

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ MOULOU MAMMERI, TIZI-OUZOU

FACULTÉ DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES AGRONOMIQUES

DÉPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES



**THÈSE DE DOCTORAT Es-Sciences**

Filière : **Sciences Agronomiques**

Spécialité: **Sciences Agronomiques**

Présentée par Mr. **LAHOUEL Mohamed**

**Sujet :**

**Contribution à l'étude des ressources génétiques du Grenadier (*Punica granatum* L.; Punicaceae/Lythraceae) de la région de Messaad (Wilaya de Djelfa)**

Soutenue le 28.11.2022, devant le jury d'examen composé de :

Mme. HANNACHI Lynda	M.C.A.	U.M.M.T.O. de Tizi Ouzou	Présidente
Mme. BELHADJ Safia	Professeur	U.Z.A. de Djelfa	Rapporteur
Mme. KROUCHI Fazia	Professeur	U.M.M.T.O. de Tizi Ouzou	Examinatrice
Mr. RABHI Khellaf	M.C.A.	U.M.M.T.O. de Tizi Ouzou	Examineur
Mr. HADDAD Benalia	M.C.A.	E.N.S.A d'Alger	Examineur
Mme. MEKIOUS Chahrazed	M.C.A.	U.Z.A. de Djelfa	Examinatrice

Année universitaire 2021/2022

**Thème : Contribution à l'étude des ressources génétiques du Grenadier (*Punica granatum* L.; Punicaceae/Lythraceae) de la région de Messaad (Wilaya de Djelfa)**

**Résumé**

Dans la région de Messaad, au centre de l'Algérie, le grenadier (*Punica granatum* L.) est l'une des principales cultures fruitières des systèmes agricoles après l'abricotier. Pour examiner la diversité agronomique et phénotypique des cultivars, une étude de la variabilité morphologique des fruits, des graines et des feuilles du grenadier en relation avec les traits agronomiques suivie d'une investigation sur la dynamique de la floraison ont été réalisées sur sept cultivars de grenade ; Khadraye KH1, Hamraye HM1, Senin Alouj SL1 des vergers de Messaad, AM2 (Amourah) des vergers d'Amourah, Khadraye KH3, Mezabi MZ3, Senin Alouj SL3 des vergers de Zaccar en Algérie centrale. Les résultats de l'étude morphologique montrent des similitudes entre les classes selon lesquels quatre classes principales ont été regroupés. La première classe C1 est constituée de deux cultivars (KH1 et SL1 de Messaad), tandis que la seconde classe C2 est constituée d'un cultivar, HM1 de Messaad. La troisième classe C3 est constituée d'un grenadier très caractéristique Romane Amourah (AM2) et la quatrième et dernière classe C4 comprend tous les cultivars de la troisième station de Zaccar. Alors que l'évaluation des caractéristiques qualitatives de la couleur et du goût du fruit par un panel de dégustateurs amateurs révèle des dissemblances et des similitudes significatives. Les résultats présentés dans ce travail justifient clairement la variabilité et son intérêt pour la préservation, l'exploitation et la valorisation de ce matériel génétique, ainsi que pour l'amélioration des variétés cultivées de grenadier qui présentent des performances économiques appréciables comme les cultivars de la station de Messaad et de Zaccar.

**Mots-clés :** *Punica granatum*, Morphologie, Agronomie, Graine, Fruit, Ressources, Floraison.

# Remerciements

*Je voudrais exprimer ma reconnaissance à **Mme Belhadj Safia** Professeur à l'Université Ziane Achour de Djelfa pour m'avoir encadré et orienté tout au long de ce travail. Vos conseils, votre disponibilité et discussion m'ont été très utiles dans la réalisation de cette étape qui va enfin clôturer mon parcours du doctorat.*

*Je voudrais sincèrement remercier **Mme Hannachi Lynda** Maître de conférence A à l'Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou pour faire l'honneur d'accepter de présider le jury et d'évaluer ce travail.*

*Je tiens à remercier profondément **Mme Krouchi Fazia** Professeur à l'Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou qui a bien voulu examiner et évaluer ce travail.*

