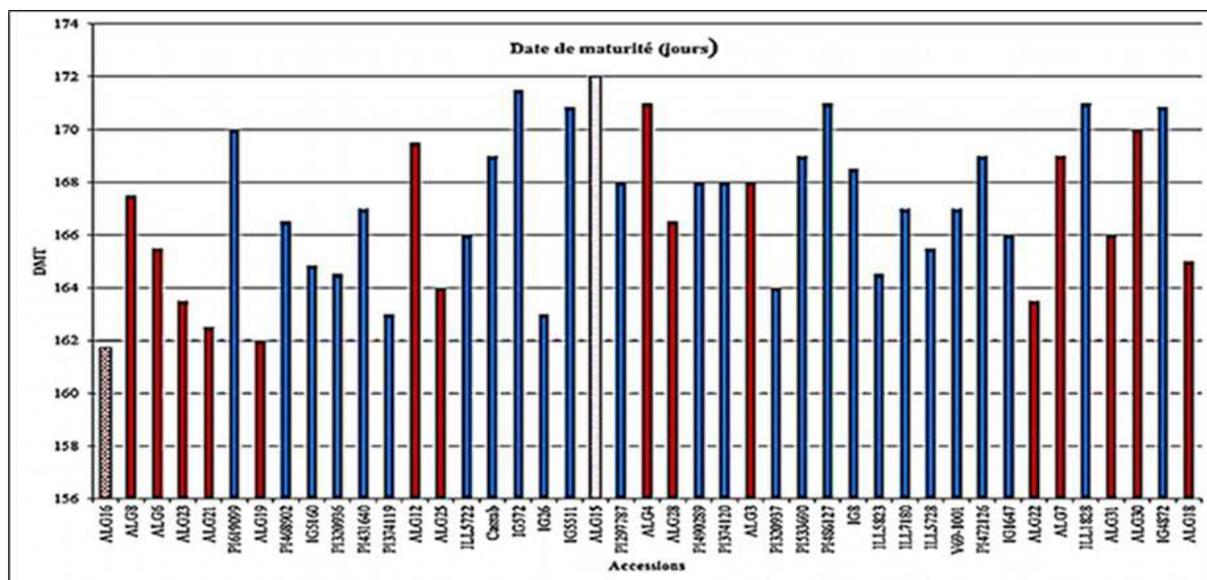


Fig.39 : Représentation de la maturité des 43 accessions de lentille.

Poids de cent grains (g)

Pour la caractéristique du poids de 100 grains (Fig.40), les accessions algériennes : ALG12 (variété Blonde de Chili= 5,23 g, type *macrosperma*), ALG15 (population= 5,09 g, type *macrosperma*) et ALG18 (variété cultivée : Rajas = 5,06 g, type *macrosperma*) ont présenté le poids le plus élevé. Les accessions : PI320937 originaire d'Allemagne (Lignée : 2,51 g, type

microperma), ALG31 (population locale = 2,52 g, type *microperma*) et IG4872 originaire d'Afghanistan (variété cultivée = 2,54 g, type *microperma*) ont présenté le poids le plus bas. La moyenne de l'espèce est de 3,44 g.

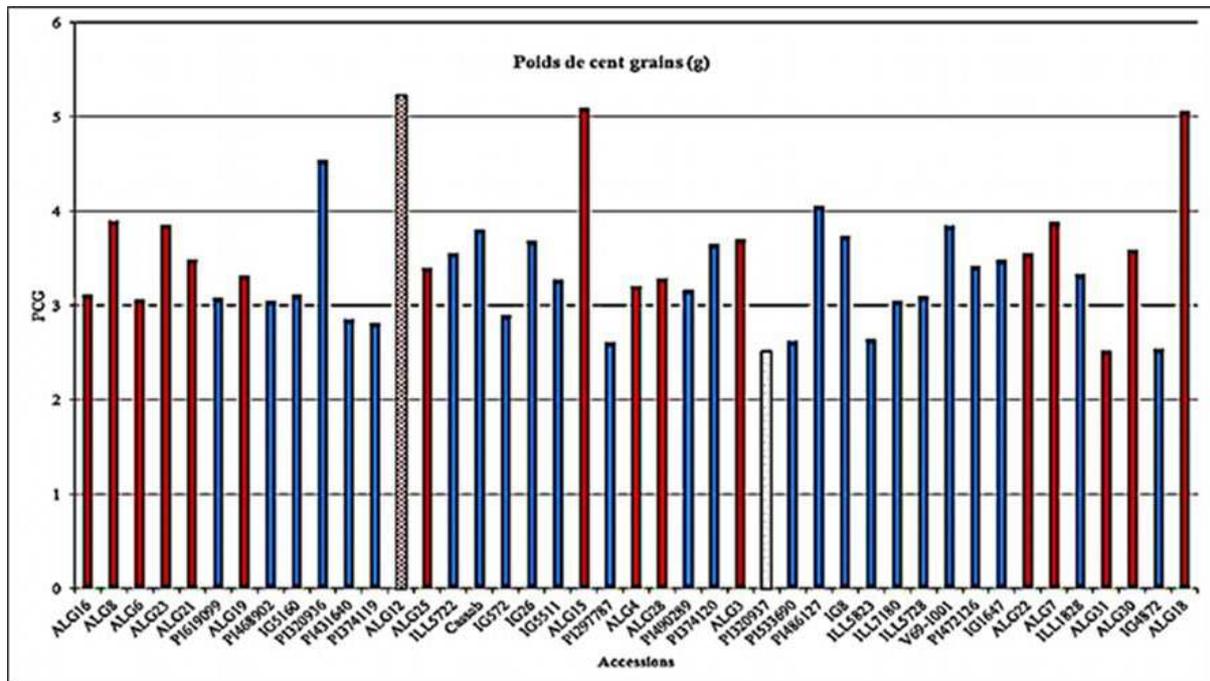


Fig.40 : Présentation du poids de 100 grains (g) de 43 accessions de lentille.

Diamètre des grains (mm)

Le diamètre des graines de la lentille mesure $5,15 \pm 0,04$ mm. Les valeurs minimales et maximales sont enregistrées chez deux accessions algériennes : ALG16 (type *microperma*, 3,93 mm) et ALG12 (6,46 mm), respectivement (Fig.41).

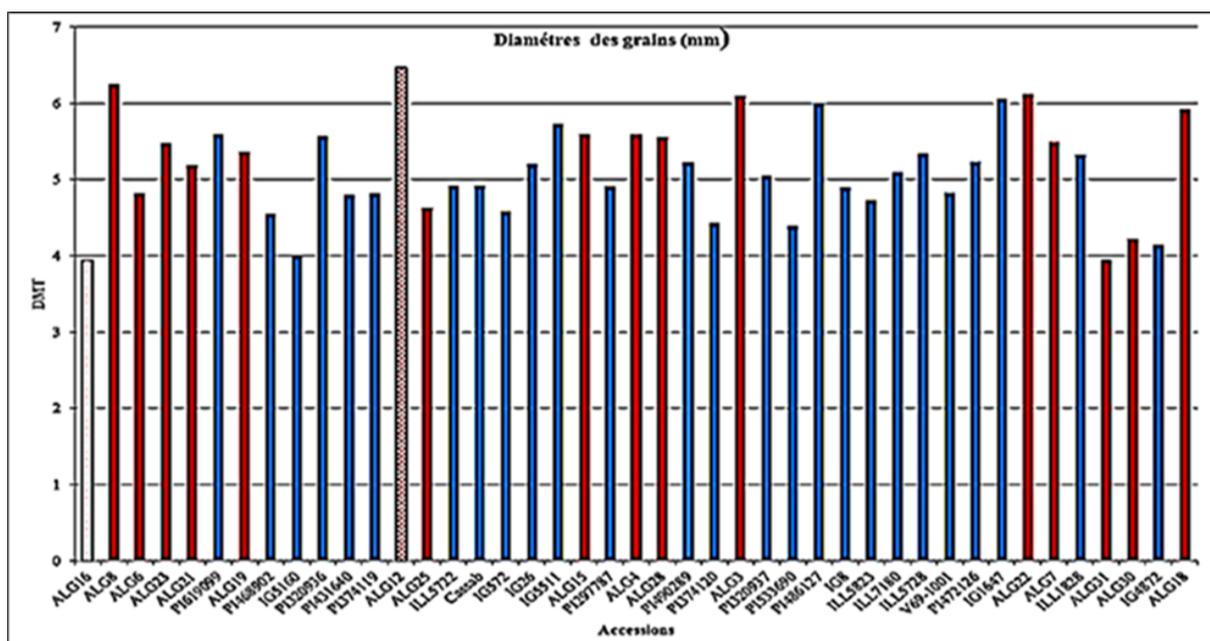


Fig.41: Présentation du diamètre des grains (mm) de 43 accessions de lentille.

Épaisseur des grains (mm)

Les accessions locales algériennes ALG6 (2,86 mm) et ALG8 (2,82 mm) ont présenté une épaisseur élevée. L'accession ALG18 (1,96 mm) a présenté l'épaisseur la moins élevée (Fig.42).

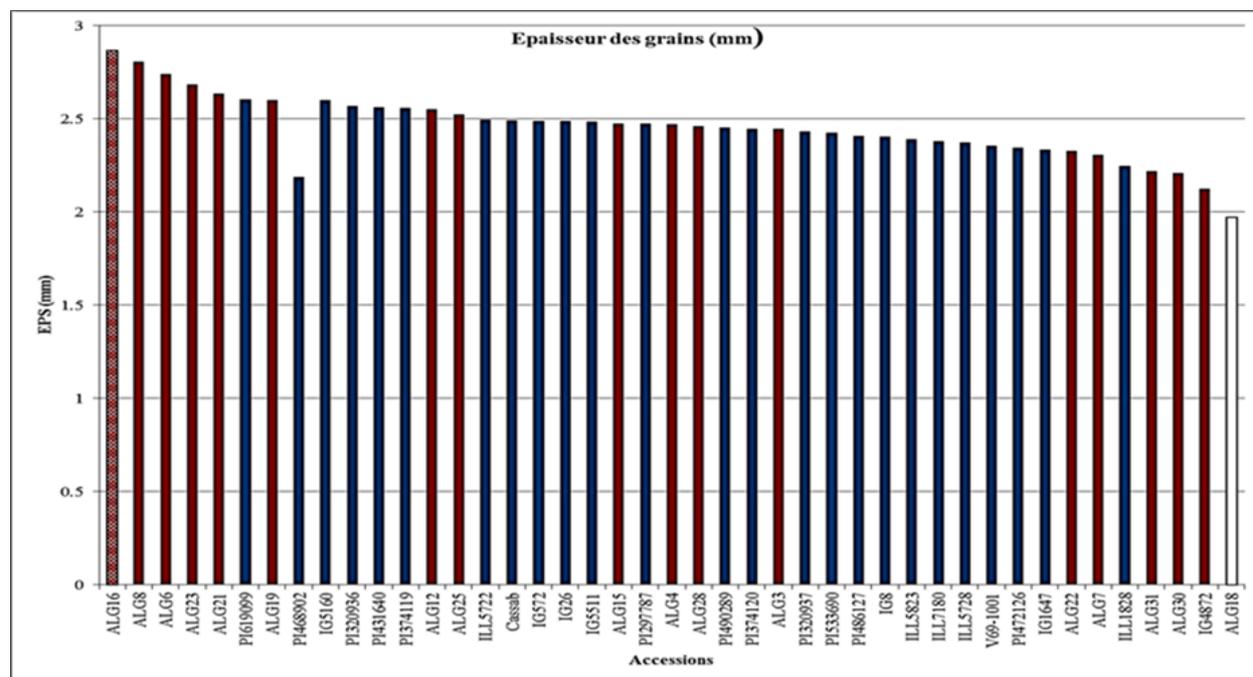


Fig.42 : Présentation de l'épaisseur des grains (mm) de 43 accessions de lentille.

3.2. caractères qualitatifs

Dans cette partie, nous mettrons en évidence la variabilité des 43 accessions de la lentille à l'aide des 11 descripteurs caractères qualitatifs indépendamment et ensuite à l'aide d'une analyse multi-variée nous examineront cette variabilité pour l'ensemble des caractères. En premier lieu, nous nous occuperons de la variabilité de caractères qualitatifs en prenant en compte la variabilité intra-accession. Ensuite, nous verrons comment les différentes catégories de descripteurs se présentent dans l'ensemble des accessions.

3.2.1. Variabilité des accessions à partir des caractères qualitatifs

Les résultats de cette caractérisation, sur la base de 11 caractères exprimés en pourcentage sont présentés dans *Annexe 2 (g)*.

Pigmentation de la tige

Pour les accessions, ALG9 et ALG25 la pigmentation est totalement absente. Par contre les accessions ALG3 et PI297787 présentent une pigmentation de la tige à 100 %. Le reste des accessions présentent des pigmentations à des proportions variables (Fig.43). La plupart des accessions locales (26,52 %) ont une tige verte principalement du type *microsperma* (15,90 %). La couleur de la tige des autres accessions originaires de l'ICARDA, l'USDA et l'ATFC est soit verte soit violette.

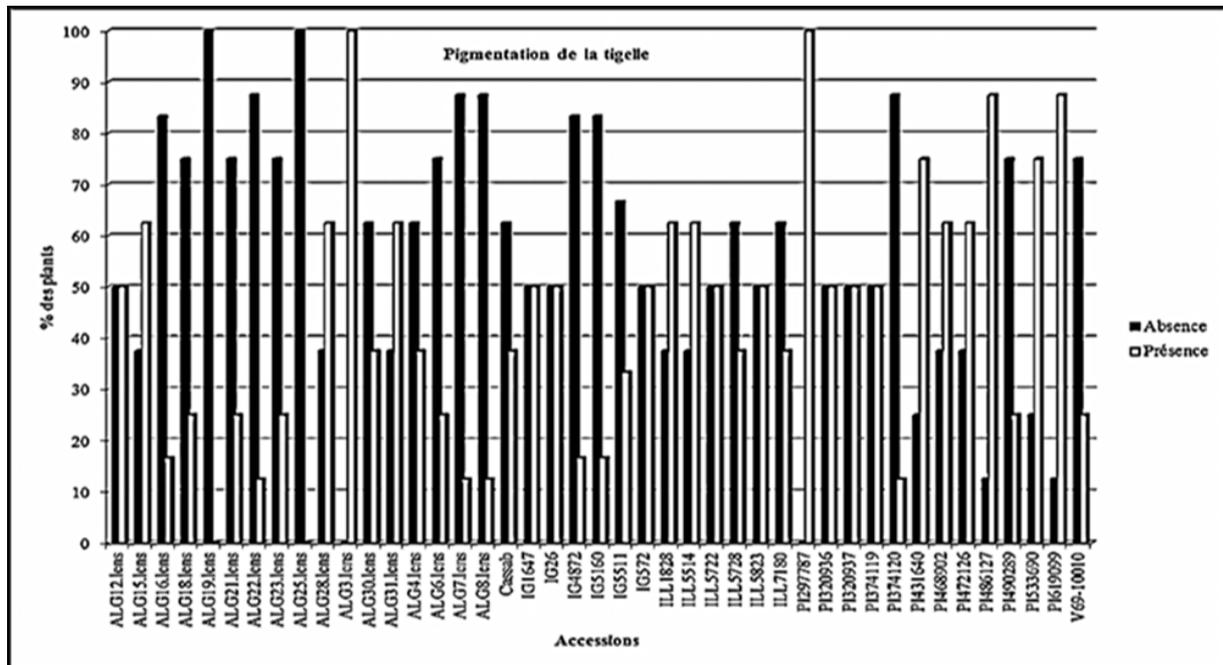


Fig.43 : Pourcentage de la présence-absence de pigmentation de la tigelle chez 43 accessions de lentille.

Type du port

L'analyse de type du port, montre que la majorité des accessions présentent les trois catégories de port : érigé, intermédiaire et prostré. Les accessions qui présentent seulement les deux catégories intermédiaires et prostrées sont : ALG12, ALG18, ALG19, ALG4, ALG8, IG5160, PI297787, PI468902, PI490289 et PI533690. Seulement quatre accessions montrent les deux types du port (érigé et intermédiaire), il s'agit de ALG22, ALG6, PI320937 et PI374119 (Fig.44).

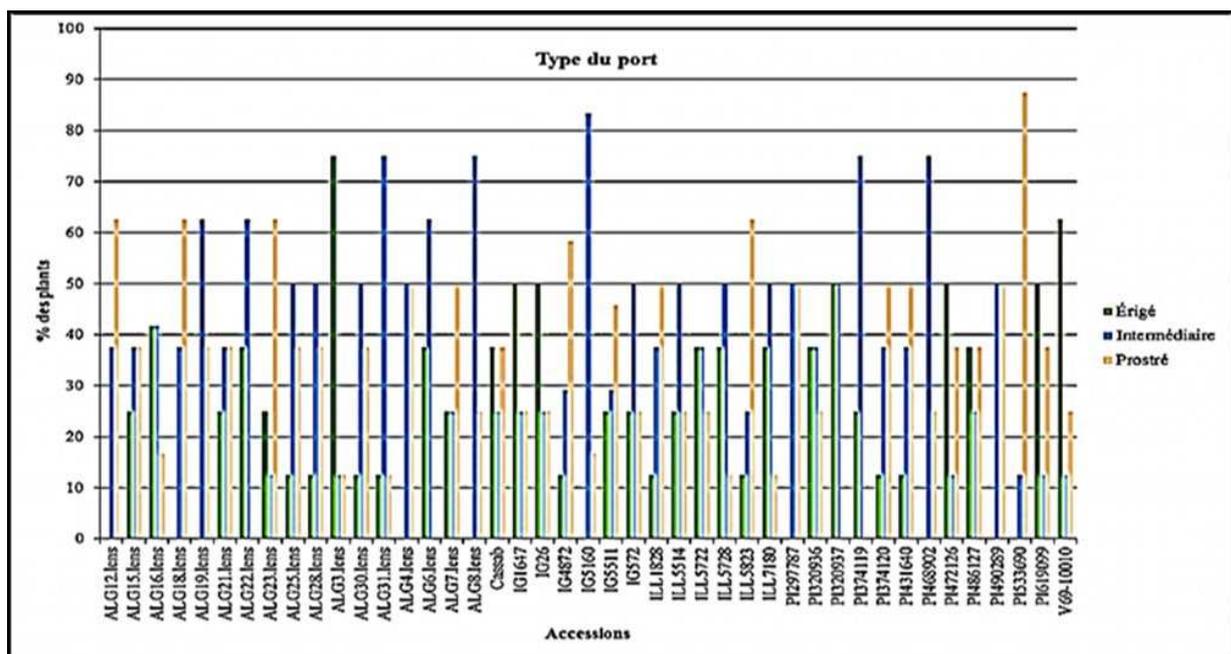


Fig.44: Pourcentage des types de port 43 chez accessions de lentille.

Couleur des feuilles

Pour la couleur des feuilles, l'accession IG5160 possède des feuilles vert clair, par contre, pour l'accession ILL7180 ces feuilles sont vertes grises. Le reste des accessions présente une grande variabilité (Fig.45). 22,33 % des accessions locales présentent une couleur vert-clair des feuilles.

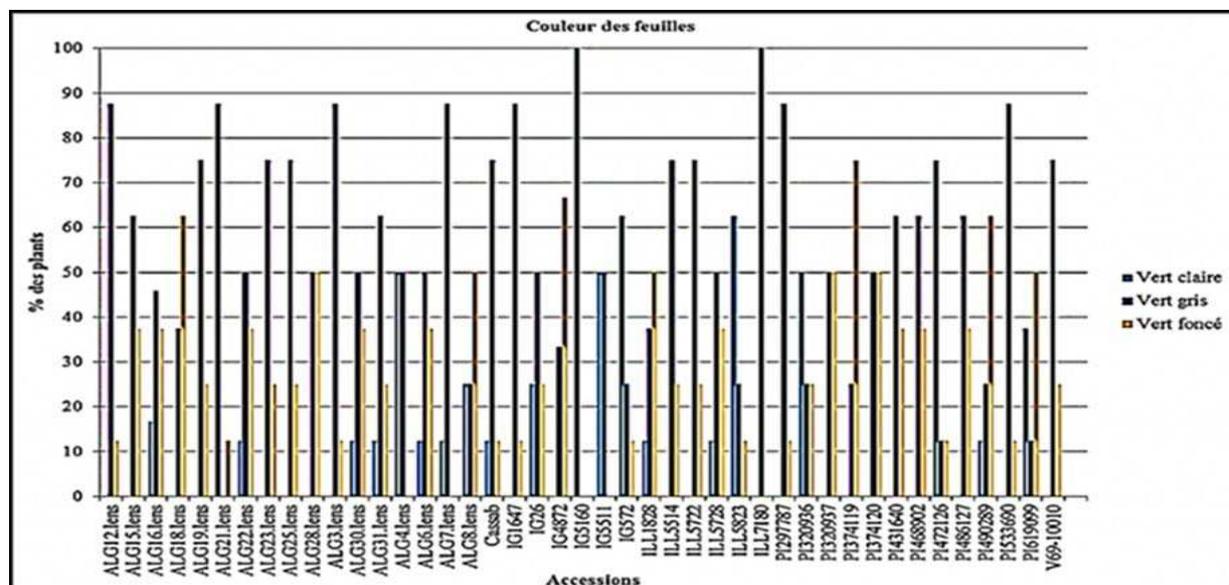


Fig.45 : Pourcentages des couleurs des feuilles chez 43 accessions de lentille.

Taille des feuilles

La petite taille caractérise les feuilles de l'accession IG5160. La taille intermédiaire caractérise les feuilles de l'accession ILL7180. Le reste des accessions ne sont pas uniformes pour ce caractère et présentent à la fois deux ou trois tailles de feuilles différentes (Fig.46).

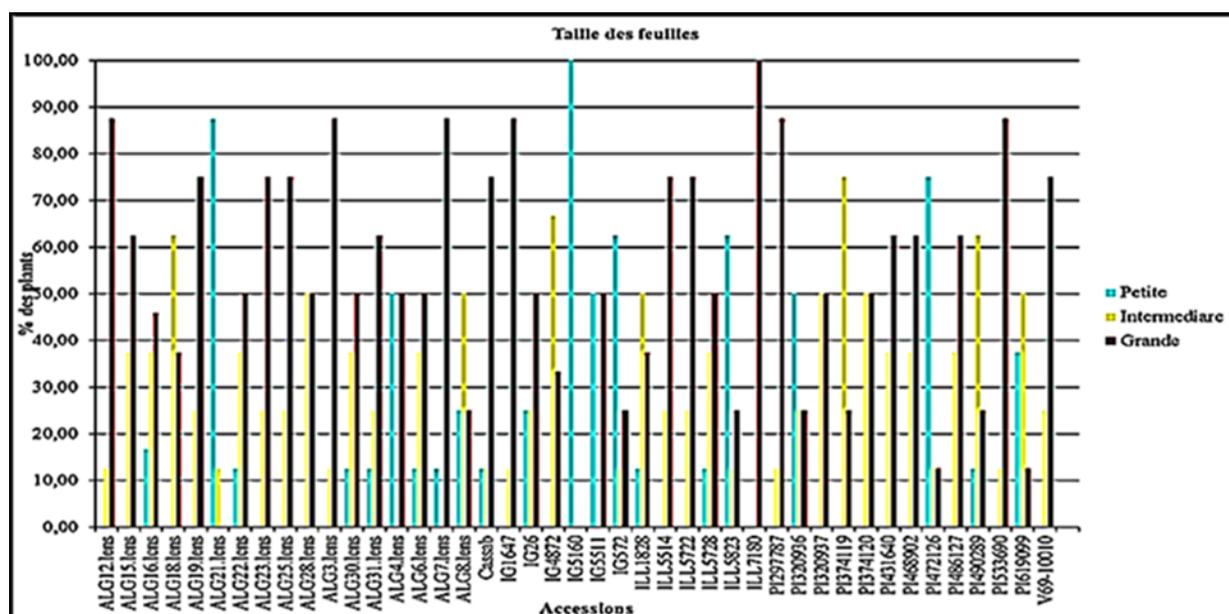


Fig.46 : Pourcentage des tailles des feuilles chez 43 accessions de lentille.

Couleur des fleurs

Pour toutes les accessions, à l'exception des accessions ALG18, ALG8 et PI320937 qui ne présentent que la couleur blanche, la couleur des fleurs est bleu et blanc (Fig.47).

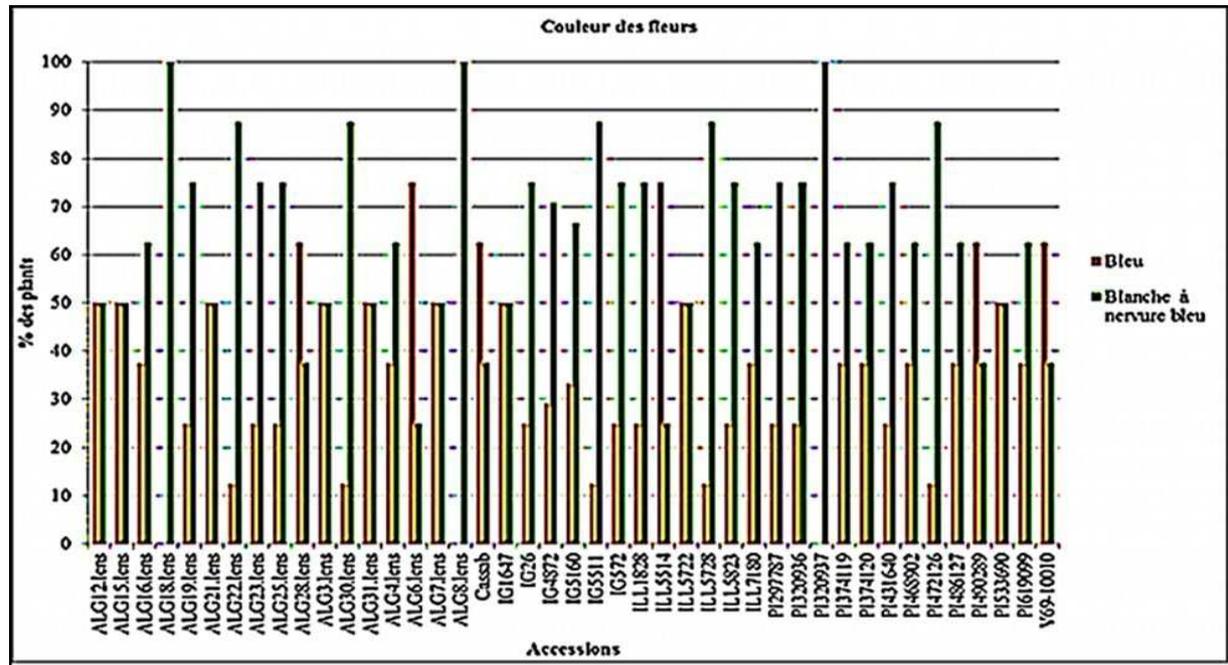


Fig.47 : Pourcentage des couleurs des fleurs chez 43 accessions de lentille.

Strie violette de l'étendard

Seule l'accession ALG18 a des fleurs qui présentent que des stries violettes au niveau de l'étendard. Les accessions ALG21, ALG8 et PI320937 ont des fleurs sans stries. Les autres accessions présentent chacune des variations dans le pourcentage de la présence et absence des stries (Fig.48).

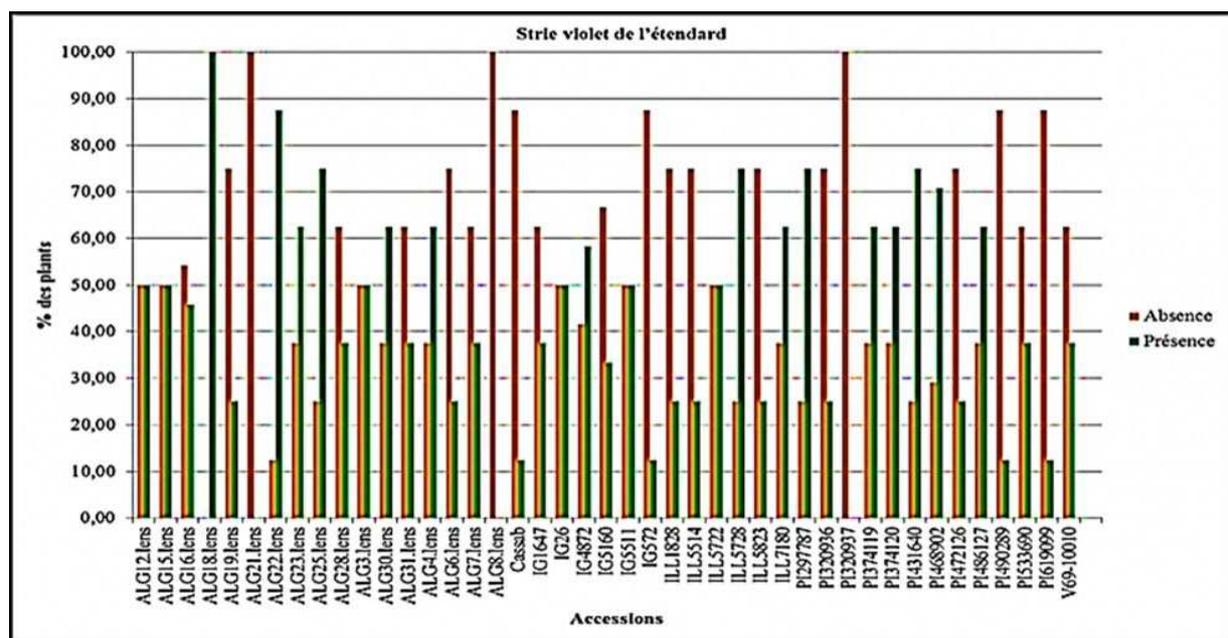


Fig.48 : Pourcentage de la présence-absence des stries violettes de l'étendard chez 43 accessions de lentille.

Vigueur des plants

Les accessions ALG16, ALG3 et Cassab présentent des plants vigoureux. ALG15, ALG19 et PI374119 présentent les deux types de port à proportion égale (50 %) : vigueur moyenne et vigueur forte. Les accessions restantes sont toutes de vigueur faible, moyenne ou forte (Fig.49).

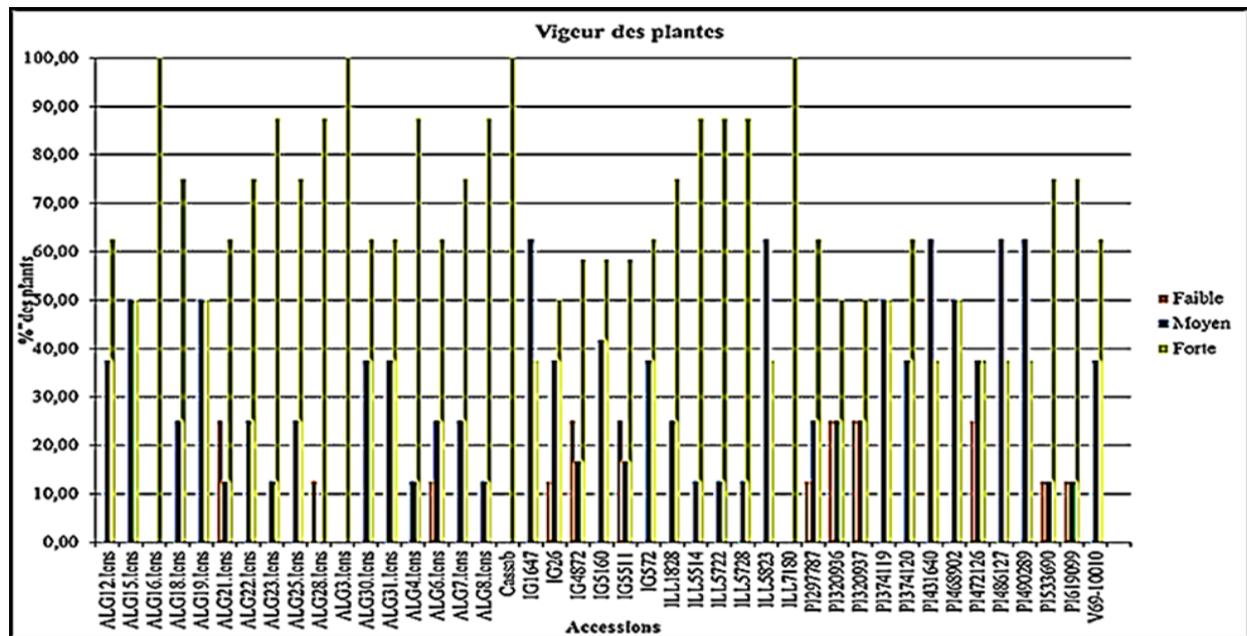


Fig.49 : Pourcentages des vigueurs chez 43 accessions de lentille.

Couleur de tégument de la graine

La couleur marron caractérise la majorité des accessions. La couleur beige caractérise l’accession PI490289 et la couleur noire caractérise l’accession PI320937. Le reste des accessions présente des graines de différentes couleurs (Fig.50).



Fig.50 : Pourcentage des couleurs du tégument des grains chez 43 accessions de lentille.

Aspect de la graine

La plupart des accessions présentent des grains sans tigrure. Le grain tacheté caractérise l'accèsion PI374119. ALG4 est la seule à avoir un aspect complexe de la graine. La moitié (50 %) des grains des accessions suivantes : ALG19, IG572, PI431640, PI468902 et PI533690, ont un aspect ponctué, l'autre moitié présente plus d'un aspect. Le reste des accessions présente une variabilité intra accession exprimée par la présence de différents aspects de la graine en des proportions différentes (Fig.51).

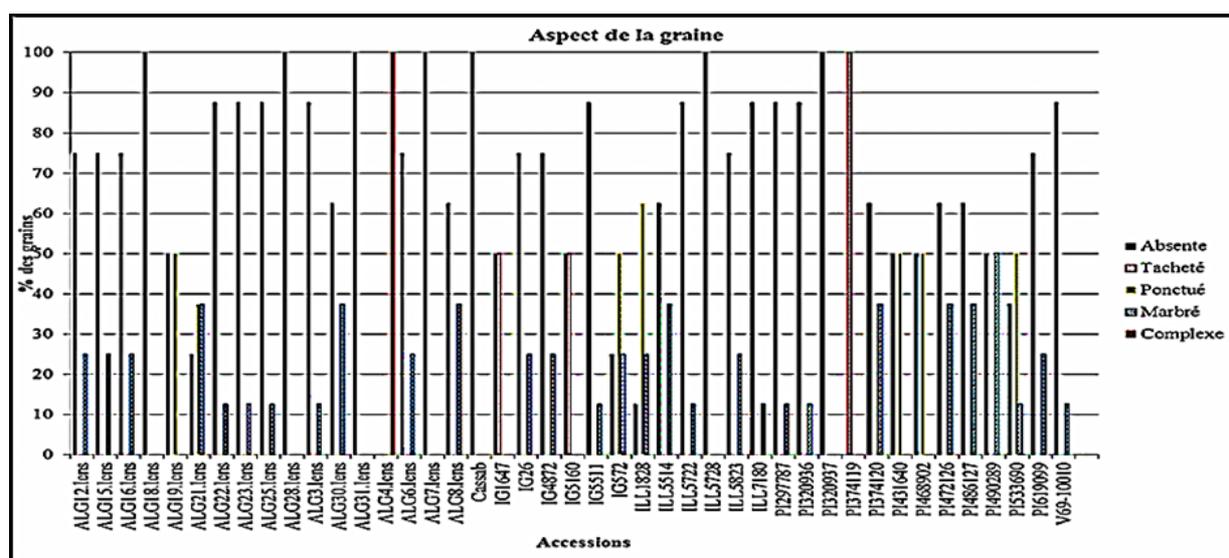


Fig.51: Pourcentage des aspects des grains chez 43 accessions de lentille.

Couleur des cotylédons

La couleur des cotylédons est jaune ou orange pour presque la moitié des accessions. Le reste des accessions sont formées de graines caractérisées par les deux couleurs (jaune et orange) (Fig.52).

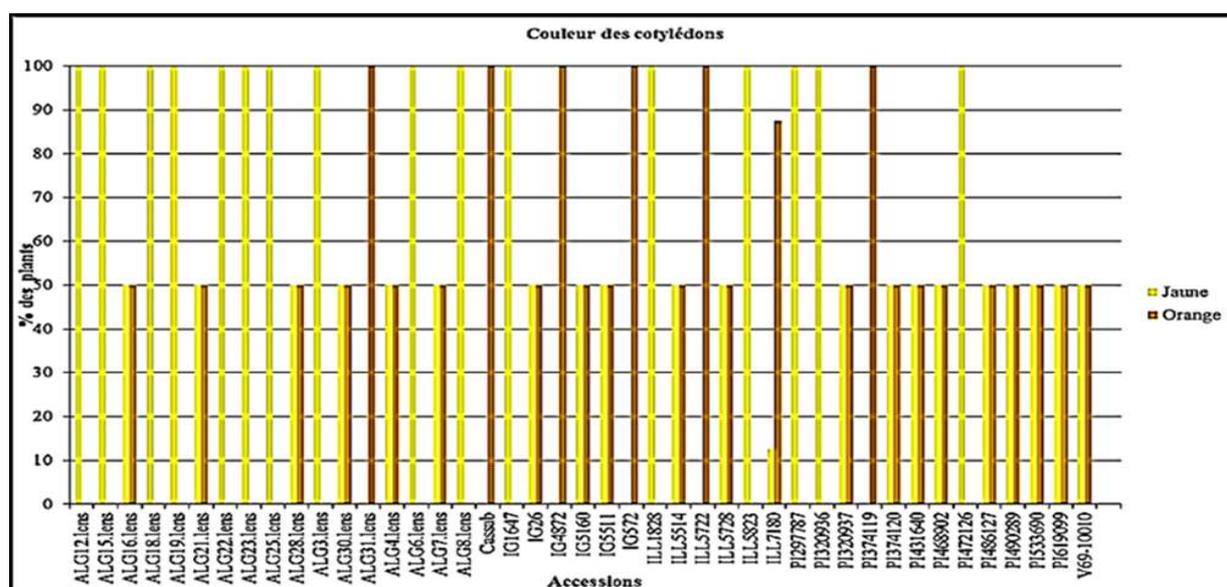


Fig.52 : Variabilité intra accessions de couleur de cotylédon chez 43 accessions de la lentille.

La forme du grain

La forme globulaire caractérise les accessions ALG16, ALG21, ALG25, ALG28, ALG3, ALG6, ALG7, IG26, IG4872, IG5160, IG572, ILL1828, ILL7180, PI297787, PI374119, PI374120, PI472126 et PI533690. La forme plate caractérise les accessions : ALG12, ALG15, ALG18, ALG19, ALG22, ALG3, ALG8, PI320936 et PI486127. Le reste des accessions présentent les deux types de formes de grain (Fig.53).

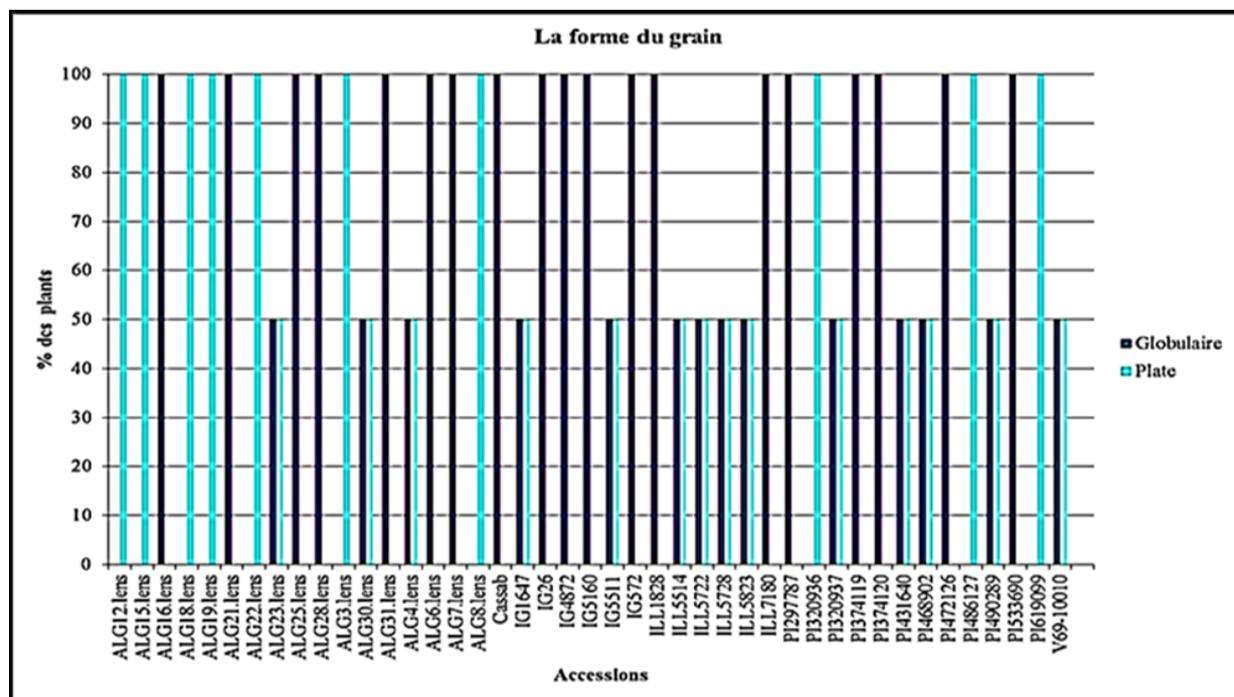


Fig.53 : Pourcentage des formes du grain chez 43 accessions de lentille.

3.2.2. Variabilité de la collection de lentille à partir des caractères qualitatifs

La collection de la lentille montre une grande variabilité pour le type de port (TPR). 24,38 % des plants se caractérisent par un port érigé dont 7,98 % des plants appartiennent à des accessions locales. 34,3 % des plants sont de type prostré où 5 % appartiennent à des accessions locales de type *microsperma*. Le reste des plants (41,32 %) sont de type intermédiaire.