*Mes vifs remerciements s'adressent également à **Mr RABHI Khellaf** Maître de conférence A à l'Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou pour avoir accepté d'examiner ce travail.*

*Je remercie également, **Mr HADDAD Benalia** Maître de conférence A à l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique d'Alger, pour avoir accepté de participer à ce jury. Veuillez trouver ici l'expression de mes remerciements les plus sincères.*

*J'adresse toute ma gratitude à **Mme MEKIOUS Chahrazed** Maître de conférence A à l'Université Ziane Achour de Djelfa, pour l'honneur qu'il me fait en acceptant de juger ce travail.*

*J'adresse ma reconnaissance, mon profond respect et mes sincères remerciements à Messieurs **Naouri Mohamed** de Messaad, **Labioud Ali** de Zaccar et **Moati Sofiane** de Amourah propriétaires des vergers de grenadier et à toutes leurs familles pour leur grande hospitalité et la confiance qu'ils nous ont accordé afin de nous permettre de réaliser notre suivi et notre échantillonnage dans de bonnes conditions.*

*J'exprime mes vifs remerciements et ma reconnaissance à tous ceux qui nous ont apporté leur aide de près ou de loin pour terminer ce travail, je citerai particulièrement: **Mr Souttou Karim**, **Mr Ait Belkaacem Abdelkarim**, **Mr Meknez Messaoud**, **Mr Mouissa Habib**, **Mr Sahel Boudjema**, **Mr Guendouz Abdelaaziz** et **Mr BenHamida Aissa**.*

# Dédicaces

*A la mémoire de mon père Hadj Ahmed ;*

*A la mémoire de Mme Boudiaf Malika ;*

*A ma mère ;*

*A ma femme ;*

*A mes sœurs, frères et ami (e) s ;*

*A tous ceux qui me sont chers.*

*Je dédie ce mémoire.*

## **Sommaire**

Liste des abréviations-acronymes	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des annexes	
Introduction .....	01
<b>Chapitre I. Description du grenadier (<i>Punica granatum</i> L.)</b>	
Généralités.....	04
I.1. Nomenclature et dénominations.....	05
I.2. Taxonomie et systématique du genre <i>Punica</i> .....	05
I.3. Origine géographique et aire de répartition du grenadier.....	06
1.4. Quelques éléments d'écologie sur l'espèce.....	10
1.5. Concept botanique.....	12
1.6. Cultivars et variétés.....	12
<b>Chapitre II. Etude du milieu physique et conditions environnementales</b>	
II.1. Cadre physique.....	16
II.1.1. Localisation de la région d'étude.....	16
II.2. Arboriculture dans la région de Djelfa.....	16
II.2.1. Le verger arboricole fruitier de la région d'étude.....	16
II.2.2. Evolution de la culture du grenadier ( <i>Punica granatum</i> L.) .....	19
II.2.3 Biotope et importance relative du grenadier dans la région.....	21
II.3. Cadre climatique.....	23
II.3.1. Les éléments climatiques.....	23
II.3.1.1. Les précipitations.....	24
II.3.1.2. Les températures.....	30
II.3.2. Synthèse climatique.....	33
II.4. Climat et changement climatique.....	47

II.5. Cadre pédologique.....	48
------------------------------	----

### **Chapitre III. Matériel et méthodes**

III.1. Identification du Matériel végétal.....	51
III.2. Stations d'échantillonnage.....	51
III.3. Paramètres morphologiques étudiés.....	54
III.3.1. Paramètres quantitatifs.....	54
III.3.2. Paramètres qualitatifs.....	57
III.3.3. Saveur et couleur.....	60
III.4. Suivi phénologique.....	60
III.4.1. Dynamique de la floraison.....	60
III.5. Analyse statistique.....	61