Dans cette étude, 43,79 % des plants ont la pigmentation anthocyanique de la tige (PMT), tandis que, chez 56,21 % des plants la pigmentation est complètement absente (tige verte).

La couleur verte des feuilles (CFE) à trois variantes : vert-clair, vert-gris et vert-foncé. Presque la moitié de la collection a des feuilles de couleur vert-gris (53,48 %) et 22,73 % ont les feuilles vert-clair. La couleur vert-foncé s'est manifestée chez 24,79 % des plants.

Plus de la moitié de la collection (64,43 %) a des fleurs de couleur blanche et 35,57 % sont bleues.

Les fleurs à strie violettes de l'étendard (SVE) ont été observées chez 43,5 % des plants et le reste (56,5 %) ne présentent pas de stries violettes de l'étendard.

Plus de la moitié des accessions (59,92 %) ont les grains de forme plate et 40,07 % sont globulaires.

Le cotylédon jaune caractérise les grains de 61,30 % de la collection, le reste (38,69 %) se caractérise par des grains à cotylédons orange.

Dans cette étude, la majorité des graines (81,33 %) présentent un tégument marron et 13,90% sont à téguments verts et le reste (2,36 %) leurs téguments sont de couleur beige.

L'aspect sans tigrure de l'enveloppe extérieure de la graine caractérise 68,55 % de la collection où 29,86 % des graines appartiennent à des accessions locales (dont 16,24 % sont de type *microsperma* et 13,62 % du type *macrosperma*). Tandis que, l'aspect ponctué caractérise 8,28 % des graines et l'aspect tacheté caractérise 4,58 % des graines. 16,39 % des graines présentent un aspect marbré et 2,36 % ont un aspect complexe.

3.2.3. Analyse en Correspondance Multiple (ACM)

Le plan des axes 1 et 2 de l'ACM représentant respectivement 43,29 % et 35,33% de la variabilité total, les deux axes cumulent ensemble 68,61 % de l'inertie total (Fig.54).

L'axe 1 est corrélé positivement aux caractères suivants : le port intermédiaire et prostré (TPR), la couleur vert-foncé de la tigelle (CFE), la couleur blanche des fleurs (CFL), la taille intermédiaire des feuilles (TFL), le forme plate des graines (FLG), l'aspect complexe des graines (TGG) et la couleur marron du tégument des graines (CTG). Les accessions qui présentent ces caractères et se positionnent positivement sur l'axe 1 sont : ALG18, ALG22, ALG30, ALG4, ALG6, ALG8, IG4872, ILL1828, PI374119, PI374120 et PI490289. Négativement, l'axe 1 est corrélé au port érigé (TPR), aux feuilles de couleurs vert-gris (CFE), aux fleurs bleues (CFL), aux feuilles longues (TFL), aux graines globuleuses (FLG), aux graines à tégument beige (CTG) et cotylédons orange (CDC). Les accessions ALG15, ALG16, ALG28, ALG3, ALG31, ALG7, Cassab, IG1647, IG26, ILL5514, ILL5722, ILL7180, PI29778, PI32093, PI431640, PI468902 et PI533690 se positionnent négativement sur le l'axe 1.

L'axe 2 est défini positivement par les variables suivantes : absence de pigmentation des graines (PMT), la forte vigueur des plantes (VGR), la présence de stries violettes (SVE), l'absence de tigrure (TGG) et la couleur jaune des cotylédons (CCD). Les accessions qui lui sont corrélées sont : ALG12, ALG19, ALG23, ALG25 et ILL5728. Négativement, l'axe 2 est corrélé à la présence de pigmentation (PMT), la couleur vert-clair des feuilles (CFE), la vigueur moyenne des plants (VGR), l'absence de stries violettes (SVE), la taille petite des feuilles (TFL), la tigrure marbrée, ponctué et tacheté (TGG) et à la couleur orange des cotylédons

(CDC). Les accessions suivantes lui sont corrélées : ALG21, IG5160, IG5511, IG572, ILL5823, PI320936, PI472126 et PI619099.

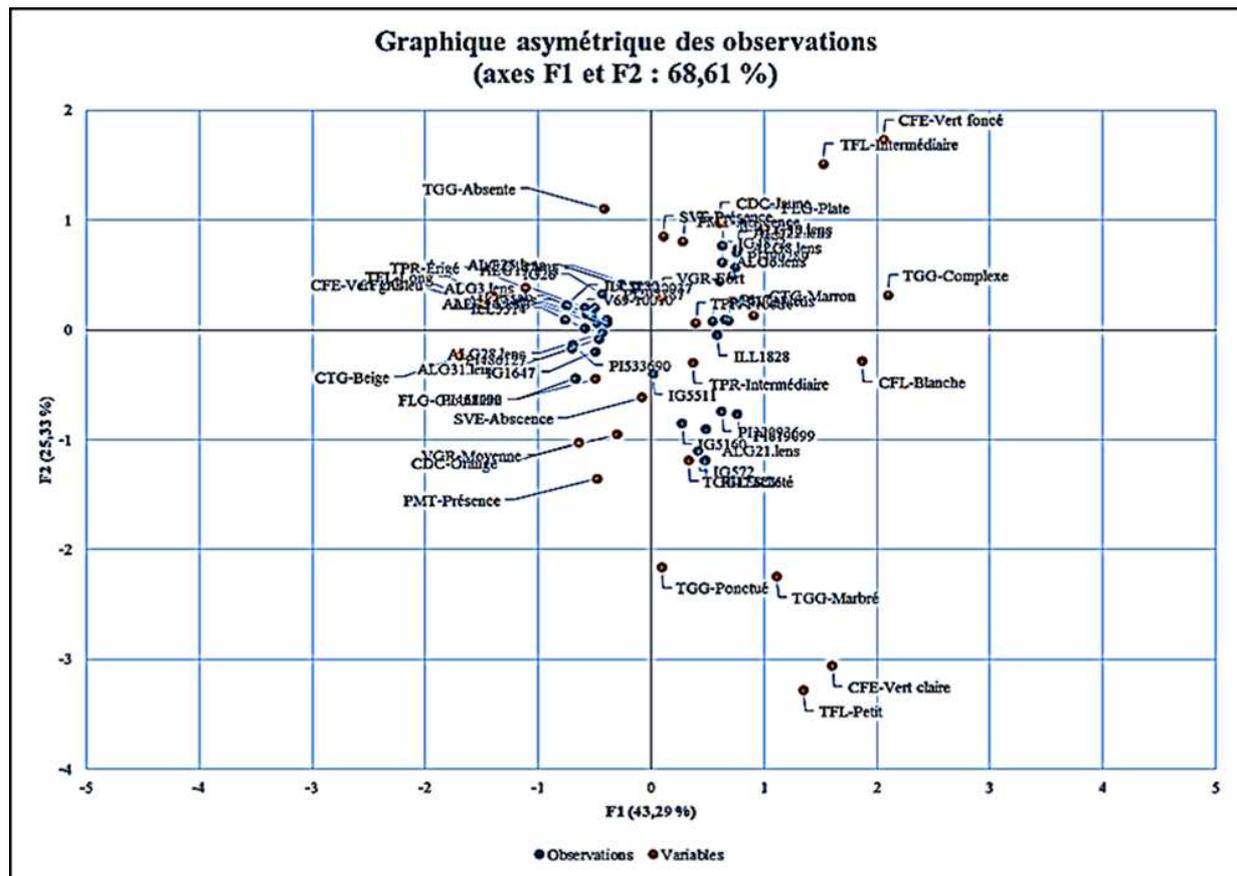


Fig.54 : Projection des 11 caractères qualitatifs et les 43 accessions de la lentille sur les deux premiers axes de l'ACM.

4. Discussion

Les résultats des analyses de variance ont indiqué une forte hétérogénéité morphologique et phénotypique et il a été noté l'influence des conditions climatiques sur la phénologie, la biométrie et les caractères liés au rendement. Le site d'Alger est caractérisé par un climat subhumide, mais l'année de l'installation de l'essai (2011/2013) était exceptionnelle puisque seulement 227 mm de précipitation ont été cumulés durant la période du développement de la culture. Par contre, le site de Constantine à climat semi-aride a enregistré un cumule de 392 mm. D'après Erskine *et al.* (1994), dans les régions méditerranéennes de l'Ouest de l'Asie et de l'Afrique du Nord, la lentille est habituellement cultivée dans les régions où les précipitations annuelles sont entre 300-400 millimètres.

Il pourrait être prédit que les accessions locales se comporteront mieux que les accessions de la collection étrangère témoin, du fait de leur meilleure adaptation aux conditions locales. Toutefois, on a remarqué que quelques accessions, de provenance surtout de l'Australie

(Cobber : ILL5823 ; IL5722: DIGER) et de l'Inde (PI472126), se comportent mieux dans les deux sites d'étude. Cela démontre que la lentille a un grand spectre d'adaptation.

Les fortes valeurs du coefficient de variation pour certains caractères indiquent la présence d'une hétérogénéité des accessions de la lentille. C'est le cas pour le rendement et le nombre de grains/plant. En effet, Asghar *et al.* (2010) ont trouvé un CV élevé pour le rendement en grain chez 30 génotypes de lentille. En revanche, les faibles valeurs du coefficient de variations ont été observées pour les traits liés à la phénologie (FD50 et DTM), ainsi que pour le diamètre(DGR) et l'épaisseur (EPS) des grains, indiquant une faible variabilité entre les accessions de lentille. Khan *et al.* (2001) et Toklu *et al.* (2009_b) ont fait également les mêmes observations sur les accessions de l'ICARDA et sur des variétés collectées en Turquie.

Les résultats de cette étude ont révélé que la hauteur des plants varie entre 13,33 cm pour les plantes courtes à 65 cm pour les accessions à grande taille avec une moyenne de 31,64 cm. Nous avons remarqué que les accessions locales étaient intermédiaires en hauteur au niveau du site d'Alger comparé à celles du site de Constantine où elles ont montré une meilleure hauteur. Ces résultats seraient liés aux conditions climatiques qui auraient un impact négatif sur la croissance et le développement des plants. En effet, le manque de précipitation, exceptionnel, au niveau du site d'Alger était contraignant au développement de la lentille. Sous les conditions de stress hydrique et dans un milieu semi-aride, Turck *et al.* (2004), ont annoncé que les accessions de la lentille manifestent une hauteur plus élevée comparée aux accessions cultivées dans les conditions arides. Les conditions climatiques du site de Constantine ont eu un impact important en faveur de la culture de lentille. Saxena (2009) a montré que selon le génotype et l'environnement, la hauteur des plants de lentille varie entre 15 à 75 cm. L'évaluation d'une collection de lentille composée de 287 accessions de différentes origines géographiques, sous deux systèmes de production à l'État de Washington, Tullu *et al.* (2001), ont confirmé que la hauteur des plants à maturité n'est pas seulement affectée par les génotypes, mais aussi par l'environnement. Chez 50 lignées de lentille évaluées au Pakistan, la hauteur des plants varie entre 36 à 66 cm avec une moyenne de 50 cm (Bakhsh *et al.*, 1993). Des résultats similaires ont été rapportés par Lazaro *et al.* (2001), chez 101 accessions espagnoles de lentille. Alors qu'en Arabie Saoudite chez cinq lignées de lentille introduite par l'ICARDA, Alghamdi *et al.* (2014) ont constaté que la hauteur moyenne des plants était 31 cm.

La hauteur entre le collet et la première gousse fertile est un caractère important pour faciliter la mécanisation chez la lentille. La variété algérienne Syrie 229 (ALG6) du type *microsperma* montre la hauteur la plus élevée. Cependant, Bacchi *et al.* (2010), indiquent des valeurs les plus élevées pour ce caractère qui sont obtenues chez le type *macrosperma* et cela en évaluant 25 accessions de lentille provenant de différentes régions méditerranéennes incluant trois

accessions algériennes. Une comparaison de nos résultats avec ceux de la littérature montre que la moyenne de la présente étude est du même ordre de grandeur que celle rapportée par Toklu *et al.* (2009_a). En effet, chez les populations de lentille originaire de la Turquie, la hauteur de la première gousse fertile varie entre 21,7 et 41,6 cm, avec une moyenne de 30,2 cm. Par contre, Piergiovanni (2000) a indiqué que la hauteur de la première gousse fertile chez les populations italiennes de lentille varie entre 11 et 26 cm et la hauteur moyenne était de 24,2 cm.

Les variables phénologiques présentent des écarts importants entre les accessions. On note des différences très hautement significatives entre les accessions pour la maturité physiologique. Cette différence est due à l'effet génotypique, mais aussi aux conditions agro-climatiques de la culture, car elle varie entre les deux sites. Summerfield *et al.* (1985), ont indiqué que la date de maturité de la lentille (*Lens culinaris* M.) varie selon les génotypes, les dates de semis, les saisons et les sites de culture. Certaines accessions locales étaient précoces et d'autres étaient tardives, respectivement de 161,71 jours et 172 jours, de maturité. Alors que les accessions de la collection témoin étaient intermédiaires exception faite pour quelques accessions originaires de la Turquie, des États-Unis, du Chili et de l'Afghanistan qui, tardent dans leur maturité. Erskine *et al.* (1989), étudient la diversité d'une collection mondiale de lentille composée de 1327 accessions et constatent que les accessions afghanes sont les plus tardives. Torricelli *et al.* (2012), ont constaté que les variétés populations Italiennes arrivent à maturité après seulement 78,06 jours ce qui est très précoces comparés à nos résultats. Chez le petit pois, les accessions d'Océanie étaient les premières qui arrivent à maturité (179 jours) comme l'indiquent Upadhyaya *et al.* (2005). Cependant, chez 113 génotypes de pois chiche du type Desi, la date de maturité varient entre 144 et 180 jours avec une moyenne de 171,1 jours (Riaz *et al.*, 2014). L'étude de ce paramètre chez 64 accessions de lentille, obtenues à partir de l'ICARDA au niveau de Diyarbakir en Turquie, a montré que les jours de maturité varie de 188 à 196 jours (Biçer et Sakar, 2008).

Saxena (2009), indique que l'effet de l'environnement sur le poids de cent grains (PCG) n'est généralement pas visible. Par contre, nos résultats montrent que le PCG est fortement lié aux conditions du milieu. Le type *macrosperma* manifeste un poids de 100 grains élevé comparé au type *microsperma*. Les trois premières accessions qui présentent le poids de 100 grains le plus élevé sont d'origine algérienne. La moyenne de toutes les accessions est de 3,40 g. Chez le type *microsperma*, le poids de 100 grains varie entre 1,1 à 4 g, tandis que, chez le type *macrosperma* il varie de 4 à 8,2 g (Barulina, 1930 *in* Saxena, 2009). Les travaux menés par Tullu *et al.* (2001), sur une collection de 287 accessions de lentille, indiquent que la variation de poids de 100 grains était de 1,3 à 7,4 g avec une moyenne de 3,6 g. Bejiga *et al.* (1996), dans l'étude de la diversité de 156 variétés locales originaire d'Ethiopie, mentionnent que le poids

de 100 graines était un caractère discriminant. Dans les conditions semi-arides à climat méditerranéen en Jordanie, Abdel-Rahman *et al.* (2002), ont observé que le poids moyen de 100 graines était de 4,3 g ce qui est supérieur aux résultats de la présente étude.

Une connaissance appropriée du degré d'association entre les caractères est un préalable pour entamer un programme de sélection efficace (Mishra *et al.*, 2007). Des corrélations positives ont été trouvées entre le diamètre des grains, le poids des grains, la hauteur des plants, la hauteur de la première gousse fertile et le nombre de gousses et de graines par plante et le rendement des grains. Ces résultats corroborent bien avec ceux publiés par plusieurs auteurs (Erskine, 1983 ; Hamdi *et* Rebeia, 1991 ; Biçer *et* Sakar, 2008 ; Biçer, 2009 ; Bacchi *et al.*, 2010 ; Al-Ghzawi *et al.*, 2011 ; Barghi *et al.*, 2012 ; Zaccardelli *et al.*, 2012 *et* Mondal *et al.*, 2013).

Les analyses multi-variées (ACP et CAH) ont confirmé la répartition des accessions en cinq principaux groupes :

- **Le premier groupe** inclut des accessions à floraison et maturité précoce, avec une hauteur des plants intermédiaire, une hauteur des gousses fertiles élevée, un nombre de gousses et grains par plant et rendement moyens ;
- **Le deuxième groupe** se caractérise par la hauteur élevée des plants et de celle entre le collet et les premières gousses fertiles ;
- **Le troisième groupe** est défini par les accessions qui ont des gousses et des grains/plante en nombre moyen, le poids de 100 graines moyen et des gousses à faible épaisseur ;
- **Le quatrième groupe** comprend des accessions tardives, avec un poids de 100 graines et diamètre de grains faibles ;
- **Le cinquième groupe** comprend des accessions caractérisées par un nombre de gousses, de grains et le rendement en grain élevés.

Dans la présente étude, les onze traits qualitatifs ont permis de discriminer les 30 accessions de lentille. Le port présente une large gamme de variations à savoir prostré, intermédiaire et érigé. Le type intermédiaire est le type du port le plus partagé, mais on y trouve également les types prostré et érigé. Selon Erskine *et* Goodrich (1991), les variétés de lentille varient dans leur habitude de croissance.

La tige principale de la lentille est généralement de couleur vert-clair, mais pour certains génotypes il peut y avoir des degrés variables de pigmentations anthocyaniques sur la partie basale de la tige (Saxena, 2009). Sur vingt-quatre populations locales de lentille recueillies d'Italie, Torricelli *et al.* (2012) ont révélé la présence de la pigmentation anthocyanique à la partie basale de la tige dans la plupart des accessions. Contrairement à nos résultats dans une

collection de 39 variétés locales de la Turquie, la plupart des accessions présentent une pigmentation de la tige (Toklu *et al.*, 2009_a).

Les accessions locales présentent une couleur vert-clair de leur feuillage, contrairement aux accessions de l'Asie (l'Inde, Afghanistan et Iran) et de l'Europe (Espagne, Allemagne, France et Turquie) qui présentent des feuilles de couleur vert-gris. Selon Erskine *et al.* (1989), la couleur des feuilles du groupe asiatique, appelé *grex pilosae*, est vert-gris à cause de la présence d'une pilosité à la surface foliaire, opposée à la couleur verte commune chez la lentille. En se basant sur l'intensité de coloration du feuillage, Kumar *et al.* (2005), ont révélé deux groupes distincts de couleur, le vert normal et le vert clair.

La couleur des pétales des fleurs de la lentille est blanche, rose, pourpre, bleu violacé ou bleu pâle (Muehlbauer *et al.*, 1985). Dans la présente étude, la majorité des accessions présentent des fleurs blanches, parmi elles les accessions locales, mais on trouve aussi des accessions à fleurs violacées. Les travaux de Wilson et Hudson (1978) indiquent que de temps en temps les accessions, de lentille développant des fleurs bleues ou roses, persistant pour une génération mais ne se maintiennent pas dans la génération qui suit. De fait que les premiers pétales apparus montre fréquemment une coloration rose ou bleue, non observée chez les nouveau pétales ouvert et plus développés. Avec 110 accessions de lentille, les fleurs blanches ont été observées dans 49 % des accessions et les fleurs violacées ont été trouvées seulement chez 28 % des accessions (Roy *et al.*, 2012).

Les graines de lentille sont typiquement en forme des lentilles de l'œil, leurs diamètres varie entre 2 à 9 mm, taille intermédiaire entre 5 à 6 mm et la petite taille entre 3 à 5 mm, elles ont une forme globulaire [épaisseur (E) sur diamètre (D) varie entre 1,5 et 2,5] ou plate ($E/D = 2,5$ à 4). D'après Saxena (2009), le diamètre est influencé par les facteurs suivants : a) la susceptibilité variétale à donner des gousses monospermes ou bi spermes, les premières produisant des grains les plus larges ; b) les conditions du milieu: les terres riches et bien travaillées poussent à l'augmentation du diamètre. En ce qui concerne l'épaisseur, il s'agit d'un caractère variétal /héréditaire, plus ou moins influencé comme celui du diamètre, par certaines conditions variétales et environnementales. Dans le présent travail, les accessions évaluées présentent les deux types de formes de grains, aplaties et globulaires.

Chez la lentille cultivée, aucune étude exhaustive n'a été réalisée pour expliquer le mécanisme qui contrôle la variation de certains caractères des graines en relation avec le milieu. Par contre, de nombreuses études réalisées chez d'autres légumineuses alimentaires ont étudiée de près le mécanisme de développement de la graine. Domoney *et al.* (2006 cités par Fedoruk *et al.*,

2013), soulignent qu'il y a généralement deux phases distinctes dans le développement des grains de légumineuses qui influencent le diamètre et l'épaisseur et par conséquent la forme de la graine. La première phase de développement, est la division cellulaire, qui dépend de l'embryon qui contrôle le nombre des cellules des cotylédons. Cette phase est complètement indépendante de l'environnement. À cause de cette faible interaction environnementale et la forte héritabilité, le diamètre de la graine et par conséquent, sa forme (globulaire ou plate) peut être considérée comme fortement influencée par des locus contrôlés pendant cette phase. La deuxième phase, l'expansion cellulaire est fortement influencée par les facteurs du milieu, elle est contrôlée par des locus impliqués dans l'allocation des photosynthates. L'épaisseur de la graine pourrait être déterminée à cette phase de développement. Les locus qui influencent le taux d'accumulation des photosynthates dans la graine pourraient contribuer à la variabilité génétique.

La couleur du cotylédon, la couleur du tégument (tasta), et l'aspect de ce dernier (tigrure), sont des caractères importants dans la détermination de la valeur commerciale et l'utilisation finale de la lentille (Fedoruk *et al.*, 2013). Erskine et Witcomb, (1984), ont classifié la couleur du tégument de la lentille en cinq groupes : vert, rose, marron, beige et noir. Les autres couleurs sont les résultantes, soit de l'effet épistasique ou la détérioration des couleurs de base. En effet, d'après Emami et Sharma (1996), le manque de précision dans la domination de la couleur du tégument peut être partiellement due à l'influence des pigments des cotylédons sur la couleur du tégument. Ils ont noté que les pigments orange-jaune et verts des cotylédons sont absorbés dans les tissus du tasta, altérant sa vraie couleur. Les graines non colorées du tégument et à cotylédons oranges ont une apparence rose et ceux avec cotylédons verts prennent une couleur verte au niveau du tégument. Toklu *et al.* (2009_a), ont rapporté que chez la plupart des accessions de la Turquie le tasta est de couleur marron. En outre, Singh *et al.* (2014), dans une évaluation des taxons de genre *Lens* originaire de vingt-sept pays, ont déclaré que la couleur de tasta est majoritairement beige chez toutes les espèces excepté *L. culinaris* ssp. *culinaris*, où la couleur marron été largement prédominante. Tandis que, chez les variétés espagnoles la couleur de tasta était verte dans 90 % des accessions (Lazaro *et al.*, 2001). Emami et Sharma (2000) ont signalé que le tasta brun était complètement dominant sur le tasta noir.

La couleur du cotylédon a attiré l'attention des généticiens et des sélectionneurs, grâce à sa valeur marketing. Chez la lentille, il existe deux types de cotylédons, orange et jaune. La plupart des accessions algériennes présentent un cotylédon jaune, alors que ceux de l'Asie (Inde, Afghanistan, Syrie et Jordanie) présentent des cotylédons orange. La littérature rapporte que le consommateur de l'Asie du Sud a une préférence élevée pour les petites graines à cotylédons rouges communément désigné par cotylédon orange (Rahman *et al.* 2009 ; Pratap *et al.* 2014).

5. Conclusion

La caractérisation agro-morphologique, de 43 accessions étudiées de la lentille (dont 18 collectées dans différentes régions de l'Algérie), montre, d'une part :

-Une importante diversité des 11 caractères quantitatifs entre les accessions et **l'effet significatif de l'interaction accession x site de six caractères** (hauteur de la plante, hauteur de la première gousse fertile, maturité, poids de 100 graines, diamètre et épaisseur des grains), et, d'autre part ;

-Une variabilité des caractères qualitatifs particulièrement : la forme du grain, la couleur de tégument, la couleur des cotylédons. Il a été distingué des accessions de plus grandes tailles avec une plus grande distance de la première gousse fertile, qui fleurissent et arrivent à maturité plus tardivement, celles-ci assurant un rendement en grains plus élevé.

De fortes corrélations ont été mises en évidence **entre la hauteur de la plante et la hauteur de la première gousse fertile.** On a pu également constater que **le rendement total est corrélé direct au rendement en grains.** Toutefois, la corrélation négative entre la maturité et l'épaisseur des **poids de 100 graines.** Le nombre de gousses par plante et le nombre de graines par gousse ont un effet sur les grains et montrent que **les plantes tardives ont tendance à avoir une graine de plus petite taille.**

Ci-après quelques accessions à caractères agronomiques importants pour quelques zones cibles de la culture de la lentille en Algérie :

Pour les zones semi-arides (les plaines intérieures ou les hauts plateaux), il faut viser la stabilité et l'adaptation spécifique. De telles stabilités peut être assurée par une bonne vigueur à la levée de la plante, une floraison précoce et un cycle plus court, le port dressé permettant la mécanisation de la culture, le rendement élevé. Parmi les accessions recommandées pour ces zones : ALG3, ALG6 (Syrie229), ALG7 (Balkan755), ALG12 (Blonde de Chili), ALG15 (variétés populations), ALG16 (variétés populations), ALG19 (Flip 90 31C), ALG18 (Radjas), ALG28 (variétés populations), ALG30 (Métropole), ILL1828 (Inconnue, Chili), ILL5722 (Digger, Australie), PI472126 (33-0690000, Inde).

Pour les zones sub-humide ou la pluviométrie moyenne est assez élevée et moins variable d'une année à l'autre comparativement à celle observée dans les zones semi-arides, les agriculteurs peuvent avoir un choix plus large de variétés, car aussi bien les variétés précoces que les variétés tardives peuvent être utilisées : IG4872 (DEU146, Afghanistan), PI486127 (Lignée, USA), ALG4 (variétés populations, Tizi-Ouzou), IG572 (Lignée, Jordanie), PI619099 (Masson, USA), ALG16 (variétés population, Aïn Témouchent), ALG22 (Flip 48 L, Médéa).

Dans les zones de montagne, ce sont plutôt les variétés tardives qui se comportent bien : IG5511 (Inconnu, Syrie), IG1647 (Cundina, Colombie), IG4872 (DEU146, Afghanistan), ILL5728 (Cobber, Australie), V6910010 (Flash, Australie).

Le chapitre qui suit, est complémentaire à ce chapitre III, et a pour objectif l'étude de la variabilité génétique des accessions de lentille par l'utilisation de marqueurs microsatellites.

Chapitre IV: Caractérisation moléculaire et analyse de la diversité génétique de 30 accessions de lentille par des marqueurs moléculaires SSR (Simple Sequence Repeat).

1. Introduction

Pendant longtemps, les caractères morphologiques ont été les seuls outils disponibles pour étudier la diversité naturelle des plantes. Cependant, ces derniers sont souvent biaisés par les facteurs environnementaux. En conséquence, l'usage de nouvelles approches d'ordre moléculaire, s'est avéré incontournable pour étudier la diversité des espèces.

Les marqueurs moléculaires contrairement aux marqueurs associés à des caractéristiques morphologiques ou biochimiques, révèlent directement les modifications du patrimoine génétique, c'est-à-dire de l'ADN, qu'elles se traduisent ou non par une modification phénotypique. L'analyse par ces marqueurs peut être réalisée tout au long du développement de la plante. Ces marqueurs ont le potentiel d'exister en nombre illimité, couvrant le génome entier, et ils ne sont pas influencés par l'environnement (Mebarki, 2009). Parmi ces marqueurs, les microsatellites sont parmi les outils les plus polymorphes et informatifs.

Ce chapitre vise à caractériser la diversité génétique des accessions algériennes de lentille et également de quelques accessions étrangères issues de la collection ICARDA par des marqueurs moléculaires SSR.

2. Matériels et méthodes

2.1. Matériels

Le matériel végétal utilisé a été constitué de 27 accessions de lentille collectées en Algérie suite à une prospection (chapitre II), dont 18 ont été utilisées dans la caractérisation agromorphologique (chapitre III). Néanmoins, il a été choisi comme accessions témoins, trois accessions de la collection ICARDA et qui sont IG8 (variété cultivée, Jordanie), ILL1828 (IG1828, Chili) et ILL26 (IG26, Syrie). Au total, trente (30) accessions ont été utilisées.

2.2. Méthodes

2.2.1. Extraction de l'ADN génomique

La quantité et la qualité de l'ADN utilisable pour l'analyse dépendent largement des techniques employées pour la collecte et la préservation du matériel végétal avant l'extraction (Del Castillo Gutierrez, 2008).

Nous avons trouvé, dans la littérature scientifique, plusieurs protocoles d'extraction d'ADN adaptés à la lentille (Hamwiah *et al.*, 2005, 2009 ; Babayeva *et al.*, 2009 ; Reddy *et al.*, 2010 ; Zaccardelli *et al.*, 2012 ; Andeden *et al.*, 2015 ; Tewari *et al.*, 2012 ; Bermejo *et al.*, 2014 ; Verma *et al.*, 2014 ; Kushwaha *et al.*, 2015 ; Singh *et al.*, 2016). On a testé trois protocoles pour déterminer le type d'extraction pouvant fournir la meilleure qualité et quantité d'ADN,

ainsi que les meilleures amplifications. Il y a le protocole de d'Edwards et *al.* (1991), celui de Torres et *al.* (1993 in Babayeva et *al.*, 2009) et le troisième de l'ICARDA (ICARDA, 2014). Les trois méthodes sont décrites en détail en *annexe 3(b)*.

La qualité de l'ADN extrait par les différentes méthodes a été vérifiée sur un gel d'agarose à 1 %. Pour chaque échantillon, 5 µl d'ADN avec 2µl de bleu de bromophénol ont été déposés dans les puits du gel, et migrant dans de tampon 0,5 X TBE (Tampon Tris Borate) pendant 1 heure et à 80 volts. Le gel, après sa coloration dans un bain de Bromure d'éthidium (0,1 %) a été visualisé sous UV. La quantité d'ADN a été estimée par rapport à un marqueur de référence Lambda DNA/EcoRI+HindIII (Promega-Markers®) (*Fig.55*) par comparaison visuelle de la luminosité des bandes.

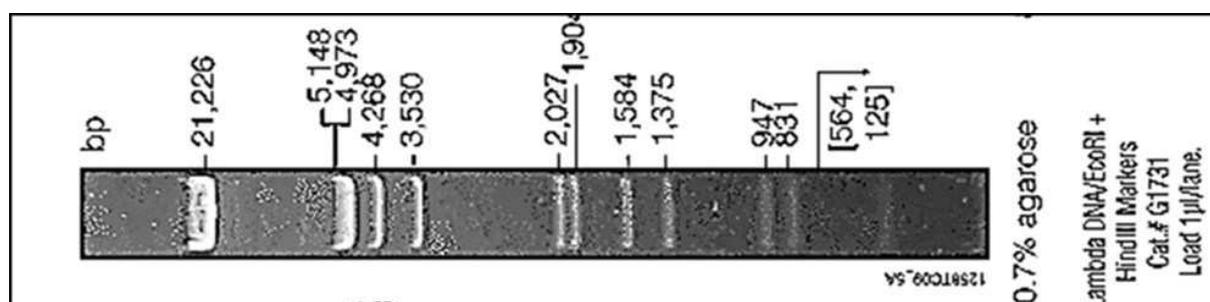


Fig.55 : Marqueur de poids moléculaire (Lambda DNA/EcoRI+HindIII) pris comme référence pour la quantification d'ADN.

La méthode de spectrophotométrie est utilisée pour une quantification précise de l'ADN. Ainsi, la concentration en ADN est déterminée par mesure de la densité optique (DO) au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 260 nm pour des solutions diluées au 1/50, sachant que l'ADN a un spectre d'absorption en UV maximum à 260 nm. Alors que, pour la détection d'une éventuelle contamination protéique, il a été effectué des mesures de DO à 280. Un ADN pur doit avoir un rapport DO_{260}/DO_{280} compris entre 1,8 et 2,0. Une valeur inférieure à 1,8 témoigne une contamination par des protéines, alors qu'une valeur supérieure à 2,0 témoigne d'une contamination par les sels. Dans les conditions standards, une unité de DO (260 nm) d'ADN est égale à 50µg/ml.

2.2.2. Optimisation des conditions d'amplification

La mise au point des conditions d'amplification a été réalisé pour tester les amorces. Pour cela, un gradient de température d'hybridation a été utilisé. Pour chaque amorce, une amplification avec des températures d'hybridations différentes allant de 50 à 65 °C a été réalisée. Vingt échantillons d'ADN différents ont donc été amplifiés utilisant cinq amorces SSR (SSR34-2, SSR72, SSR230, SRR253 et SSR132N).

La composition du mélange réactionnel est celle décrite par Reddy *et al.* (2010) avec quelques modifications nécessaires (Tab.9). Les réactions PCR pour un volume final de 10 µl ont été réalisées dans un thermocycleur du type Veriti 96 well (Applied Biosystem).

Tab.9 : Composition du mélange réactionnel pour PCR/SSR selon Reddy *et al.* (2010) modifié.

Elément du mélange	Protocole de Reddy <i>et al.</i> (2010)		Protocole modifié	
	Volume de prise (volume final: 25 µl) x 1 échantillon		Volume de prise (volume final: 10 µl) x 1 échantillon	Volume de prise (volume final: 10 µl) x 30 échantillon
Tampon PCR (x10)	2,5		02	60
MgCl ₂ (25mM)	1,5		0,6	18
dNTP (0.2mM)	0,2		01	30
Amorce (10 pmol)	0,4		01	30
Taq polymérase (5U/ µl)	0,2		0,03	0,9
H ₂ O	18,2		3,37	101,1
ADN (50-100 ng)	2,0		2,0	2,0
Total (µl)	25		10	242

L'amplification a été faite avec le programme suivant : 5 min à 95 °C, ensuite, 35 cycles définis comme suit : dénaturation à 95 °C pour 1 min, hybridation à une température précise selon l'amorce pour 1 min, élongation à 72 °C pour une minute. L'amplification se termine par une extension finale de 5 min à 72 °C.

Les bandes des produits test de PCR/SSR ont été révélées sur gel d'agarose (1 %) coloré au BET et visualisées sous UV (Annexe 3 (e)).

2.2.3. Choix des marqueurs SSR et révélation des bandes

Quatorze (14) amorces SSR développées par Hamwiah *et al.* (2009), caractérisées par une répétition de tri-nucléotides ont été utilisées. Les séquences des amorces, la température d'hybridation ainsi que la taille des bandes sont montrées au tableau 2 (Gaad *et al.*, 2017). Les amplifias obtenus sont séparés sur gel d'acrylamide à 6 % (Annexe 3 (f)), et le marquer 100 bp Ladder (Promega Inc. USA) a été utilisé comme marqueur de taille.

Le gel a été coulé entre deux plaques jusqu'au bord supérieur et laissé polymériser pendant environ 30 minutes. Le tampon utilisé est du TAE 1x. La durée de migration des amplifias est d'une heure (150 mV). Après migration, les plaques ont été séparées et le gel a été mis délicatement dans un bac contenant environ 100 ml de TAE 1x et 5 µl de BET. Après 30 minutes, des photos sous UV ont été prises à l'aide de logiciel Lab Image version 5.0 (Bio-Rad). Le traitement des images et le calcul de la taille des bandes ont été réalisés par le même logiciel.

2.2.4. Analyses statistiques des données moléculaires

Les données SSR ont été codées en présence/absence pour chaque bande et pour chaque individu (1 = bande présente ; 0 = bande absente).

Afin de réaliser l'analyse de la diversité génétique des 30 accessions de lentille, les paramètres de diversité inter accessions ont été calculés : l'hétérozygotie attendue dans la population totale sous l'hypothèse de Hardy-Weinberg, ou diversité génétique totale, le paramètre dit PIC (Polymorphism information content) lié à la diversité génétique pour chaque amorce utilisée, le nombre d'allèles par locus (N_a) et le nombre efficace d'allèles (N_e).

Afin de visualiser les relations génétiques entre toutes les accessions, une matrice de distance a été établie par le calcul de l'indice de la distance d'agrégation entre les accessions pris deux à deux. Un dendrogramme a été construit à partir de la matrice d'agrégation par regroupement sur la base de la méthode du lien moyen UPGMA (Takezaki et Nei 1996).

Ces traitements ont été réalisés d'une part sur POWER MARKER V3.25 (N.C. State University USA) pour le calcul des paramètres de la diversité et le calcul de la matrice. Le logiciel MEGA5 (Tamura *et al.*, 2003) a été utilisé pour visualiser l'arbre.

3. Résultats

3.1. Extraction d'ADN

Le protocole CTAB d'Edwards *et al.* (1991) et celui de Torres *et al.* (1993 in Babayeva *et al.*, 2009) sont très efficaces et communément utilisés pour extraire l'ADN génomique des plantes (Weeden *et al.*, 1992 ; Duran *et al.*, 2004 ; Yuzbasioğlu *et al.*, 2006 ; Seyedimorad et Talbi, 2014 ; Fikiru *et al.*, 2016). Cependant, leurs applications sur la lentille ont donné des résultats irréguliers ce qui nous a emmené à rejeter ces protocoles.

Le protocole de l'ICARDA a fourni un ADN exempté d'impureté et avec des rendements réguliers et plus abondants. Ainsi, l'application à la lettre de ce protocole sur les feuilles fraîches de la lentille a occasionné l'obtention d'ADN génomique translucide et de bonne qualité et quantité (*annexe 3 (e): photo 3*).

3.2. Amplification des amorces SSR

Le test des 14 amorces SSR a permis la sélection 10 amorces pour leur amplification et reproductibilités (*Fig.56*). Le nombre total de bandes visibles sur le gel par amorce varie de 3 à 9 avec une moyenne de 5,2 bandes par amorce. La différence dans l'indice de diversité révèle un degré significatif du polymorphisme qui va de 0 (monomorphe) à 1 (hautement discriminant). Ainsi, le PIC varie de 0,43 chez SSR28 à 0,85 chez SSR202. L'amorce

SSR202 a révélé le taux de polymorphisme le plus élevé (87 %) suivi par SSR207 avec 71 %. Au total, 52 fragments d'ADN ont été amplifiés à partir de 10 amorces et visualisés sur gel acrylamide (Tab.3 : Gaad *et al.*, 2017).

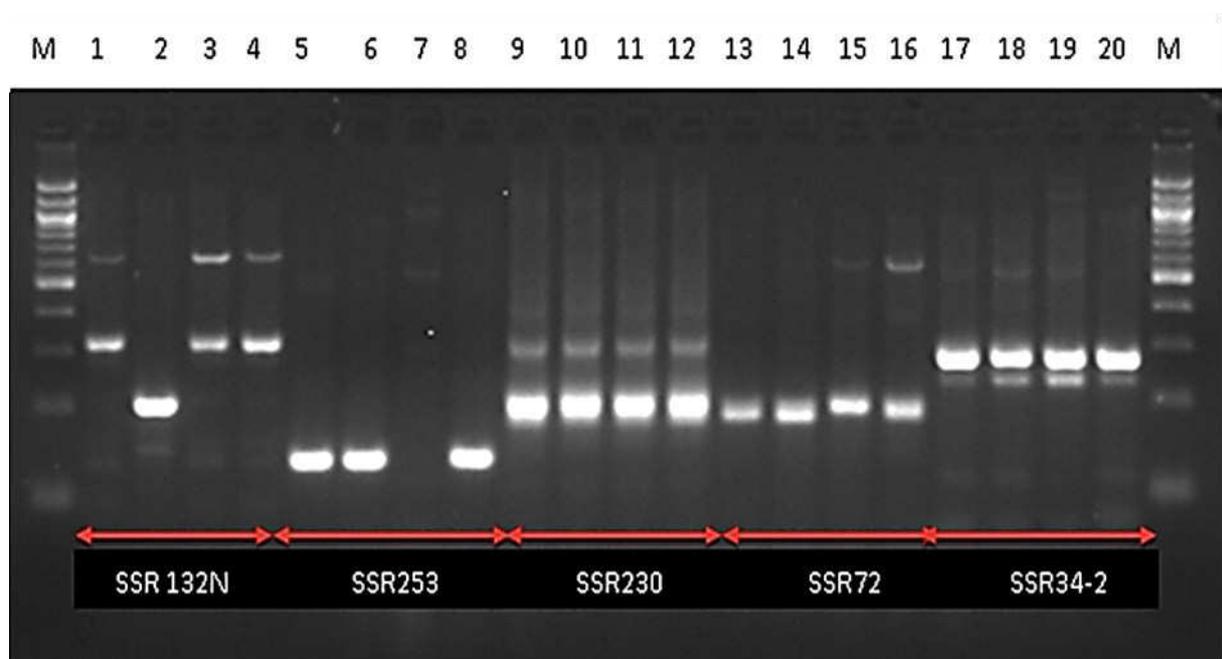


Fig.56 : Test de 5 amorces SSR sur 4 plants de lentille. M: marqueur de taille 100pb.

3.3.Distance génétique entre les accessions

L'analyse de dendrogramme (Fig.2: Gaad *et al.*, 2017) permet de distinguer **quatre grands groupes**, en réalisant la troncature du dendrogramme à 0,35 de l'axe d'indice.

- **Le premier groupe** est composé de deux accessions originaires de l'ICARDA (ILL1828-Chili et IG8-Jordanie) et deux accessions algériennes ALG30 (Sétif) et ALG16 (Aïn Témouchent) ;
- **Le second groupe** comprenant des accessions purement algériennes dominées par des accessions du Nord du pays : ALG28 (Bouira), ALG18 et ALG22 (Médéa), et la région Est, ALG32 (Sétif), et l'accession ALG2 d'origine inconnue rapatrié de l'ICARDA ;
- **Le troisième groupe** comprend 21 accessions algériennes : ALG20, ALG17 (Médéa), ALG14 (S. B. Abbes), ALG19 (Médéa), ALG12 (S. B. Abbes), ALG9, ALG6 (Tiaret), ALG4 (Tizi ouzou), ALG7 (Tiaret), ALG24 (Bouira), ALG23, ALG21 (Médéa), ALG27, ALG26 (Bouira), ALG25 (Constantine) et ALG8 (Tiaret) ;
- **Le quatrième groupe** renferme les cinq accessions suivantes: IG26 (Syrie), ALG5 (Mila), ALG31 (Djanet), ALG15 (Aïn Témouchent) et ALG3 (Tizi-Ouzou).

À noter que le dendrogramme montre qu'il n'existe pas une relation entre l'origine géographique des accessions et la distance génétique.

4. Discussions

Les résultats de l'analyse moléculaire ont montré que les marqueurs SSR peuvent être des outils efficaces dans la détection de la variabilité génétique entre les accessions de lentille. Bien que plusieurs études sur la diversité génétiques de la lentille aient été réalisées par l'utilisation des marqueurs SSRs, à notre connaissance, **notre étude est la première qui a permis l'étude de la diversité génétique des accessions algériennes de lentille par l'emploi des marqueurs microsatellites.**

Le nombre d'allèles détecté, la valeur moyenne de diversité génétique et le PIC ont été supérieurs par comparaison à ceux obtenus par d'autres auteurs : Jin *et al.* (2008) ; Zaccardelli *et al.* (2012) ; Bermejo *et al.* (2014) et Kushwaha *et al.* (2015). Par ailleurs, ces valeurs sont inférieures par rapport à celles d'autres auteurs: Babayeva *et al.* (2009) ; Hamwiah *et al.* (2009) ; Bacchi *et al.* (2010) ; Reddy *et al.* (2010) ; Tewari *et al.* (2012) ; Verma *et al.* (2014) ; Andeden *et al.* (2015) ; Dikshit *et al.* (2015) ; Mekonnen *et al.* (2015) ; Idrissi *et al.* (2015, 2016) ; Gupta *et al.* (2016) et Singh *et al.* (2016).

Ainsi, l'utilisation d'un nombre élevé d'amorces SSR, dans le futur, est d'une utilité importante. Cela permet d'augmenter la fiabilité des résultats, surtout si les profils générés sont reproductibles. En utilisant le même nombre d'amorces, nos résultats sont identiques à ceux de Basu *et al.* (2007) chez le Bambara (*Vigna subterranean* L. Verdc.), une légumineuse africaine négligée, et chez l'Yam (*Dioscorea* spp.) (Silva *et al.*, 2016) , une racine cultivée en région tropicale.

L'analyse du dendrogramme a révélé que quelques accessions Algériennes (ALG30 et ALG16) ont partagé le même profil génétique avec les accessions de l'ICARDA (IG8 et ILL1828). Cela pourrait être expliqué par l'échange de la semence dans le cadre des programmes de recherche supportés par l'ICARDA pour améliorer la lentille. Aussi, il a été constaté que des accessions de même localité sont dispersées à travers tous les groupes formés, c'est le cas des accessions originaires de Tizi-Ouzou (ALG3, ALG4 et ALG30) classées dans différents groupes I, III et IV ; les accessions originaires d'Aïn Témouchent (ALG15 et ALG16) se trouvent au niveau des groupes I et IV.

À noter aussi, que des accessions géographiquement éloignées sont groupées dans le même cluster, l'exemple du groupe III, ce qui suggère que la diversité génétique est indépendante de l'origine géographique. D'après Babayeva *et al.* (2009), cela est dû aux échanges de

germoplasm provenant de différents environnements et souvent partageant des parents communs. De plus, l'intervention humaine pourrait avoir abouti au mouvement de matériel génétique à travers différents endroits, aboutissant à une expansion rapide de la diversité génétique (Bakoume *et al.*, 2015). Pour Fiocchetti *et al.* (2009), ce phénomène pourrait être attribué à l'influence d'activité humaine comme l'échange de graine entre les agriculteurs ou des mélanges variétaux imprévus. Il est aussi intéressant de faire remarquer que la méthode SSR n'a pas différencié entre les deux types de lentilles, *microsperma* et *macrosperma*, les mêmes résultats ont été obtenus par Bacchi *et al.* (2010), en se basant sur les deux systèmes de marqueurs AFLP et SSR.

La différenciation des accessions de la lentille sur la base des résultats moléculaires SSR ne reflète pas les résultats basés sur les critères morfo-agronomiques (Chapitre III). Ainsi, la diversité moléculaire et celle phénotypique sont indépendantes. Selon Dalamu *et al.* (2012), la raison principale de cette différence peut-être, expliquait par le contrôle par plusieurs gènes (effet poly-gènes) des caractères quantitatifs qui sont fortement influencés par l'environnement.

5.Conclusion

Les résultats de la présente étude, ont montré une différence génétique assez élevée entre les accessions de la lentille à l'aide des marqueurs SSRs.

Les différentes accessions ont été isolées dans des groupes à part. Cependant, l'interprétation de quelques cas, de séparation et/ou de rapprochement génétique, reste fortement discutée.

Le rapprochement surprenant observé entre les accessions algériennes et ceux de l'ICARDA pourrait être expliqué par l'échange des semences effectué dans le cadre du programme d'amélioration.

Enfin, pour pouvoir mettre en évidence un polymorphisme plus élevé chez les accessions de la lentille, il serait préférable d'augmenter le nombre des marqueurs microsatellites.

Chapitre V : Synthèse des résultats, conclusion générale et perspectives.

1.Synthèse des résultats

En Algérie, la lentille est l'une des plus importantes légumineuses alimentaires largement consommées par une grande partie de la population. Comparativement à d'autres légumes secs ; cette espèce, ayant d'énormes intérêts socio-économiques et agronomiques, reste encore très peu étudiée.

L'étroite base génétique des variétés et la disparition des variétés dites locales ou paysannes avaient contribué fortement à la perte des ressources génétiques de la lentille. Donc, la collection, la caractérisation et la conservation de germoplasm encore existant sont d'une importance majeure.

L'objectif général de cette thèse est la définition, sur la base morphologique, agronomique et moléculaire, d'une collection de la lentille utile pour la création de nouvelles variétés en Algérie. Pour cela, il a été adopté une **approche multidisciplinaire** qui se base sur des études ethnobotanique, phénotypique et moléculaire.

1.1.Synthèse des résultats de l'enquête ethnobotanique

Une enquête ethnobotanique a été réalisée sur 47 agriculteurs répartis sur 10 wilayas. Les données démographiques ont permis de recenser 30 agriculteurs de sexe masculin (69,20 %) et 17 (30,08 %) de sexe féminin. L'âge des agriculteurs est variable, 20,3 % avaient moins de 45 ans, et à peu près la moitié, 53,3 %, avaient entre 45 et 65 ans, le reste (26,0 %) avait plus de 65 ans.

L'enquête ethnobotanique a montré que les agriculteurs présentent des caractéristiques différentes :

- Le mode de culture de la lentille est soit pure (97,5 %) soit en association (2,5 %) ;
- Les sols sur lesquels la lentille est cultivée sont de type argileux limoneux (87,5 %) et parfois argileux sableux (10 %) ;
- Les contraintes qui entravent la production de la lentille sont d'après les propos d'agriculteurs, dues aux faibles rendements (40 %), aux maladies et attaques des insectes (36 %), ainsi qu'aux faibles précipitations (24 %) ;
- La destination de la récolte est plus pour l'autoconsommation (76 %) que la commercialisation (24 %) ;

- Il y a des agriculteurs qui n'utilisent que les grains (42,66 %), d'autres utilisent les grains et la paille (57,30 %).

1.2. Synthèse de l'évaluation préliminaire de la collection de lentille

Une caractérisation préliminaire avait porté sur les grains de 30 accessions collectées. Les caractères étudiés sont hautement héréditaires, comme la couleur du tégument et la couleur du cotylédon et la forme du grain. Le choix des variétés par les agriculteurs se base sur des caractères visuels et de toucher dont ceux en relation avec les graines.

L'évaluation a permis de préciser les préférences des agriculteurs qui parfois sont liées à la zone de culture et aux conditions agro-climatiques. Huit morphotypes (cinq dans le type *macrosperma* et trois dans le type *microsperma*) ont été distingués.

1.2.1. Dans le groupe macrosperma :

- Le premier morphotype est essentiellement rencontré dans l'Ouest du pays (Tiaret, Sidi Bel-Abbes et Aïn Témouchent), le centre (Médéa, Bouira et Tizi-Ouzou) et le sud (Djanet);
- Le deuxième morphotype est typiquement caractéristique de la région de Bouira ;
- Le troisième morphotype est plus représenté dans les régions de Bouira et Sidi-Bel Abbas ;
- Le quatrième morphotype est une lignée introduite de l'ICARDA, testée dans la région de Médéa.

1.2.2. Dans le groupe microsperma :

- Le premier morphotype est essentiellement rencontré dans l'Ouest du pays (Tiaret, Sidi Bel-Abbas et Aïn Témouchent). Il est aussi présent dans la région centre (Médéa et Bouira) et l'Est du pays (Constantine) ;
- Le deuxième morphotype est exclusivement spécifique à la région de Médéa ;
- Le troisième morphotype est recensé seulement dans deux localités de Sidi-Bel Abbas (Malza et Hassi Zahana).

1.3. Synthèse de la caractérisation agro-morphologique

La collection caractérisée (43 accessions) comprend des accessions locales et d'autres étrangères. La caractérisation agro-morphologique a eu lieu dans deux sites différents Alger et Constantine. Parmi les 23 caractères étudiés, 9 caractères qualitatifs et 6 quantitatifs se sont

avérés les plus importants puisque ce sont ceux qui ont expliqué la plupart de la variabilité observée.

L'interaction génotypes et environnement (GxE) est significative pour seulement six caractères. Donc, pour les 6 autres caractères, la variabilité entre accessions est due à l'effet génotypique seulement. Comme avantage de l'interaction non-significative, on peut sélectionner des idotypes standards dans une des stations (par exemple : ITGC) alors que pour les 6 caractères à interaction positive, il existe une certaine adaptabilité et/ou stabilité des accessions par rapport aux deux sites à prendre en considération.

Des corrélations positives ont été mises en évidence entre la hauteur de la plante avec celle de la première gousse fertile, entre le nombre de grains par plant avec le nombre de grains par gousse, le rendement en grains avec le nombre de grains par gousse et le poids de cent grains. Ce dernier caractère est corrélé avec le diamètre des grains. Une seule corrélation négative a été révélée entre la maturité et l'épaisseur des grains.

Les données quantitatives, traitées par l'analyse en composantes principales, ont permis de distinguer les accessions qui possèdent le bon rendement et le bon nombre de grains par plant (ALG3, ALG7, ALG16, ALG28 et ALG30) de celles qui présentent des plantes plus hautes (ALG12, ALG18, ALG15 et ILL1828).

L'analyse hiérarchique basée, sur la distance euclidienne en utilisant la méthode UPGMA, a permis de classer les accessions en cinq clusters :

- Le cluster 1 contient 12 accessions du type *microsperma* à rendement élevé ;
- Le cluster 2 renferme quatre accessions exclusivement du type *macrosperma* à maturité tardive et de grande taille, avec un poids de cent grains élevé et un grand diamètre des grains ;
- Le troisième cluster formé par 10 accessions exclusivement *microsperma* ;
- Le quatrième cluster formé par 12 accessions dont la majorité est de type *microsperma* ;
- Le cinquième cluster renferme cinq accessions majoritairement de type *macrosperma*.

1.4. Synthèse des résultats de la caractérisation moléculaire

L'analyse moléculaire des accessions a été précédée par le test de trois protocoles d'extraction de l'ADN génomique. L'usage du protocole ICARDA a permis d'obtenir, à partir des feuilles

fraîches de la lentille, des extraits d'ADN de très bonne quantité et de qualité et dont le rapport d'ADN/protéine varié de 1,70 à 2.

L'analyse de trente accessions par les marqueurs SSR a permis significativement leur différenciation. Au total, 14 paires d'amorces ont été testées et seulement 10 paires d'amorces ont été retenues et évaluées pour leur polymorphisme.

Le choix des marqueurs du type SSR s'est fait en raison de leur disponibilité et de leur relative facilité d'emploi, leur distribution sur l'ensemble du génome, leur spécificité de locus, leur caractère co-dominant (on peut distinguer l'homozygote et l'hétérozygote.), mais surtout parce que les microsatellites sont considérés comme des marqueurs neutres, c'est-à-dire non influencés par l'environnement, ce qui est essentiel pour une étude de diversité.

Le dendrogramme construit, à l'issue de l'analyse statistique de ces marqueurs par la méthode UPGMA, a montré un degré élevé de diversité génétique et un réarrangement significatif des accessions. À 35 % de similitude, on a obtenu un cluster composé de cinq groupes. Cependant, les accessions proches génétiquement, mais éloignées géographiquement, seraient le résultat du phénomène de dissémination ou de la dérive génétique.

On a pu constater le partage d'allèles entre quelques accessions algériennes et ceux de l'ICARDA, cela pourrait être expliqué par l'échange de la semence dans le cadre des programmes de recherche supportés par l'ICARDA pour améliorer la lentille.

Ce résultat montre que l'utilisation des marqueurs microsatellites est fiable pour l'identification des accessions de lentille.

2. Conclusion générale et perspectives

2.1. Conclusion générale

La prospection dans les différentes régions de l'Algérie a permis une collecte de différentes accessions de lentille. La collection réalisée est une ébauche d'une future collection nationale de lentille.

Au-delà des actions de conservation, l'établissement d'une large collection de lentille et l'application des techniques modernes d'identification et de caractérisation variétale ouvrent la voie à la sélection assistée par marqueurs moléculaires (SAM).

Cette étude nous a permis de contribuer à une meilleure connaissance de l'espèce *Lens culinaris* et surtout des accessions locales pour une meilleure valorisation et conservation.

Aussi, cette collection et les données de caractérisation devraient contribuer à la production de nouvelles variétés de lentille dont la surface cultivée pourrait s'étendre à des régions plus sèches, dans des sols présentant des problèmes de salinité.

Tandis que l'expression du phénotype peut être influencée par l'environnement, les analyses moléculaires, nous donnent la preuve de la variabilité conservée dans les accessions algériennes.

De plus, cette étude a permis de concilier les efforts isolés de diverses institutions algériennes autour de la problématique des ressources génétiques de la lentille.

2.2. Perspectives

Au meilleur de notre connaissance, ce travail est la première étude d'évaluation des données sur les connaissances ethnobotaniques, morphologique et moléculaire de la lentille en Algérie. Ces informations sont des éléments nécessaires pour la sélection et l'amélioration génétique. Elles permettent aussi une meilleure gestion et une plus grande valorisation de cette ressource phytogénétique encore peu étudiée et dont la diversité est menacée d'érosion.

Sur la base de nos résultats, quelques recommandations peuvent être formulées :

- Les savoirs des agriculteurs recensés peuvent constituer un premier aperçu, des savoirs locaux, qui méritent d'être approfondi car ces savoirs locaux sont nécessaires pour la valorisation et la conservation durable des ressources génétiques de la lentille en Algérie ;
- L'élargissement de la collection de la lentille en y rajoutant de nouvelles accessions provenant de toutes les régions de l'Algérie non étudiées est nécessaire ;
- Des accessions locales de lentille ont montré leur supériorité pour certains caractères agronomiques et méritent d'être utilisées comme géniteur dans les programmes de croisements ou encore comme matériel de base dans la création variétale par mutagenèse et la transformation génétique ;
- Les marqueurs SSR présentent l'avantage d'être cartographiés et donc un nombre plus élevé de ces derniers permettrait de réaliser d'autres applications comme la recherche des gènes candidats et leur utilisation dans des études d'association à des caractères d'intérêt agronomiques chez la lentille, ceci permettrait d'identifier avec plus de précision les régions chromosomiques responsables, par exemple.
- Il serait utile d'étudier la possibilité d'intégrer ce matériel dans des programmes de sélection, visant le développement de variétés adaptées aux environnements des régions

algériennes. D'ailleurs, certaines des accessions sont utilisées dans un projet de recherche en niveau du Centre National de Recherche en Biotechnologie sise à Constantine, pour la détection de QTLs impliqués dans la résistance à la verse et la résistance à la fusariose.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

1. **Abdelguerfi A. et Ramdane S.A.M. 2003.** Bilans des Expertises sur « Menaces pesant sur la diversité biologique ». Projet MATE-GEF/PNUD ALG97/G31, 363p.
2. **Abdelguerfi A., Boukecha D., Laouar M., Zine F. et Bouzid L. 1998.** Les végétaux cultivées (locaux et introduits) cas des céréales, légumes secs, fourrages et arbres fruitiers. Rapport réalisé dans le cadre d'une consultation pour FEM-PNUD et la Direction Générale pour l'Environnement en vue de l'élaboration du projet (ALG 97/G31) sur « Stratégie et plan d'action pour l'utilisation durable de la diversité biologique ». pp. 1-147.
3. **Abdel-Rahman K., Tawaha M. et Turk A. 2002.** Effect of date and rates of sowing on yield and yield component of lentils (*Lens culinaris* Medik.) under semi conditions, *Pakistan Journal of Biological sciences* 5(5):531-532.
4. **Ahmad M., Fautrier A.G., McNeil D.L., Hill G.D. et Burritt D.J. 1997.** In vitro propagation of *Lens* species and their F1 interspecific hybrids. *Plant Cell, Tissue & Organ Cult.* 47: 169–176.
5. **Alghamdi S.S., Khan A.M., Ammar M.H. et El-harty E.H. 2014.** Phenological, nutritional and molecular diversity assessment among 35 introduced lentil (*Lens culinaris* Medik.) genotypes grown in Saudi Arabia. *Int. J. Mol. Sci.* 15: 277–295.
6. **Al-Ghzawi A.A., Bsoul E., Aukour F., Al-Ajlouni Z., Al-Azzam M. et Ajlouni M.M. 2011.** Genetic variation for quantitative traits in Jordanian lentil landraces. *Advances in Environmental Biology* 5(11): 3676–368.
7. **Andeden E.E., Baloch F.S., Çakir E., Toklu F. et Özkan H. 2015.** Development, characterization and mapping of microsatellite markers for lentil (*Lens culinaris* Medik.). *Plant Breeding* 134: 589–598.
8. **Annawe K. 1990.** Etude comparative de quelques lignées de lentille (*Lens esculanta*) pour leurs introductions dans l'amélioration de l'espèce. Thèse d'ingénieure, Institut National d'Enseignement Supérieur, Agro vétérinaire de Tiaret. 59 p.
9. **Amanzougarene S. 2012.** Etude de comportement et de la variabilité chez des populations algériennes de lentille dans la région nord de Sétif. Mémoire en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Agronomie. Département: Productions végétales. Spécialité: Production et Amélioration végétales. Ecole Nationale Supérieure Agronomique El-Harrach (ENSA).58p.
10. **Araya H., Contreras P., Alvina M., Vera G. et Pak N. 2002.** Comparison between an in vitro method to determine carbohydrate digestion rate and the glycemic response in young men. *European Journal of Clinical Nutrition* 56 (8): 735–739.
11. **Asghar M.J., Abbas G., Shah T.M. et Atta A.B.M. 2010.** Study of genetic diversity in some local and exotic lentil (*Lens culinaris* M.) genotypes. *Pak. J. Bot.* 24(4): 2681-2690.
12. **Babayeva S., Akparov Z., Abbasov M., Mammadov A., Zaifzadeh M. et Street Æ.K. 2009.** Diversity analysis of Central Asia and Caucasian lentil (*Lens culinaris* Medik.) germplasm using SSR fingerprinting. *Genet Resour. Crop Evol.* 56: 293–298.

13. **Bacchi M., Leone M., Mercati F., Preiti G., Sunseri F. et Monti M. 2010.** Agronomic Evaluation and Genetic Characterization of Different Accessions in Lentil (*Lens culinaris* Medik.). *Ital. J. Agron. /Riv. Agron* 4:303-314.
14. **Bakhsh A., Ghafoor A. et Malik B.A. 1993.** Genetic variability and correlation in lentil. *Pakistan J. Agric. Res.* 14 (2&3): 246-250.
15. **Bakoume C., Wickneswari R., Siju S., Rajanaidu N., Kushairi A., Billotte N. 2015.** Genetic diversity of the world's largest oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) field gene bank accessions using microsatellite markers. *Genet. Resour. Crop. Evol.* 62(3): 349–360.
16. **Barghi S.B., Mostafah H., Peighami F. et Asghari zakaria R. 2012.** Path analysis of yield and its components in lentil under end season heat condition. *International Journal of Agriculture: Research and review.* Vol.2 (S): 969-974.
17. **Basu, S., Roberts, J.A., Azam-Ali, S.N., and Mayes S. 2007.** Development of microsatellite markers for Bambara groundnut (*Vigna subterranea* (L.) Verdc.) — an underutilized African legume crop species. *Mol. Ecol. Notes*, 7(6): 1326–1328. doi:10.1111/j.1471-8286.2007.01870.x.
18. **Basler F. 1981.** Weeds and their control: lentil crop. In: Webb C. and Hawtin G.C. (eds) *Lentils.* Commonwealth Agricultural Bureau, Slough, UK, pp. 143–154.
19. **Bautista Salas A.N. 2009.** "Caractérisation agro-morphologique et moléculaire d'une collection de landraces péruviennes de pigeonpea (*Cajanus cajan* L. Millsp.) pour l'analyse de sa diversité". FUNDP, Facultés des Sciences, Département de Biologie. Unité de Recherche en Biologie cellulaire et moléculaire Végétale. En vue de l'obtention du grade de Docteur en Sciences, 245p.
20. **Bayaa B., Erskine W. et Hamdi A. 1994.** Response of wild lentil to *Ascochyta fabae* f.sp. *lentis* from Syria. *Genetic Resources and Crop Evolution* 41: 61–65.
21. **Bayaa B., Erskine W. et Hamdi A. 1995.** Evaluation of a wild lentil collection for resistance to vascular wilt. *Genetic Resources and Crop Evolution* 42: 231–235.
22. **Bayrac A.B. 2004.** Optimization of a regeneration and transformation system for lentil (*Lens culinaris*) cotyledonary petioles and epicotyls. Thèse de Master en Science, option Biotechnologie, METU Turquie, 117p.
23. **Bejiga G., Tsegaye S. et Tullu A. 1995.** Stability of seed yield of lentil varieties (*Lens culinaris* Medik.) grown in the Ethiopian highlands. *Crop Research* 9: 337–343.
24. **Bejiga G., Tsegaye S., Tullu A. et Erskine W. 1996.** Quantitative evaluation of Ethiopian landraces of lentil. *Genet Resour. Crop. Evol.* 43: 293–301.
25. **Belabid L. et Fortas Z. 2002.** Virulence and vegetative compatibility of Algerian isolates of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lentis*. *Phytopathol. Mediterr.* 41: 179-187.
26. **Belabid L., Baum M., Fortas Z., Bouznad Z. et Imad E. 2004.** Pathogenic and genetic characterization of Algerian isolates of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lentis* by RAPD and AFLP analysis. *African Journal of Biotechnology* 3 (1): 25-31.
27. **Belattar H. 2007.** Diversité dans la végétation cultivée de la région de Mila: inventaire et caractéristiques biologiques. Thèse pour l'obtention de diplôme de Magistère. Université

- Mentouri Constantine. Faculté Des Sciences de La Nature et de La Vie. Département des Sciences de la Nature et de la Vie.118p.
28. **Benlala M. 1986.** Etude de l'influence de la date et de la dose de semis sur le rendement de la variété de lentille « Syrie 229 », Thèse d'ingénieur en Agronomie appliqués, institut de technologie agricole Mostaganem, 67p.
 29. **Bermejo C., Gatti I., Caballero N., Cravero V., Martin E. et Cointry E. 2014.** Study of diversity in a set of lentil RILs using morphological and molecular markers. *Australian Journal of Crop science* 8(5): 698-696.
 30. **Biçer B.T. 2009.** The effect of seed size on yield and yield components of chickpea and lentil. *African Journal of Biotechnology* 8 (8):1482-1487.
 31. **Biçer T. et Sakar D. 2004.** Genetic variability and heritability for Grain yield and other characters in Lentil. *Journal of Biological Sciences* 4(2):216-218.
 32. **Biçer T. et Sakar D. 2008.** Studies on the variability of lentil genotypes in southeastern Anatolia of Turkey. *Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj.* 36(1): 20–24.
 33. **Boughzouz M. et Sidi Ahmed S. 1993.** Caractérisation du BYMV isolé à partir de la semence de lentille (ILL1918).Thèse Ingénieur, département botanique, ENSA.49p.
 34. **Chouaki S., Bessedik F., Chebouti A., Maamri F., Oumata S., Kheldoun S. et Kheldoun A. 2006.** Deuxième rapport national sur l'état des ressources phylogénétiques. Algeria. FAO (ed.), 92p.
 35. **Chowdhury A.K., Newaz M.A., Nilofar N., Uddin M.S. et Ali M. 1998.** Genotype × environment interaction in lentil. *Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research* 33: 107–111.
 36. **Cicerali I.N. 2004.** Effect of salt stress on antioxidant defense systems of sensitive and resistant cultivars of lentil (*Lens culinaris* M.). Master of Science, Middle East technical university, the department of biotechnology, 90 p.
 37. **Cristóbal M.D. et Herrero B. 2016.** Genetic characterization of Spanish lentil landraces (*Lens culinaris* Medik.) by biochemical markers. *Indian J. Agric Res.* 50(3): 214–219.
 38. **Cubero, J.I. 1981.** Origin, domestication and evolution. In: Webb, C. and Hawtin, G.C. (eds.) Lentils. Commonwealth Agricultural Bureau, Slough, UK, pp. 15–38.
 39. **Cubero I.J., Pérez de la Vega M. et Fratini R. 2009.** Origin, Phylogeny, Domestication and Spread in *The Lentil Botany, Production and Uses*, edited by W. Erskine, F. J. Muehlbauer, Ashutosh Sarker S. Cambridge pp. 13–33.
 40. **Dalamu B.T.K., Gaikwad A.B., Saxena S., Bharadwaj C. et Munshi A.D. 2012.** Morphological and molecular analyses define the genetic diversity of Asian bitter gourd (*Momordica charantia* L.). *Australian Journal of Crop Science* 6(2): 261–267.
 41. **Davis P.E. et Plitmann U. 1970.** *Lens* MILLER, In: (Ed. Davis, P.E.) Flora of Turkey. Edinburgh Univ. Press, Edinburgh.
 42. **Del Castillo Gutierrez C.R. 2008.** Diversité génétique et réponse aux contraintes du climat : une étude de cas à partir de la biologie des populations de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) de Bolivie. Dissertation originale présentée en vue de l'obtention du grade de

- docteur en sciences agronomiques et ingénierie biologique.157p.
43. **Demol J., 2002.** Amélioration des plantes: application aux principales espèces cultivées en régions tropicales. Presses Agronomiques de Gembloux, 2002 - 581 p.
 44. **Dikshit H.K., Singh A. et Singh D. 2015.** Genetic diversity in Lens species revealed by EST and genomic Simple Sequence Repeat Analysis. *PLoS ONE* 10(9):1–15.
 45. **Robert J. H., Luigi G., et Prem M. 2012.** DIVA-GIS version 7.5.0.Manuel, 71p.
 46. **Duke J.A. 1981.** Handbook of Legumes of World Economic Importance. Plenum Press, New York, pp. 52–57.
 47. **Duran Y., et Perez de la vega M. 2004.** Assessment of genetic variation and species relationships in a collection of *Lens* using RAPD and ISSR. *Spanish Journal of Agricultural Research* 2(4): 538-544.
 48. **Dwivedi S.L., Blair M.W., Upadhyaya H.D., Serraj R., Balaji J., Buhariwalla H.K., Ortiz R. et Crouch J.H. 2006.** Using genomics to exploit grain legume biodiversity in plant breeding. In: Janick, J. (ed.) *Plant Breeding Reviews* 26. John Wiley and Sons, Hoboken, New Jersey, USA, pp. 171–357.
 49. **Edwards K., Johnstone C. et Thompson C.1991.** A simple and rapid method for the preparation of plant genomic DNA for PCR analysis. *Nucleic Acids Research*, vol. 19, No. 6, 1349.
 50. **Elwafa, A.A. 1999.** Mean performance and phenotypic stability in lentils (*Lens culinaris* Medik). *Assiut Journal of Agricultural Sciences* 30: 63–76.
 51. **Emami, M.K. et Sharma B. 1996.** Confirmation of di genic inheritance of cotyledon color in lentil (*Lens culinaris*). *Indian J Genet* 56(4): 563–568.
 52. **Emami M.K. et Sharma B. 2000.** Inheritance of black testa colour in lentil (*Lens culinaris* Medik.). *Euphytica* 115: 43–47.
 53. **Erskine W. 1983.** Perspectives in lentil breeding. In: Saxena, M.C. and Varma, S. (eds.) *Faba Beans, Kabuli Chickpeas and Lentils in the 1980s, an International Workshop Proceedings*. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), Aleppo, Syria, pp. 91–100.
 54. **Erskine W. et Witcombe J.R. 1984.** Lentil Germoplasm Catalogue. International Centre for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), Aleppo, Syria.
 55. **Erskine W., Adham Y. et Holly L. 1989.** Geographic distribution of variation in quantitative traits in a world lentil collection, *Euphytica* 43: 97-103.
 56. **Erskine W., Ellis R.H., Summerfield R.J., Roberts E.H. et Hussain A. 1990.** Characterization of responses to temperature and photoperiod for time to flowering I a world lentil collection. *Theoretical and Applied Genetics* 80: 193–199.
 57. **Erskine W. et Goodrich W.J. 1991.** Variability in lentil growth habit. *Crop Science* 31: 1040–1044.
 58. **Erskine W., Saxena N.P. et Saxena, M.C. 1993.** Iron deficiency in lentil: yield loss and geographic distribution in a germoplasm collection. *Plant and Soil* 151: 249–254.

59. Erskine W., Hussain A., Tahir M., Bahksh A., Ellis R.H., Summerfield R.J. et Roberts E.H. 1994. Field evaluation of a model of photothermal flowering responses in a world lentil collection. *Theoretical and Applied Genetics* 88: 423–428.
60. Erskine W., Muehlbauer F.J., Sarker A. et Sharma B. 2009. The Lentil: Botany, production and uses. Wiliam Erskine... [et al.], editors. CAB International, 457p.
61. FAOSTAT, 2017. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Production: crops: 2016, Available online: <http://www.fao.org/faostat/en/#country/4>. Accessed 10 Mars 2017.
62. Favier J.C., Ripert J.I., Toque C. et Feinberg M. 1995. Répertoire général des aliments : Table de composition 2^{ème} Ed. INRA, 897p.
63. Fedoruk M.J., Vandenberg A. et Bett K.E. 2013. Quantitative trait loci analysis of seed quality characteristics in lentil using single nucleotide polymorphism markers. *The Plant Genome* 6: 618- 650.
64. Ferguson M.E. et Robertson L.D. 1996. Genetic diversity and taxonomic relationships within the genus *Lens* as revealed by allozyme polymorphism. *Euphytica* 91: 163-172.
65. Ferguson M.E. et Erskine W. 2001. Lentils (*Lens* L.). In: Maxted, N. and Bennett, S.J. (eds.) Plant Genetic Resources of Legumes in the Mediterranean. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands, pp. 132–157.
66. Ferguson M.E., Newbury J.H., Maxted N., Ford-Lloyd B.V. et Robertson L.D. 1998_a. Population genetic structure in lens taxa revealed by isozyme and RAPD analysis. *Genetic Ressources and crop evolution* 45:549-559.
67. Ferguson M.E., Ford-Lloyd B., Robertson L.D., Maxted N. et Newbury J.H. 1998_b. Mapping the geographical distribution of genetic variation in the genus *Lens* for the enhanced conservation of plant genetic diversity. *Molecular Ecology* 7: 1743-1755.
68. Ferguson M.E., Maxted N., Van Slageren M. et Robertson L.D. 2000. A reassessment of the taxonomy of *Lens* Miller (*Leguminosae*, *Papilionoideae*, *Vicieae*) *Botanical Journal of the Linnean Society* 133: 41–59.
69. Fiala J.V. 2006. Transferring resistance to *Colletotrichum truncatum* from wild lentil species to cultivated lentil species (*Lens culinaris* subsp *culinaris*). MSc. Thesis, University of Saskatchewan, Saskatoon, Canada, 131 pp.
70. Fikiru E., Tesfaye K., and Bekele E. 2007. Genetic diversity and population structure of Ethiopian lentil (*Lens culinaris* Medikus) landraces as revealed by ISSR marker. *African Journal of Biotechnology* 6 (12): 1460-1468.
71. Fikiru M., Firew M., Shiv K., Ahmed S., Sharma T.R. 2016. Molecular Diversity and Population Structure of the Ethiopian Lentil (*Lens Culinaris* Medikus) Genotype Assessment Using SSR Markers. *J. Crop Sci. Biotech.* 2015 (March) 19 (1): 01 -15.
72. Fiocchetti F., Laddomada B., Roselli M., Crino P. et Lucretti S. 2009. Fingerprinting of three typical *macrosperma* Italian lentil (*Lens culinaris* Medik.) landraces using fluorescence-based AFLP markers. *Scientia Horticulturae* 121: 383–387
73. Ford R., Pang E.C.K. et Taylor P.W.J. 1997. Diversity analysis and species identification

- in *Lens* Using PCR generated markers. *Euphytica* 96:247-255.
74. **Fratini R. et Ruiz M.L. 2002.** Comparative study of different cytokines in the induction of morphogenesis in lentil (*Lens culinaris* m.). *In Vitro Cell. Dev. Biol. Plant* 38: 46–51.
75. **Furman, B.J. Coyne C., Redden B., Sharma S.K. et Vishnyakova M. 2009.** Genetic Resources: Collection, Characterization, Conservation and Documentation In *the Lentil Botany, Production and Uses*. W. Erskine, F.J. M.
76. **Gaad D., Laouar M., Abdelguerfi A. 2014.** Morphological and biometrical characterization of seeds of some Algerians lentil accessions: quantitative and qualitative characters. *World Journal of Agricultural Research*, 2 (4): 183-186.
77. **Gaad D., Laouar M., Abdelguerfi A. 2018a.** Collection and Ethno botanical Investigation of Lentil (*Lens Culinaris* Medik.) In Algeria. *Recent Research in Science and Technology*. Vol. 10: 2076-5061.
78. **Gaad D., Laouar M., Gaboun F., Abdelguerfi A. 2018b.** Collection and agro morphological characterization of Algerian accessions of lentil (*Lens culinaris*). *Biodiversitas*, 19 (1): 183-193. ISSN: 1412-033X-E-ISSN: 2085-4722. DOI: 10.13057/biodiv/d190125.
79. **Gaad D., Laouar M., Gaboun F., Abdelguerfi A. 2018c.** Characterization of some Algerians and foreigners accessions of lentil (*Lens culinaris*) by qualitative traits. *Horticultural Biotechnology Research* 2018, 4: 43-47.doi: 10.25081/hbr.2018.v4.3560.
80. **Gaad D., Laouar M., Udupa S.M., McPhee K., Henkrar F., Abdelguerfi A. 2017.** Diversity study of Algerian's Accessions of lentil (*Lens Culinaris* Medik.) by microsatellite markers. *Research on Crops Journal*, 18, 4: 730-735.
81. **Gaffarzadeh-Namazi L., Asghari-Zakaria R., Babaeian N. et Kazemi-Tabar K. 2007.** Comparative study of chromosome morphology and C-banding patterns in several genotypes of *Lens culinaris*. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 10 (11):1811-1816.
82. **Gangasaran G. et Giri G. 1985.** Intercropping of mustard with chickpea, lentil and barley in dry land. *Indian Journal of Agronomy* 30, 244–250.
83. **GENSTAT, 2015.** GenStat for Windows 12th Edition. Logiciel de traitement de données statistique. 2015 VSN International.
84. **Ghalmi N. 2011.** Etude de la diversité génétique de quelques écotypes locaux de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. cultivés en Algérie. Thèse de doctorat en Science. Institut National d'Agriculture (INA), département phytotechnie.177p.
85. **Gupta D.S., Cheng P., Sablok G., Thavarajah D., Thavarajah P., Coyne C. et McGee R. 2016.** Development of a panel of unigene-derived polymorphic EST-SSR markers in lentil using public database information. *The Crop Journal* 4 (5): 425–433.
86. **Haddadj A. 2002.** La formation des nodosités à Rhizobium chez quelques légumineuses cultivées: Aspects chimio taxiques et cellulaires. Thèse magister. INA. El-Harrach. 134p.
87. **Hadj M. et Hachemi D. 1992.** Contribution à l'identification des virus affectant la lentille (*Lens culinaris*).Thèse Ingénieur, département botanique, ENSA. 49p.
88. **Hamdi A. et Rebeia B.M.B. 1991.** Genetic and environmental variation in seed yield, seed

- size and cooking quality of lentil. *Annals of Agricultural Science* 29: 51–60.
89. **Hamdi A. et Erskine W. 1996.** Reaction of wild species of the genus *Lens* to drought. *Euphytica* 91:173–179.
90. **Hamdi A., Küsmenoglu I. et Erskine W. 1996.** Sources of winter hardiness in wild lentil. *Genetic Resources and Crop Evolution* 43: 63–67.
- Hamwiah A., Udupa S., Choumane M.W., Sarker A., Dreyer F., Jung C. et Baum M.**
91. **2005.** A genetic linkage map of *Lens* sp. based on microsatellite and AFLP markers and the localization of fusarium vascular wilt resistance. *Theor. Appl. Genet.* 110: 669–677.
92. **Hamwiah A., Udupa S., Sarker A., Jung C. et Baum M. 2009.** Development of new microsatellite markers and their application in the analysis of genetic diversity in lentils. *Breeding Science* 59:77-86.
93. **Han H. et Baik B.K. 2008.** Antyoxoydant activity and phenolic content of lentil (*Lens culinaris*), cheakpea (*Cicer arietinum* L.), peas (*Pisum sativum* L.) and soyabeans (*Glycin max*) and their quantitative changes during processing. *International Journal of food science and technology* 43: 1971-1978.
94. **Havey M.J. et Muehlbauer F.J. 1989.** Linkages between restriction fragment length, isozyme, and morphological markers in lentil. *Theoretical and Applied Genetics* 77(3): 395–401.
95. **Helbeck H., 1963.** Late Cypriote vegetable diet in Apliki. *Act. nstit. Athen. Reg. Sueciae. Ser. 4: VIII: 171–186.*
96. **Hoque M.E. et Hasan M.M. 2012.** Molecular diversity analysis of lentil (*Lens culinaris* Medik.) through RAPD Markers. *Plant Tissue Cult. and Biotech* 22(1): 51–58.
97. **Hussain M., Hussain Shah S. et Shafi Nazir M. 2002.** Differential Genotypic Response to Phosphorus Application in Lentil (*Lens culinaris* Medik.). *Int. J. Agri. Biol.*, Vol. 4, No. 1 (<http://www.ijab.org>).
98. **Ibrahim M., Erskine W., Hanti G. et Fares A. 1993.** Lodging in lentil as affected by plant population soil moisture and genotype. *Expérimental Agriculture* 29: 201–206.
99. **Idrissi O., Udupa S.M., Houasli C., Keyser E.D., Van Damme P. et Riek J.D. 2015.** Genetic diversity analysis of Moroccan lentil (*Lens culinaris* Medik.) landraces using simple sequence repeat and amplified fragment length polymorphisms reveals functional adaptation towards agro-environmental origins. *Plant Breeding* 134: 322–332.
100. **Idrissi O., Udupa M.S., Keyser E.D., Van Damme P. et Riek J.D. 2016.** Functional genetic diversity analysis and identification of associated simple sequence repeats and amplified fragment length polymorphism markers to drought tolerance in lentil (*Lens culinaris* ssp. *culinaris* Medik.) landraces. *Plant Molecular Biology Reporter* 34: 659–680.
101. **ICARDA, 2005.** Algeria and ICARDA, Twenty five year of collaboration. Ties that Bind number 20.23p.
102. **ICARDA, 2014.** ICARDA-Morocco Min Prep DNA Extraction Procedure. International Center for Research in Dry Area. 2p.
103. **INRAA, 2006.** Rapport national sur l'état des Ressources Phytogénétiques pour

- L'alimentation et l'Agriculture: Deuxième rapport national sur l'état des ressources phytogénétique. INRAA / Juin 2006, 68p.
104. **IPGRI, 1985.** Descriptors for lentil (*Lens culinaris* Medik.). International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy.
 105. **Janas K.M., Zielin, S.T.N. J., Rybaczek D.B.J., Maszewskib, M.M., Posmyk R. et Amarowicz K.A. 2010.** The impact of copper ions on growth, lipid peroxidation, and phenolic compound accumulation and localization in lentil (*Lens culinaris* Medik.) seedlings. *Journal of Plant Physiology* 167: 270–276.
 106. **Jarrigue F. 2009.** Histoire de la famille Jarrigue. Bibliographie personnelle. 86p.
 107. **Jayasundara H.P.S., Thomson B.D. et Tang C. 1998.** Responses of cool season grain legumes to soil abiotic stresses. *Advances in Agronomy* 63, 77–153.
 108. **Jin L., Jian-Ping G., Dong-Xu X., Xiao-Yan Z., Jing G. et Xu-Xiao Z. 2008.** Genetic Diversity and Population Structure in Lentil (*Lens culinaris* Medik.) germoplasm Detected by SSR Markers *Acta Agron Sin*, 2008, 34(11): 1901–1909.
 109. **Kay D. 1979.** Food Legumes. Tropical Products Institute Crop and Products Digest No. 3. Tropical Products Institute, London, UK, pp. 48–71.
 110. **Khan A., Rahim M. et Khan A. 2001.** Performance of exotic lentil varieties under rainfed conditions in Mingora (NWFP). *Pakistan. OnLine Journal of Biological Sciences* 1(5): 343–344.
 111. **Knights E.J. 1987.** Lentil: a potential winter grain legume crop for temperate Australia. *Journal of the Australian Institute of Agricultural Science* 53: 271–280.
 112. **Kouyaté A.M. 2005.** Aspects ethnobotaniques et étude de la variabilité morphologique, biochimique et phénologique de *Detarium microcarpum* guill. & perr au Mali. Thèse de doctorat. Faculty of Bioscience Engineering, Ghent University, Belgium. 207 p.
 113. **Kumar P. 2007.** Genetics of resistance to Stemphylium leaf blight of lentil (*Lens culinaris*) in the cross barimasur-4 × CDC milestone, Masters of Science Thesis, University of Saskatchewan, Saskatoon, 68p.
 114. **Kumar S.R., Sana N.K., Rezaul Karim M. 2004.** Characterization of β -amylase from lentil (*Lens esculenta*) cotyledons. *Pak.Journal of Biological Sciences* 7(6):1050–1056.
 115. **Kumar Y., Mishra S.K., Tyagi M.C., Singh S.P. et Sharma B. 2005.** Linkage between genes for leaf colour, plant pubescence, number of leaflets and plant height in lentil (*Lens culinaris* Medik.). *Euphytica* 145: 41–48.
 116. **Kupicha F.K. 1977.** The delimitation of the tribe Viciae (Leguminosae) and the relationships of Cicer L. *Botanical Journal of the Linnean Society* 74: 131–162.
 117. **Kushwaha U.K.S., Ghimire S.K., Yadav N.K., Ojha B.R. et Niroula R.K. 2015.** Genetic characterization of lentil (*Lens culinaris* L.) germoplasm by using SSR markers. *Agricultural and Biological Sciences Journal* 1(2): 16-26.
 118. **Ladizinsky G. 1979.** The origin of lentil and its wild gene pool. *Euphytica* 28: 179–187.
 119. **Laumont P. 1940.** La lentille d'Algérie- *Doc. et Rens. Agricoles*, Bill. n° 25 - Alger, 1940.