### **Chapitre IV. Résultats et discussions**

IV.1. Résultats.....	62
IV.1.1. Paramètres quantitatifs.....	62
IV.1.2. Paramètres qualitatifs.....	66
IV.1.4. Stades phénologiques du grenadier ( <i>Punica granatum</i> L.) de la région d'étude.....	72
IV.2. Discussion.....	81
IV.2.1. Paramètres quantitatifs.....	81
IV.2.2. Paramètres qualitatifs.....	83
IV.2.4. Stades phénologiques du grenadier ( <i>Punica granatum</i> L.) de la région.....	86
<b>Conclusion et perspectives</b> .....	91
<b>Références bibliographiques</b> .....	93
<b>Annexes</b> .....	104

**Article**

## *Liste des abréviations – Acronymes*

**A.C.E.** : ADMEDERA CONSULTING EXPORT

**A.C.P.** : Analyse en Composantes Principales

**A.P.G.** : Angiosperm Phylogeny Group classification

**A.N.O.V.A.** : Analyse de la Variance

**C.A.H** : Classification Ascendante Hiérarchique

**D.S.A.** : Direction des Services Agricoles

**I.N.C.T.** : Institut National de Cartographie et de Télédétection

**I.T.D.A.S.** : Institut Technique de Développement de l'Agronomie Saharienne

**I.N.R.A.A.** : Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie

**M** : Moyenne de la température du mois le plus chaud

**m** : Moyenne de la température du mois le plus froid

**M.A.D.R.** : Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural

**M.A.T.E.** : Ministère de L'Aménagement du Territoire et de l'Environnement

**M.E.B.** : Microscopie Electronique à Balayage

**N.R.C.P.** : National Research Centre on Pomegranate

**O.N.M.** : Office National de Météorologie

**O.N.U.D.I.** : Organisation des Nations Unies pour le Développement Industriel

**P.A.M.P.A.T. 2.** : Projet d'Accès aux Marchés pour les Produits Agroalimentaires et du Terroir – phase 2

**S.A.U.** : Superficie Agricole Utile

**T° mini (°)** : Températures **minimales** moyennes en °

**T° max (°)** : Températures **maximales** moyennes en °

**U.P.O.V.** : Union for the Protection Of new Varieties of plants

## *Liste des tableaux*

- Tableau 1.** Position taxonomique du genre *Punica* dans différents systèmes de classification
- Tableau 2.** Principales caractéristiques géographiques des sites étudiés
- Tableau 3.** Répartition de la superficie et production de grenadier par Daira (2016/2017) (D.S.A., 2017)
- Tableau 4.** Précipitations mensuelles moyennes de la période 1975-2018 (O.N.M., 2020)
- Tableau 5.** Régime saisonnier pour les stations d'échantillonnage pour la période 1975-2018
- Tableau 6.** Régime saisonnier pour les stations étudiées pour la période 1975-1996
- Tableau 7.** Régime saisonnier pour les stations étudiées pour la période 1997-2018
- Tableau 8.** Nombre de jours de gelée. Période 1975-2018 (Station météorologique de Djelfa)
- Tableau 9.** Nombre de jours de neige. Période 1975-2018 (Station météorologique de Djelfa)
- Tableau 10.** Somme de jours de grêle. Période 1975-2018 (Station météorologique de Djelfa)
- Tableau 11.** Températures moyennes mensuelles. Période 1975-2018
- Tableau 12.** Ecart thermique des différentes stations. Période 1975-2018
- Tableau 13.** Indice de sécheresse estivale pour Messaad
- Tableau 14.** Indice de sécheresse estivale pour Amourah
- Tableau 15.** Indice de sécheresse estivale Zaccar
- Tableau 16.** Synthèse des étages bioclimatiques d'après le Climagramme des trois stations
- Tableau 17.** Indice d'aridité de Martonne pour les trois stations
- Tableau 18.** Valeurs de l'évaporation (mm), enregistrées pour la station de Djelfa. Période 1975-2018
- Tableau 19.** Bilan climatique pour la station de Djelfa pour la période 1990-2008
- Tableau 20.** Direction des vents de la station de Djelfa pour la période 1975-2018
- Tableau 21.** Résultats de l'analyse granulométrique des sols sous grenadier de la station de Messaad (Lahouel, 2014)

**Tableau 22.** Localisation, Origine géographique (O.g.), âge, date de récolte, densité, rendement et type d'irrigation (Forage F, Source d'eau naturelle Sn) des cultivars de grenadier dans la zone étudiée (Messaad, Amourah et Zaccar) (2018)

**Tableau 23.** Caractéristiques écologiques des sites d'étude

**Tableau 24.** Principaux paramètres morphologiques quantitatifs étudiés

**Tableau 25.** Variables qualitatives mesurées pour les fruits et les graines (Adapté U.P.O.V., 2012)

**Tableau 26.** Valeurs moyennes des paramètres morphologiques quantitatifs étudiés, des fruits et des graines de grenadier (Test d'ANOVA)

**Tableau 27.** Matrice de corrélation (Pearson (n)) pour les paramètres quantitatifs étudiés

**Tableau 28.** Fréquences des moyennes des paramètres morphologiques qualitatifs étudiés des fruits et des graines du grenadier

**Tableau 29.** Analyse en Composantes Principales (Facteurs et valeurs propres)

**Tableau 30.** Stades phénologiques du grenadier dans la région d'étude (Messaad, Amourah et Zaccar) (2018)

**Tableau 31.** Répartition des organes chutés après floraison pour 07 (sept) cultivars de grenadier étudiés (moyenne de comptage de deux arbres par cultivar, exprimée en % du total)

**Tableau 32.** Taux de rétention (en % des fleurs apparues) des fruits de sept cultivars de grenadiers sur branche individuelle (Bois âgé)

**Tableau 33.** Taux de rétention (en % des fleurs apparues) des fruits de sept cultivars de grenadiers à l'échelle de l'arbre entier

## *Liste des figures*

**Figure 1.** Centres d'origine et de diversité du grenadier selon Vavilov (1925) (Melgarejo et *al.*, 2012)

**Figure 2.** Fiche technique simplifiée du grenadier

**Figure 3.** Photographies au MEB de graines de *Punica granatum*. (Adapté de Boesewinkel et Bouman, 1984 *In* Melgarejo et *al.*, 2020).

**Figure 4.** Localisation de la région d'étude et des sites d'échantillonnage

**Figure 5.** Carte de l'occupation du sol de la wilaya de Djelfa (I.N.C.T., 2001)

**Figure 6.** Répartition de la superficie (ha) en arboriculture fruitière de la wilaya de Djelfa par espèce (D.S.A., 2017)

**Figure 7.** Répartition de la production (Qx) en arboriculture fruitière de la wilaya de Djelfa par espèce (D.S.A., 2017)

**Figure 8.** Evolution de la superficie et de la production du grenadier (D.S.A., 2017)

**Figure 9.** Biotope et importance relative du grenadier dans la SAU de la Wilaya de Djelfa

**Figure 10.** Fluctuation des précipitations entre 1975 et 2018 pour les stations de Messaad, Amourah et de Zaccar

**Figure 11.** Précipitations moyennes mensuelles (Période 1975-2018)

**Figure 12.** Précipitations moyennes mensuelles des deux cycles 1975-1996 et 1997-2018

**Figure 13.** Régime saisonnier pour les stations d'échantillonnage pour la période 1975-2018

**Figure 14.** Régime saisonnier pour les stations étudiées pour la période 1975-1996

**Figure 15.** Régime saisonnier pour les stations étudiées pour la période 1997-2018

**Figure 16.** Températures moyennes mensuelles (Période 1975-2018) de la station de Messaad

**Figure 17.** Températures moyennes mensuelles (Période 1975-2018) de la station d'Amourah

**Figure 18.** Températures moyennes mensuelles (Période 1975-2018) de la station de Zaccar

**Figure 19.** Diagramme ombrothermique de la région de Messaad (Périodes 1975-2018 ; 1975-1996 et 1997-2018).

**Figure 20.** Diagramme ombrothermique de la région d'Amourah pour les périodes 1975-2018 ; 1975-1996 et 1997-2018

**Figure 21.** Diagramme ombrothermique de la région de Zaccar pour les périodes 1975-2018 ; 1975-1996 et 1997-2018

**Figure 22.** Climagramme d'Emberger

**Figure 23.** Abaque de De Martonne

**Figure 24.** Valeurs de l'évaporation (mm), enregistrées pour la station de Djelfa

**Figure 25.** Bilan climatique pour la station de Djelfa pour la période 1990-2008

**Figure 26.** Direction des vents de la station de Djelfa (Période 1975-2018)

**Figure 27.** Direction des vents de la station de Djelfa pour les quatre saisons (Période 1975-2018)

**Figure 28.** Carte pédologique de la région de Messaad et Ain El Ibel (Pouget, 1976)

**Figure 29.** Protocole expérimental de l'échantillonnage des fruits et graines du grenadier des stations de Messaad, Amourah et Zaccar