120. **Laumont P. et Chevassus A. 1960.** Note sur l'amélioration de la lentille en Algérie. *Ann. Ins. Agr. des services de recherche et expérimentation agricole de l'Algérie*. Tome II. Fasc.3. Juil.1960.35p.
121. **Lazaro A., Ruiz M., Rosa D. et Mart I. 2001.** Relationships between agro/ morphological characters and climatic parameters in Spanish landraces of lentil (*Lens culinaris* Medik.). *Genetic Resources and Crop Evolution* 48: 239–249.
122. **Leclercq S. 2007.** Origines des séquences microsatellites dans les génomes eucaryotes. Thèse de Doctorat, Universités Montpellier II sciences et techniques du Languedoc, 200p.
123. **Mahmoudian M., Yücel M. et Avni Oktem H. 2002.** Transformation of Lentil (*Lens culinaris* M.) Cotyledonary Nodes by Vacuum Infiltration of *Agrobacterium tumefaciens*. *Plant Molecular Biology Reporter* 20: 251–257.
124. **Maqsood M., Sahid I.Z., Riazat A., Aftab W. et Yousaf N. 2000.** Effect of different phosphorus levels on growth and yield performance of lentil (*Lens culinaris* M.). *Pakistan Journal of Biological Sciences* 3 (3): 523-524.
125. **Marcheny P. et Lagard M.F. 1986.** Prospection et collecte des variétés locale de plantes cultivés: guide pratique. Edition PAGE PAC, 91p.
126. **Materne M.A. 2003.** Importance of phenology and other key factors in improving the adaptation of lentil (*Lens culinaris* Medikus) in Australia. PhD thesis, The University of Western Australia, Perth, Western Australia.
127. **Materne M. et Siddique K.H.M. 2009.** Agro ecology and Crop Adaptation in *The Lentil Botany, Production and Uses*, edited by W. Erskine, F. J. Muehlbauer, Ashutosh Sarker S. Cambridge pp.47-63.
128. **Materne M., McMurray L., Nitschke S., Regan K., Heuk, L., Dean G. et Carpenter D. 2002.** The future of Australian lentil production. In: Brouwer, J.B. (ed.) Proceedings of Lentil Focus 2002, Horsham, Victoria, Australia. Pulse Australia, Sydney, pp. 14–18.
129. **Mebarki L. 2009.** Analyse comparative de la diversité génétique et de la structure des populations chez l'orge (*Hordeum vulgare* L.) à l'aide de marqueurs SSR, DART et du pedigree. Mémoire de maîtrise en biologie végétale. Département de phytologie, faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation université LAVAL, Québec.71p.
130. **Mekonnen F., Mekbib F., Kumar S., Ahmed S. et Sharma T.R. 2015.** Molecular diversity and population structure of the Ethiopian lentil (*Lens culinaris* Medik.) genotype assessment using SSR markers. *J. Crop Sci. Biotech* 19(1): 1–15.
131. **Microsoft Excel, 2013.** Paris, ENI Éditions, coll. « Référence Bureautique », 494 p.
132. **Minitab, 2011.** Minitab Statistical Software Features Minitab Software for Statistics, Process Improvement, Six Sigma, Quality – Minitab. N.p., n.d. Web. 11 Apr. 2011.
133. **Mishra S., Sharma B. et Sharma K.S. 2007.** Genetics and cytogenetics of lentil. In: Yadav S, McNeil DL, Stevenson PC (ed.) *Lentil an ancient crop for modern times*. Springer, the Netherlands, pp 187–208.
134. **Mondal M.M.A., Puteh A.B., Malek M.A., Roy S. et Yusop M.R. 2013.** Contribution of morpho-physiological trait on yield of lentil (*Lens culinaris* Medik.). *Australian Journal of*

crop science 7 (8):1167-1172.

135. **Muehlbauer F.J. et Slinkard A.E. 1983.** Lentil improvement in the Americas. In: Saxena, M.C. and Varma, S. (eds.) Proceedings of the International Workshop on Faba Beans, Kabuli Chickpeas and Lentils in the 1980s, Aleppo, Syria. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), Aleppo, Syria, pp. 351–366.
136. **Muehlbauer F.J. et McPhee K. 2005.** Lentil (*Lens culinaris* Medik.) in Genetic resources, chromosome engineering, and crop improvement. Edited by Singh R.J. Jauhar, pp. 361p.
137. **Muehlbauer F.J., Slinkard A.E. et Wilson V.E. 1980.** Lentil. In: Fehr, W.R. and Hadley, H.H. (eds.) Hybridization of Crop Plants. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA, pp. 417–426.
138. **Muehlbauer F.J., Cubero J.I. et Summerfield R.J. 1985.** Lentil. In: Summerfield, R.J. and Roberts, E.H. (eds.) Grain Legume Crops. Collins, London, UK, pp. 266–311.
139. **Muehlbauer F.J., Kaiser W.J., Clement S.L. et Summerfield R.J. 1995.** Production and breeding of lentil. *Advances in Agronomy* 54: 283–332.
140. **Muench G.1., Slinkard A.E., Scoles G.J. 1991.** Determination of genetic variation and taxonomy in lentil (*Lens* Miller) species by chloroplast DNA. *Euphytica* 56: 213-218.
141. **Najimi B., El-Jaafari S., Jlibène M. et Jacquemin J.M. 2003.** Applications des marqueurs moléculaires dans l'amélioration du blé tendre pour la résistance aux maladies et aux insectes. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 7 (1): 17–35.
142. **Padilla M. 2003.** Alimentation méditerranéennes et héritage. 2^{ème} Conférence Méditerranéenne pour la Coopération Agricole CIHEAM / NAGREF / INRA. Le Caire, 19-20 janvier 2003, 13p.
143. **Perrino P. et Zamanis A. 1977.** Genetic conservation report. IBPGR Mediterranean Program. Expedition to the Hoggar (Algeria), April-May, 1977, 62p.
144. **Perrino P., Polignano G.B. et Porceddu E. 1976.** Rapport in a collection mission to Tunisia and Algeria in June/July 1976. IBPGR Mediterranean programme. 11p.
145. **Piergiovanni A.R. 2000.** The evolution of lentil (*Lens culinaris* Medik.) cultivation in Italy and its effects on the survival of autochthonous populations, *Genetic Resources and Crop Evolution* 47: 305–314.
146. **PNUD, 2011.** Rapport sur le développement humain. Durabilité et équité : Un meilleur avenir pour tous. Programme des Nations Unies pour le développement. Édition et production: Communications Developpements Incorporated, Washington DC.
147. **Polignand G.B. 1978.** North Africa Wheats, Results of an expedition to the Tassili region, Algeria. Germoplasm laboratory-CNR-Bari (Italy), 19p.
148. **Porceddu E. 1975.** Report on the expedition to Algeria. Germoplasm Laboratory-Bari (Italy), 18p.
149. **Pratap A., Kumar J. et Kumar S. 2014.** Evaluation of wild species of lentil for agromorphological traits. *Legume Res.* 37(1):11-18.
150. **Rahman M. et Zafar Y. 2001.** Genotyping of a new strain of lentil (*Lens culinaris*) by

- DNA fingerprinting. *Pak. J. Bot.* 33(4): 423-428.
151. **Rahman M.M., Sarker A., Kumar S., Ali A. et Lutfor M. 2009.** Breeding for short season environments. In Erskine W, Muehlbauer FJ, Sarker A, Sharma B (ed.) *The Lentil: Botany, Production and Uses*. CAB Intern, Cambridge, pp121–136.
 152. **Rai R. et Singh R.P. 1999.** Effect of salt stress on interaction between lentil (*Lens culinaris*) genotypes and *Rhizobium spp.* Strains: symbiotic N₂ fixation in normal and sodic soils. *Biol Fertil Soils.* 29: 187–195.
 153. **Rana M.K., Kumari R., Singh S. et Bhat K.V. 2007.** Genetic analysis of Indian Lentil (*Lens culinaris* Medikus) cultivars and landraces using RAPD and STMS markers. *J. Plant Biochemistry & Biotechnology* 16(1), 53-57.
 154. **Rashmi Vamil A.U.H. et Agnihotri R.K. 2010.** Effect of Osmotic Stress (PEG) on Germination and Seedling Survival of Lentil (*Lens culinaris* Med.). *Research Journal of Agricultural Sciences*, 1(3): 201-204.
 155. **Reddy M.R.K., Rathour R., Kumar N., Katoch P. et Sharma T.R. 2010.** Cross-genera legume SSR markers for analysis of genetic diversity in *Lens* species. *Plant Breeding* 129,514-518.
 156. **Riaz S.M., Shabbir G., Zubir M., Iqbal S.M. et Ali A. 2014.** Genetic Diversity Analysis of morpho-genetic traits in Desi Chickpea (*Cicer arietinum* M.). *International Journal of Agriculture and Biology*16: 956–960.
 157. **Robertson L.D. et Erskine W. 1997.** Lentil In: Fuccillo, D., Sears, L. and Staplton, P. (eds). *Biodiversity in Trust. Conservation and Use of Plant Genetic Resources in Consultative Group of International Agricultural Research (CGIAR) Centers*. Cambridge University Press, London, UK, pp. 128–138.
 158. **Roy S., Islam M.A., Sarker M.Y., Ismail M.R., M.A., Rafii Mondal M.M.A. et Malek M.A. 2012.** Morphological characterization of lentil accessions: Qualitative characters. *Bangladesh J.Bot.*41 (2):187-190.
 159. **Sandhu J.S. et Singh S. 2007.** History and Origin in Lentil: An ancient crop for modern times. Yadav S.S. et al. (Eds.). Springer, 1-9p.
 160. **Sarker A. et Erskine W. 2002.** Lentil production in the traditional lentil world. In: Brouwer, J.B. (ed.) *Proceedings of Lentil Focus 2002*, Horsham, Victoria, Australia. Pulse Australia, Sydney, pp. 35–40.
 161. **SAS, 2016.** SAS®. Software for academic. University Edition. https://www.sas.com/en_us//software/university-edition.html. Version 9.
 162. **Saxena M. 2009.** Plant Morphology, Anatomy and Growth Habit in *The Lentil Botany, Production and Uses*, edited by W. Erskine, F. J. Muehlbauer, Ashutosh Sarker S. Cambridge, pp34-46.
 163. **Scippa G.S., Trupiano D., Rocco M., Viscosi V., Di Michele M., Andrea A.D. et Chiatante D. 2008.** An integrated approach to the characterization of two autochthonous lentil (*Lens culinaris*) landraces of Molise (south-central Italy). *Heredity* 101:136–144.
 164. **Seyedimoradi H., Talebi R. 2014.** Detecting DNA polymorphism and genetic diversity in

- Lentil (*Lens culinaris* Medik.) germplasm: comparison of ISSR and DAMD marker. *Physiol. Mol. Biol. Plants* 20(4): 495–500.
165. **Sharma R.K. 1999.** Stability behaviour of some lentil genotypes under north western Himalayan conditions. *Annals of Agricultural Research* 20: 195–197.
 166. **Sharma S.K., Knox M.R. et Ellis T.H.N. 1996.** AFLP analysis of the diversity and phylogeny of *Lens* and its comparison with RAPD analysis. *Theoretical and Applied Genetics* 93, 751–758.
 167. **Sharpe A.G., Ramsay L., Sanderson L.A., Fedoruk M.J., Clarke W.E., Rong L. Sateesh K., Perumal V., Vandenberg A. et Bett K.E. 2013.** Ancient orphan crop joins modern era: gene-based SNP discovery and mapping in lentil. *BMC Genomics* 14: 1–13.
 168. **Silim S.N., Saxena M.C. et Erskine W. 1993.** Adaptation of lentil to Mediterranean environment. I. Factors affecting yield under drought conditions. *Experimental Agriculture* 29: 9–19.
 169. **Silva L.R.G., Mezette T.F., Nascimento W.F., Silva E.F. et Veasy E.A. 2016.** Spatially structured morphological and molecular diversity among *Dioscorea cayenensis* and *D. R. yam* accessions. *Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization*: 1–14.
 170. **Singh D.P. 2001.** Genetics and Breeding of Pulse Crops. Kalyani Publishers, New Delhi.
 171. **Singh R.J. et Jauhar P.P. 2005.** Genetic resources, chromosome engineering, and crop improvement. *Grain legume*, Volume 1, ed. Taylor and Francis, 376p.
 172. **Singh A.K., Kumar P., Singh J., Rani R., Rani A., Shukla P. et Mishra P. 2014.** Diversity analysis of lentil (*Lens culinaris* M.) germplasm using morphological markers. *Asian Journal of Bio Science* 9(1):39-42.
 173. **Singh D., Singh C.K., Sewak R., Tomar S. et Taunk J. 2016.** Molecular assortment of *Lens* species with different adaptations to drought conditions using SSR markers. *PloS ONE* 11 (1): 1–27.
 174. **Slattery J.F. et Pearce D. 2002.** Development of elite inoculant *Rhizobium* strains in southeastern Australia. In: Herridge, D. (ed.) *Inoculants and Nitrogen Fixation of Legumes in Vietnam*. Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR) Proceedings 109. ACIAR, Canberra, pp. 86–94.
 175. **Solanki I.S. 2001.** Stability of seed yield and its component characters in lentil (*Lens culinaris*). *Indian Journal of Agricultural Sciences* 71, 414–416.
 176. **Solh M. et Erskine W. 1984.** Genetic resources of lentil in *Genetic resources and their exploitation*-Chickpeas, Faba Beans and Lentils. Ed. Witcombes J.R., Erskine W. pp: 205–221.
 177. **Sonnante G. et Pignone D. 2001.** Assessment of genetic variation in a collection of lentil using molecular tools. *Euphytica* 120: 301–307.
 178. **Stat Box, 2016.** Logiciel d'Analyse Statistique, version 6.40. Agrosolution company.
 179. **Sulieman M.A., El Tinay A.H. et Elkhalfifa A.O. 2006.** Solubility as influenced by Ph and NaCl concentration and functional properties of lentil proteins isolate, *Pakistan Journal of*

- Nutrition* 5(6):589-593.
180. **Sulieman M.A., El Tyeb M.M., Abbass M.A., Ibrahim E.E.A., Babiker E.E., El Tinay A.H. 2007.** Changes in Chemical composition, Phytate, phytas activity and minerals extractability of sprouted Lentil cultivars. *Journal of Biological Science* 7(5):776-780.
 181. **Sultana T. et Ghafoor A. 2009.** Botanical and molecular evidences of landraces from the germplasm exclusively collected from Baluchistan, a centre of diversity for *Lens culinaris*, *African Journal of Biotechnology* 8 (20): pp. 5310-5315.
 182. **Sultana T., Ghafoor A. et Ashraf M. 2005.** Genetic divergence in lentil germplasm for botanical descriptors in relation with geographic origin. *Pak. J. Bot.* 37(1): 61-69.
 183. **Summerfield R.J., Ellis R.H. et Crawford P.Q. 1996.** Phenological adaptation to cropping environment from evaluation of descriptors of times to flowering to the genetic characterisation of flowering responses to photoperiod and temperature. *Euphytica* 92: 281–286.
 184. **Summerfield R.J., Roberts E.H., Erskine W. and Ellis R.H. 1985.** Effects of temperature and photoperiod on flowering in lentils (*Lens culinaris* Medic.). *Annals of Botany* 56: 659–671.
 185. **Summerfield R.J., Muehlbauer F.J. et Short R.W. 1989.** Controlled environments as an adjunct to field research on lentils (*Lens culinaris*). Cultivar responses to above- and below-average temperatures during the reproductive period. *Experimental Agriculture* 25: 327–341.
 186. **Takezaki N. et Nei M. 1996.** Genetic distances and reconstruction of phylogenetic tree from microsatellite DNA. *Genetics* 144: 389–399.
 187. **Tamura K., Stecher G., Peterson D., Filipski A. et Kumar S. 2003.** MEGA6: Molecular Evolutionary Genetics Analysis Version 6.0. *Mol. Biol. Evol.* 30(12): 2725–2729 doi:10.1093/molbev/mst197.
 188. **Tewari K., Dikshit H.K., Jain N. et Kumari J. 2012.** Genetic differentiation of wild and cultivated *Lens* based on molecular markers. *J. Plant Biochem* 21(2):198-204.
 189. **Toklu F., Biçer B. et Karaköy T. 2009_a.** Agro-morphological characterization of the Turkish lentil landraces. *African Journal of Biotechnology* 8 (17): 4121-4127.
 190. **Toklu F., Karaköy T., Hakli E., Biçer B., Brandolini A., Kilian B. et Ozkan H. 2009_b.** Genetic variation among lentil (*Lens culinaris* M.) landraces from southeast Turkey. *Plant Breeding* 128 : 178-186.
 191. **Torricelli R., Silveri D.D., Ferradini N., Venora G., Veronesi F. et Russi L. 2012.** Characterization of the lentil landrace santo stefano di sessanio from abruzzo.Italy. *Genet. Ressour. Crop. Evol.* 59:261-276.
 192. **Traulil R. 1935.** Répertoire des noms indigènes des plantes spontanées, cultivées et utilisé dans le nord de l’Afrique. Collection du centenaire de l’Algérie: Etude scientifique (Flore du nord de l’Afrique), Alger 344p.
 193. **Tullu A., Kusmenoglu I., Mcphee K. et Muehlbauer F.J. 2001.** Characterization of core collection of lentil germoplasm for phenology, morphology, seed and straw yields. *Genetic*

- Resources and Crop Evolution* 48: 143–151.
194. **Turk M.N., Abdel Rahman M., Towaha M. et Kyung Dong L. 2004.** Seed germination and seedling growth of three lentil cultivars under moisture stress. *Asian Journal of Plant Sciences* 3 (3): 394-397.
 195. **Upadhyaya H.D., Pundir R.P.S., Gowda C.L.L. et Reddy K.N. 2005.** Geographical patterns of diversity for qualitative and quantitative traits in the Pigeonpea germplasm collection. *Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization* 3(3): 331-352.
 196. **UPOV, 2013.** Lentille: principes directeurs pour la conduite de l'examen de la distinction, de l'homogénéité et de la stabilité. Union internationale pour la protection des obtentions végétales. TG/210/2(proj.4).
 197. **Van Zeist W. et Bottema S. 1971.** Plant husbandry in early neolithic Nea Nikomedeia, Greece. *Acta Bot Neerl.* 20: 521–538.
 198. **Varshney R.K., Graner A., Sorrells M.E. 2016.** Microsatellite markers in plants: Features and applications. *Trends Biotechnol* 23: 48–55.
 199. **Verma P., Sharma T.R., Srivastava S., Abdin P.M.Z. et Bhatia S. 2014.** Exploring genetic variability within lentil (*Lens culinaris* Medik.) and across related legumes using a newly developed set of microsatellite markers. *Mol. Biol. Rep.* 41: 5607–5625.
 200. **Viscosi V., Lalicicco M., Rocco M., Trupiano D., Arena S., Chiatante D., Scaloni A., Scippa G., Stefania M. 2010.** Lentil biodiversity: the characterization of two local landraces. Tools for identifying Biodiversity: Progress and Problems. Eds. Nimis P.L., Vignes Lebbe R. pp: 327-331.
 201. **Weeden N.F., Muehlbauer F.J. et Ladizinsky G. 1992.** Extensive conservation of linkage relationships between pea and lentil genetic maps. *J. Hered.* 83:123–129.
 202. **Williams J.T., Sanchez A.M.C. et Jackson M.T. 1974.** Studies on lentil and their variation. I. The taxonomy of the species. *Sabrao Journal* 6: 133–145.
 203. **Wilson V.E. et Hudson L.W. 1978.** Inheritance of lentil flower colour, *the Journal of Heredity* 69:129-130.
 204. **XLSTAT, 2014.** Logiciel d'analyse de données et de statistiques pour Microsoft Excel® version 13.01.
 205. **Yuzbasioglu E., Ozcan S. et Acik L. 2006.** Analyze of genetic relationships among Turkish cultivars and breeding lines of *Lens culinaris* using RAPD markers. *Genet. Ressour. Crop. Evol.* 53: 507-514.
 206. **Zaccardelli M., Lupo F., Piergiovanni A.R., Laghetti G., Sonnante G., Daminati M.G., Sparvoli F. et Lioi L. 2012.** Characterization of Italian lentil (*Lens culinaris* Medik) germplasm by agronomic traits, biochemical and molecular markers. *Genet. Ressour. Crop. Evol.* 59:727-738.
 207. **Zohary D. 1978.** The Wild Progenitor and the Place of Origin of the Cultivated Lentil: *Lens culinaris*. *Economic botany*: 326-332.

Annexes

Annexe 1: Détails des prospections réalisées sur le terrain et l'évaluation préliminaires.



annexe 1 (a) (Photos de 1 à 6): Prospection sur terrain en 2011 (prélèvement sur pied des échantillons de la lentille dans la région de Sidi Bel Abbas et réalisation des enquêtes ethnobotaniques).

Annexe 1 (b): Les localités du lieu de collecte des accessions de la lentille en Algérie

N	Sites	Villages/ Districts	Wilayat	Nombre d'accessions collectés	Latitude	Longitude	Altitude
01	T. Boukssas	Yakouren/ Azazga	Tizi Ouzou	02	36°42'55"N	04°27'88"E	855
02	A.Teugma	Zekri/ Azazga	Tizi Ouzou	02	36°47'94"N	04°35'96"E	778
03	khebouzia	Khebou/ Aïn Bessem	Bouira	03	36°17'60"N	03°40'01"E	678
04	Ridden	Bir Agbalu	Bouira	01	36°25'60"N	04°20'20"E	887
05	Bouskine	Beni Slimane/Tablat	Médéa	07	36°13'32"N	03°18'46"E	581
06	Ferme Arent	Dahmouni	Tiaret	01	35°25'47"N	01°28'57"E	979
07	Mahdia	Mahdia	Tiaret	02	35°25'53"N	01°45'03"E	865
08	Ferme Pradel	Oued Lilli	Tiaret	01	35°30'43"N	01°16'17"E	518
09	Malza	Hassi Zehana	S. B. Abbas	05	35°10'01"N	(-)0°52'99"E	650
10	Terga	Terga/ El-Maleh	A. Témouchent	01	35°23'24"N	(-)1°06'08"E	971
11	Aoublleli	Aoublleli/Agllal	A. Témouchent	01	35°12'06"N	01°04'09"E	250
12	Beni Fouda	Beni Fouda	Setif	01	36°16'98"N	05°36'00"E	876
13	Bir el Melten	DjebAougub/O.Athma	Mila	01	36°15'69"N	06°22'50"E	486
14	Ain Smara	Baaraoui/ El-Khroub	Constantine	01	36°16'03"N	06°30'05"E	636
15	Djanet	Djanet	Illizi	01	25°00'00"N	09°00'00"E	138
			Total	30			

Annexe 1 (c): Fiche d'identification des échantillons

Organisme de collecte :	<i>Nom de l'organisme ayant réalisé l'expédition</i>
Source de financement de la collecte :	<i>Nom de l'organisme ayant financé la collecte</i>
Identification des collecteur(s) :	
Nom, Prénom :	Organisme: Adresse complète :
Numéro de collecte:	<i>N° attribué au moment de la collecte écrit en alphanumérique.</i>
Date de collecte :	<i>Date à laquelle une origine particulière a été collectée</i>
Lieu de collecte :	
Département :	Commune : Lieu-dit :
Identification du donateur :	<i>Nom de la personne ou de l'organisme ayant donné l'échantillon</i>
Nom, Prénom	Age :
Eventuellement, date d'arrivée dans la localité	Adresse complète :
Origine d'échantillon	Origine à partir de laquelle un échantillon a été obtenu
Champ de cultivateur (CC)	Echantillon de semence du cultivateur
Echantillon sur un marché (EM)	Institution (IN)
Autre origine (AO)	
Type d'origine:	Structure génétique de l'origine
Origine indigène authentique	Semence originale non sélectionné (OI)
Origine indigène authentique non sélectionné, dont la semence a été augmentée par n autofécondations successives(AN)	
Populations réservoirs constituées en mélangeant différents cultivars de même dénomination. (MN)	
Lignée obtenue après n fécondation (LN)	Lignée de sélectionneur obtention expérimentale(LS)
Origine inconnue(IN).	
Nom de la plante cultivée :	
Nom de la variété :	En parler local s'il existe
Statut « taxonomique » au moment de la collecte	
Variété cultivé (VC)	Forme intermédiaire entre sauvage et cultivée (FI)
Forme ou espèce sauvage (FS)	
Pays d'origine :	Pays où l'échantillon a été pour la 1 ère fois collecté
Site de prélèvement (Nombre de Km et direction à partir de plus proche village)	
Altitude :	Indiqué en mètre par rapport au niveau de la mer
Latitude	Exprimé en degrés et minutes avec les suffixes N ou S)
Longitude	Exprimé en degrés et minutes avec les suffixes E ou W
Climat	Climat de la localité ou l'échantillon a été récolté
Pluviométrie	Exprimé en mm
Topographie	
Bas fond	Pleine inondable
Pleine de basse altitude	Colline
Montagneux	Autre (à spécifier)

Annexe 1 (d): Enquête Ethnobotanique et Agronomique

DONNEES ETHNOBOTANIKES

Utilisation de la plante	<i>Préciser la ou les parties utilisées</i>		
Alimentaire:	(préparation, transformation, recettes, etc).		
Autre:	(par exemple : fourragère, textile, ornementale, médicinale, etc).		
Qualités			
Gustatives :	(saveur, texture, ou tout autre particularité de l'aliment, cru ou cuit, avant ou après transformation)		
Autres :			
Pourquoi cette plante est-elle maintenue en culture ?			
	<i>Si elle a disparu, quand en a-t-on abandonné la culture et pourquoi ?</i>		
Depuis quand est-elle cultivée en cet endroit ?			
Connait-on sa provenance géographique ?			
Est-elle très cultivée dans la région (délimiter la zone)			
Pratiques culturales			
Irriguées	Pluviales	Inondées	En repiquage
Système de culture			
Culture pure	Culture associée		
Sol			
Argileux limoneux	Argileux sableux		
Limoneux sableux	Autre (à spécifier)		
Origine des graines, plante, ou autres	<i>amis, voisin, parents, échange, achat, foire, marché, marchand de graines, coopérative agricole, pépiniériste.</i>		
Destination du produit de la récolte	<i>Consommé dans la famille, commercialisé : où, comment, etc)</i>		

Observations complémentaires

DONNEES AGRONOMIQUES

Port général de la plante en végétation	
Hauteur : <i>(préciser les éventuels problèmes particuliers comme la verse)</i>	
Caractéristiques agronomiques et physiologiques	
La plante peut-elle être semée indifféremment à l'automne ou au printemps ?	
Date habituelle de semis:	
Date de floraison :	
Date de récolte :	
Adaptation aux conditions du milieu	
Réaction au froid, à la chaleur, à la sécheresse, aux sols acides, humides, salés, etc. : <i>(préciser la nature du sol sur le lieu de collecte).</i>	
Réactions aux parasites et aux maladies	
Sensibilité ou résistance: <i>(préciser, si possible, les noms et les symptômes: oidium, anthracnose, etc.).</i>	
Façons culturales	
Préparation du sol, irrigation, fumure, particularités éventuelles	
Mode de multiplication habituel	
La semence est-elle achetée : jamais, régulièrement, occasionnellement ? A quel endroit ?	
Si la semence est produite sur place, comment les individus sont-ils choisis pour la multiplication ?	
<i>Prélèvement dans la récolte, sélection au champ des plus beaux pieds, etc.)</i>	
Existe-t-il des cultures de même nature à proximité ?	
Prend-on des précautions particulières pour l'isolement de la culture ?	
Conservation des semences:	<i>Préciser la durée et les conditions de stockage</i>

Annexe 1 (e): Liste des 20 accessions de la collection témoin incluse dans l'évaluation préliminaires et leurs caractéristiques.

N	Code Accessions	Nome Accessions	Statut Taxinomique	Site/Pays	Type de grain	Organisme envois
01	PI297287	L. E. seleccionadas	Variété cultivée	Buenos-Ai/Argentine	Macrosperma	USDA
02	ILL5722	Digger	Variété cultivée	Victoria/Australie	Microsperma	ATFCC
03	ILL5728	Cobber	Variété cultivée	Victoria/Australie	Microsperma	ATFCC
04	ILL5823	Matilda	Variété cultivée	Victoria/Australie	Microsperma	ATFCC
05	ILL7180	Nugget	Variété cultivée	Victoria/Australie	Microsperma	ATFCC
06	Inconnue	Cassab	Variété cultivée	Victoria/Australie	Microsperma	ATFCC
07	V69-10010	Flash	Variété cultivée	Victoria/Australie	Microsperma	ATFCC
08	IG1828	Inconnue	Variété cultivée	Bio-Bio/Chili	Macrosperma	ICARDA
09	PI533690	Pardina	Variété cultivée	Inconnue/ Espagne	Microsperma	USDA
10	PI472126	33-069-00008	Variété cultivée	Uttar Pradesh/Inde	Microsperma	USDA
11	PI374119	ILL1940	Ligné	Inconnue/Maroc	Microsperma	USDA
12	PI374120	ILL1941	Ligné	Inconnue/Maroc	Macrosperma	USDA
13	IG5511	Inconnue	Variété cultivée	Al-Hasakah /Syrie	Microsperma	ICARDA
14	IG26	Inconnue	Variété cultivée	Homs/Syrie	Macrosperma	ICARDA
15	IG572	Inconnue	Variété cultivée	Tunceli/Turquie	Microsperma	ICARDA
16	IG5514	Inconnue	Variété cultivée	Antalaya/Turquie	Microsperma	ICARDA
17	PI486127	Inconnue	Inconnue	Washington /USA	Macrosperma	USDA
18	PI619099	Masson	Variété cultivée	Washington / USA	Macrosperma	USDA
19	PI320936	Daghestan	Inconnue	Inconnue/Russie	Microsperma	USDA
20	IG5511	Inconnue	Variété cultivée	Antalaya/Turquie	Microsperma	ICARDA

Annexe 2 : Détail sur l'évaluation agro morphologiques de 44 accessions de la lentille.

Annexe 2 (a) (Photos 7 à 11) : La mise en place des deux essais expérimentaux à Alger (7 et 8) et Constantine (9 à 11).



Annexe 2 (b) : Suivi de deux essais en plein champs.**Photo 12 :** Vue d'ensemble de l'essai en plein champ installé à Alger le 22 Avril 2012.**Photo 13 :** Micro parcelle de la lentille au stade plantule le 25 février 2013 à Constantine.**Photos 14 et 15 :** Micro parcelle de la lentille en plein floraison le 22 avril 2012 à Alger.



Photos 16 et 17 : Des symptômes de la fusariose sont observés sur le site d'Alger, provoquant de coloration jaunâtre des feuilles de quelques plants (23/04/2012).



Photos 18 à 22 : Les récoltes sont faites par plant individuel puis glissés dans les sachets kraft (25/06/2012 et 25/06/ 2013).

Annexe 2 (c) : Liste des 26 accessions de la collection témoin incluse dans l'évaluation agro morphologique et leurs caractéristiques.

N	Code Accessions	Nome Accessions	Statut Taxinomique	Site/Pays	Type de grain	Organisme envois
01	IG4872		Variété cultivée	Inconnue/Afghanistan	Microsperma	ICARDA
02	PI297287	L. E. seleccionadas	Variété cultivée	Buenos-Ai/Argentine	Macrosperma	USDA
03	ILL5722	Digger	Variété cultivée	Victoria/Australie	Microsperma	ATFCC
04	ILL5728	Cobber	Variété cultivée	Victoria/Australie	Microsperma	ATFCC
05	ILL5823	Matilda	Variété cultivée	Victoria/Australie	Microsperma	ATFCC
06	ILL7180	Nugget	Variété cultivée	Victoria/Australie	Microsperma	ATFCC
07	Inconnue	Cassab	Variété cultivée	Victoria/Australie	Microsperma	ATFCC
08	V69-10010	Flash	Variété cultivée	Victoria/Australie	Microsperma	ATFCC
09	PI468902	P. Ibiruba	Variété cultivée	Rio Grand /Brazil	Microsperma	USDA
10	IG1828	Inconnue	Variété cultivée	Bio-Bio/Chili	Macrosperma	ICARDA
11	IG1647	Inconnue	Inconnue	Inconnue/Colombie	Macrosperma	ICARDA
12	PI533690	Pardina	Variété cultivée	Inconnue/ Espagne	Microsperma	USDA
13	PI490289	Mariette	Variété cultivée	Inconnue/France	Macrosperma	USDA
14	PI320937	ILL505	Ligné	Inconnue/Allemagne	Microsperma	USDA
15	PI472126	33-069-00008	Variété cultivée	Uttar Pradesh/Inde	Microsperma	USDA
16	PI431640	ILL1017	Ligné	Inconnue/Iran	Microsperma	USDA
17	IG5160	Inconnue	Variété cultivée	Irbid/Jordanie	Microsperma	ICARDA
18	PI374119	ILL1940	Ligné	Inconnue/Maroc	Microsperma	USDA
19	PI374120	ILL1941	Ligné	Inconnue/Maroc	Macrosperma	USDA
20	IG5511	Inconnue	Variété cultivée	Al-Hasakah /Syrie	Microsperma	ICARDA
21	IG26	Inconnue	Variété cultivée	Homs/Syrie	Macrosperma	ICARDA
22	IG572	Inconnue	Variété cultivée	Tunceli/Turquie	Microsperma	ICARDA
23	IG5514	Inconnue	Variété cultivée	Antalaya/Turquie	Microsperma	ICARDA
24	PI486127	Inconnue	Inconnue	Washington /USA	Macrosperma	USDA
25	PI619099	Masson	Variété cultivée	Washington / USA	Macrosperma	USDA
26	PI320936	Daghestan	Inconnue	Inconnue/Russie	Microsperma	USDA

Annexe 2 (d) : Analyse de la variance des 12 caractères quantitatifs étudiés pour les deux sites séparés (le degré de liberté entre parenthèse).

Source of variation	LEV (jours)	DFL (jours)	DTM (jours)	HTP (cm)	HPG (cm)	NGsP (no)	NGG (no)	NGrP (no)	PCG (g)	DGR (mm)	EPS (mm)	RDP (g)
Alger												
Model (ddl=57)	68.92 0.0002	76.54 0.2567	55.02 <.0001	0.4117 <.0001	11.20 0.0019	42270.9 0.5135	0.153 0.6756	132859. 0.6415	1.74 <.0001	1.73 <.0001	0.14 <.0001	354.67 0.1926
Erreur (ddl=113)	31.18	66.29	0.83	17.20	5.88	42851.0	0.171	145342.	0.30	0.11	0.01	292.609
R ²	0.52	0.36	0.97	0.84	0.49	0.33	0.31	0.31	0.74	0.88	0.78	0.37
Accessions (ddl=42)	66.33 0.0009	81.97 0.1895	74.37 <.0001	240.29 <.0001	13.64 0.0002	42772.5 0.4872	0.161 0.5719	126784. 0.6872	1.8962 <.0001	2.30230825 <.0001	0.1859769 <.0001	336.921 0.27608
Répétitions (ddl=3)	47.58 0.21	129.73 0.1245	0.84 0.3938	66.31 0.0114	1.82 0.8181	39821.8 0.4291	0.2244 0.2743	105262. 0.5396	4.5961 <.0001	0.10850030 0.4124	0.0142802 0.5439	40.2889 0.0395
Blocks x Répétitions (ddl=12)	83.32 0.0034	44.23 0.7794	0.87 0.4117	14.24 0.6214	5.013 0.5967	41127.2 0.4913	0.1051 0.8265	161023. 0.3608	0.51586 0.0830	0.17143986 0.1259	0.024033 0.2872	295.422 0.4450
Constantine												
Model (ddl=57)	67.63 0.2083	25.55 0.0109	21.12 0.0171	30.5109 0.0657	7.44 0.0285	56330.4 0.8865	0.14 0.5507	220622. 0.6476	2.448342 <.0001	1.61 <.0001	0.12 <.0001	244.98 0.3980
Erreur (ddl=110)	56.44	15.28	13.14	21.75	4.86	75291.3	0.15085	242328	0.80	0.24	0.02	232.10
R ²	0.38	0.46	0.45	0.42	0.44	0.27	0.33	0.32	0.61	0.77	0.71	0.35
Accessions (ddl=42)	77.91 0.0936	21.08 0.0941	22.96 0.0111	34.36 0.0308	8.85 0.0070	53413.9 0.8961	0.16 0.3446	235261. 0.5304	3.11 <.0001	2.03 <.0001	0.15 <.0001	260.88 0.3099
Répétitions (ddl=3)	35.88 0.59	143.89 <.0001	19.01 0.2332	18.20 0.4766	9.72 0.1181	136286. 0.1495	0.05 0.7889	293837. 0.3087	0.75 0.4262	1.91 <.0001	0.03 0.2574	241.77 0.3772
Blocks x Répétitions (ddl=12)	39.57 0.7475	11.628 0.6889	15.22 0.3221	20.10 0.5258	1.96 0.9590	46549.2 0.8228	0.09936 0.7871	151080. 0.8184	0.556087 0.7568	0.07 0.9866	0.03 0.3045	190.161 0.6302

Annexe 2 (e) : Analyse de la variance des 12 caractères quantitatifs étudiés pour les deux sites combinée (le degré de liberté entre parenthèse).

Source of variation	LEV (jours)	DFL (jours)	DTM (jours)	HTP (cm)	HPG (cm)	NGsP (no)	NGG (no)	NGrP (no)	PCG (g)	DGR (mm)	EPS (mm)	RDP (g)
Model (ddl=100)	92.79658 <.0001	107.47882 <.0001	744.57725 <.0001	144.443 <.0001	12.9902 <.0001	56439.9 0.5144	0.14767 0.7018	204653. 0.30051	2.928352 <.0001	2.0983974 <.0001	0.1536696 <.0001	327.525 0.0716
Erreur (ddl=238)	45.02114	42.75556	7.05158	19.7946	5.21845	57005.5	0.16220	88173.2	0.565974	0.1830570	0.0226626	257.749
R ²	0.46	0.51	0.97	0.75	0.51	0.29	0.27	0.31	0.68	0.82	0.74	0.34807
Site (ddl=1)	2477.772972 <.0001	5931.06341 <.0001	70254.469 <.0001	2616.54 <.0001	278.349 <.0001	466838. 0.0046	0.40910 0.1136	202235. 0.0012	64.94793 <.0001	22.7283376 <.0001	0.5075231 <.0001	1320.14 0.0245
Accessions (ddl=42)	61.015 0.0835	63.493109 0.0360	64.74889 <.0001	151.748 <.0001	11.5670 <.0001	57205.0 0.472	0.18762 0.2485	207843. 0.31591	3.370283 <.0001	3.2280683 <.0001	0.2290791 <.0001	325.236 0.1441
Site x Accessions (ddl=42)	83.236280 0.0023	39.565818 0.6058	32.58913 <.0001	122.908 <.0001	10.9315 0.0003	38981.4 0.9301	0.13957 0.7147	54203.0 0.7777	1.63605 <.0001	1.1135389 <.0001	0.1125263 <.0001	272.566 0.3850
Répétitions (ddl=3)	27.356628 0.6106	79.307536 0.1379	8.85907 0.2901	26.6562 0.2599	5.3774 0.3798	141468. 0.0616	0.05623 0.7916	325545. 0.1615	3.99059 0.0001	1.2387278 0.0002	0.0434062 0.1277	940.674 0.0133
Blocks x Répétitions (ddl=12)	55.102585 0.2671	20.868427 0.9207	7.37344 0.4077	17.6887 0.5542	4.9671 0.4959	59410.1 0.4108	0.03725 0.9968	188377. 0.4486	0.470791 0.6175	0.0873100 0.9271	0.0318155 0.1646	291.892 0.3344

Annexe 2 (f) : Fréquence des caractères qualitatifs prise en compte dans l'évaluation agro morphologique.

Stat.	PMT		TPR		CFL		SVE		TPR			CFE		TFL		FLG				
	Alger																			
Modalité	1	9	1	3	5	1	3	1	9	1	3	5	3	5	7	3	5	7	1	2
Effectif	100	71	62	66	43	85	86	123	48	62	66	43	64	33	74	33	64	74	95	76
%	58,4	41,5	36,26	38,6	25,1	49,7	50,2	71,9	28,0	36,26	38,60	25,1	37,4	19,3	43,2	19,3	37,4	43,2	55,5	44,4
	Constantine																			
Modalité	1	9	1	3	5	1	3	1	9	1	3	5	3	5	7	3	5	7	1	2
Effectif	90	78	21	74	73	36	132	69	99	21	74	73	36	25	107	25	36	107	108	60
%	53,5	46,4	12,50	44,0	43,4	21,4	78,5	41,0	58,9	12,50	44,05	43,4	21,4	14,8	63,6	14,8	21,4	63,6	64,2	35,7

Annexe 3 : Détails sur la caractérisation moléculaire de 30 accessions de la lentille.