**Figure 30.** Protocole expérimental de l'échantillonnage des feuilles du grenadier des stations de Messaad, Amourah et Zaccar

**Figure 31.** Quelques paramètres morphologiques quantitatifs étudiés pour les fruits et les graines (Original)

**Figure 32.** Paramètres morphologiques quantitatifs étudiés pour les feuilles (Original)

**Figure 33.** Forme du fruit (N.R.C.P., 2005)

**Figure 34.** Présence de mamelon (N.R.C.P., 2005)

**Figure 35.** Formes de la feuille (Original)

**Figure 36.** Formes d'apex de la feuille (Original)

**Figure 37.** Fruits et graines du grenadier des stations de Messaad, Amourah et Zaccar (Originale)

**Figure 38.** Répartition des groupes de cultivars en fonction des variables étudiées sur la carte factorielle de l'Analyse en Composantes Principales (ACP)

**Figure 39.** Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) basée sur les caractéristiques morphologiques quantitatives des fruits, des graines et des feuilles des cultivars étudiés du grenadier

**Figure 40.** Fluctuations saisonnières de la feuillaison du grenadier de la région de Messaad (Originale)

**Figure 41.** Irrigation traditionnelle par rigole à Amourah et à Zaccar (Source naturelle) (Originale)

**Figure 42.** Système d'irrigation localisée à Messaad (Goutte à goutte) à partir d'un forage (Originale)

**Figure 43.** Dynamique de la floraison (Originale)

**Figure 44.** Évolution comparée de l'apparition des fleurs sur des branches de grenadiers appartenant à 07 (sept) cultivars étudiés du grenadier

**Figure 45.** Évolution comparée de la chute des fleurs sous des grenadiers (arbre entier) appartenant à 07 (sept) cultivars étudiés

**Figure 46.** Modifications morphologiques et phénologiques du grenadier après la sortie du bourgeon. (Rajaei et Yazdanpanah, 2015)

## *Liste des annexes*

**Annexe 1.** Test d'ANOVA : a. Paramètres du fruit, b. Paramètres de la graine. c. Paramètres de la feuille

**Annexe 2.** Variétés cultivées de grenade

**Annexe 3.** Ravageurs et maladies importants du grenadier (*Punica granatum* L.)

**Annexe 4.** Dégâts causés par le papillon sur des fruits de grenadier

**Annexe 5.** Brûlure bactérienne sur les feuilles et les fruits du grenadier

**Annexe 6.** Reportage TSA-Algérie sur la grenade de Messaad

# *Introduction*

## Introduction

Le grenadier (*Punica granatum* L.) est cultivé depuis l'Antiquité et fait partie des arbres fruitiers bibliques, comme la vigne, l'olivier ou le palmier (également cité dans le Coran). Selon les travaux du scientifique russe Vavilov (1925), son centre d'origine est le Proche-Orient, qui comprend l'intérieur de l'Asie mineure, la Transcaucasie, l'Iran et les hauts plateaux du Turkménistan (Melgarejo et *al.*, 2012).

Le nom *Punica* est le nom romain féminisé de Carthage, la ville antique du nord de la Tunisie d'où provenaient les meilleures grenades en Italie. La grenade a également joué un rôle symbolique important dans l'art, la littérature et la religion de nombreuses cultures. Dans presque toutes les régions du monde où le grenadier a poussé, elle en est venue à représenter des dualités fondamentales: la vie et la mort, l'intérieur et l'extérieur, le multiple et l'unique (Stover et Mercure, 2007 ; Ruis, 2015).

La production mondiale de grenadiers a connu une forte expansion en raison des preuves récentes des attributs de santé du fruit (Borochoy-Neori et *al.*, 2011). Les estimations actuelles de la production mondiale de grenadiers ne sont pas disponibles. Néanmoins, lors du séminaire international, tenu au Chili en 2009 sur la grenade, l'estimation de la production mondiale de grenade a été estimée à plus de 3 millions de tonnes (Quiroz, 2009). La superficie totale mondiale consacrée à la culture du grenadier dépasse largement les 300 000 ha, dont plus de 76% se trouvent dans cinq pays (Inde, Iran, Chine, Turquie et Etats-Unis). Les données fournies ne correspondent donc pas à une année exacte et constituent une estimation basée sur différentes sources (Stover et Mercure, 2007 ; Quiroz, 2009 ; Melgarejo et *al.*, 2012). Un dernier rapport préparé par le bureau A.C.E. dans le cadre du « Projet d'Accès aux Marchés pour les Produits Agroalimentaires et du Terroir – phase 2 (P.A.M.P.A.T. 2) », mis en œuvre par l'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel (O.N.U.D.I.) estime la production mondiale de la grenade en 2018 à 5 524 667 tonnes dont les pays les plus producteurs sont l'Inde avec 27%, la Chine avec 20%, l'Iran avec 17% et la Turquie avec 10% de la production mondiale totale. Il est noté qu'un grand producteur ne signifie pas être exportateur de ce produit (A.C.E., 2020).

En raison de la demande du marché, il est devenu de plus en plus important de caractériser les différentes variétés et clones pour obtenir un produit de haute qualité et d'intérêt économique. Les possibilités de son expansion dans les zones arides et semi-arides du monde sont énormes, notamment là où la salinité et le manque d'eau sont des facteurs limitants pour les autres cultures (Martinez et *al.*, 2006). Lors de la campagne 2020/2021, la

situation de l'Algérie dans le bassin méditerranéen en a fait l'un des pays les plus productifs en grenadiers avec plus de 95 762 tonnes, où la superficie cultivée a été estimée à 9 025 ha avec un rendement de 106,4 qx/ha (M.A.D.R., 2021). La part estimée de l'Algérie dans la production mondiale de grenadiers est plus de 2%, et sa superficie cultivée représente plus de 3% de la superficie totale de grenadiers dans le monde.

L'Algérie occupe une position importante parmi les pays producteurs de grenadiers malgré les difficultés techniques et économiques ; comme celles liées à l'exportation rencontrées dans ce secteur. La région de Messaad, qui renferme traditionnellement les zones de Messaad, Ain El Ibel, Zaccar, Moudjebara, Amourah et Faid El Botma, au centre de l'Algérie est devenue une zone prometteuse pour cette activité avec une superficie dédiée aux grenadiers de 1 079 ha, soit 11,96% de la superficie totale cultivée en Algérie, une production de 99 630 quintaux, soit plus de 10,40% de la production nationale de grenadiers, un rendement de 9 234 kg/ha (D.S.A., 2021). En outre, cette région est connue pour la qualité de ses fruits et présente les cultivars les plus diversifiés pour l'espèce de grenadier, en Algérie, y compris les variétés héritées et traditionnelles. Certains d'entre eux sont soumis à une érosion génétique sévère et sont menacés. Cette situation pourrait entraîner la disparition de plusieurs variétés locales traditionnelles de grenadiers et de leurs parents sauvages, de leur aire naturelle en Algérie.