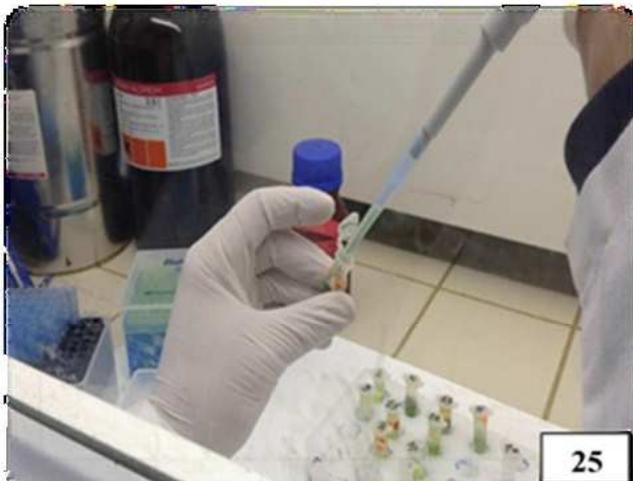
Annexe 3 (a) : Les étapes de l'extraction de l'ADN.



23



24



25



26



27



28

Photos 23 à 28 : Les différentes étapes de l'extraction d'ADN.

Annexe 3 (b) : Protocoles d'extraction d'ADN testés.

1. Protocole de Torres *et al.*, (1993 cités par Babayeva *et al.*, 2009).

Avant de commencer :

Prélever les jeunes feuilles et les mettre à sécher pendant 12 heures dans l'étuve à 65°C. Broyer les jeunes feuilles (environ 100 mg) avec des billes à l'aide d'un agitateur vortex afin d'obtenir une poudre fine. Ou bien utiliser le mortier et l'azote liquide Ou bien tissu lyser. Transférer la poudre à l'aide d'une spatule dans le tube eppendorf 2 ml. Allumer le bain mari et s'assurer qu'il atteint 65°C. Vérifier que vous avez préparé assez de solution : CTAB buffer, Isoporpanol, 70% éthanol et TE buffer.

Protocole

- Ajouté aux tubes 500 µl de **tampon d'extraction** pour disloquer les cellules complètement ;
- Vortex pendent 5 min;
- Placer les tubes dans le bain marie va et vient (65°C) pendant **30 mn**;
- Retirer les tubes du bain marie, les laisser refroidir;
- Se placer sous la Sorbonne, ajouté 500µl de **chloroforme iso-amyle alcool** (24 :1), agiter par retournement pendant environ 5min;
- Centrifuger dans la centrifugeuse **10min** à 1 3 000tr/10min;
- Se placer sous la Sorbonne, transférer dans un autre tube de 1.5ml, la phase supérieure contenant l'ADN et jeter la phase inférieure (phase chloroformique);
- Ajouté 100 µl **d'ammonium acétate** suivi de 500 µl de l'**Isopropanol** (conservé à -20°C) au surnageant récupérer avec la pipette distributrice faire agiter à la main les tubes (15min). Puis laisser précipiter pendant 30 min à 4°C;
- Centrifuger pendant 8min à 8000Tr/min;
- Jeter le surnage dans déchets Isopropanol;
- Ajouter 700 µl **d'éthanol 70%** et faire agiter à la main les tubes 5 à 10 fois;
- Centrifuger pendent 1 minute at 1600tr;
- Jeter le surnageant (en versant directement à partir du tube);
- Ajouter 700µl **d'Ethanol 96%** (pour rinçage du culot);
- Centrifuger dans la centrifugeuse 1min à 16 000tr/min;
- Jeter le surnageant (en renversant le tube);
- Faire sécher sous la hotte pendant 30 mn;
- Suspendre le culot dans 100 µl de TE;
- Laisser au réfrigérateur toute la nuit (4°C.) ; le lendemain congeler à- 20°C.

2. Protocole d'Edwards *et al.* (1993)

Avant de commencer:

Serrer le bouchon d'un tube Eppendorf stérile sur les jeunes feuilles à prélever pour former un disque à mettre dans le tube, pour assurer un prélèvement uniforme des échantillons et réduire les contaminations engendrées par les manipulations par les mains. Broyer dans le même tube les jeunes feuilles avec des billes à l'aide d'un agitateur vortex afin d'obtenir une poudre fine ou bien tissu lyser.

Protocole

- Ajouter aux tubes 400 µl de tampon d'extraction (200 mM Tris HCl pH 7.5, 250 mM NaCl, 25 mM EDTA, 0.5 % SDS);
- Vortex pendant 5 min;
- Laisser pendant une heure dans une température ambiante pour permettre une extraction efficace
- Centrifuger dans la centrifugeuse 1min à 13 000tr/min;
- Transférer 300 µl de surnageant dans le tube eppendorf 2 ml;
- Le surnageant est mélangé avec 300 µl d'isopropanol, puis laissé pendant 2min à une température ambiante;
- Centrifuger dans la centrifugeuse 5 min à 13 000tr;
- Jeter le surnageant (en renversant le tube);
- Faire sécher le culot sous la hotte;
- Suspendre le culot dans 100 µl de TE;
- Conserver le stock ADN à 4 ° C.

3. Protocole ICARDA

- Préchauffer le mortier et le pastel à 65 °C;
- Préchauffer la solution CTAB solution dans un bain marie à 65 °C;
- Ecraser 50-100 mg des jeunes feuilles. Puis, ajouter 1500 µl de la solution CTAB et continuer à écraser;
- Incuber le contenu dans un bain marie à 65 °C pendant 45 – 60 min. Mélangé doucement tous les 15 à 20 min;
- Après incubation, ajouter 500 µl de chloroforme iso amyle-alcool. Mélanger vigoureusement pendant 15 min;

- Centrifugé à 13000 tours pendant 15 min (à une température ambiante);
- Prélever 1 ml de surnagent dans un autre tube eppendorf (capacité 1.5 ml);
- Ajouter 666 µl of isopropanol et mélange bien. Laisser précipiter l'ADN pendant 30 min à une température ambiante;
- Centrifuger à 13000 tours pour 10 min;
- Récupérer le culot et jeter le surnagent;
- Laver le culot avec 1 ml de 70% éthanol;
- Centrifuger à 13000 tours pour 5 min;
- Jeter le surnagent et sécher le culot;
- Suspendre le culot dans 100 µl de 0.5 x TE solution et conserver le stock ADN à 4 ° C.

Annexe 3 (d) : Préparation des solutions tampons

Tampon de l'extraction ADN : Pour 100 ml (à stocker au frigo)

Quantités :

2 g de CTAB.

10 ml de Tris-HCL 1M PH8.

28 ml de Nacl 5M (1M = 58,44 g, 25 mM = 1,461 g).

4 ml d'EDTA 0.5M PH8 (1mM EDTA, 1M = 292, 24 g, 1mM = 0, 29224 g).

10 ml de Tris-HCL 1M PH8.

Pour 10 ml en pèse 1,21g de Tris, ajuster à PH8 avec HCL.

28 ml de Nacl 5M.

Pour 28 ml on pèse 8,18g de Nacl ajuster à PH8 avec HCL.

4 ml d'EDTA 0.5M PH8.

Pour 4 ml on pèse 0,58g d'EDTA ajuster à PH8 avec HCL.

Solution de nettoyage : Ethanol 70 % à partir d'Ethanol 96 %.

100 ml Ethanol absolu (96%).

40,85ml d'eau distillé.

Le Tampon TBE (pour Tris, Borate, EDTA).

TBE 10x: Solution mère concentrée dix fois, à diluer pour obtenir la concentration désirée.

TBE 0,5x: solution prête à l'emploi.

Pour la préparation d'un tampon TBE (1x) pH 8,0 peser:

10,78 g (89 mM) TRIS.

5,50 g (89 mM) Acide borique.

0,58 g (2 mM) EDTA disodium salt.

Le Tampon TAE (pour Tris, Acétate, EDTA).

TAE 50x : Solution mère concentrée cinquante fois, à diluer pour obtenir la concentration désirée.

TAE 10x : Solution mère concentrée dix fois, à diluer pour obtenir la concentration désirée.

TAE 1x : Solution prête à l'emploi.

Pour la préparation d'un litre de solution stock concentrée cinquante fois (50x) de tampon TAE pH 8,5 peser:

242 g Tris Base.

57,1 ml acide acétique glacial 100 %.

100 ml EDTA 0,5M ou 18,6 gr EDTA.

Quantité suffisante pour 1000 ml d'eau distillée (~800mL) et ajuster le Ph puis autoclave

Annexe 3 (c) : Préparation du gel d'agarose à 1%.

Composants	Quantités
Agarose	3,75 g
TBE	125 ml
BET	10 µl

Annexe 3 (e) : Révélation sur gel d'agarose (1%) de l'ADN génomique.

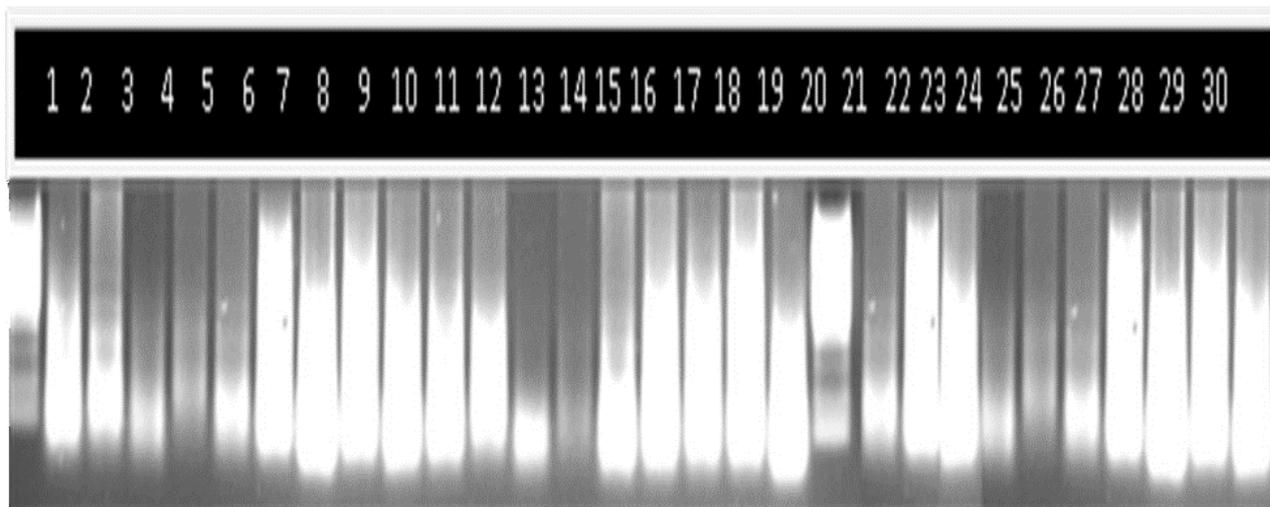


Photo 1 : Application de protocole d'Edwards *et al.* (1993).

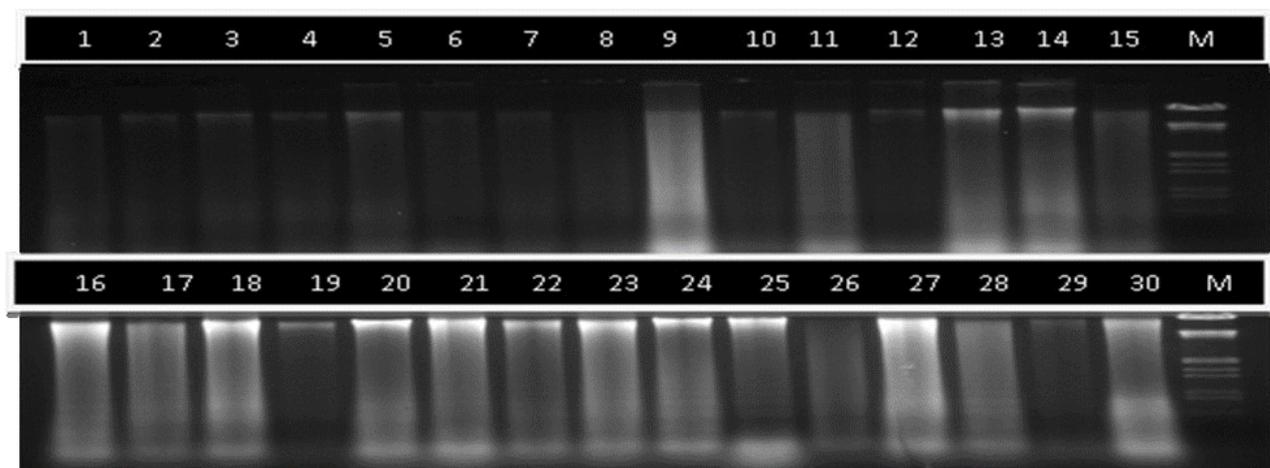


Photo 2 : Application de protocole de Torres *et al.*, (1993 in Babayeva *et al.*, 2009).

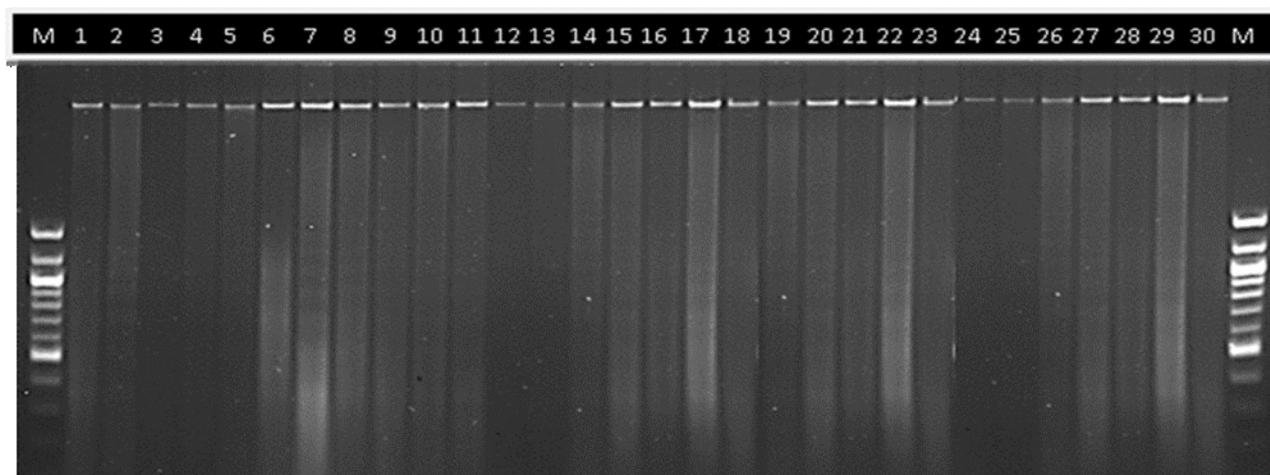


Photo 3 : Application de protocole de l'ICARDA (ICARDA, 2014).

Annexe 3 (f) : Les différentes étapes de la PCR.*Préparations des échantillons*

1. Diluer 40 µl d'ADN dans 160 µl d'eau afin d'avoir une solution de travail de 200 µl.
3. Centrifuger la solution de travail pendant 30 sec à une vitesse maximale.
4. Passer les échantillons au vortex pendant quelques secondes.

Préparation des dNTP

Mélanger 25 µl chaque dNTP (dATP, dCTP, dGTP, dTTP) dans un tube et compléter avec 900 µl d'eau pour avoir un volume final de 1000 µl.

Préparation des amorces ou primer mix

Amorces	F (Forward) (µl)	R (Reverse) (µl)	Eau (µl)	Volume Final (µl)
SSR lyophilisé	50	50	400	500

Préparation le PCR Master Mix (8 µl)

Composants	Quantités (µl)
Tampon PCR (x10)	02
MgCl ₂ (25mM)	0,6
dNTP (0.2mM)	01
Amorce (10 pmol) F+R	01
Taq polymérase (5U/ µl)	0,03
H ₂ O	3,37

Les produits PCR pour amplification

Composants	Quantités (µl)
ADN	2
Master Mix	8
Total	10

Préparation du gel polyacrylamide à 6 %

Composants	Quantités (µl)
Acrylamid	3,75 g
Polyacrylamid	125 ml
BET	10 µl

Annexe 3 (g) : Profil génomiques générés par les amorces SSR sur l'ADN de 30 accessions de la lentille.

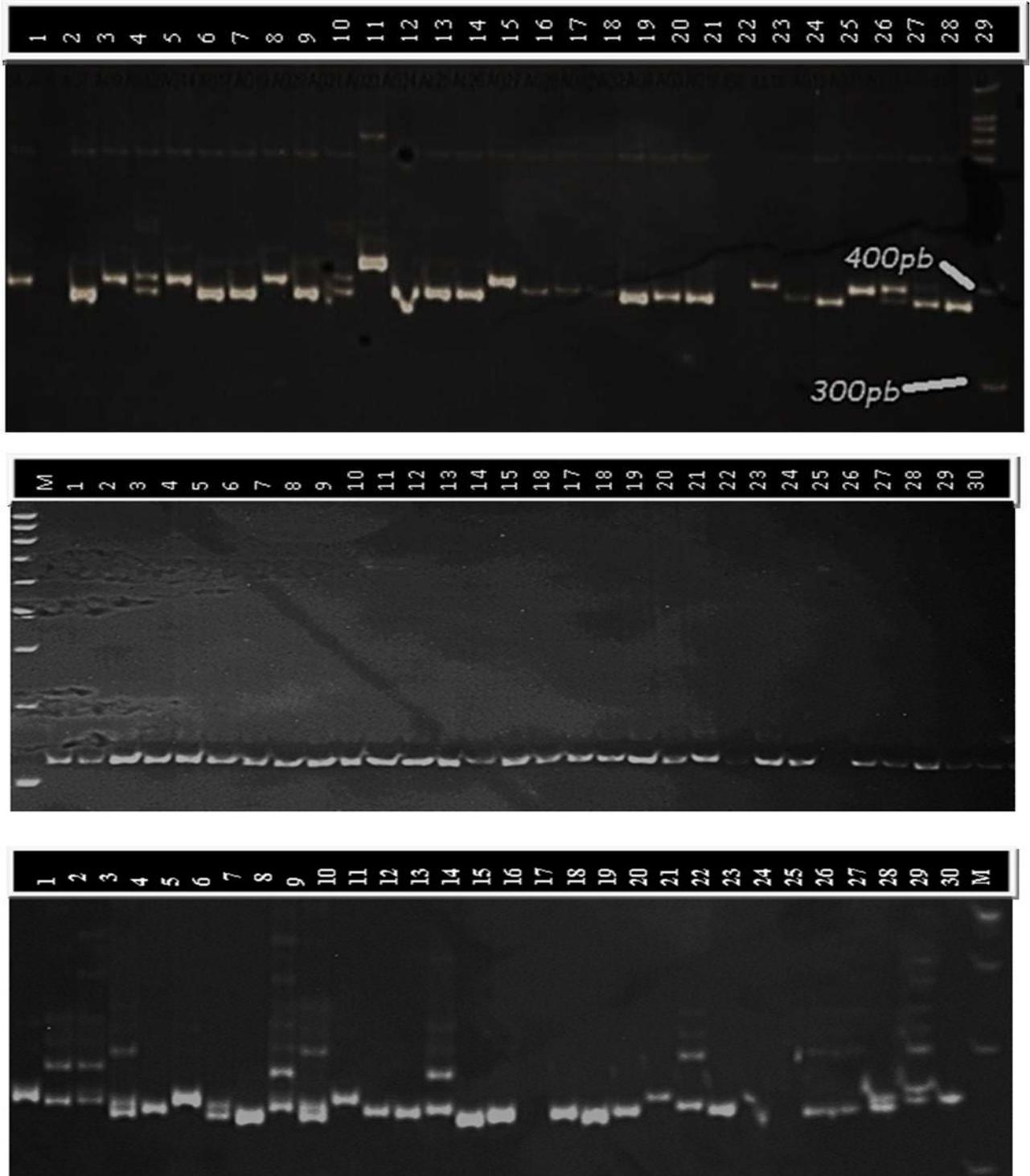


Photo 1 : a) SSR72, **Photo 2 :** SSR132N, **Photo 3 :** c) SSR202

Annexe 3 (h): Code des 30 accessions incluses dans l'analyse moléculaire.

ALG2 (1), ALG3(2), ALG4(3), ALG5 (4), ALG6(5), ALG7(6), ALG8(7), ALG9(8), ALG12(9), ALG14(10), ALG15(11), ALG16(12), ALG17(13), ALG18(14), ALG19(15), ALG20(16), ALG21 (17), ALG22 (18), ALG23 (19), ALG24 (20), ALG25 (21), ALG26(22), ALG27 (23), ALG28 (24), ALG30 (25), ALG31 (26), ALG32 (27), IG8(28), IG26 (29), ILL1828 (30). M : marqueur de taille 100pb.



REGULAR ARTICLE

COLLECTION AND ETHNOBOTANICAL INVESTIGATION OF LENTIL (*LENS CULINARIS* MEDIK) IN ALGERIA

D. GAAD^{1,2}, M. LAOUAR¹, A. ABDELGUERFI¹

¹Department of Phytotechnie, National Height School of Agriculture, Algiers, Algeria

²Division of Agriculture and Biotechnology, National Research Center for Biotechnology, Constantine, Algeria

ABSTRACT

The present investigation was done to prepare an inventory of lentil crop in Algeria. Surveys and collection of lentil accessions were conducted in different agro-ecological zones of Algeria in 2011. From ten regions (Departments), fifteen villages were surveyed and 30 lentil accessions were collected. The present study was carried out to survey, identify and document the uses of lentil accessions collected. The information on ethnobotanical uses was collected through semi-structured questionnaires with local villagers, elders and those people having knowledge associated with the production and utilization of lentil (*Lens culinaris*). The study revealed that among the interviewed farmers, 64% were males while 36% were females. The commonest cropping system found was the cultivation of lentil alone (95.5% of producers) and associated with grass pea (2.5%). Regarding the plant part used, two main parts are used by the farmers interviewed: seeds and the aerial part after harvest as a straw to feed animals. Low yield (40% of responses), disease and insect attack (36%), and low rainfall (24%) were the main production constraints reported by the interviewees.

Keywords: Lentil accessions, Collection mission, Ethnobotanical uses, Farmers

INTRODUCTION

Lens culinaris Medikus is one among the historic crop cultivated since time immemorial [1]. It has been cultivated in the most difficult agricultural environments, being perhaps second only to barley in this sense [2]. The common English name of this species is Lentil because of its lens shaped seeds [3].

In Algeria, the cultivated lentil *Lens culinaris* subsp. *culinaris* was introduced in 1920, during the colonial period in the region called Serssou [4]. Significant variability has been built up since their introduction and acclimatization. However, genetic erosion linked to the loss of local crop varieties being replaced by high yielding improved cultivars is becoming a notable concern. Therefore, accessions collected and information gathered regarding the farmers traditional knowledge are the first steps to undertake before starting plant breeding work.

The objectives of this study were (1) Draw the geographical distribution map of lentil accessions in Algeria using DIVA-GIS software, to (2) gather information regarding knowledge related to the use, traditional cultural practices of lentil, (3) collect samples to establish a national germoplasm collection of lentil for ex situ conservation and further research and development studies.

MATERIALS AND METHODS

Sites characteristic

Collection trips were made throughout Algeria in 2011 at different agro-climatic zones which are characterized by variation in altitude, annual rainfall, temperature and vegetation covers. In order to suitably cover the study area, 15 surveyed rural area or villages were randomly selected throughout 10 Departments. The geographical details (latitude, longitude and altitude) of each locality were recorded using global positioning system (GPS). Information characterizing each location (name of sites, name of the village/district and name of department) is mentioned in Gaad *et al.* [5].

Ethnobotanical and agronomic data

Data were collected in 2011 during the harvest season of lentil (June and July). Forty-seven (47) farmers were interviewed. The farmers were initially selected through a random selection of households. During the survey, demographic, ethno-botanical and agronomic information was collected using a Semi-structured interviews based on questionnaire derived from Marchenay, [6]. The variables used in the interviews included: source of seeds (where they obtained their seed); taxonomic status of collected samples, plant part used; why this plant is still cultivated?

Received 07 December 2017; Accepted 11 February 2018

*Corresponding Author

D. Gaad

Department of Phytotechnie, National Height School of Agriculture, Algiers, Algeria

Email: d.gaad@crbt.dz

©This article is open access and licensed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) which permits unrestricted, use, distribution and reproduction in any medium, or format for any purpose, even commercially provided the work is properly cited. Attribution – You must give appropriate credit, provide a link to the license, and indicate if changes were made.

The end destination for the product; for how long time was cultivated in the region? and main production constraints. In addition, the agro ecological conditions under which the lentil is grown (association of cultivars, soil types and application of pesticide). Moreover, basic demographic information was collected from each farm household interviewed (age and sex).

Accessions collected

Germplasm materials (seeds/pods) were collected with the agreement and help of farmers. In total, 30 accessions were sampled from 15 collecting sites. The detailed list of the collected material is reported in Gaad *et al.* [7].

Statistical methods

To know the spatial distribution of accessions DIVA-GIS version 7.5.0 was used. Survey data were analyzed by using descriptive statistics to score scale responses, frequency distributions and mean comparisons. Statistical analyses were performed using the Minitab Statistical Software (Copyright 2018 Minitab Inc.).

RESULTS

Mapping geographic distribution of accessions

DIVA-GIS program allow us to visualize the spatial distribution of the 30 lentil accessions collected. Each point represents on the fig. 1, the location where the accessions were collected or sampled.

Survey results

The ethnobotanical and agronomic characteristics of this 30 accessions collected were documented. A total of 47 farmers were individually interviewed. Demographic information is summarized in table 1.

Among the interviewed farmers, 30 (64 %) were males while 17 (36 %) were females. 20.3% of the farmers were less than 45 y old, half (53.3%) were between 45 and 65 y old and 26.0% were more than 65 y old. Only in the region of Setif and Djanet the age group exceed 65 old years. However, at Kabyle region (T-Ouzou and Bouira) and Media lentil is cultivated by young farmers less than 45 y old (61.11%).

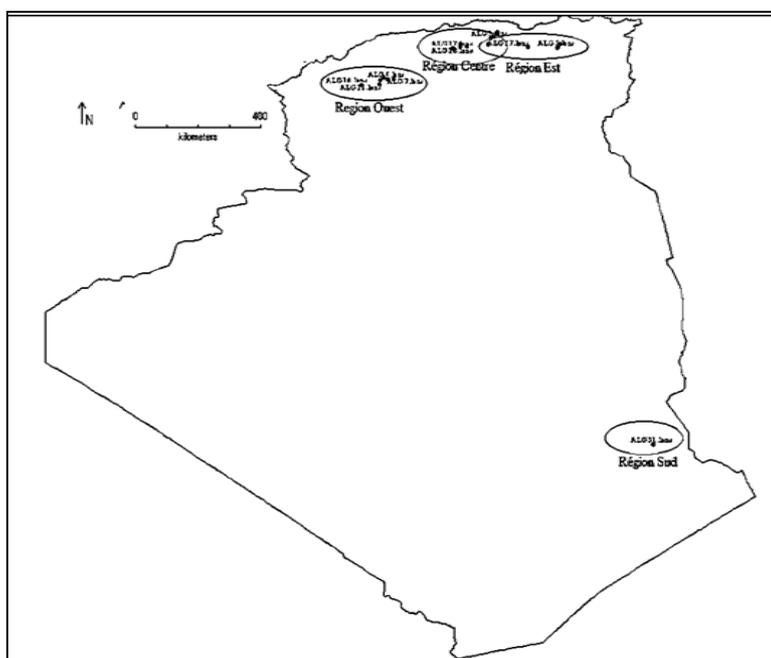


Fig. 1: Mapping of *Lens culinaris* germplasm collections using DIVA-GIS program

Table 1: Demographics characteristics of farmers interviewed. Gender and age presented in percentages

Regions	Gender		Age
	Male	Female	<45 45-65 >65
Ain Timouchnet	100	00	00 100 00
Bouira	45	55	66.67 25 8.33
Constantine	100	00	00 100 00
Djanet	00	100	00 00 100
Medea	80	20	66.67 14.29 19.05
Mila	100	00	00 100 00
Setif	100	00	00 00 100
Sidi Bel-Abbass	100	00	20 60 20
Tiaret	16.9	83.04	00 83.33 16.67
Tizi Ouzou	50	50	50 50 00
Mean	69.19	30.08	20.33 53.26 26.04

According to farmers interviewed, collecting source is dominated by: institutional distribution or local extension services of research and development offices (64.33%) followed by seed saved or self-keeping (20.66%) then market (15%).

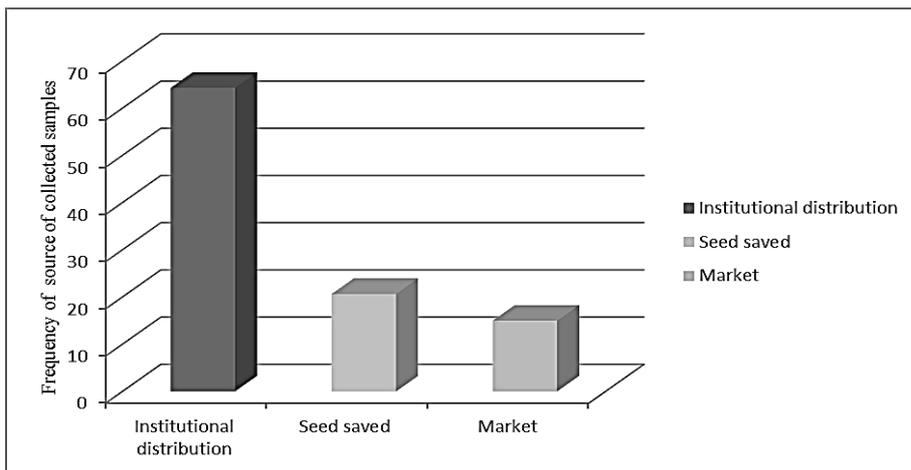


Fig. 2: Frequency of variable: source of collected samples

Detailed information regarding the taxonomic status of collected samples revealed that reveal that 55% are cultivated varieties, 42% populations or old traditional cultivars and 3% self-propagated seed from advanced modern cultivars.

The soil texture according to farmers revealed that lentil cultivated area are dominated by Sandy loam soil (77.5%). Followed by Clay-muddy soil at 20% and Clay-

calcareous at 2.5%. These results reveal great differences in the distribution of lentil accessions depending on soil texture.

According to the producers interviewed around the 10 departments, cultivated lentil is sown in the majority of case alone (97.5%), expect in Constantine district where is associated with grass pea (2.5%).

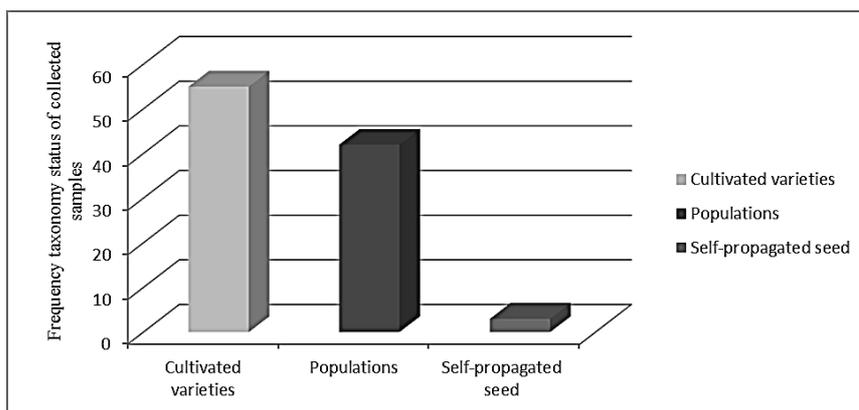


Fig. 3: Frequency of variable: taxonomy status of collected samples

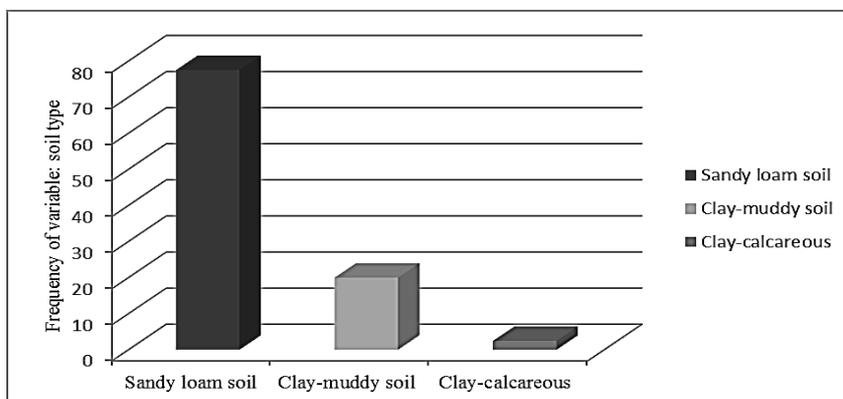


Fig. 4: Frequency of variable: soil type

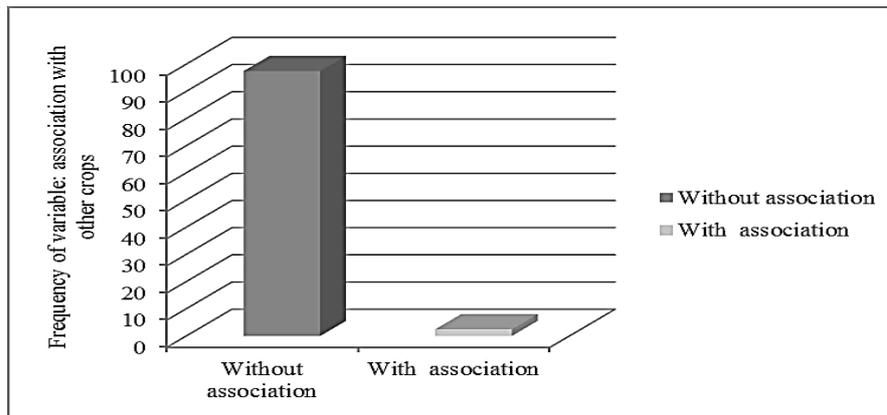


Fig. 5: Frequency of variable: association with other crops

The majority of farmers (97.5%) revealed that lentil is still cultivated because of its high nutritive value especially protein content. While, only 2.5% of farmers consider a lentil as a cultural heritage.

The majority of farmers (77.5%) reported that lentil was cultivated since colonized period. However, 20% of farmers reported that they had cultivated lentil for less than five years and 2.5% were unsure when cultivation began on their farms.

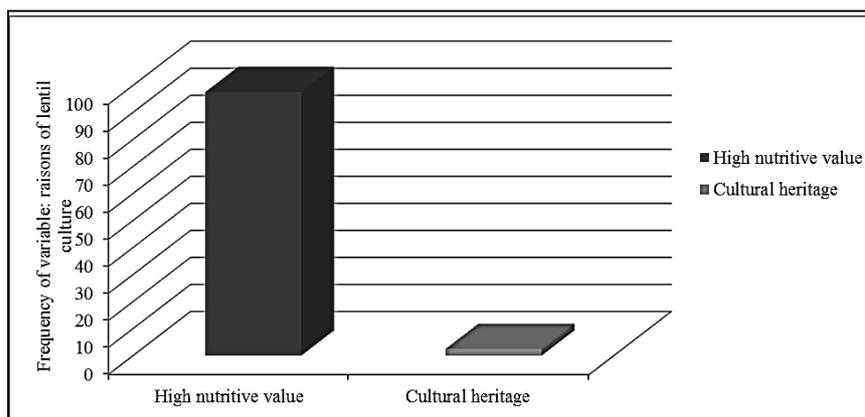


Fig. 6: Frequency of variable: raisons of lentil cultivation

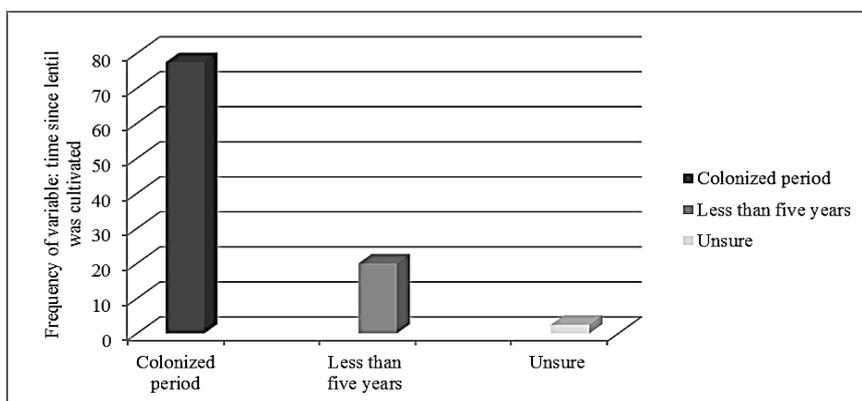


Fig. 7: Frequency of variable: time since lentil was cultivated

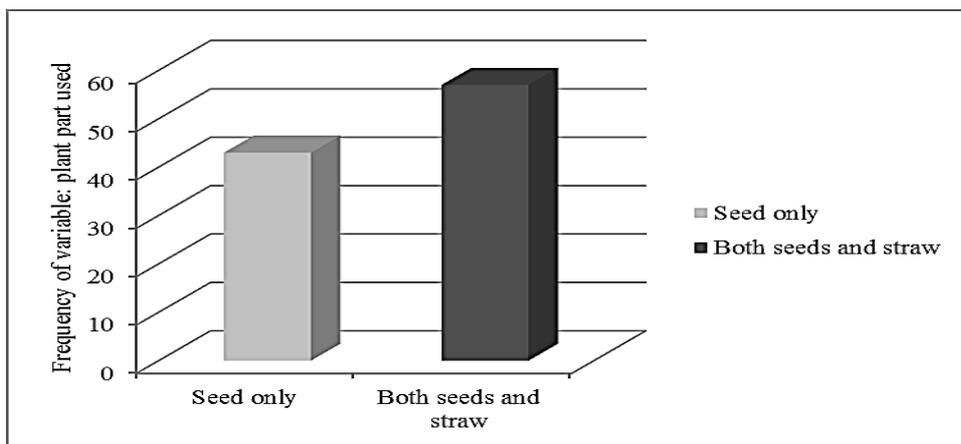


Fig. 8: Frequency of variable: plant part used

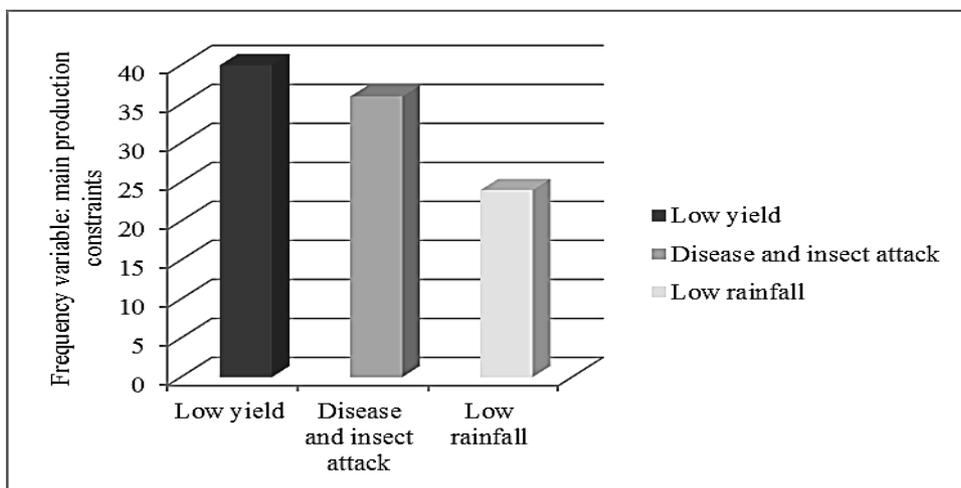


Fig. 9: Frequency of variable: main production constraints

Regarding the plant part used, two main parts are used by the farmers interviewed: seeds and the aerial part after harvest as a straw to feed animals. In fact, 57% of those interviewed use both seeds and straw and 43% harvest for seed only. Three main production constraints were reported by the producers, the first related to the low yield (40% of responses), then disease and insect attack (36%), and finally low rainfall (24%).

DISCUSSION

The collecting missions during 2011 allow us to collect 30 accessions of lentil; among them 11 were local populations or landraces. This shows that despite the intensive modern agricultural practices and the use of modern varieties and hybrids, there is still a tradition of cropping lentil among the small farmers. According to Chouaki *et al.* [8], there are two types of cultivated lentil in Algeria; autochthon and European. The first one was cultivated since the ancestral time and is a mixture of diverse forms, predominantly small seeds (rarely big seeds), with brown testa and red

cotyledons, and preferred by Algerian people. However, the threat of losing local germplasm is present and has been irreversible in many areas. Analysis of the questionnaire given to interviewed farmers showed that the majority of farmers were male and suggests that the women were rarely involved in the cultivation of lentil. Women are generally involved in post-harvest operations. In contrast, Ghalmi [9] in the same context found that women are more active than men in the traditional culture of *Vigna unguiculata* (L.) in Algeria.

The age of the majority of farmers was between 45 and 65 y and only a few elders continue to cultivate lentil, also, younger generations seem to be reluctant to this culture. This stressed that cultural information possessed by the older generation of farmers is disappearing along with an important form of heritage. The farmers of the surveyed area cultivate lentil on a small scale generally for their own use and only a few of them sell their products. This indicates that the consumer prefers to use lentil imported from other countries, which may jeopardize the

conservation of local genotypes/varieties. In the regions studied lentil is commonly consumed in soups with meat called lentil tagine and mixed with other vegetable like potato, tomato and onions. Lentil crop residues rich in protein are used to feed animals. According to Erskine [10]. The straw is the product of a traditional threshing process, and it includes pod walls, leaflets and branches. Saved seed from the previous harvest are the principal source of lentil for planting. Some farmers participate in government programs and used certified seed and a few buy seed from local market.