La disparition de certaines espèces et variétés fruitières est caractérisée par un certain nombre de causes, notamment : (i) Les conséquences de la guerre de libération nationale, le délaissement et/ou l'abandon des vergers ainsi que l'urbanisation, (ii) Développement des infrastructures routières et hydrauliques (installation de plusieurs barrages) ont également été des causes principales de la disparition de certains cultivars, (iii) Les derniers incendies, en Kabylie et à l'Est du pays, n'ont fait qu'aggraver la situation, (iv) Vieillesse des arbres et la rareté, voire l'absence, de nouvelles plantations particulièrement depuis les années quatre-vingts, (v) Les difficultés rencontrées par certaines institutions étatiques ou privées (pépinières privées), chargées de constituer et de conserver le matériel végétal a fait que nous assistons à une grande déperdition touchant particulièrement les espèces et variétés fruitières autochtones qui ne sont plus multipliées par ces structures. (vi) Régression et même perte de savoir-faire liée à un départ en retraite d'une ressource humaine qualifiée aggravée par un manque de remplacement de celle-ci dans des domaines spécifiques telle que la reconnaissance des espèces et leur maintien en collection. (vii) La disparition ou la régression de certaines structures chargées de la conduite et du maintien, dans les normes, des collections arboricoles (I.N.R.A.A., 2006 ; M.A.T.E., 2014).

Les variétés de grenadiers de la région de Messaad s'adaptent bien aux aridosols malgré les conditions limitantes telles que les caractéristiques physiques, chimiques et climatiques. La mise en valeur de ces sols, leur gestion et le développement de ces cultures est d'une importance capitale vu l'étendue de ces terres en Algérie (Lahouel, 2014). Dans ces terroirs, les grenadiers sont produits en tant que variétés locales. Cependant, on sait peu d'informations sur leur diversité génétique, morphologique et agronomique. Le but du présent travail est, donc, de déterminer le niveau de variation morphologique des grenadiers produits dans la région de Messaad en Algérie, d'évaluer certains cultivars dans des conditions climatiques et agronomiques diverses pour en dégager les cultivars présentant les caractères les plus intéressants du point de vue rendement et qualité supérieure.

Ainsi et à travers ces informations, le présent travail constitue **une contribution à la caractérisation du grenadier (*Punica granatum* L.) de la région de Messaad localisée dans la wilaya de Djelfa (steppe sud algéroise)** en s'appuyant sur plusieurs volets fondamentaux et complémentaires.

Les principales questions évoquées auxquelles nous avons essayé d'apporter des éléments de réponses sont les suivantes :

- Existe-il des différences agro-morphologiques entre les différents cultivars étudiés du grenadier cultivé dans la région d'étude ? Si elles existent, de quel ordre sont-elles ?
- Quelle est l'utilité de cette variabilité ?
- Quelles sont les atouts et les limites de notre dispositif expérimental ?

Pour ce faire, notre contribution qui s'articule sur quatre chapitres ; un premier chapitre est dédié à la description générale de l'espèce *Punica granatum* L. Un deuxième chapitre est consacré à une expertise de l'arboriculture fruitière dans la région de Djelfa et particulièrement l'évolution de la culture du grenadier suivie d'une étude des conditions pédoclimatiques que présente le milieu physique de notre région d'étude.

Le troisième et le quatrième chapitres sont réservés à l'étude de la variabilité morphologique et agronomique du grenadier (*Punica granatum* L.), menés par l'examen des caractéristiques des fruits, des graines et des feuilles suivi par une investigation sur la dynamique de la floraison de sept cultivars de grenadier provenant de trois sites différents (Sites de Messaad, Amourah et Zaccar), situés au sud du district de Djelfa, dans le centre de l'Algérie dont le troisième chapitre décrit le matériel et les méthodes utilisés et le quatrième chapitre met en exergue les résultats obtenus et leur discussion. Enfin, une conclusion générale retrace les principaux aboutissements de notre travail.

# **C h a p i t r e I**

## **Description du grenadier (*Punica granatum* L.)**

## Généralités

Le grenadier (*Punica granatum L.*) est un arbre fruitier à feuilles caduques qui, ces dernières années, a connu une grande expansion dans plusieurs pays, en particulier ceux qui ont un climat de type méditerranéen, où l'on peut produire des fruits d'excellente qualité. Le grenadier est bien adapté à de nombreux climats et sols différents. La plante est tolérante à la sécheresse, résistante à l'hiver et peut bien se développer dans des conditions désertiques, elle pousse très souvent sur des sols pauvres (Morton, 1987 ; Martinez et *al.*, 2006 ; Soriano et *al.*, 2011 ; Crivellaro et *al.*, 2013 ; Hernández et *al.*, 2014).