The loss of genetic resources of local varieties was noticed when farmers mentioned that they had sown lentil seeds in the past that currently are no longer available. According to interviewers, low rainfall, pests and diseases and low yield were the main constraints that limit the culture of lentil in the area studied. As a result, farmers turn to a more productive and economic crop like wheat. In contrast, Erskine and Goodrich [11] reported that hand harvesting is a limiting factor in lentil production in MENA region.

CONCLUSION

The information provided by farmers indicates that there are still local lentil populations with great variability found in their fields. However, this genetic resource is in danger of extinction due to many factors such as the use of modern cultivars and abandonment of the activities on part of the farmers. Therefore, measures will be taken to collect and conserve this germplasm. The experience of this mission encouraged further collecting work in remote areas where erosion reached a very advanced stage and where in many places indigenous landraces completely disappeared.

ACKNOWLEDGEMENTS

The kind and helpful support of the administration s of the area visited as well as the traditional hospitality of the farmers and other person in the mountain villages is greatly appreciated.

AUTHORS' CONTRIBUTIONS

Authors contributed equally to the overall study and manuscript preparation and approved the final version of the manuscript for publication.

REFERENCES

1. Sandhu JS, Singh S. History and origin. In: Yadav S, McNeil DL, Stevenson PC, (ed.) Lentil an ancient crop for modern times. Springer, the Netherlands. 2007:1–10.
2. Cubero JI, Peraz de la Vega M, Fratini R. Origine, Phylogeny, Domestication and Spread. In: Erskine W., Muehlbauer FJ., Sarker A., Sharma B. (ed). The Lentil Botany, Production and Uses. CAB Intern, Cambridge. 2009:13–33.
3. Khandaker M, Hoque MI, Alam SS. Fluorescent banding in three varieties of *Lens culinaris* Medik. (Fabaceae). Cytologia. 2007:227–231.
4. Laumont P, Chevassus A. Note sur l'amélioration de la Lentille en Algérie. Ann. Ins. Agr. des services de recherches et d'expérimentation agricoles de l'Algérie. Tome II. Fasc. 3, 1960:35p.
5. Gaad D, Laouar M, Udupa SM, McPhee K, Henkrar F, Abdelguerfi A. Diversity st udy of algerians accessions of lentil (*Lens culinaris* Medik.) by microsatellite markers. Research on Crops Journal.2017:722-727.
6. Marchenay P. A la recherche des variétés locales de plantes cultivées. Guide méthodologique Lavoisier (ed). Paris. 1987:126 p.
7. Gaad D, Laouar M, Gaboun F, Abdelguerfi A. Collection and agro morphological characterization of Algerian accessions of lentil (*Lens culinaris*). Biodiversitas. 2018.
8. Chouaki S, Bessedik F, Chebouti A, Maamri F, Oumata S, Kheldoun S, Kheldoun A. Deuxième rapport national sur l'état des ressources phylogénétiques. Algeria. FAO (ed). 2006:92.
9. Ghalmi N. Etude de la diversité génétique de quelques ecotypes locaux de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. Cultives en Algérie. These de doctorat en Science. Instiitut National d'Agriculture (INA), Departement Phytotechnie. 2011:177.
10. Erskine W. Relationship between the yield of seed and straw in lentil. Field Crops Research. 1983:115–121.
11. Erskine W, Goodrich WJ. Variability in lentil growth habit. Crop Science. 1991:1040–1044.

Morphological and Biometrical Characterization of Seeds of Some Algerians Lentil Accessions: Quantitative and Qualitative Characters

GAADD.^{1,2,*}, Laouar M.², Abdelguerfi A²

¹Department of Agriculture and Biotechnology, National Research Center for Biotechnology, Constantine, Algeria

²Department of Phytotechnie, National School for Agriculture, Algiers, Algeria

*Corresponding author: d.gaad@crbt.org

Received August 04, 2014; Revised August 16, 2014; Accepted August 24, 2014

Abstract The preliminaries characterization of a collection of twenty three Algerians accessions of lentil (*Lens culinaris* M.) were done before sown. Seed thickness (STH), Seed diameter (SDM), thickness/diameter ratio (T/D) and Weight of 100 seeds (WHS), are a quantitative traits measured. Altitude and Rainfall of location of origin of accessions are considered as a supplement variables. Also, qualitative characters: Grain form (GFR), Ground color of seed testa (GCT), Pattern of testa (PAT), Cotyledons color (COC), were considered. From the result of Principal Component Analysis (PCA), axis 1 explains 65.08% of the variance in the qualitative character and it showed a strange negative correlation with seed diameter (SDM), Weight of 100 seeds (WHS) and altitude (ALT). Whereas, it was positively and significantly correlated with thickness/diameter ratio (T/D) variable. The second component, accounting for 23.58 % of the total variation, was correlated positively with seed thickness (STH). Hierarchical discriminate analysis revealed major differences between accessions from different regions. Three major regional groups were apparent: 1) a Western group characterized by accessions of the *Macrosperma* type, 2) a more Northern group of the *Microsperma* type and 3) A mixture group gathered all regions and the two types. Regarding qualitative traits, the application of Multiple Correspondence Analyses (MCA) showed that seeds with globular form (*Microsperma*) are two types: 1) Brown or green tasta with dotted seed coat pattern or note and yellow cotyledons and 2) Brown tasta with orange cotyledons. In addition, seeds with flat form (*Macrosperma*) are divided into two types: 1) Brown, Beige or Green tasta with yellow cotyledons, 2) Brown tasta with dotted seed coat pattern and yellow cotyledons.

Keywords: *Lens culinaris*, quantitative traits, qualitative characters, *Microsperma*, *Macrosperma*

Cite This Article: GAAD D., Laouar, M. and Abdelguerfi A, "Morphological and Biometrical Characterization of Seeds of Some Algerians Lentil Accessions: Quantitative and Qualitative Characters." *World Journal of Agricultural Research*, vol. 2, no. 4 (2014): 183-186. doi: 10.12691/wjar-2-4-8.

1. Introduction

Among pulses, lentil (*Lens culinaris* M.) is one of the most important grain legume consumed by Algerians population [1]. Where its seed is an important local dietary item rich in protein [4,16]. However, yield instability at different locations and among seasons has been recognized as a persistent problem [13]. This is due to many causes. Including the absence of a local germoplasm evaluation data, regarding desirable traits of seeds. Which is a very important step, in identification of better genotypes, which can be helpful for successful breeding program.

Numerous studies have been conducted in this subject area and most of the studies have been largely focus on phenological and vegetative characters, such as: Time to flower day, plant height, number of pods per plant, number of seed per pods, seed yield, time to maturity, etc. [2,8,10,11,15,17]. On the other hand, there is limited research regarding seed characters evaluation [3,12,18,19].

The objective of this study, were to investigate the relationships between the important characters of seeds (quantitative and qualitative) on the basis of location of origin of accessions.

2. Materiel and Method

2.1. Plant Materiel

The vegetal material consisted of thirty two lentil accessions originating from differences localities of Algeria. Lentil accessions within each region were collected in 2011. Relevant passport data of populations are given in Table 1.

2.2. The Methods

To determine average seed size, 20 seeds were randomly picked from each accessions and their two dimensions (diameter (SDM) and thickness (STH)) were

measured using a digital caliper with an accuracy of 0.01 mm. For the same seeds, qualitative characters: Grain form (GFR), Ground color of seed testa (GCT), Pattern of testa (PAT) and Cotyledons color (COC) were examined by visual method. 100-seed weight (WHS) was determined using an electronic balance to an accuracy of 0.001 g.

Table 1(a). List of thirty two (32) lentil genotypes and Agro climatic characteristics of the location of origin

Genotypes	Site	Lat.	Long.	Alt.
ALG1	El-Khroub	35.25	6.61	675
ALG2	El-Khroub	36.28	6.67	560
ALG3	Yakouren	36.73	4.43	1252
ALG4	Azazga	36.56	4.45	1147
ALG5	Mila	36.45	6.26	486
ALG6	Dahmouni	35.33	1.90	1083
ALG7	Dahmouni	35.45	1.41	995
ALG8	Dahmouni	35.45	1.73	908
ALG9	Dahmouni	35.37	1.31	995
ALG10	Hassi-Zahan	35.11	0.38	483
ALG11	Malza	35.19	-0.64	470
ALG12	Ain Trid	35.10	-0.63	483
ALG13	Benchiba	34.83	-0.50	485
ALG14	Merine	35.19	-0.63	476
ALG15	El-Maleh	35.28	1.08	224
ALG16	Agllal	35.30	-1.14	250
ALG17	Bouskine	36.26	2.45	981

Table 1 (b). List of thirty two (32) lentil genotypes and Agro climatic characteristics of the location of origin

Genotypes	Site	Lat.	Long.	Alt.
ALG18	Bouskine	36.08	2.75	981
ALG19	Bouskine	36.08	3.00	1005
ALG20	Bouskine	36.08	3.00	1005
ALG21	Bouskine	36.08	3.00	1005
ALG22	Bouskine	36.08	3.00	1005
ALG23	Bouskine	36.08	3.00	1005
ALG24	Bir Aghbalo	36.25	4.17	1005
ALG25	El-Khroub	36.33	6.66	694
ALG26	Bir Ayad	36.22	3.36	525
ALG27	Ridden	35.35	3.53	500
ALG28	Khbouzia	36.38	3.90	530
ALG29	Illoula	36.71	4.05	264
ALG30	Ifigha	36.71	4.04	225
ALG31	Janet	24.33	9.29	1050
ALG32	Beni Fouda	36.09	5.26	1100

2.3. Statistical Analysis

Data were subjected to differences statistical analysis: For all characters, descriptive statistics were calculated, together with Pearson correlation coefficient.

Principal Component Analysis (PCA) on the average standardized values was also carried out to study the relationship between quantitative characters, followed by cluster analysis with the CLUSTER procedure using the Ward's minimum variance hierarchical method.

Qualitative characters were analyzed by Multiple Analyze of Correspondence (MCA).

Statistical analyses were made with the XLSTAT 2011 statistical program (version 13.02.05).

3. Results and Discussion

3.1. Descriptive Statistics and Analysis of Correlations (Pearson (n))

Table 1 gives the size (SDM, STH and T/D) and the weight (WHS) distribution of the lentil seeds. The

diameter seeds varied from 2.3 mm to 6.90 mm with an average mean of 4.5 ± 1.83 and seeds thickness ranging from 1.56 mm to 2.90 mm with an average mean of 2.48 ± 0.34 . Regarding 100 seeds weight, it varied from 3.00 g to 6.94 with an average mean of 5.15 ± 1.1 .

These observations are in agreement with previous related studies. In fact, [9], reported that, the mean diameter and thickness of lentil were 4.45-6.82 and 2.36-2.55 mm respectively.

Table 2. The average seed size (Diameter, thickness and thickness /diameter ratio), weight of 100 seeds and standard deviation data from 32 observations

Variable	Min	Max	Mean	SD
SDM (mm)	2.393	6.931	4.588	1.837
STH (mm)	1.566	2.906	2.489	0.341
T/D	0.248	1.197	0.669	0.338
WHS(g)	3.000	6.940	5.150	1.127

Table 3 shows Pearson correlation coefficients among quantitative characters; SDM and WHS were positively and significantly correlated. While, STH it was positively and significantly correlated with T/D. SDM was negatively and significantly correlated with STH and TD. Whereas, WHS was only negatively and significantly correlated with STH. Altitude was positively and significantly correlated with SDM and negatively and significantly correlated with T/D. However, rainfall was not correlated significantly with any of these characters.

Table 3(a). Correlation between characters with Pearson correlation coefficient of 0.05

Variables	SDM	STH	T/D	WHS	ALT	RFL
SDM	1	-0.355	-0.968	0.564	0.364	0.304
STH	-0.355	1	0.528	-0.077	-0.221	-0.280

Table 3(b). Correlation between characters with Pearson correlation coefficient of 0.05

Variables	SDM	STH	T/D	WHS	ALT	RFL
T/D	-0.968	0.528	1	-0.482	-0.375	-0.277
WHS	0.564	-0.077	-0.482	1	0.053	0.217
ALT	0.364	-0.221	-0.375	0.053	1	0.332
RFL	0.304	-0.280	-0.277	0.217	0.332	1

Regarding qualitative traits, wide variability was observed for all of the characters among the thirty two lentil accessions (Table 3). Flat and Globular (GFR) types of seeds were found in 71.87% and 28.12% respectively. Color of seed coat (CSC) varied from normal brown (78.12%) and green (15.62%) to Beige (6.25%). Yellow cotyledon was shown by 90.62%, while orange and green was shown by 6.25% and 3.12% of the accessions respectively. 90.62% of accessions did not show any seed coat pattern (SCP), however, seed coat pattern with spots was found in 6.25% accessions and dotted seed coat pattern was shown by only 3.12%.

3.2. Multivariate Analysis

3.2.1. Principal Components Analysis

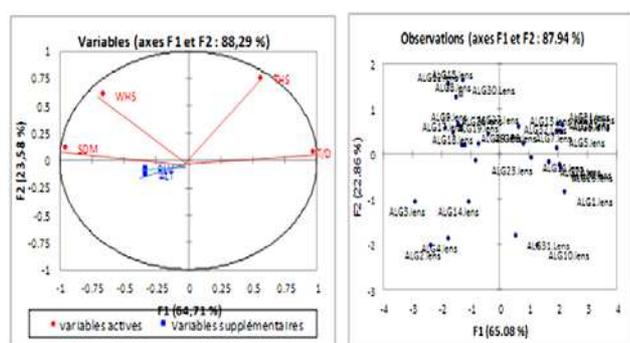
Table 4 shows relative and per cent proportions of the total variance for each of the first two principal components, the calculated eigenvalues and the coefficient of correlations between the principal components (PC1 and PC2) and the original variables; these coefficients indicate the contribution of each trait to the formation of PC1 and PC2.

Table 4. Effectives and percent (%) of qualitative characters

Variables	Modalities	Effectives	%
FRG	Globular	9	28.125
	Flat	23	71.875
PAT	Dotted	1	03.125
	without	29	90.625
	Spotted	2	06.250
GTC	Beige	2	06.250
	Green	5	15.625
	Brown	25	78.125
COC	Yellow	29	90.625
	Orange	2	06.250
	Green	1	03.125

Table 5. Eigenvalues of the Correlation Matrix

	F1	F2	F3	F4
Eigenvalues	02.588	00.943	00.457	00.011
Proportion (%)	64.710	23.576	11.437	00.276
%Cumulative	64.710	88.286	99.72	100.00

**Figure 1.** Principal components analysis (PCA) for variables {a} and observations {b}. Amount of variance captured by axes 1 and 2 is shown

Eigenvalues of the first two principal components were greater than 1 and accounted for 88.28% of variance. PCA axis 1 explains 64.71% of the variance in the qualitative character, and is related in the negative side to seed size (SDM) and Weight of 100 seeds (WHS) and Altitude (ALT). And in the positive side to diameter /thickness ratio (T/D). Accessions with the strongest positive scores along this axis present a high E/D (ALG1, ALG5, ALG6, ALG16, ALG20, ALG21, ALG22, ALG24 and ALG25). A small seeded type they may have a globos shape (*Microspema*) with thickness / diameter ratio higher than 1. Most of the other accessions (ALG3, ALG9, ALG7, ALG11, ALG17, ALG18, ALG23, ALG28, ALG29, ALG27 and ALG26) have negative scores on axis 1, this mean, that they have a small diameter and a light weight (*Microspema*) and are originating from the low altitude.

As stated by [2], the cultigen lentil is divided by Barulina (1930) in two subspecies on the basis of seed size and seed weight: *Macrosperma* (large seeded with seed diameters between 6 and 9 mm) with the 100 seed weight range from 4 to 2.8 g, and *Microspema* (small seeded with seed diameters between 4 and 6 mm) generally have a range from 1.1 to 4 g.

The second component, accounting for 23.57% of the total variation, was correlated positively with seed thickness (THS). This mean that, all populations on the side present, a big thickness (*Microspema*). It's the case of following accessions: ALG8, ALG12, ALG13, ALG15, ALG19, ALG30 and ALG32. The other populations from

the negative side of the PC2 axis (ALG2, ALG4, ALG10, ALG14 and ALG31) present a small thickness.

No attempt was made to interpret other PCA axes because they explained little additional variance (the eigenvalues for axes 3 and 4 were 0.457 and 0.011, respectively).

3.2.2. Cluster Analysis

To study and categorize the studied accessions, Ward method was used in cluster analysis (Similarity index=0.38 based on assessed traits in six groups. Specifications for each cluster are presented below:

First group comprises 3 genotypes: ALG11, ALG7 and ALG13. These accessions present a short diameter and light 100 seed weight, they belong to the *Microspema* type and all of them are originating from the west of Algeria.

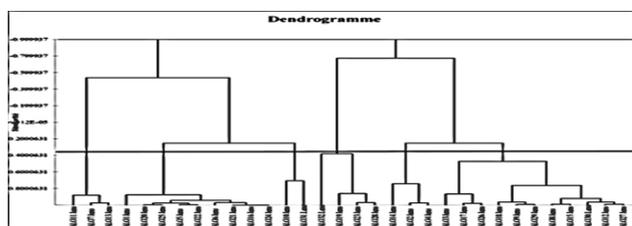
Second group contains 7 genotypes: ALG1, ALG20, ALG25, ALG5, ALG22, ALG6, and ALG21, present a high thickness / diameter ratio of the type *Microspema*. Native from East, North and West.

Third group included 2 genotypes: ALG10, ALG31, both are *Macrosperma* and originating from West and south of Algeria respectively.

Fourth group comprised 4 genotypes: ALG32, ALG23, ALG19, and ALG28, from the north expect ALG32. They have a small diameter and a light weight (*Microspema*).

Group five: ALG14, ALG2, and ALG4, all of them are *Macrosperma* with a small thickness.

Group six comprises 11 genotypes: ALG3, ALG17, ALG26, ALG18, ALG9, ALG29, ALG8, ALG15, ALG30, ALG12 and ALG27. Most of them are originating from west of Algeria of the type *Microspema*.

**Figure 2.** A Dendrogram for 32 accessions of lentil using Ward method

3.2.3. Multiple Correspondence Analysis

The application of multiple correspondence analysis showed that the total inertia explained is equal to 1.75 (percent of inertia: 50.87% is due to the first axis and 9.10% due to the second axis). A visualization of the results is presented in Figure 3. As we can see the profiles of Grain form (FRG): Flat (*Macrosperma*) and Globular (*Microspema*) are quite different, as it was expected. In particular, presence of Brown or green tasta (CTG), with yellow cotyledons or orange (CDC), seems to characterize the globular form (*Microspema*). On the other hand, seeds with flat form (*Macrosperma*) are characterized by: Brown, Beige or Green tasta (TGC) with dotted seed coat pattern or not (PAT) and yellow cotyledons (COC).

In lentil, the size of seeds increases from the types grown in eastern regions to western types. Two types, namely: *Macrosperma*, found mainly in the Mediterranean region and the New World (yellow cotyledons with little or no pigmentation), and *Microspema* (with red orange or

yellow cotyledons) found on the Indian subcontinent, Near East and East Africa, respectively, are known [14].

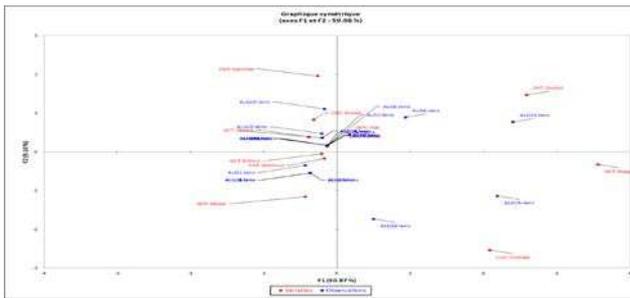


Figure 3. Multiple correspondence analysis of quantitative characters.

4. Conclusion

The results of this study revealed the presence of genetic variation in terms of quantitative traits and qualitative characters, among the studied of Algerians lentil seeds. It was possible to identify the most promising genotypes for inclusion in the lentil-breeding program.

Acknowledgement

I would like to thank the staff of Agriculture Technic Institute for providing me seeds of lentil.

References

- Abdelguerfi-Laouar, M., Hamdi N., Bouzid H., Zidouni F., Laib M. Bouzid L. and Zine F. "Les légumineuses alimentaires en Algérie : Situation, état des ressources phylogénétiques et cas du pois chiche à Bejaia". in les actes des 3^{em} journées scientifiques de l'INRAA sur l'agriculture de montagne : développement régional et régionalisation de la recherche, Bejaia les 11, 12,13, avril 2001, 171-189.
- Bicer B. and Sakar D. "Studies on Variability of Lentil Genotypes in Southeastern Anatolia of Turkey," Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj 36 (1) 2008, 20-24.
- B.T. Biçer, "The effect of seed size on yield and yield components of chickpea and lentil," *African Journal of Biotechnology*, 8 (8), Jun 2009. [Online]. Available at <http://www.academicjournals.org/AJB>
- Cicerali, I. N, Effect of salt stress on antioxidant defense systems of sensitive and resistant cultivars of lentil (*Lens culinaris* M.), Master of science, Middle East technical university, 2004, 90p.
- Cubero, J.I, Origin, domestication and evolution. In: Webb, C. and Hawtin, G.C. eds Lentils. Commonwealth Agricultural Bureau, Slough, UK, 1981, 15-38.
- Fogg, B.J, Persuasive technology: using computers to change what we think and do, Morgan Kaufmann Publishers, Boston, 2003, 30-35.
- Hirsh, H., Coen, M.H., Mozer, M.C., Hasha, R. and Flanagan, J.L, "Room service, AI-style," *IEEE intelligent systems*, 14 (2). 8-19. Jul. 2002.
- Erskine W., Adham Y., and Holly L, "Geographic distribution of variation in quantitative traits in a world lentil collection," *Euphytica*, (43), 97-103, 1989.
- Fasina, O., Tyler, B., Pickard, M., Zheng, G.H. and Wang, N. "Effect of infrared heating on the properties of legume seeds," *International Journal of Food Science and Technology* (36). 79-90.
- Ferguson M.E., and Robertson L.D, "Morphological and phenological variation in the wild relatives of lentil," *Genetic Resources and Crop Evolution*, (46). 3-12, 1999.
- Haddad N. I., Bogyo T. P. and Muehlbauer F. J, Genetic variance of six agronomic characters in three lentil (*lens culinaris medic*) crosses," *Euphytica*, (31). 113-120, 1982.
- Laghetti G., Pignone D., and Sonnante G., "Statistical Approaches to Analyse Gene Bank Data Using a Lentil Germplasm Collection as a Case Study," *Agriculture Conspectus Scientificis*, (73). 175-181, 2008.
- Laumont P., et Chevassus A. : Note sur l'amélioration de la lentille en Algérie. Ann. Ins. Agr. des services de recherche et expérimentation agricole de l'Algérie, Tome II. Juil. 1960. 35p.
- Muehlbauer, F.J., Cubero, J.I. and Summerfield, R.J. "Lentil (*Lens culinaris* Medic.)," In: Summerfield, R.J. and Roberts, E.H. (eds) *Grain Legume Crops*. Collins, London, UK, 266-311. 1985.
- Piergiovanni A.R., "The evolution of lentil (*Lens culinaris* Medik.) cultivation in Italy and its effects on the survival of autochthonous populations," *Genetic Resources and Crop Evolution* (47). 305-314, 2000.
- Rashmi Vamil A.U.H., and Agnihotri R.K., "Effect of Osmotic Stress (PEG) on Germination and Seedling Survival of Lentil (*Lens culinaris* MEDIK.)," *Research Journal of Agricultural Sciences*, 1 (3). 201-204, 2010.
- Sultana T., and Ghafoor A., "Botanical and molecular evidences of landraces from the germplasm exclusively collected from Baluchistan, a centre of diversity for *Lens culinaris*," *African Journal of Biotechnology* 8 (20). 5310-5315, October 19, 2009.
- Toklu F., Tuba B., and Karaköy T., "Agro-morphological characterization of the Turkish lentil landraces," *African Journal of Biotechnology* 8 (17), [Online]. Available at <http://www.academicjournals.org/AJB/>. [Accessed, 2009].
- Tyagi S. D., and Khan M. H., "Studies on genetic variability and interrelationship among the different traits in *Microsperma* lentil (*Lens culinaris* Medik.)," *Journal of Agricultural Biotechnology and Sustainable Development* 2 (1) Available online: <http://www.academicjournals.org/JABSD>

Collection and agro morphological characterization of Algerian accessions of lentil (*Lens culinaris*)

DJOUHER GAAD^{1,2,*}, MERIEM LAOUAR¹, FATIMA GABOUN³, AISSA ABDELGUERFI¹

¹Department of Plant Science, Higher National Agronomic School, Av. Hassan Badi, El Harrach, Algiers Province, Algeria. Tel.: +213-23-828507, *email: d.gaad@crbt.dz

²Division of Agriculture and Biotechnology, National Research Center for Biotechnology, Constantine, Algeria

³National Institute for Agronomic Research, Regional Center of Rabat, B.P. 6356-Rabat-Instituts, Morocco

Manuscript received: 30 September 2017. Revision accepted: 25 December 2017.

Abstract. Gaad D, Laouar M, Gaboun F, Abdelguerfi A. 2018. Collection and agro morphological characterization of Algerian accessions of lentil (*Lens culinaris*). *Biodiversitas* 19: 183-193. Lentil is one of the important pulse crops in Algeria. The narrow genetic base of local cultivars and the disappearance of many local accessions contribute to the loss of lentil biodiversity. Therefore, collection, characterization and preservation of existing local accessions of lentils are important. Lentil accessions were collected across different agro-ecological zones of Algeria. From 10 regions (Departments), 15 villages were surveyed and 30 accessions were collected. Eighteen local accessions and 26 references collection have been used for agro morphological evaluation. The assessment was performed in two locations, sub-humid and semi-arid conditions, based on 12 quantitative characters. The result of variance analysis shows a significant effect of the interaction genotype x location for six quantitative traits. Three macrosperma Algerian accessions characterized by a high number of pod/plant, number of seed/plant and seed yield/plant were positioned on PCA1. The remaining Algerian accessions were positioned on PCA2 and were characterized by later flowering and maturity with high plant stature and height of the lowest pods. Hierarchical cluster analysis grouped the accessions into five distinct clusters independently of the accessions origins and revealed the distribution of Algerian accessions in all of the groups. This study will help breeders to better select accessions to be used in lentil breeding program.

Keywords: Agro-morphological evaluation, *Lens culinaris*, local accessions, reference collection, quantitative traits

INTRODUCTION

Lentil (*Lens culinaris* Medikus) is the oldest pulse crop with remains found alongside human habitation up to 13,000 years BC (Sandhu and Singh 2007). It has been cultivated in the most difficult agricultural environments, being perhaps second only to barley in this sense (Cubero et al. 2009). Currently, it is mainly grown in semi-arid regions of South Asia, North America, Australia and Africa (Kaur et al. 2014; Verma et al. 2014). In lowland Mediterranean environments, lentil is usually grown between 300 and 400 mm annual rainfall (Ceccarelli et al. 1994). In Algeria, it is cultivated under rainfed conditions in different agro-climatic zones in regions where the annual average rainfall ranges between 300 and 900 mm. But production has dropped over the last few decades being 63.18 tons with yield about 114 kg/ha in 2014 (FAOSTAT 2017). The origin of this decline is due to many causes, the most important is the abandon of local germplasm well adapted to different environments, in profit of introduced materials. Thus, for more efficient utilization of local germplasm, the collection and characterization of local genetic resources of lentil are the first steps to take before starting any improvement program.

Assessment of genetic diversity based on phenotype has been conducted worldwide (Asghar et al. 2010; Roy et al. 2012, 2013; Pratap et al. 2014). However, a limited number of studies have been led to characterize Algerian's lentil

germplasm. Therefore, the present study was undertaken to (i) collect local lentil accessions on farms through Algeria, and (ii) to determine agro-morphological traits variation among some accessions collected along with the reference collection.

MATERIALS AND METHODS

Study area

Collection trips were made throughout Algeria in 2011 at different agro-climatic zones which are characterized by variation in altitude, annual rainfall, temperature and vegetation. In order to suitably cover the study area, 15 surveyed rural area or villages were randomly selected throughout 10 Departments (Figure 1). Information characterizing each location (name of sites, name of the village/district and name of department) is summarized in Table 1.

Field evaluation

Plant materials

A total of 44 accessions of cultivated lentil (*Lens culinaris* Medik.), comprised landraces and modern cultivars representing geographically and phenotypically wide variation, were used in this study. Among these, 18 were collected in Algeria (nine microsperma and nine macrosperma). In addition, a collection reference of 26

accessions including released popular cultivars and selected advanced lines were received from ICARDA (eight accessions), USDA (twelve accessions) and ATFCC (six accessions) under standard material transfer agreement during 2011. Relevant passport data of these accessions are given in Table 1.

Experimental design

Two field experiments were conducted in two consecutive years of 2011/2012 and 2012/2013. The

summary of the environmental conditions of the two trials is shown in Table S1. The first experiment was carried out at the INRAA experimental station at 18.5 m altitude in a sub-humid zone. The soil was clay- muddy with a 7.9 pH (Issolah 2007). The second field trial was located at the ITGC (Institut Technique des Grand Cultures) experimental farm in the Constantine district in the semi-arid region, about 713 m above sea level.

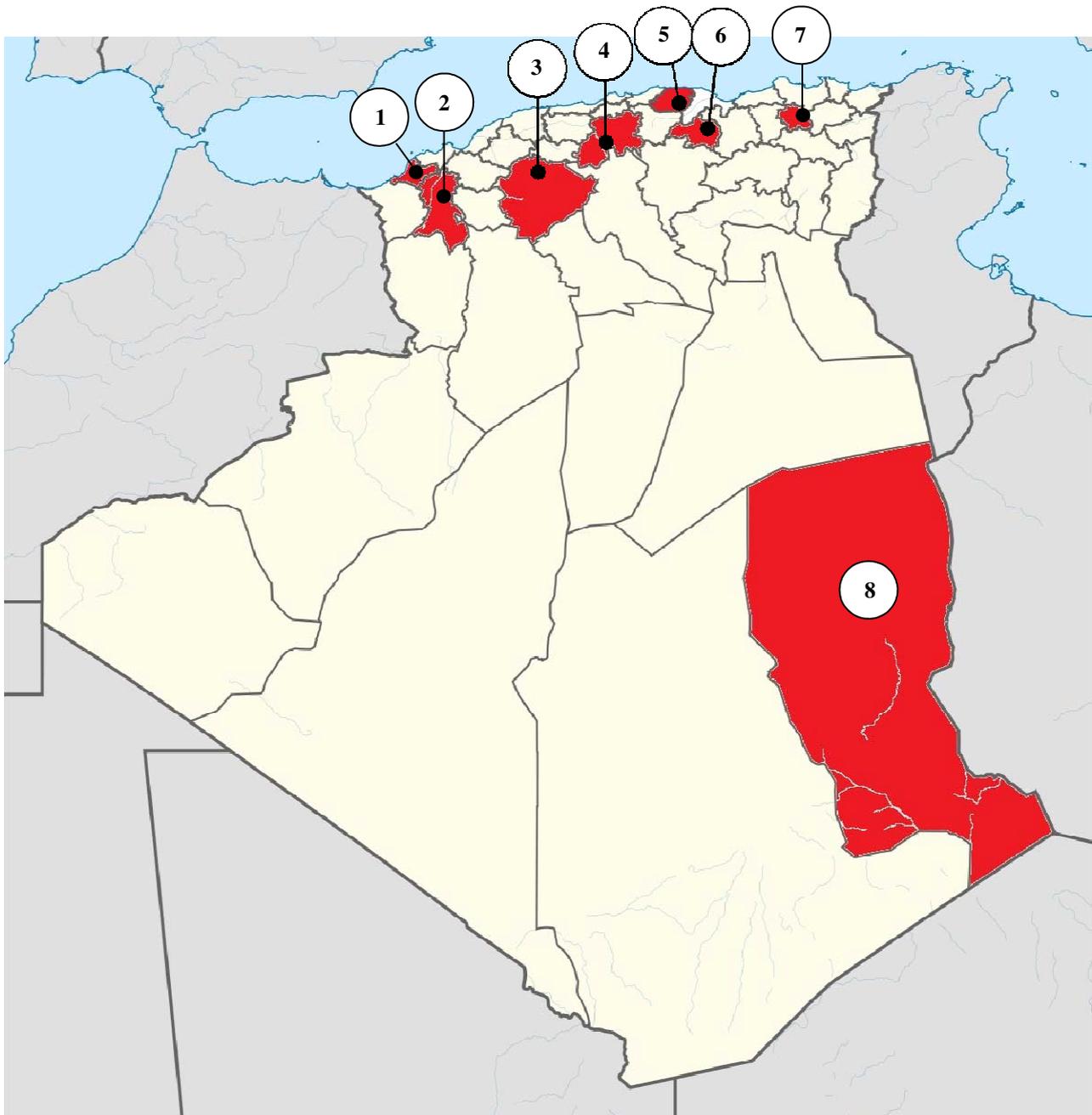


Figure 1. Map of Algeria, representing only the 8 departments where the 18 accessions used in agro morphological evaluation were collected. 1. Ain-Timouchent, 2. Sidi-Bel-Abbes, 3. Tiaret, 4. Medea, 5. Tizi Ouzou, 6. Bouira, 7. Constantine, 8. Illizi

A durum wheat crop had been grown during the previous season for both experimental locations. Sowing was performed on 9 December 2012 at the INRAA station and on 7 January 2013 at the ITGC station. The 44 entries were arranged in an incomplete randomized block design (Alpha Lattice Design) with 4 replications. Four incomplete blocks with 11 plots each were designed in each complete block. Experimental evaluation plots consisted of 3 rows of 1 m, 100 cm apart, giving a plot size of 3 m². Seeds were sown by hand by placing 2-3 seeds in a hole and then thinning to one plant per hole by hand at seedling stage. All recommended cultural practices and plant protection measures were followed to raise a healthy crop.

Phenotypic data

The standard descriptors for lentil (IPGRI 1985, UPOV 2013) were used as guidelines in the phenotypic characterization. Observations were recorded from 4 replications of 3 plants. The detail of all traits taken into account is given in Table S2.

Statistical methods

PROC GLM within Statistical Analysis System (SAS) version 9 was used for the statistical analyses of quantitative data. Treatment means were compared statistically using Student-Newman-Keuls test at $p=0.05$. The relationships between quantitative traits were examined using simple correlation analysis based on Pearson's Correlation Coefficient by Excel software, 2013.

A standardized matrix was subjected to principal component analysis to study the structure of variation of the studied accessions. The nearest neighbor option based on Euclidean distances was used to explore relationships among the accessions which were performed using Ward's minimum variance method. PCA and cluster analysis were performed with XLSTAT v13.01 software (XLSTAT software (Addin Soft, New York, USA). Significance was determined a priori at $\alpha = 0.05$ probability.

RESULTS AND DISCUSSION

Analysis of variance

Analyze of variance was performed on 12 quantitative characters and the result for individual and combined data are reported in Table S3. The mean phenotypic values of the six significant characters for both locations are presented in Table 2.

Single location

Location showed considerable differences for studied traits between accessions. Therefore there are location effects for the following characters: time to emergence, time to flowering, time to maturity, number of pods/plant, number of seed/plant and seed yield/plant.

The effect of location was highly significant for time to emergence. TEM was earlier at Alger location (mean 17.80 DAS), and late at Constantine location (mean 23.21 DAS). If average data of the two locations are considered,

microsperma types IG5514 (breeding material) from Turkey and PI431640 (hybrid line) from Iran were the first to be emerged (15 DAS), whereas the local population ALG4, macrosperma type was the last one to be emerged (27.5 days after sowing).

Location effect is very significant ($p < 0.001$) on the character FD50. At Alger location the days to flowering ranged between 95 and 125 DAS with a mean of 108.82 DAS. The local population ALG31, the improved line PI619099 (USA), the cultivated variety ILL5228 (Australia) and PI472126 (India) were the earliest for 50% flowering (100 DAS) and all microsperma type except the last one. Whereas, IG5511 from Syria macrosperma type was later in flowering (mean 117.50 DAS). At Constantine location flowering time was delayed ranged between 110 and 133 DAS with a mean of 117.19 DAS. ALG31 was the earliest one (112.25 DAS) and a later one was a breeding material (IG4872) from Afghanistan (123.66 DAS) a microsperma type.

Early maturing genotype at Alger was the local accessions ALG16 with 172 DAS and at Constantine the early genotypes were also local: ALG16; ALG19 and ALG22 with 148 DAS.

At Alger location the maximum number of pods/plant was produced by the genotype ALG3 (645) followed by PI490289 (572.5), however, genotype IG4872 produced minimum pods (142.5). At Constantine, a maximum pod of plant was 697.5 obtained by accession PI533690 and minimum pods of plant were noticed in accessions PI468902 with 227.5.

Variation was observed for number of seeds/plant over the two locations. The local genotype ALG3 recorded the highest number of seeds per plant (1073) at Alger, the minimum number was obtained by IG4872 (232.5). At Constantine the highest number of seeds per plant (1318) was recorded by PI472126 and the minimum one by ALG23 (306.6).

The seed yield/plant was influenced by location. It was higher at Alger (23 g/plant) and lower at Constantine (19.59 g/plant). Strong yield differences were observed among lentil accessions for both locations. Accessions that showed the highest grain yield were a local accession macrosperma type (ALG3), PI486127 from USA at Alger and PI486127 at Constantine (40.89g/plant). The accessions with the lowest grain yield were the microsperma type accession PI431640 at Constantine (6.35g/plant) and IG4872 from Afghanistan (microsperma) line at Alger.

Combined locations:

Plant height (PHT), measured from ground level to the plant tip, varied significantly ($p < 0.001$) across genotype x location. The maximum height was attained by the Australian cultivar ILL5728 (40.9 cm) followed by another Australian genotype V69-1001 with 39.9 cm. While the shortest plant was IG5160 (20.6 cm) from Jordan. The Algerian accessions had intermediate values for plant height.

Genotypes x location interaction were significant for height of the lowest pods above the soil (HLP). The

Algerian variety ALG6 (microsperma type) had the greatest value for height of the lowest pods (14.9 cm), and the lowest value was recorded for ILL5722 (microsperma type) from Australia about 9.6 cm. The overall mean for HLP was 12.4 cm.

Time to maturity was influenced by genotype x location. Early maturing genotypes included ALG16 (local population-microsperma type) with 162 days followed by the local hybrid line ALG19 with 163 days. The latest maturing genotype was also a local population of macrosperma type (ALG15) at 172 days.

It was observed that the weight of 100 seeds (SWE) differed between accessions for genotype x location. The grand mean was 3.4 g and mean values varied from 2.5 to 5.2 g. The heaviest weight was detected in the Algerian variety Blond de Chili, ALG12 (5.2 g), belonging to macrosperma type and the lightest weight (2.5 g) was the microsperma genotype from the USDA collection (PI320937) originating from Germany.

Significant variation for seed diameter was detected for genotype x location. It varied from 3.1 mm to 7.1 mm with an average of 5.2 mm. The large diameter was observed in two local macrosperma type accessions ALG12 (6.5 mm) followed by Ibla (ALG8, 6.2 mm), and the smallest one was also recorded in a local microsperma type population ALG16 (3.9 mm).

Seed thickness differed among genotype x location. STH ranged from 1.3 mm to 3.1 mm with an average mean of 2.5 mm. Microsperma accession ALG16 had the greatest thickness (2.9 mm) and ALG18 (a cultivated variety: Radjas) macrosperma type had the least (2.0 mm).

Correlation between characters

Time to maturity was negatively correlated with seed thickness ($r=-0.33$, $p<0.001$). Plant height had a significant positive correlation with height of lowest pods ($r=0.41$, $p<0.001$). Pod number is the prime yield attribute in lentil, and the number of pods/plant was positively correlated with the number of seed/plant ($r=0.88$, $p<0.001$) and seed yield/plant ($r=0.70$, $p<0.001$). On the other side, SYP was positively correlated with NSP ($r=0.77$, $p<0.001$) and seed diameter ($r=0.45$, $p<0.001$) (Table S4).

Principal compound analysis

Table S5 summarizes the PCA estimates among the tested lentil accessions. A two-dimensional (2D) plot was obtained using the first two PCs, which explained 48.8% of the total phenotypic variation (Figure 2). The first PC axis explained 27.4% of the total variation, and was mainly defined by number of pods/plant, number of seeds/plant and seed yield/plant. The second PC explained 21.4% of the total variation and was correlated with time to maturity, plant height, height of lowest pods, 100 seed weight and seed diameter. Based on the 2D graph analysis, 5 major classes were formed. Algerian accessions were distributed along the two axes and were disseminated in all 5 classes. The first class contained all microsperma types characterized by low number of pods/plant, number of seeds/plant and seed yield/plant. Class 2 contains primarily Algerian accessions belonging to macrosperma type with

high plant height and lowest height for pods above the soil, late flowering and maturity, high seed weight and large seed diameter. The third class contained mainly microsperma types which are early to flower and mature with short plants, low height to the first pods, low seed weight and small seed diameter. The class group contained mainly macrosperma types that were characterized by a high number of pods/plant, number of seeds/plant and seed yield/plant. The fifth class was characterized by accessions with greater seed thickness.

Cluster analysis

The dendrogram performed by cluster analysis confirmed the PCA results and indicated that the 43 lentil genotypes could be divided into two major groups with subgroups each (Figure 3). Specifications for each cluster are presented as follow: (i) The first group includes 16 accessions, mainly microsperma types (ALG8, ALG6, PI619099, Cassab, IG5511, PI297787, ALG28, ALG30, IG1647, ILL5728, IG4872 and V69-1001, ALG12, ALG18, ALG15 and ILL1828). The majority of Australians accessions were represented in this group. The Algerian variety Blond de Chili (ALG12) originating from Chili was clustered with a Chilean accession ILL1828 in the same subgroup. (iii) The second group includes 27 accessions, where the first subgroup contains 10 accessions exclusively microsperma types (ALG16, ALG23, ALG21, PI468902, PI320936, PI431640, ILL5722, IG26, PI320937 and ALG31). The second subgroup consisted of 17 accessions mainly microsperma types and included: ALG19, PI374119, ALG25, IG572, ALG4, PI374120, PI533690, IG8, ILL5823, ILL7180, ALG7 and IG5160. The third subgroup contains five accessions mainly macrosperma types: PI490289, ALG3, PI486127, PI472126 and ALG22.

Discussion

The collecting missions during 2011 allow us to collect 30 accessions of lentil; among them, 11 were local populations or landraces. This shows that despite the intensive modern agricultural practices and the use of modern varieties and hybrid line, there is still a tradition of cropping lentil among the small farmers. In this study, only 18 collected accessions were used for agro-morphological evaluation.

The results of ANOVA for quantitative traits indicated the influence of climatic conditions on phenological, biometric and traits related to yield. Alger is characterized by a sub-humid climate, with winter rainfall. The first trial (2011/2012) was exceptional with semi-arid condition (annual rainfall of 227 mm) as well as in Constantine location (annual rainfall of 292.1 mm). According to Erskine et al. (1994) in the Mediterranean regions of West Asia and North Africa, lentil is usually grown in areas of 300-400 mm rain year-1.

It could be predicted that local accessions should perform better than the introduced ones, since they are expected to be more adapted. However, we noticed that some accessions, especially from Australia performed

Table 1. Detail of 44 lentil accessions used in Agro morphological evaluation

Accessions code	Accession name	Status	Site/department or country	Origin	Seed type
ALG3.lens	Unknown	Population	Azrou/Tizi Ouzou, Algeria	Farmers	Macrosperma
ALG4.lens	Unknown	Population	Ikharban/Tizi Ouzou, Algeria	Farmers	Macrosperma
ALG6.lens	Syrie229	Cultivated variety	Sebien/Tiaret, Algeria	ITGC	Microsperma
ALG7.lens	Balkan755	Cultivated variety	Oued lilli/Tiaret, Algeria	ITGC	Microsperma
ALG8.lens	Ibla	Cultivated variety	Dahmouni/Tiaret, Algeria	ITGC	Macrosperma
ALG12.lens	B. de Chili	Cultivated variety	Ain Trid/Sidi-Bel-Abbes, Algeria	ITGC	Macrosperma
ALG15.lens	Unknown	Population	Targa/A.Timouchent, Algeria	Farmers	Macrosperma
ALG16.lens	Unknown	Population	Aghlal/A.Timouchent, Algeria	Farmers	Microsperma
ALG18.lens	Radjas	Cultivated variety	Bouskin/Medea, Algeria	ITGC	Macrosperma
ALG19.lens	Flip 90 31C	Hybrid line	Bouskin/Medea, Algeria	ITGC	Macrosperma
ALG21.lens	Setiff628	Cultivated variety	Bouskin/Medea, Algeria	ITGC	Microsperma
ALG22.lens	Flip 48 L	Hybrid line	Bouskin/Medea, Algeria	ITGC	Microsperma
ALG23.lens	Flip 97-11C	Hybrid line	Bouskin/Medea, Algeria	ITGC	Microsperma
ALG25.lens	Metropole	Cultivated variety	ElKhroub/Constantine, Algeria	Farmers	Microsperma
ALG28.lens	Unknown	Population	Khbouziya/Bouira, Algeria	Farmers	Macrosperma
ALG29.lens	Unknown	Population	Illoula/Tizi Ouzou, Algeria	DSA	Macrosperma
ALG30.lens	Metropole	Cultivated variety	Ifigha/Tizi Ouzou, Algeria	DSA	Microsperma
ALG31.lens	Unknown	Population	Djanet/Illizi, Algeria	Farmers	Microsperma
IG5511	Unknown	Breeding material	El-Hasakah/Syria	ICARDA	Macrosperma
IG1647	Cundina	Unknown	Bogota/Colombia	ICARDA	Microsperma
IG26	ILL26	Unknown	Damascus/Syria	ICARDA	Macrosperma
IG1828	ILL1828	Unknown	Bio Bio/Chili	ICARDA	Macrosperma
IG8	ILL8	Improved cultivar	Amman/Jordan	ICARDA	Microsperma
IG572	ILL572	Breeding material	Tunceli/Turkey	ICARDA	Microsperma
IG5160	ILL5160	Breeding material	Irbid/Jordan	ICARDA	Microsperma
IG4872	DEU146	Breeding material	Kabul/Afghanistan	USDA	Microsperma
PI431640	ILL1017	Hybrid line	Iran	USDA	Microsperma
PI619099	Mason	Improved cultivar	Washington/USA	USDA	Macrosperma
PI374120	ILL1941	Other	Morocco	USDA	Macrosperma
PI490289	Mariette	Cultivar	France	USDA	Macrosperma
PI486127	Unknown	Breeding material	Washington/USA	USDA	Macrosperma
PI320936	Daghestan	Unknown	Russia	USDA	Microsperma
PI468902	Unknown	Population	Rio G.do sul/Brazil	USDA	Microsperma
PI320937	ILL505	Unknown	Germany	USDA	Microsperma
PI297787	ILL319	Unknown	Greece	USDA	Microsperma
PI533690	PARDINA	Unknown	Spain	USDA	Microsperma
PI472126	33-0690000	Unknown	Uttar Pradesh/India	USDA	Microsperma
PI374119	ILL1940	Unknown	Morocco	USDA	Microsperma
V69-10010	Flash	Improved cultivar	Victoria/Australia	ATFCC	Microsperma
ILL5722	Digger	Improved cultivar	Victoria/Australia	ATFCC	Microsperma
ILL5728	Cobber	Improved cultivar	Victoria/Australia	ATFCC	Microsperma
ILL5823	Matilda	Improved cultivar	Victoria/Australia	ATFCC	Microsperma
ILL7180	Nugget	Improved cultivar	Victoria/Australia	ATFCC	Microsperma
Unknown	Cassab	Improved cultivar	Victoria/Australia	ATFCC	Microsperma

Height of the lowest pods above the soil is an important character for mechanization in lentil. A microsperma Algerian variety Syrie 229 (ALG6) had the greatest height to the lowest pods in this study. Bacchi et al. (2010) reported greater values in macrosperma than microsperma types among 25 lentil accessions representing part of a large germplasm collection from different Mediterranean regions including three Algerian landraces. In Turkish landraces, the height of the lowest pod above the soil ranged between 21.7 and 41.6 cm, with a mean of 30.2 cm (Toklu et al. 2009). Piergiorganni (2000) reported that the height of the lowest pods was between 11 and 26 cm in

Italian lentil populations, the mean height was 24.2 cm. However, for 'Colliano', a microsperma morpho-type from Italy, the distance of the first pod from ground was 26 cm (Zaccardelli et al. 2012).

Indigenous or local accessions were both earlier (161.71 days) and later (172 days) in maturity. While, introduced accessions were intermediate in maturity except some accessions from Turkey, USA, Chili and Afghanistan which matured late. Erskine et al. (1989) reported that on average Afghan germplasm is among the latest in maturity in the world. Torricelli et al. (2012) found that Italian landraces mature after 78 days. In pigeon pea, accessions

from Oceania were the earliest to mature (179 days) as reported by Upadhyaya et al. (2005). Among 113 desi chickpea genotypes, days to maturity ranged between 144.0 and 180.0 with a mean of 171.1 days (Riaz et al. 2014). For sixty-four lentil genotypes from ICARDA evaluated at Diyarbakir in Turkey, days to maturity ranged from 188 to 196 days, and some genotypes were earlier than the local

check (Biçer and Sakar 2008). In nine inter-sub-specific and interspecific crosses in lentil, days to maturity ranged from 71.6 to 159.4 days (Singh et al. 2014). Erskine et al. (1994), found that the dissemination of lentil around the world has resulted in the selection of different regionally specific balances between photoperiod and temperature for the control of flowering and maturity.

Table 2. Mean values, coefficient of variation (%) and standard error for six quantitative traits recorded at Alger and Constantine, Algeria

Accessions	Time to maturity (days)	Plant height (cm)	Height to lowest pod (cm)	100-seed weight (g)	Seed diameter (mm)	Seed thickness (mm)
ALG16	161.71 _l	39.18 _{abc}	12.42 _{abc}	3.11 _{cd}	3.93 _q	2.86 _a
ALG8	167.50 _{a-j}	35.74 _{a-e}	12.62 _{abc}	3.89 _{bcd}	6.24 _{ab}	2.80 _{ab}
ALG6	165.50 _{e-l}	32.28 _{b-g}	14.87 _a	3.06 _{cd}	4.82 _{b-o}	2.74 _{a-c}
ALG23	163.50 _{i-l}	29.04 _{e-i}	12.12 _{abc}	3.86 _{bcd}	5.47 _{c-i}	2.68 _{a-d}
ALG21	162.50 _{kl}	25.54 _{g-j}	11.87 _{abc}	3.49 _{bcd}	5.18 _{f-l}	2.63 _{b-e}
PI619099	170.00 _{a-e}	33.87 _{a-g}	14.62 _a	3.07 _{cd}	5.59 _{b-h}	2.60 _{b-f}
ALG19	162.00 _l	23.33 _{ij}	10.50 _{abc}	3.31 _{bcd}	5.36 _{d-i}	2.60 _{b-f}
PI468902	166.50 _{c-l}	30.52 _{d-i}	11.00 _{abc}	3.05 _{cd}	4.55 _{o-n}	2.19 _{kl}
IG5160	164.83 _{f-k}	20.55 _j	10.00 _{bc}	3.11 _{cd}	3.99 _{qp}	2.60 _{b-f}
PI320936	164.50 _{g-l}	24.41 _{ijh}	11.37 _{abc}	4.54 _{ab}	2.85 _{c-g}	2.56 _{c-g}
PI431640	167.00 _{b-i}	27.03 _{f-h}	12.25 _{abc}	2.85 _{cd}	4.80 _{g-o}	2.56 _{c-g}
PI374119	163.00 _{j-l}	33.74 _{a-g}	11.00 _{abc}	2.82 _{cd}	4.81 _{h-o}	2.55 _{c-g}
ALG12	169.50 _{a-f}	37.78 _{a-d}	14.50 _{ab}	5.23 _a	6.46 _a	2.55 _{c-g}
ALG25	164.00 _{k-l}	30.27 _{d-i}	12.25 _{abc}	3.40 _{bcd}	4.62 _{o-n}	2.52 _{c-h}
ILL5722	166.00 _{d-l}	29.33 _{e-h}	09.62 _c	3.55 _{bcd}	4.92 _{h-n}	2.49 _{c-i}
Cassab	169.00 _{a-f}	32.58 _{b-h}	12.62 _{abc}	3.81 _{bcd}	4.92 _{h-n}	2.49 _{c-i}
IG572	171.50 _{ab}	33.12 _{b-g}	12.25 _{abc}	2.89 _{cd}	4.58 _{o-n}	2.49 _{c-i}
IG26	163.00 _{j-l}	28.02 _{e-g}	11.37 _{abc}	3.68 _{bcd}	5.19 _{f-l}	2.48 _{c-i}
IG5511	170.85 _{a-d}	33.33 _{b-g}	11.14 _{abc}	3.27 _{bcd}	5.72 _{b-g}	2.48 _{c-i}
ALG15	172.00 _a	33.74 _{a-g}	12.87 _{abc}	5.09 _a	5.59 _{b-h}	2.48 _{c-i}
PI297787	168.00 _{a-i}	32.81 _{b-g}	14.25 _{ab}	2.60 _{cd}	4.91 _{h-n}	2.47 _{c-i}
ALG4	171.00 _{abc}	28.45 _{e-i}	12.25 _{abc}	3.21 _{bcd}	3.21 _{b-h}	2.47 _{c-i}
ALG28	166.50 _{c-l}	34.66 _{b-f}	13.12 _{abc}	3.29 _{bcd}	5.55 _{b-h}	2.46 _{d-k}
PI490289	168.00 _{a-i}	27.02 _{f-i}	11.05 _{abc}	3.16 _{bcd}	5.22 _{f-l}	2.45 _{d-k}
PI374120	168.00 _{a-i}	28.58 _{a-b}	11.62 _{abc}	3.64 _{bcd}	4.42 _{o-n}	2.44 _{d-k}
ALG3	168.00 _{a-i}	30.62 _{d-i}	13.50 _{abc}	3.70 _{bcd}	6.10 _{abc}	2.44 _{d-k}
PI320937	164.00 _{h-l}	31.74 _{c-h}	12.87 _{abc}	2.51 _d	5.04 _{g-m}	2.43 _{d-k}
PI533690	169.00 _{b-g}	30.87 _{d-g}	12.12 _{abc}	2.61 _{cd}	4.39 _{o-n}	2.42 _{d-k}
PI486127	171.00 _{abc}	28.16 _{e-i}	14.00 _{abc}	4.05 _{bc}	5.99 _{a-e}	2.40 _{d-k}
IG5514	168.50 _{b-h}	29.33 _{f-i}	12.50 _{abc}	3.73 _{bcd}	4.89 _{h-n}	2.40 _{d-k}
ILL5823	164.50 _{g-l}	28.45 _{e-g}	12.87 _{abc}	2.64 _{cd}	4.73 _{i-n}	2.39 _{e-k}
ILL7180	167.00 _{b-i}	34.70 _{a-f}	12.13 _{abc}	3.05 _{cd}	5.09 _{g-m}	2.38 _{e-k}
ILL5728	170.00 _{a-e}	40.91 _a	13.00 _{abc}	3.10 _{cd}	4.22 _{d-i}	2.37 _{e-l}
V69-1001	167.00 _{b-i}	39.87 _{ab}	12.25 _{abc}	3.84 _{bcd}	4.83 _{h-m}	2.35 _{e-l}
PI472126	165.00 _{i-j}	30.16 _{d-i}	11.50 _{abc}	3.42 _{bcd}	5.23 _{f-k}	2.34 _{e-l}
IG1647	169.00 _{d-l}	31.95 _{b-h}	13.75 _{abc}	3.42 _{bcd}	3.42 _{a-d}	2.33 _{f-i}
ALG22	163.50 _{i-l}	29.41 _{e-i}	13.00 _{abc}	3.55 _{bcd}	6.12 _{abc}	2.33 _{f-i}
ALG7	166.00 _{a-g}	29.08 _{e-i}	12.75 _{abc}	3.88 _{bcd}	5.49 _{c-h}	2.30 _{g-i}
ILL1828	171.00 _{abc}	36.04 _{a-e}	14.25 _{ab}	3.33 _{bcd}	5.32 _{e-k}	2.24 _{h-l}
ALG31	166.00 _{d-l}	38.41 _{a-d}	11.00 _{abc}	2.52 _d	3.95 _q	2.22 _{i-l}
ALG30	170.00 _{a-d}	37.70 _{a-c}	12.25 _{abc}	3.59 _{bcd}	4.22 _{o-n}	2.21 _{j-l}
IG4872	170.85 _{a-d}	40.91 _{d-i}	12.42 _{abc}	2.54 _d	4.14 _{opq}	2.12 _l
ALG18	165.00 _{i-j}	35.82 _{a-e}	13.62 _{abc}	5.06 _a	5.91 _{a-f}	1.97 _m
Mean of accessions	167.00	31.64	12.42	3.44	5.15	2.45
CV (%)	1.59	14.05	18.38	21.85	8.30	6.14
LSD	0.81	0.40	0.14	0.06	0.04	0.01

Note: In a column, numbers with same letter (s) do not differ significantly at P = 0.05

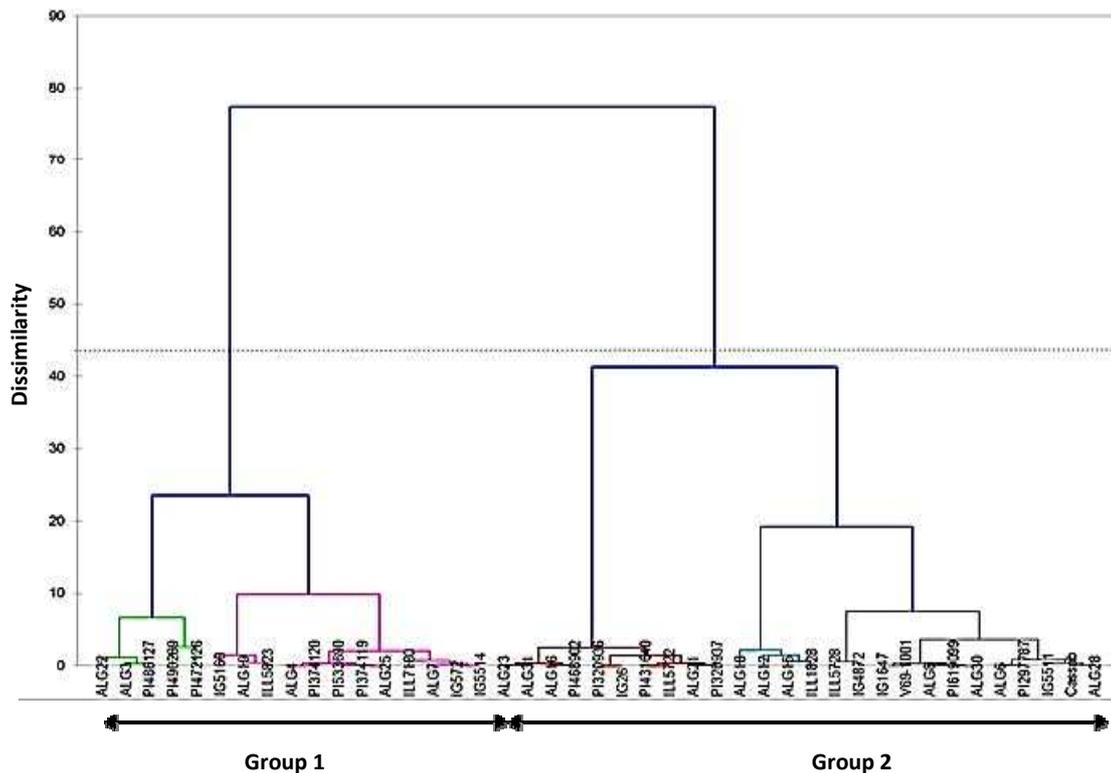


Figure 3. Dendrogram computed from the Euclidean distance for 43 lentil accessions

The environmental effect on seed weight is generally not very conspicuous as indicated by Saxena (2009). The macrosperma types manifest a high 100-seed weight compared to microsperma and the top three accessions for large 100 seed weight were Algerian accessions. The mean of all accessions was 3.4 g with a range from 1.1 g to 6.9 g. The 100-seed weight ranged from 1.1 to 4.0 g in small-seeded types, while the large-seeded types generally ranged from 4.0 to 8.2 g (Barulina 1930 in Saxena 2009). Tullu et al. (2001) reported that the variation of 100 seed weight ranged from 1.3 to 7.4 g, with an overall mean of 3.6 g in the USA lentil core collection of 287 lentil accessions. Bejiga et al. (1996) in one hundred and fifty-six landrace populations of lentil (*Lens culinaris* Medikus) collected from 10 provinces in Ethiopia said that the most important character for differentiation was 100-seed weight (2.6 g), a trait affected by human preference and of low adaptive value according to the author. Under rainfed semi-arid conditions with the Mediterranean climate in Jordan, Abdel-Rahman et al. (2002) found that 100 seed weight of local lentil cultivars was 4.3 g.

Adequate knowledge about degree and direction of the association of characters is a prerequisite for operating an efficient selection program (Mishra et al. 2007). Positive correlations have been found between seed size, seed weight, plant height, height of lowest pods and number of pods/and seeds per plant and seed yield. Correlations calculated from this research were comparable to published data (Erskine 1983; Hamdi et al. 1991; Biçer and Sakar 2008; Bacchi et al. 2010; Al-Ghzawi et al. 2011; Barghi et

al. 2012; Zaccardelli et al. 2012 and Mondal et al. 2013). A negative association between seed thickness and time to maturity can be useful in selecting for variability for seed size.

Principal component analysis revealed that accessions of the same seed type grouped together. Cluster analysis revealed the existence of five groups of accessions with distinct morphological profiles. Accessions included in Group-I seem to be earlier in flowering and maturity, with intermediate plant stature, low pod height above the soil, and low number of pods, seeds and seed yield. However, accessions of Group-III had a medium number of pods and seeds/plant, 100 seed weight and seed yield/plant with thick seeds. Accessions in Group-II had taller plant stature and height of the lowest pods. Group IV comprised accessions late to flower and maturity, with high 100 seed weight and seed diameter. Whereas group-V was characterized by genotypes having large number of pods, seeds and seed yield per plant. Some groups comprise accessions possessing desirable traits that can be used in breeding.

Fikiru et al. (2010) classified seventy Ethiopian lentil landrace accessions into two clusters based on Euclidian distance considering 8 morphological traits. Tyagi and Khan (2010) reported that clustering pattern revealed the distribution of the genotypes belonging to the same origin in more than one cluster indicating non-parallelism between geographic and genetic diversity. Asghar et al. (2010) reported that metroglyph analysis distributed 30 lentil genotypes into 10 distinct groups, the first and the

second g showed close genetic relationship in respect of number of pods and seed yield.

In conclusion, the agro-morphologic results highlighted the influence of climatic conditions on phenological, biometrical and yield traits. Some accessions from other countries like Australia and India performed well despite grown in an environment different from where they originated. This shows the possibility of enhancing local germplasm by broadening the gene pool through international sources. Significant differences among the accessions for different characters indicated variation among the accessions favorable for their use in breeding programs.

ACKNOWLEDGEMENTS

I would like to acknowledge all the farmers for kindly providing lentil seed samples during collected mission trips.

REFERENCES

- Abdel-Rahman MM, Tawaha M, Turk A. 2002. Effect of dates and rates of sowing on yield and yield components of lentil (*Lens culinaris* Medik.) under semi-arid conditions. Pak J Bio Sci 5 (5): 531-532.
- Alghamdi SS, Khan AM, Ammar MH, El-Harty EH. 2014. Phenological, nutritional and molecular diversity assessment among 35 introduced lentil (*Lens culinaris* Medik.) genotypes grown in Saudi Arabia. Int J Mol Sci DOI: 10.3390/ijms15010277.
- Al-Ghazawi AA, Bsoul E, Aukour F, Al-Ajlouni Z, Al-Azzam A, Ajlouni MM. 2011. Genetic variation for quantitative traits in Jordanian lentil landraces. Adv Environ Biol 5 (11): 3676-3680.
- Asghar JM, Ghulam A, Shah TM, Atta BM. 2010. Study of genetic diversity in some local and exotic lentil (*Lens culinaris* Medik.) genotypes. Pak J Bot 42 (4): 2681-2690.
- Bacchi M, Leone M, Mercati F, Preiti G, Sunseri F, Monti M. 2010. Agronomic evaluation and genetic characterization of different accessions in lentil (*Lens culinaris* Medik.). Ital J Agron/Riv Agron 4: 303-314.
- Barghi SS, Mostafaei H, Peighami F, Zakaria RA. 2012. Path analysis of yield and its components in lentil under end season heat condition. International J Agric Res Rev 2: 969-974.
- Bejiga G, Tsegaye S, Tullu A, Erskine W. 1996. Quantitative evaluation of Ethiopian landraces of lentil. Genet Resour Crop Evol 43: 293-301.
- Biçer T, Sakar D. 2008. Studies on the variability of lentil genotypes in southeastern Anatolia of Turkey. Not Bot Hort Agrobot Cluj 36 (1): 20-24.
- Cicerali IN. 2004. Effect of salt stress on antioxidant defense systems of sensitive and resistant cultivars of lentil (*Lens culinaris* M.). Department of Biotechnology, Middle East Technical University, Ankara, Turkey.
- Cubero JJ, Pérez de la Vega M, Fratini R. 2009. Origin, Phylogeny, Domestication and Spread. In: Erskine W, Muehlbauer FJ, Sarker BS (eds). The Lentil Botany, Production and Uses. CABI, Wallingford, UK.
- Erskine W. 1983. Relationship between the yield of seed and straw in lentil. Field Crops Res 7: 115-121.
- Erskine W, Adham Y Holly L. 1989. Geographic distribution of variation in quantitative traits in a world lentil collection. Euphytica 43: 97-103.
- Erskine W, Witcombe JR. 1984. Lentil Germplasm Catalog (International). Aleppo, Syria.
- Erskine W S, Chandra M, Chaudhry IA, Malik A, Sarker B, Sharma MC, et al. 1998. A bottleneck in lentil: widening its genetic base in South Asia. Euphytica 101: 207-211.
- Erskine W, Hussain A, Tahir Bahksh MA, Ellis RH, Summerfield RJ, Roberts EH. 1994. Field evaluation of a model of photothermal flowering responses in a world lentil collection. Theor App Genet 88: 423-428.
- FAOSTAT 2017. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Production: crops: 2016, Available online: <http://www.fao.org/faostat/en/#country/4>. Accessed 20 September, 2017.
- Fikiru E, Tesfaye K, Bekele E. 2010. A comparative study of morphological and molecular diversity in Ethiopian lentil (*Lens culinaris* Medik.) landraces. African J Biotech 4 (7): 242-254.
- Hamdi A, Rebeia BMB. 1991. Genetic and environmental variation in seed yield, seed size and cooking quality of lentil. Ann Agric Sci 29: 51-60.
- IPGRI. 1985. Descriptors for lentil (*Lens culinaris* Medik.). International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy.
- Lazaro A, Ruiz M, Rosa D, Mart I. 2001. Relationships between agro/morphological characters and climatic parameters in Spanish landraces of lentil (*Lens culinaris* Medik.). Genet Resour Crop Evol 48: 239-249.
- Mishra S, B Sharma and KS Sharma. 2007. Genetics and cytogenetics of lentil. In: Yadav S, McNeil DL, Stevenson PC (eds.). Lentil an ancient crop for modern times. Springer, the Netherlands.
- Mondal MMA, Puteh AB, Malek MA, Roy S, Yusop MR. 2013. Contribution of morpho-physiological traits on yield of lentil (*Lens culinaris* Medik.). Australian J Crop Sci 7 (8): 1167-1172.
- Piergiorganni AR. 2000. The evolution of lentil (*Lens culinaris* Medik.) cultivation in Italy and its effects on the survival of autochthonous populations. Genet Resour Crop Evol 47: 305-314.
- Pratap A, Kumar J, S Kumar. 2014. Evaluation of wild species of lentil for agro-morphological traits. Legume Res 37 (1): 11-18.
- Riaz SM, Shabbir G, Zubir M, Iqbal SM, Ali A. 2014. Genetic Diversity Analysis of morpho-genetic traits in Desi Chickpea (*Cicer arietinum* M.). Intl J Agric Biol 16: 956-960.
- Roy S, Islam MA, Sarker A, Malek MA, Rafii MY, Ismail MR. 2013. Determination of genetic diversity in lentil germplasm based on quantitative traits. Australian J Crop Sci 7 (1): 14-21.
- Roy S, Islam MA, Sarker A, Ismail MR, Rafil MY, Mondal MMA, Malek MA. 2012. Morphological characterization of lentil accessions: Qualitative characters. Bangladesh J Bot 41 (2): 187-190.
- Sandhu JS, Singh S. 2007. History and origin. In: Yadav SS, McNeil D, Stevenson PC (eds.). Lentil: An Ancient Crop for Modern Times. Springer, Berlin.
- Saxena MC. 2009. Plant morphology, anatomy and growth habit. In: Erskine W, Muehlbauer FJ, Sarker BS (eds). The Lentil Botany, Production and Uses. CABI, Wallingford, UK.
- Singh M, Bisht IS, Dutta M, Kumar K. 2014. Genetic studies on morpho-phenological traits in lentil (*Lens culinaris* Medikus) wide crosses. J Genet 93 (2): 561-566.
- Toklu F, Biçer T, Karaköy T. 2009. Agro-morphological characterization of the Turkish lentil landraces. African J Biotechnol 8 (17): 4121-4127.
- Torricelli R, Silveri DD, Ferradini N, Venora G, Veronesi F, Russi L. 2012. Characterization of the lentil landrace Santo Stefano di Sessanio from Abruzzo, Italy. Genet Resour Crop Evol 59 (2): 261-276.
- Tullu A, Kusmenoglu I, McPhee KE, Muehlbauer FJ. 2001. Characterization of core collection of lentil germplasm for phenology, morphology, seed and straw yields. Genet Resour Crop Evol 48: 143-151.
- Turk A, Tawaha AR, Lee MKD. 2004. Seed germination and seedling growth of three lentil cultivars under moisture stress. Asian J Plant Sci 3 (3): 394-397.
- Tyagi SD, Khan MH. 2010. Genetic divergence in lentil. African Crop Sci J 18 (2): 69-74.
- Verma P, Sharma TR, Srivastava S, Abidin PMZ, Bhatia S. 2014. Exploring genetic variability within lentil (*Lens culinaris* Medik.) and across related legumes using a newly developed set of microsatellite markers. Mol Biol Rep 41: 5607-5625.
- UPOV. 2013. Lentille: principes directeurs pour la conduite de l'examen de la distinction, de l'homogénéité et de la stabilité. Union internationale pour la protection des obtentions végétales. TG/210/2 (proj.4).
- Zaccardelli M, Francesco L, Piergiorganni AR, Laghetti G, Sonnante P, Gloria DM, Lucia L. 2012. Characterization of Italian lentil (*Lens culinaris* Medik.) germplasm by agronomic traits, biochemical and molecular markers. Genet Resour Crop Evol 59: 727-738.

Table S1. Weather conditions (monthly means) during the two cropping seasons (2011/2012 and 2012/2013)

Climate	October	November	December	January	February	March	April	May	June	Total
Minimum T. (°C)										
2011/2012	15.3	12.7	8.2	5.6	4.00	9.4	11.6	14.0	20.2	
2012/2013	12.5	7.7	2.5	2.3	1.5	5.7	7.4	9.1	12.0	
Maximum T. (°C)										
2011/2012	24.7	21.4	17.7	16.7	13.1	18.1	20.7	24.2	29.8	
2012/2013	25.8	19.5	14.2	12.7	11.7	17.8	21.6	24.1	28.8	
Mean T. (°C)										
2011/2012	20.0	17.1	12.9	11.2	8.5	13.7	16.1	19.1	25.00	
2012/2013	18.4	12.9	07.8	06.0	05.9	11,2	13.8	16.1	20.20	
Rainfall (mm)										
2011/2012	9.00	39.0	20.0	8.00	78.0	33.0	32.0	8.00	0.00	227
2012/2013	33.4	29.4	19.0	64,0	111.9	47.4	31.0	10.0	10.00	292.1

Table S2. Descriptors used for morphological assessment for qualitative and quantitative traits of lentil in the study (IPGRI 1985; UPOV 2013)

Descriptors	Code	Definition	When measured	Unit
Time to emergence	TEM	Number of days from sowing until 90 % of plants had sprouting	Seedling stage	Days
Days to 50 % flowering	FD50	Number of days from planting to the stage when 50% of the plants have begun to flower	Flowering	Days
Days from sowing to maturity	TMT	Number of days from planting to the stage when 90% of the plants have matured	Maturity	Days
High of the lowest pod above the soil	HLP	Mean height of first pod from ground level	Maturity	Cm
Plant height	PHT	Length from soil to the tip of terminal leaf at maturity	Pod-filling stage	Cm
Number of pods per plant	NPP	Recorded from 10 randomly selected plants	Harvest	Unit
Number of seeds per pod	NSP	Recorded from 10 randomly selected plants	Harvest	Unit
Number of seeds per plant	SPL	Recorded from 10 randomly selected plants	Harvest	Unit
100-seed weight	SWE	Average weight of two samples of 100 randomly chosen seeds	After drying	Unit
Seed yield per plant	SY	Weight of goods seeds from 10 randomly selected plants	After drying	g/plant
Seed diameter	SDM	Diameter of 100 goods seeds	After drying	mm
Seed thickness	STH	Thickness of 100 goods seeds	After drying	mm

Table S3. Mean square values for 12 quantitative characters recorded over two sites (Alger and Constantine) from 2011-12 to 2012-13

Source of variation	DF	Time to emerge ⁿ (days)	Time to flower (days)	Time to maturity (days)	Plant height (cm)	Height to lowest pod (cm)	Pods/ plant (no)	Seeds/ pods (no)	Seeds /plant (no)	100-seed weight (g)	Seed diameter (mm)	Seed thickness (mm)	Seed yield/plant (g)
Location	1	2477.77 ***	5931.06 ***	70254.4 ***	2616.54 ***	278.34 ***	466838.7 **	0.409 ns	2022235.34 **	64.94 ***	22.72 ***	0.50 ***	1320.142 **
Genotype	42	61.015 ns	63.49 ns	64.7488 ***	151.74 ***	11.56 ***	57205.01 ns	0.187 ns	207843.29 ns	3.370 ***	3.22 ***	0.22 ***	325.2363 ns
Genotype × location	42	83.23 ns	39.56 ns	32.5891 ***	122.90 ***	10.93 **	38981.48 ns	0.139 ns	154203.004 ns	1.636 ***	1.11 ***	0.11 ***	272.5662 ns
Error	238	45.02	42.75	7.05158	19.79	5.21	57005.57	0.162	188173.23	0.5659	0.18	0.02	257.74993

Note: * Significant at $p \leq 0.05$, ** Significant at $p \leq 0.01$, *** Significant at $p \leq 0.001$

Table S4. Pearson's correlation coefficients in 43 lentil accessions among 12 quantitative characters

Traits	TEM	FD50	TMT	PHT	HLP	NPP	SPL	NSP	SWE	SDM	STH	SYP
TME	1	-0.094	-0.073	0.150	-0.110	-0.048	0.036	0.275	-0.135	-0.068	-0.128	-0.093
FD50	-0.094	1	0.200	-0.101	0.196	-0.102	-0.109	0.050	0.028	-0.078	-0.089	-0.088
TMT	-0.073	0.200	1	0.208	0.297	0.005	0.122	0.248	0.111	0.093	-0.325	0.177
PHT	0.150	-0.101	0.208	1	0.411	-0.290	-0.140	0.224	0.071	0.253	-0.204	-0.135
HLP	-0.110	0.196	0.297	0.411	1	-0.010	0.063	0.105	0.170	0.298	-0.119	0.174
NPP	-0.048	-0.102	0.005	-0.290	-0.010	1	0.876	-0.033	-0.100	-0.096	-0.079	0.698
SPL	0.036	-0.109	0.122	-0.140	0.063	0.876	1	0.416	-0.029	0.014	-0.140	0.771
NSP	0.275	0.050	0.248	0.224	0.105	-0.033	0.416	1	0.023	0.195	-0.090	0.208
SWE	-0.135	0.028	0.111	0.071	0.170	-0.100	-0.029	0.023	1	0.450	-0.059	0.541
SDM	-0.068	-0.078	0.093	0.253	0.298	-0.096	0.014	0.195	0.450	1	0.018	0.245
STH	-0.128	-0.089	-0.325	-0.204	-0.119	-0.079	-0.140	-0.090	-0.059	0.018	1	-0.175
YPL	-0.093	-0.088	0.177	-0.135	0.174	0.698	0.771	0.208	0.541	0.245	-0.175	1

Table S5. Eigen values, individual and cumulative percentage variations and Eigen vector explained by four vectors explained by four principal components based on morphological traits in 43 lentil genotypes

Axes of the principal component				DF50	TMT	PHT	HLP	SWE	NPP	NSP	SDM	STH
Analysis												
Axis	Eigenvalue	Proportion (%)	Cumulative Proportion (%)									
PC1	2.74	27.43	27.43	-0.050	0.152	-0.076	0.126	0.195	0.504	0.540	0.126	-0.145
PC2	2.14	21.41	48.84	0.134	0.338	0.454	0.454	0.353	-0.292	-0.180	0.405	-0.211
PC3	1.41	14.11	62.96	-0.386	-0.427	-0.080	-0.143	0.446	-0.101	-0.105	0.443	0.445
PC4	1.10	11.03	73.99	0.709	0.081	-0.540	-0.063	0.366	-0.087	-0.145	-0.017	0.131



REGULAR ARTICLE

CHARACTERIZATION OF SOME ALGERIANS AND FOREIGN LENTIL ACCESSIONS BY QUALITATIVE TRAITS

DJOUHER GAAD^{*1,2}, MERIEM LAOUAR², FATIMA GABOUN³, AISSA ABDELGUERFI²

¹Department of Phytotechnie, National Height School of Agriculture, Algiers, Algeria

²Division of Agriculture and Biotechnology, National Research Center for Biotechnology, Constantine, Algeria

³National Institute of Agronomic Research, Regional Center of Rabat, B. P. 6356-Rabat-Instituts, Morocco

ABSTRACT

In the present study an attempt has been made to characterize lentil accessions based on qualitative traits. There were variations among 44 lentil accessions. Erect growth habit was observed in 24 % of the accessions where 8% were from Algeria. Conversely, prostrate growth habit was observed in 34% of the accessions. The majority of the remaining accessions (41.32%) were intermediate. Stem with anthocyanin pigmentation was showed in 44% of the accessions, whereas, 56% had no pigmentation (green stem). About half of the accessions had grey green leaves (53%) and 23% of accessions were light green. Among the characters, flower color showed the highest variation. White flowers were observed in 64% accessions and violet flowers were found in 36% accessions. Flowers, with violet stripes in the standard petal (SVE) were observed in 44% accessions and the majority (56%) lacked violet stripes. Yellow cotyledons were observed in 61% accessions, while the rest (39%) had red cotyledons. The majority of accessions (81%) were observed with brown testa while 14% were green and 5% had yellow testa. Absence of seed coat pattern was observed in 69% accessions. However, 8% accessions with spots, 5% with dots, 16% were marbled and the remaining 2% were complex. Flattened seed shape was observed in 60% of accessions. Conversely, globose shape was observed in 40% of the accessions, among of them 27% were from Algeria.

Keywords: Qualitative traits, Erect growth habit, Flower color, Lentil accessions, Algeria

INTRODUCTION

Lentil plant is mostly growing as an annual plant with branches covered with hairs. Stems are mainly narrow and light green [1]. Generally, there are cultivated as well as wild varieties [2]. Considerable variations among phenotypic traits have been reported earlier [3-5]. But there are certain limitations for this phenotypic characterization due to the environment impact on the structural traits [6]. Due to this fact, it is considered that, the phenotypic variations are results of both environmental and genetic attributes [7]. But the morphological markers are significant in analyzing hybridity and keeping genetic purity [4]. Keeping these in view, the objectives of this investigation was to characterize different lentil accessions from Algeria and abroad on the basis of qualitative traits.

MATERIALS AND METHODS

Two field experiments were conducted in two consecutive years of 2011/2012 and 2012/2013. Sowing was performed on December 9th, 2012 at INRAA station and on January 7th, 2013 at ITGC station. A total of 44 accessions of cultivated lentil (*Lens culinaris* M.), comprised landraces and modern cultivars representing geographically and

phenotypically wide variation, were used in this study. Among these, 18 were collected in Algeria (nine *microsperma* and nine *macrosperma*). In addition, a collection reference of 26 accessions including released popular cultivars and selected advanced lines was received from ICARDA (8 accessions), USDA (12 accessions) and ATFCC (6 accessions) under standard material transfer agreement during 2011. Relevant passport data of these accessions are given in table 1.

The first experiment carried out at experimental station of INRAA with 18.5 m altitude, in a sub-humid zone. The soil was clay-muddy with a 7.9 pH. A low temperature (4 °C) was recorded in February at seedling stage which caused certain leaf damage and cold injury.

The second field trial was located at the experimental farm of ITGC (Institut Technique des Grand Cultures), at Constantine district in the semi-arid region, about 713 m above the sea level. Similar to the first location cold injury was noticed during February when the temperature was below 5 °C. A durum wheat crop had been grown during the previous season for both experimental locations.

Received 21 December 2017; Accepted 30 April 2018

*Corresponding Author

Djouher Gaad

Department of Phytotechnie, National Height School of Agriculture, Algiers, Algeria

Email: laouar_m@yahoo.fr

©This article is open access and licensed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) which permits unrestricted, use, distribution and reproduction in any medium, or format for any purpose, even commercially provided the work is properly cited. Attribution — You must give appropriate credit, provide a link to the license, and indicate if changes were made.

Table 1: Source of collection and country of origin of 44 lentil accessions

N	Accessions Code	Accession name	Status	Origin	Source of collection
01	ALG3. lens	Unknown	Population	Algeria	Farmer/Algeria
02	ALG4. lens	Unknown	Population	Algeria	Farmer/Algeria
03	ALG6. lens	Syrie229_1	Cultivated variety	Algeria	ITGC/Algeria
04	ALG7. lens	Balkan755	Cultivated variety	Algeria	ITGC/Algeria
05	ALG8. lens	Ibla	Cultivated variety	Algeria	ITGC/Algeria
06	ALG12. lens	Blande de Chili_1	Cultivated variety	Algeria	Farmer/Algeria
07	ALG15. lens	Unknown	Population	Algeria	Farmer/Algeria
08	ALG16. lens	Unknown	Population	Algeria	Farmer/Algeria
09	ALG18. lens	Radjas	Cultivated variety	Algeria	ITGC/Algeria
10	ALG19. lens	Flip 90 31C	Hybrid line	Algeria	ITGC/Algeria
11	ALG21. lens	Setif628	Cultivated variety	Algeria	ITGC/Algeria
12	ALG22. lens	Flip 48 L	Hybrid line	Algeria	ITGC/Algeria
13	ALG23. lens	Flip 97-11C	Hybrid line	Algeria	ITGC/Algeria
14	ALG25. lens	Metropole_3	Cultivated variety	Algeria	Farmer/Algeria
15	ALG28. lens	Unknown	Population	Algeria	Farmer/Algeria
16	ALG29. lens	Unknown	Population	Algeria	Farmer/Algeria
17	ALG30. lens	Metropole_4	Cultivated variety	Algeria	Farmer/Algeria
18	ALG31. lens	Unknown	Population	Algeria	Farmer/Algeria
19	IG5511	Unknown	Breeding material	Syria	ICARDA
20	IG1647	Cundina	Breeding material	Colombia	ICARDA
21	IG26	ILL26	Unknown	Syria	ICARDA
22	IG1828	ILL1828	Unknown	Bio	ICARDA
23	IG8	ILL8	Unknown	Bio/Chili	ICARDA
24	IG572	ILL572	Improved cultivar	Jordan	ICARDA
25	IG5160	ILL5160	Improved cultivar	Turkey	ICARDA
26	IG4872	DEU146	Breeding material	Jordan	ICARDA
27	PI431640	ILL1017	Breeding material	Afghanistan	USDA
28	PI619099	Mason	Breeding material	Iran	USDA
29	PI374120	ILL1941	Breeding material	USA	USDA
30	PI490289	Mariette	Breeding material	Morocco	USDA
31	PI486127	Unknown	Breeding material	France	USDA
32	PI320936	Daghestan	Hybrid line	USA	USDA
33	PI468902	Populacao	Improved cultivar	Russia	USDA
34	PI320937	ILL505	Improved cultivar	/Brazil	USDA
35	PI297787	ILL319	Other	Germany	USDA
36	PI533690	PARDINA	Cultivar	Greece	USDA
37	PI472126	33-0690000	Breeding material	Spain	USDA
38	PI374119	ILL1940	Breeding material	India	USDA
39	V69-10010	Flash	Unknown	Morocco	ATFCC
40	ILL5722	Digger	Unknown	Australia	ATFCC
41	ILL5728	Cobber	Unknown	Australia	ATFCC
42	ILL5823	Matilda	Unknown	Australia	ATFCC
43	ILL7180	Nugget	Unknown	Australia	ATFCC
44	Unknown	Cassab	Unknown	Australia	ATFCC
			Unknown	Australia	
			Improved cultivar		
			Improved cultivar		
			Improved cultivar		
			Improved cultivar		
			Improved cultivar		
			Improved cultivar		

Table 2: Descriptors used for morphological assessment for qualitative traits of lentil in the study [8, 9]

N	Descriptors	Acronyms	Definition	When measured	Unit
Qualitative traits					
1	Growth habit	GHA	The branching pattern recorded on plot basis	After flowering	Erect=1 Intermediate=3 Prostrate=5
2	Stem pigmentation	SPG	Color at the base of the stem	Seedling stage	Absent=1 Present=9
3	Leaf color	LCL	Recorded on plot basis	50% flowering	Dark green=3 Light green=5 Grey green=7
4	Flower color	FLC	Recorded on plot basis	First few flowers	White=1 Pink=2 Blue=3
5	Violet stripes of standard	SVE	Flowers white petals with blue veins	First few flowers	Absent=1 Present=9
6	Plant vigor	PLV	Recorded on plot basis	First few flowers	Weak=3 Medium=5 Strong=7
7	Cold tolerance	CTL	Damage caused to leaf manifested by violet color	Seedling stage	No symptom=1 Plant killed=9
8	Cotyledon color	CCL	Cotyledon color of 100 good seeds	Freshly harvested seeds	Yellow=1 Orange=2 Green=3
9	Seed ground color	SGC	Ground color of testa of 100 good seeds	Freshly harvested seeds	Brown=1 Yellow=2 Green=3 Grey=4 Black=5
10	Seed coat pattern	SCP	Pattern of testa of 100 good seeds	Freshly harvested seeds	Marbled=1 Striped=2 Dotted=3 No pattern=4 Complex=5
11	Seed shape	SSH	Seed shape of 100 good seeds	Freshly harvested seeds	Globus=1 Flattened=2

The experiments were carried out following an Alpha Lattice design with four replicates. Unit plot size was 3 m² (3 m × 1 m). Row to row and plant to plant distances were 50 cm and 10 cm, respectively. All recommended cultural practices and plant protection measures were followed to raise a healthy crop.

The standard descriptors for lentil [8] and UPOV descriptors [9] have been used as guidelines in the phenotypic characterization. Observations were recorded from 4 replications of 3 plants. The details of all traits taken into account, is given in table 2.

RESULTS AND DISCUSSION

The frequencies for all qualitative characters are summarized in Table 3. Lentil genotypes showed large differences in growth habit (GHA). Erect growth habit was observed in 24 % of the accessions. Conversely, prostrate growth habit was observed in 34% of the accessions. The majority of the remaining accessions (41.32%) were intermediate. In this study, 44% of the accessions showed stem with anthocyanin pigmentation (SPG), whereas, 56% had no pigmentation (green stem). The stem color of other accessions from ICARDA, USDA, and ATFC were either purple or green. The green color of the leaf (LCL) has three variants: light green, gray green and dark green. About half of the accessions had grey green leaves (53%) and 23% of accessions were light green. The dark green color was observed in 25% of accessions. White flowers were observed in 64% accessions and violet flowers were found in 36% accessions. Flowers, with violet stripes in the

standard petal (SVE) were observed in 44% accessions and the majority (56%) lacked violet stripes.

In both experiments, plants were affected by cold that occurred in February. Observation of cold tolerance revealed that response to cold among genotypes varied from one accession to another. While the majority of accessions showed moderate symptoms (95%), few accessions (5%) were susceptible to the cold and died, which was the case for ALG16 (microsperma), IG5511 (macrosperma) from Syria, IG5160 (microsperma) from Jordan and IG4872 (microsperma) from Afghanistan. The local cultivated varieties: ALG7 (Balkan755: microsperma), ALG8 (Ibla: macrosperma), ALG18 (Radjas: microsperma), ALG21 (Setif 628: microsperma), a hybrid line ALG22 (microsperma), and two accessions from abroad: IG572 (microsperma) from Turkey and PI374120 (macrosperma) from Morocco did not show any damage.

Yellow cotyledons were observed in 61% accessions, while the rest (39%) had red cotyledons. The majority of accessions (81%) were observed with brown testa (STC) while 14% were green and 5% had yellow testa. The majority of Algerian accessions had brown testa (35.06%). Absence of seed coat pattern (SCP) was observed in 69% accessions and 30% were from Algeria. However, 8% accessions had spots, 5% had dots, 16% were marbled and the remaining 2% were complex. Flattened seed shape (SSH) was observed in 60% of accessions. Conversely, globose shape was observed in 40% of the accessions, among of them 27% were from Algeria.

Table 3: Frequency distribution of 11 qualitative traits assessed in 43 lentil accessions

Character	Description state	Frequency %
Growth habit	Erect=1	24.38
	Intermediate=3	41.32
	Prostrate=5	34.30
Stem pigmentation	Absent=1	56.21
	Present=9	43.79
Leaf color	Dark green=3	29.43
	Light green=5	17.09
	Grey green=7	53.48
Flower color	White=1	64.43
	Blue=3	00.00
	Violet=4	35.57
Violet stripes of standard	Absent=1	56.50
	Present=9	43.50
Cold tolerance	No symptom=1	04.12
	Moderate symptom	95.08
	Plant killed=9	00.79
Cotyledon color	Yellow=1	61.30
	Orange=2	38.69
	Green=3	00.00
Seed ground color	Brown=1	81.33
	Yellow=2	02.36
	Green=3	13.90
	Grey=4	00.00
	Black=5	00.00
Seed coat pattern	Marbled=1	16.39
	Striped=2	08.28
	Dotted=3	04.58
	No pattern=4	68.55
	Complex=5	02.36
Seed shape	Globus=1	40.07
	Flattened=2	59.92

DISCUSSION

In the present study, the nine qualitative traits allowed the discrimination of the accessions. The accessions included very different growth habit from prostrate, intermediate to erect growth habit. According to Erskine and Goodrich [10], lentil varieties vary in growth habit. The stems are generally light green in color but in several genotypes they may have varying degrees of anthocyanin pigmentation, ranging from only on the basal parts to the whole of the stems, while in others it could be completely absent [11]. In Italy, [12] the presence of anthocyanin pigmentation at the base of plants grown in dense stands in the majority of the entries. Contrary to our finding, the majority of accessions presented stem without anthocyanin pigmentation. In a collection of lentil landraces comprising 39 genotypes from the South East of Turkey, most of the landraces had seedling-stem pigmentation [13]. The local accessions present light green color foliage, compared to accessions from Asia (India, Afghanistan and Iran) and Europe (Spain, Germany, France and Turkey) which presented grey color of leaf. It is clear from previous studies, the foliage of Asian group, named *grex pilosae*, is grey green because of the presence of soft hairs, and it contrasts with the green color common for lentil [14,15]. Those results correlated with our finding where only a few accessions mainly from Morocco and USA presented dark foliage color. Flower color is important trait to characterize [4]. The standard petal is white, pink, purple, light purplish blue, or pale blue [16]. In this study, the majority of accessions had white flowers including some Algerian accessions. The remaining accessions had violet flower color. According to Erskine and Witcombe [17], lentil

plants develop blue or pink flowers occasionally, that persist for one generation and do not develop in subsequent generations.

Another study [18] classified the ground color of testa. The predominance of brown grain testa in local accessions is based on quality acceptance dictated by farmer and consumer preference. Also, in another study [19] in the global wild annual *Lens taxa*, originating from twenty-seven countries stated that the ground color of testa was mostly grey and brown. While, testa ground color was green in 90% of one hundred and one Spanish landraces of lentil [18]. One of the earlier research [21] reported that brown testa was completely dominant over tan testa. There are three kinds of cotyledon in lentil, red, green and yellow. Cotyledon color is an important trait for breeding lentil based on consumer preference in different regions [22]. Most Algerians accessions prefer yellow cotyledons. The majority of accessions from Asia (India, Afghanistan, Syria and Jordan) had red cotyledons. According to one study [23], there are strong preferences for small seed types with red cotyledons among consumers in the South Asian countries. Red cotyledon color is preferred for consumption in South Asia [5]. In both local and introduced accessions we found the two types of seed shape, flattened and globular. Lentil seeds may have a globose shape (diameter: thickness ratio ranging from 1.5 to 2.5) or flattened (diameter: thickness ratio ranging from 2.5 to 4) [11].

Cold tolerance was recorded for all the genotypes in this study and no relationship was found between seed type and cold tolerance. Although, large seeded varieties had

greater cold tolerance in comparison with small seed varieties [23]. They also stated that considering adaptation to other climatic conditions, pilosae germplasm (India and Pakistan) is strikingly more susceptible to cold damage than germplasm from West Asia (Syria and Jordan). While, in this study the Syrian and Jordan accessions were susceptible to cold damage. Previous study [3] reported that large number of plant with prostrate growth habit and purple pigment of the stem were injured by cold in the field. Contrary to our finding, all susceptible accessions had a stem without pigment with different growth habit (erect, intermediate and prostrate).

CONCLUSION

Significant differences among the accessions for different qualitative characters indicated variation among the accessions favorable for their use in future breeding programs.

REFERENCES

1. Muehlbauer FJJ, Cubero I, and Summerfield RJ. Lentil (*Lens culinaris* Medik.). In: Summerfield RJ, Roberts EII. (eds). Grain Legume Crops. Grafton Street, London, UK.1985;266–311.
2. Sandhu JS, Singh S. History and origin. In: Yadav S, McNeil DL, Stevenson PC, (ed) Lentil an ancient crop for modern times. Springer, the Netherlands.2007:1–10.
3. Asghar A, Johnson DL. Association of Growth Habit and Anthocyanin Pigment with Winter Hardiness in Lentil. Pakistan Journal of Biological Sciences. 1999;2:1292–1295.
4. Roy S, Islam MA, Sarker A, Ismail MR, Rafil MY, Mondal MMA, Malek MA. Morphological characterization of lentil accessions: Qualitative characters. Bangladesh J. Bot. 2012;2:187–190.
5. Pratap A, Kumar J, Kumar S. Evaluation of wild species of lentil for agro-morphological traits. Legume Res. 2014;1:11–18.
6. Dalamu M, Behera TK, Gaikwad AB, Saxena S, Bharadwaj C, Munshi AD. Morphological and molecular analyses define the genetic diversity of Asian bitter melon (*Momordica charantia* L.). Australian Journal of Crop Science. 2012;2:261–267.
7. El-esawi MA. Genetic diversity and evolution of Brassica genetic resources: from morphology to novel genomic technologies, a review. Plant Genetic Resources. 2016:1–12.
8. IPGRI. Descriptors for lentil (*Lens culinaris* M.). International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy. 1985;19p.
9. UPOV. Lentille: principes directeurs pour la conduite de l'examen de la distinction, de l'homogénéité et de la stabilité. Union internationale pour la protection des obtentions végétales. TG/210/2(proj.4). Geneve. 2003.
10. Erskine W, Goodrich WJ. Variability in lentil growth habit. Crop Science. 1991;31:1040–1044.
11. Saxena MC. Plant Morphology, Anatomy and Growth Habit. In Erskine W, Muehlbauer FJ, Sarker A, Sharma B. (ed). The Lentil: Botany, Production and Uses. CAB Intern, Cambridge. 2009;pp. 34–46.
12. Torricelli R, Silveri DD, Ferradini N, Venora G, Veronesi F, Russi L. Characterization of the lentil landrace Santo Stefano di Sessanio from Abruzzo, Italy. Genetic Resources and Crop Evolution. 2012;2:261–276.
13. Toklu F, Biçer T, Karaköy T. Agro-morphological characterization of the Turkish lentil landraces. African Journal of Biotechnology. 2009;17:4121–4127.
14. Erskine W, Chandra S, Chaudhry M, Malik IA, Sarker A, Sharma B, Tyagi MC. A bottleneck in lentil: widening its genetic base in South Asia. Euphytica. 1998;101:207–211.
15. Kumar M, Mishra SK, Tyagi MC, Singh SP, Sharma B. Linkage between genes for leaf colour, plant pubescence, number of leaflets and plant height in lentil (*Lens culinaris* Medik.). Euphytica. 2005;45:41–48.
16. Wilson VE, Hudson LW. Inheritance of lentil flower colour. The Journal of Heredity. 1978;69:129–130.
17. Erskine W, Witcombe JR, Lentil Germplasm Catalog (Internatio). Aleppo, Syria, 1984.
18. Singh AK, Kumar P, Singh J, Rani R, Rani A, Shukla P, Misra P. Diversity analysis of lentil (*Lens culinaris* Medik.) germplasm using morphological markers. Asian Journal of Bio Science. 2014;1:39–42.
19. Emami MK, Sharma B. Inheritance of black testa colour in lentil (*Lens culinaris* Medik.). Euphytica. 2000;115:43–47.
20. Mishra S, Sharma B, and Sharma KS. Genetics and cytogenetics of lentil. In: Yadav S, McNeil DL, Stevenson PC. (ed.) Lentil an ancient crop for modern times. Springer, the Netherlands. 2007;pp. 187–208.
21. Lazaro A, Ruiz M, Rosa D, Mart I. Relationships between agro/morphological characters and climatic parameters in Spanish landraces of lentil (*Lens culinaris* Medik.). 2001;48:239–249.
22. Rahman MM, Sarker A, Kumar S, Ali A, Lutfor M. Breeding for Short Season Environments. In Erskine W, Muehlbauer FJ, Sarker A, Sharma B. (ed). The Lentil: Botany, Production and Uses. CAB Intern, Cambridge. 2009;pp. 121–136.
23. Erskine W, Myveci K, Izgin N. Screening a world lentil collection for cold tolerance. LENS Newsletter. 1981;8:5–8.

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/322303394>

Diversity study of Algerian's Accessions of lentil (Lens Culinaris Medik.) by microsatellite markers.

Article in *Research on Crops* · December 2017

DOI: 10.5958/2348-7542.2017.00119.X

CITATIONS

2

READS

219

5 authors, including:



Djouher Gaad

National Research Centre for Biotechnology, ...

9 PUBLICATIONS 4 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Meriem Laouar

École Nationale Supérieure Agronomique

143 PUBLICATIONS 62 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Sripada Udupa

International Center for Agricultural Researc...

119 PUBLICATIONS 2,106 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Fatima Henkrar

International Center for Agricultural Researc...

11 PUBLICATIONS 8 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Les ressources fourragères oasisienne et possibilité de leur développement dans la région d'Adrar [View project](#)



Barley mapping [View project](#)

Diversity study of Algerian accessions of lentil (*Lens culinaris* Medik.) by using microsatellite markers

D. GAAD^{*1, 2}, M. LAOUAR¹, S. M. UDUPA³, K. McPHEE⁴, F. HENKRAR³
AND A. ABDELGUERFI¹

¹Department of Phytotechnie

National Height School of Agriculture, Algiers, Algeria

^{*}(e-mail : d.gaad@crbt.dz)

(Received : October 05, 2017/Accepted : November 06, 2017)

ABSTRACT

Lentil is one of the important pulse crops in Algeria. The narrow genetic base of local cultivars and the disappearance of many local accessions contribute to the loss of lentil biodiversity. Therefore, the study of genetic diversity is essential for preservation of existing local accessions of lentils. Twenty-seven accessions collected across different agro-ecological zones of Algeria, and three improved lines from ICARDA were evaluated using 14 simple sequence repeat markers (SSR). Large genetic variability was found within the germplasm collection for SSR analysis. The total number of alleles was 52, averaging 5.2 alleles per locus. The number of alleles ranged from 3 (SSR90, SSR83) to 9 (SSR202) and the polymorphic information content value varied from 0.40 to 0.85 with an average of 0.64. The frequency of the most common allele at each locus ranged from 17% (SSR202) to 71% (SSR28, SSR183). On the basis of the genetic similarity coefficients, cluster analysis revealed significant diversity among the genotypes and separated the accessions into four groups. Some Algerian accessions shared similar genetic backgrounds with the lines from ICARDA.

Key words : Accessions, genetic diversity, lentil, SSRs markers

INTRODUCTION

Lentil (*Lens culinaris* Medikus) is the oldest pulse crop with remains found alongside human habitation up to 13,000 years BC (Sandhu and Singh, 2007). Lentil seeds are a rich source of protein (22 to 35%) and it is an excellent supplement to cereal grain diets (Mondal *et al.*, 2013).

Assessment of genetic diversity based on phenotype has its limitations, since most of the morphological characters of economic importance are dramatically influenced by environmental factors and plant developmental stages (Dalamu *et al.*, 2012). Thus, the variation patterns in these morphological traits are considered to be the result of both the environmental and genetic attributes (El-Esawi, 2016). Besides the environment, the expression of such markers is also altered by epistatic and pleiotropic interactions (Kumar, 1999). In

contrast, molecular markers are not affected by the environments and/or management practices, and become increasingly popular for analyzing genetic relationships in crops (Kadapi *et al.*, 2016). Several DNA based molecular marker systems (AFLP, ISSR, RAPD, SRAP and SNPs) have been employed to study genetic diversity in lentil.

Among molecular markers, simple sequence repeat (SSR), or microsatellite markers, are now the markers of choice for many crops to study genetic diversity. This is because of their fine polymorphism, high resolution, co-dominant inheritance, reproducibility, relative abundance and genome coverage (Pandey *et al.*, 2015). Several studies in lentil have used microsatellite markers to study genetic diversity (Verma *et al.*, 2013, 2014; Bermejo *et al.*, 2014; Kushwaha *et al.*, 2015; Andeden *et al.*, 2015; Idrissi *et al.*, 2015, 2016; Gupta *et al.*, 2016; Singh *et al.*, 2016).

²Division of Agriculture and Biotechnology, National Research Center for Biotechnology, Constantine, Algeria.

³International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), 10112 Rabat, Morocco.

⁴Department of Plant Science & Plant Pathology, University of Idaho, Montana State University, USA.

However, no detailed information is available on the genetic diversity of Algerian lentil landraces as assessed by molecular markers. Therefore, the present study was undertaken to assess genetic diversity of Algerian lentil's accessions using SSRs markers.

MATERIALS AND METHODS

Plant Material

Twenty-seven Algerian's accessions were collected from agro-climatic zones. In addition, three improved lines from the ICARDA's collection were used in this study. Relevant passport data of these 30 accessions are given in Table 1.

DNA Extraction

Young leaf tissue of 10-day old plants was collected separately from one selected individual labelled plant of each 30 accessions. The leaves were lyophilized and ground by the plant tissue grinder. Total genomic DNA was

extracted from these 30 samples following the ICARDA protocol (Suppl. material). DNA quality was assessed by electrophoresis on a 1% agarose gel in 0.5 X TBE buffer and stained with ethidium bromide. DNA quantity was estimated using a quantitative reference lambda DNA (Hind III/ECORI) with known concentration (Promega-Markers®). A part of the DNA sample was diluted to yield a working concentration for PCR analysis.

SSR Analysis

Fourteen SSRs primers designed by Hamwieh *et al.* (2009) were used (Table 2). Ten of them were polymorphic and were used for further analysis. The amplification protocol was as follows : 10 µl PCR mixtures containing 1 µl of 100 ng template DNA, 1 µl of oligonucleotide primer, 1 µl of 2 mM dNTPs, 2 µl of 5x Go Taq Green Master Mix (Promega Corporation, USA), 4.97 µl of sterilized distilled water and 0.03 µl Go Taq DNA polymerase (5 U/µl). PCR reactions were run in a Veriti Thermal Cycler (Applied Biosystems, Life Technology). The SSRs

Table 1. Details of 30 lentil accessions used for diversity analysis

S. No.	Accession code	Accession name	Status	Department	Seed type
01	ALG2.lens	ILL511	Population	Unknown*	Microsperma
02	ALG3.lens	Unknown	Population	Tizi ouzou	Macrosperma
03	ALG4.lens	Unknown	Population	Tizi ouzou	Macrosperma
04	ALG5.lens	Metropole	Cultivated variety	Mila	Microsperma
05	ALG6.lens	Syrie229	Cultivated variety	Tiaret	Microsperma
06	ALG7.lens	Balkan755	Cultivated variety	Tiaret	Microsperma
07	ALG8.lens	Ibla	Cultivated variety	Tiaret	Macrosperma
08	ALG9.lens	Idleb	Cultivated variety	Tiaret	Macrosperma
09	ALG12.lens	Blonde de Chili	Cultivated variety	S. B. Abbes	Macrosperma
10	ALG14.lens	Blonde de Chili	Cultivated variety	S. B. Abbes	Macrosperma
11	ALG15.lens	Unknown	Population	A.Timouchent	Macrosperma
12	ALG16.lens	Unknown	Population	A.Timouchent	Microsperma
13	ALG17.lens	Dahra	Cultivated variety	Medea	Microsperma
14	ALG18.lens	Radjas	Cultivated variety	Medea	Macrosperma
15	ALG19.lens	Flip 90 31C	Hybrid line	Medea	Macrosperma
16	ALG20.lens	Syrie229	Cultivated variety	Medea	Microsperma
17	ALG21.lens	Setif628	Cultivated variety	Medea	Microsperma
18	ALG22.lens	Flip 48 L	Hybrid line	Medea	Microsperma
19	ALG23.lens	Flip 97-11C	Hybrid line	Medea	Microsperma
20	ALG24.lens	Dahra	Cultivated variety	Bouira	Macrosperma
21	ALG25.lens	Metropole	Cultivated variety	Constantine	Microsperma
22	ALG26.lens	Unknown	Population	Bouira	Microsperma
23	ALG27.lens	Unknown	Population	Bouira	Microsperma
24	ALG28.lens	Unknown	Population	Bouira	Macrosperma
25	ALG30.lens	Metropole	Cultivated variety	Tizi ouzou	Microsperma
26	ALG31.lens	Unknown	Population	Illizi	Microsperma
27	ALG32.lens	Dahra	Cultivated variety	Setif	Microsperma
28	IG8	ILL8	Improved cultivar	Bio Bio/Chili	Microsperma
29	IG26	ILL26	Unknown	Amman/Jordan	Macrosperma
30	IG1828	ILL1828	Unknown	Damascus/Syria	Macrosperma

*Unknown origin : Algerian landrace repatriated from ICARDA.

Table 2. Summary of 14 SSR markers used for molecular characterization (Hamwiah *et al.*, 2009)

S. No.	Locus	Forward sequence	Reverse sequence	Annealing temp. (°C)	Expected size (bp)
1.	SSR132N	CCAGAACAACGTAACC	CTATCGCATATGAGTGAA	52	330
2.	SSR183	GCTCGCATTGGTGAAAC	CATATATAGCAGACCGTG	52	119
3.	SSR191	GCAAATTTCTTGGTCTACAC	GGGCACAGATTCATAAGG	53	238
4.	SSR197	CACCAATCACCAACACAC	GAGCTGTGAAGTCTTATCTG	54	173
5.	SSR202	CAACCTCACTTACCTTAC	GCTCTTTATCATCATTCTAC	52	220
6.	SSR207	GAGAGATACGTCAGAGTAG	GATTGTGCTTCGGTGGTTC	55	227
7.	SSR230	CCAACAACAATTCACCATAC	AACATTGTACTGAGAGGTG	53	251
8.	SSR253	GAAGAAGCATTTCACGGTG	GAGGGACTACTATATCAG	53	139
9.	SSR28	GAGGGCATAAATTCAGATTC	GGACAACGCACATTTGATG	53	383
10.	SSR34-2	CGGCGGATGAAACTAAAG	CATTTCTTCACAAACCAAC	53	185
11.	SSR46-2	CACTAAACATGGAAAATAGG	CTTATCTTTGTTGAAGCAA	50	157
12.	SSR66	GGTAGTGGTGAGGAATGAC	GCATCACTGCAACAGACC	55	253
13.	SSR72	CAAACAGTACAAGGAAAGGA	CTGACTGAGCTGCTTGAAC	55	253
14.	SSR90	CCGTGTACACCCCTAC	CGTCTTAAAGAGAGTGACAC	55	181

program was : 5 min at 95°C, for initial denaturation, 35 cycles of 1 min at 95°C (denaturation), 1 min for annealing temperature ranging from 50°C to 61°C, 5 min at 72°C, followed by holding at 10°C.

SSR amplified fragments were separated on a 6% native polyacrylamide gel stained with ethidium bromide (0.5 µg/ml). The 100 bp ladder (Promega Inc., USA) was used as a molecular weight marker.

For each locus across the genotypes, allele scoring was done manually in binary format based on allele presence (1) or absence (0) of the same size band. Genetic diversity parameters, such as mean number of alleles per locus (Na), mean number of effective alleles per locus (Ne) and polymorphism information content (PIC) were computed for each primer using Power Marker V3.25 software (NC State University, USA). Genetic relationships among the genotypes were displayed by classification using dissimilarity matrix (dissimilarity = 1 – similarity). From this matrix, a dendrogram was constructed with the weighted neighbour joining method (UPGMA) on the basis of allelic data (Takezaki and Nei, 1996) from 10 SSR markers. MEGA6 software (Tamura *et al.*, 2003) was used to view the trees.

RESULTS AND DISCUSSION

The results of molecular analysis showed SSR markers to be efficient tools in detecting genetic variability among lentil accessions. Although several genetic diversity studies of worldwide germplasm for lentil using SSR markers have been reported, to the best

of our knowledge, this is the first study on molecular assessment of genetic diversity in Algerian lentil accessions using microsatellites.

Allelic Variation

A total of 52 alleles were detected in 30 accessions using 10 SSRs markers. The number of alleles varied from 3 (SSR90 and SSR83) to 9 (SSR202) with an average of 5.2 per primer. PIC values ranged from 0.40 (SSR83) to 0.87 (SSR202) with a mean of 0.68. Seven SSR markers revealed PIC values of more than 0.5 indicating their usefulness in discriminating the genotypes. The gene diversity average was 0.68, with maximum and minimum values recorded by SSR202 (0.87) and SSR28 (0.46), respectively (Table 3). PCR amplification results by SSR72 are presented in Fig. 1.

The number of alleles detected, the average value of genetic diversity and PIC are higher than those reported by Bermejo *et al.* (2014) and Kushwaha *et al.* (2015), but lower than reports of several authors : Verma *et al.* (2014), Dikshit *et al.* (2015), Mekonnen *et al.* (2015), Idrissi *et al.* (2015, 2016), Gupta *et al.* (2016) and Singh *et al.* (2016). Therefore, in order to exploit the full potential of SSRs, high number of primers should be used in future studies. Using the same number of SSRs, our results are similar to the findings of Silva *et al.* (2016) in yams (*Dioscorea* spp.), the main root and tuber crop in the world.

Genetic Distance between Accessions

The dendrogram (Fig. 2) showed no

Table 3. Major allele frequency, number of alleles, gene diversity and PIC at 10 SSR loci in 30 lentil accessions

Markers	No. of alleles (Na)	Major allele frequency	Samples size	No. of observations	Gene diversity	PIC
SSR28	04	0.71	30	28	0.46	0.43
SSR66	04	0.47	30	30	0.68	0.63
SSR72	06	0.33	30	30	0.78	0.74
SSR90	03	0.57	30	30	0.56	0.48
SSR32N	06	0.30	30	30	0.75	0.71
SSR83	03	0.71	30	24	0.45	0.40
SSR97	06	0.41	30	29	0.75	0.72
SSR202	09	0.17	30	29	0.87	0.85
SSR207	06	0.21	30	29	0.83	0.80
SSR253	05	0.52	30	21	0.66	0.62
Total	52					
Mean	5.2	0.71	30	28	0.46	0.43

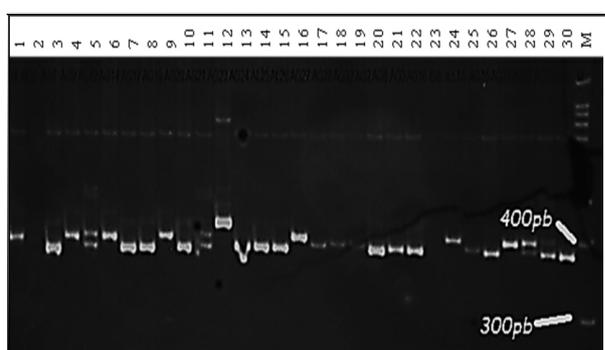


Fig. 1. Representative gel image showing the banding pattern of SSR72 for 30 lentil genotypes. Accessions are marked by order (1-30) as per sequence given in Table 1.

relationship between geographic and genetic distance. Group I was comprised of two accessions from ICARDA and two Algerian accessions : ILL1828 (Chili), IG8 (Jordan), ALG30 (Setif) and ALG16 (Ain-Timouchent). Group II consisted of Algerian accessions mainly from the North : ALG28 (Boutra), ALG18 and ALG22 (Medea), East region : ALG32 (Setif), ALG2 (Unknown) from ICARDA. Twenty-one Algerian accessions clustered in group III, while group IV contained IG26 (Syria), ALG5 (Mila), ALG31 (Djanet), ALG15 (Ain -Timouchent) and ALG3 (Tizi-Ouzou).

The cluster analysis revealed that some Algerian accessions shared similar genetic

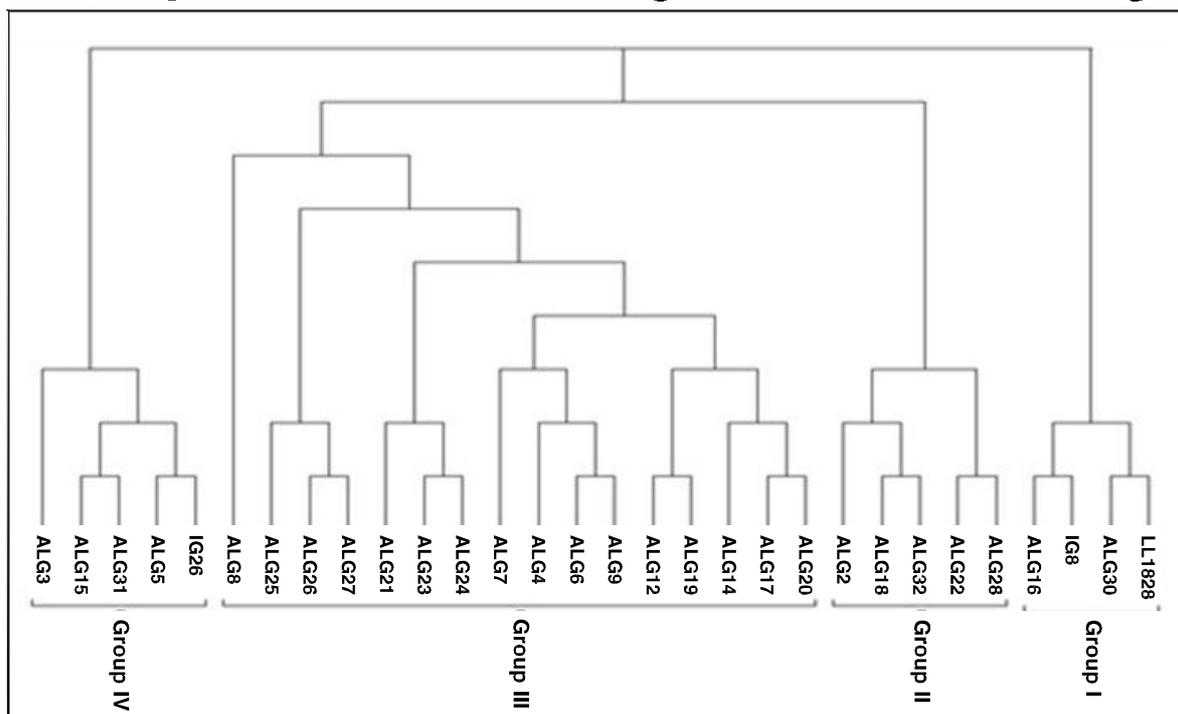


Fig. 2. Dendrogram obtained by SSR marker analysis using UPGMA method.

backgrounds with the lines from ICARDA (IG8, ILL1828, ALG30 and ALG16). This could be explained by the exchange of seeds through the research programs supported by ICARDA for breeding improved lentil cultivars. We also observed that accessions from the same locality scattered over different clusters, ALG3, ALG4 and ALG30 from Tizi-Ouzou region were scattered among three groups (I, III and IV) and ALG15, ALG16 from Ain-Timouchent region were dispersed between two groups (I and IV). Accessions from different regions were grouped together in cluster III, suggesting little relationship between geographic distribution and genetic diversity. The diversity in clusters according to Babayeva *et al.* (2009), was due to germplasm exchange which contributed to a clustering of accessions from different geographic origins and shared common parents. Also, human intervention might have resulted in the movement of genetic material across different localities, resulting in a rapid expansion of genetic diversity (Bakoume *et al.*, 2015). Fiocchetti *et al.* (2009) suggested that this phenomenon could be attributed to the influence of human activity such as seed exchange between farmers or unanticipated admixtures. It is also interesting to notice that the SSR method did not differentiate between the two major lentil types, *microsperma* and *macrosperma*. Similar results were obtained by Bacchi *et al.* (2010) based on AFLP and SSR where *macrosperma* and *microsperma* formed separate sub-groups.

CONCLUSION

The present study was the first attempt in characterizing Algerian lentil accessions at the molecular level. Significant differences among the accessions indicated variation among the accessions favourable for their use in breeding programs. The results demonstrate the efficiency of SSR markers in detecting polymorphism among accessions, but for a better discrimination between accessions additional SSR markers should be used in the future.

ACKNOWLEDGEMENT

Sincere thanks are due to Dr. McPhee for proof reading and for his valuable suggestions and critical review of the manuscript.

REFERENCES

- Andeden, E. E., Baloch, F. S., Çakir, E., Toklu, F. and Özkan, H. (2015). Development, characterization and mapping of microsatellite markers for lentil (*Lens culinaris* Medik.). *Plant Breed.* 134 : 589-98.
- Babayeva, S., Akparov, Z., Abbasov, M., Mammadov, A., Zaifzadeh, M. and Street, A. E. K. (2009). Diversity analysis of central Asia and Caucasian lentil (*Lens culinaris* Medik.) germplasm using SSR fingerprinting. *Genet. Resour. Crop Evol.* 56 : 293-98.
- Bacchi, M., Leone, M., Mercati, F., Preiti, G., Sunseri, F. and Monti, M. 2010. Agronomic evaluation and genetic characterization of different accessions in lentil (*Lens culinaris* Medik.). *Ital. J. Agron./Riv. Agron.* 4 : 303-14.
- Bakoume, C., Wickneswari, R., Siju, S., Rajanaidu, N., Kushairi, A. and Billotte, N. (2015). Genetic diversity of the world's largest oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) field gene bank accessions using microsatellite markers. *Genet. Resour. Crop Evol.* 62 : 349-60.
- Bermejo, C., Gatti, I., Caballero, N., Cravero, V. and Martin, E. (2014). Study of diversity in a set of lentil RILs using morphological and molecular markers. *Aust. J. Crop Sci.* 8 : 689-96.
- Dalamu, T., Behera, T. K., Gaikwad, A. B., Saxena, S., Bharadwaj, C. and Munshi, A. D. (2012). Morphological and molecular analyses define the genetic diversity of Asian bitter gourd (*Momordica charantia* L.). *Aust. J. Crop Sci.* 6 : 261-67.
- Dikshit, H. K., Singh, A. and Singh, D. (2015). Genetic diversity in *Lens* species revealed by EST and genomic Simple Sequence Repeat Analysis. *PLoS ONE* 10 : 1-15.
- El-Esawi, M. A. (2016). Genetic diversity and evolution of Brassica genetic resources : From morphology to novel genomic technologies, a review. *Plant Genetic Resources : Characterization and Utilization.* pp. 1-12.
- Fiocchetti, F., Laddomada, B., Roselli, M., Crino, P. and Lucretti, S. (2009). Fingerprinting of three typical *macrosperma* Italian lentil (*Lens culinaris* Medik.) landraces using fluorescence-based AFLP markers. *Sci. Hortic.* 121 : 383-87.
- Gupta, D. S., Cheng, P., Sablok, G., Thavarajah, D., Thavarajah, P., Coyne, C. and McGee, R. (2016). Development of a panel of unigene-derived polymorphic EST-SSR markers in lentil using public database information. *The Crop J.* 4 : 425-33.

- Hamwieh, A., Udupa, S. M., Sarker, A., Jung, C. and Baum, M. (2009). Development of new microsatellite markers and their application in the analysis of genetic diversity in lentils. *Breed. Sci.* 59 : 77-86.
- Idrissi, O., Udupa, S. M., Houasli, C., Keyser, E. D., Van Damme, P. and Riek, J. D. (2015). Genetic diversity analysis of Moroccan lentil (*Lens culinaris* Medik.) landraces using simple sequence repeat and amplified fragment length polymorphisms reveals functional adaptation towards agro-environmental origins. *Plant Breed.* 134 : 322-32.
- Idrissi, O., Udupa, M. S., Keyser, E. D., Van Damme, P. and Riek, J. D. (2016). Functional genetic diversity analysis and identification of associated simple sequence repeats and amplified fragment length polymorphism markers to drought tolerance in lentil (*Lens culinaris* ssp. *culinaris* Medik.) landraces. *Plant Mole. Biol. Reporter* 34 : 659-80.
- Kadapi, M., Ebana, K., Fukuoka, S. and Kazutoshi, O. (2016). Genetic relationships among improved varieties of rice (*Oryza sativa* L.) in Indonesia over the last 60 years as revealed by morphological traits and DNA markers. *Genetic Resour. and Crop Evol.* 64 : 701-15.
- Kumar, L. S. (1999). DNA markers in plant improvement : An overview. *Biotechnol. Adv.* 17 : 143-82.
- Kushwaha, U. K. S., Ghimire, S. K., Yadav, N. K., Ojha, B. R. and Niroula, R. K. (2015). Genetic characterization of lentil (*Lens culinaris* L.) germplasm by using SSR markers. *Agric. and Biol. Sci. J.* 1 : 16-26.
- Mekonnen, F., Mekbib, F., Kumar, S., Ahmed, S. and Sharma, T. R. (2015). Molecular diversity and population structure of the Ethiopian lentil (*Lens culinaris* Medik.) genotype assessment using SSR markers. *J. Crop. Sci. Biotech.* 19 : 1-15.
- Mondal, M. M. A., Puteh, A. B., Malek, M. A., Roy, S. and Yusop, M. R. (2013). Contribution of morpho-physiological traits on yield of lentil (*Lens culinaris* Medik.). *Aust. J. Crop Sci.* 7 : 1167-72.
- Pandey, S. K., Das, A., Rai, P. and Dasgupta, T. (2015). Morphological and genetic diversity assessment of sesame (*Sesamum indicum* L.) accessions differing in origin. *Physiol. Mol. Biol. Plants* 21 : 519-29.
- Sandhu, J. S. and Singh, S. (2007). History and origin. In : *Lentil—An Ancient Crop for Modern Times 1-10*, Yadav, S., McNeilm D. L. and Stevenson, P. C. (eds.). Springer, the Netherlands.
- Silva, L. R. G., Mezette, T. F., Nascimento, W. F., Silva, E. F. and Veasy, E. A. (2016). Spatially structured morphological and molecular diversity among *Dioscorea cayenensis* and *D. rotundata* yam accessions. *Plant Genetic Resour.* 1-14.
- Singh, D., Singh, C. K., Sewak, R., Tomar, S. and Taunk, J. (2016). Molecular assortment of *Lens* species with different adaptations to drought conditions using SSR markers. *PLoS ONE* 11 : 1-27.
- Takezaki, N. and Nei, M. (1996). Genetic distances and reconstruction of phylogenetic tree from microsatellite DNA. *Genetics* 144 : 389-99.
- Tamura, K., Stecher, G., Peterson, D., Filipi, A. and Kumar, S. (2003). MEGA6 : Molecular Evolutionary Genetic Analysis Version 6.0. *Mol. Biol. Evol.* 30 : 2725-29. doi :10.1093/molbev/mst197.
- Verma, P., Shah, N. and Bhatia, S. (2013). Development of an expressed gene catalogue and molecular markers from the *de novo* assembly of short sequence reads of the lentil (*Lens culinaris* Medik.) transcriptome. *Plant Biotechnol. J.* 11 : 894-905.
- Verma, P., Sharma, T. R., Srivastava, S., Abdin, P. M. Z. and Bhatia, S. (2014). Exploring genetic variability within lentil (*Lens culinaris* Medik.) and across related legumes using a newly developed set of microsatellite markers. *Mol. Biol. Rep.* 41 : 5607-25.