Le grenadier (*Punica granatum L.*) appartient à la famille botanique des Punicaceae (Linné) ou des Lythraceae (APG III, 2009) qui ne comprend qu'un seul genre et deux espèces, l'autre, peu connue, étant *P. protopunica* Balf. particulière et endémique de l'île de Socotra (Yémen) (Aseri et *al.*, 2008 ; Chandra et *al.*, 2010).

Récemment, le grenadier s'est imposé comme un aliment fonctionnel d'un intérêt croissant, tant sur le plan économique qu'au sein de la communauté scientifique, ce qui a généré une augmentation significative des publications axées principalement sur ses caractéristiques, ses avantages et sa composition nutritionnelle (Melgarejo et *al.*, 2020). En effet, le grenadier est une espèce de grande importance non seulement pour l'industrie alimentaire, pharmaceutique et cosmétique mais aussi pour la médecine traditionnelle, il est considéré comme " une pharmacie en soi " dans l'Ayurveda qui l'utilise spécifiquement pour traiter les infections, les inflammations et les maladies fongiques. De nombreux cultivars de grenadiers peuvent être considérés comme une source de fibres et d'antioxydants naturels pour développer ou améliorer les aliments fonctionnels (Alcaraz-Mármola et *al.*, 2017 ; Souza et *al.*, 2018 ; Khwairakpam et *al.*, 2018).

Ses propriétés thérapeutiques sont utilisées pour traiter différentes affections (cardiovasculaires, neurologiques, diabète et cancer) depuis des centaines d'années. De nombreuses études ont montré les propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires et anti-tumorales du grenadier (Ricci et *al.*, 2006 ; Sreekumar et *al.*, 2014 et Khwairakpam et *al.*, 2018). De même, l'inhibition de l'invasion tumorale a été prouvée dans plusieurs modèles expérimentaux de tumeurs urologiques comme dans le cancer de la prostate (Chéchile-Toniolo, 2012).

Le grenadier (*Punica granatum L.*) a toujours été alloué à la consommation fraîche, mais, une énorme demande de transformation industrielle pour obtenir du jus de grenadier, des confitures,... a été observée (Martinez et *al.*, 2006).

### I.1. Nomenclature et dénominations

Connue sous le terme de grenadier dans la culture française, cette espèce *Punica granatum L.* s'est vu attribuer d'autres noms vernaculaires, moins courants. Le grenadier est synonyme de Balaustier, Miouganier, Arosse, Granatier, Migranier, Miougranié, Baloufié (Wald, 2009).

Dans chaque pays et selon les langues parlées, le nom vernaculaire de *Punica granatum L.* varie. Ainsi, le nom de cet arbre sera (Meziane-Kaci, 2018):

- ✓ En anglais : Pomegranate ou Pome Granate.
- ✓ En allemand : Granatapfelbaum, Granatbaum, Gemeine Granat, Balluster.
- ✓ En espagnol : Granado coltivado, Mangrano.
- ✓ En italien : Granato.
- ✓ En chinois : Ngan Che Lieou, Shi Liu.
- ✓ Pays arabe : Rommane.
- ✓ Nom berbère : Thar'mant

En Algérie, la grenade est appelée communément romane (الرمان).

### I.2. Taxonomie et systématique du genre *Punica*

Le genre *Punica*, décrit pour la première fois en 1753 par Linnaeus, avait des ancêtres tropicaux proches des Lythraceae et des Sonneratiaceae (Jaime et *al.*, 2013). Cependant, sur la base de caractéristiques distinctes telles que des fruits, des graines pulpeuses avec un sarcotesta comestible, des ovules, il a été trouvé qu'il différait des autres genres typiques de Lythraceae et il a donc été inclus dans une famille distincte ; les Punicaceae qui est une famille monogénérique qui contient un seul genre *Punica* de deux espèces, *Punica granatum L.* et *Punica protopunica Balf. f.* (syn. *Socotria protopunica*) avec le dernier endémique à l'île de Socotra (Yémen) tandis que *Punica nana*, une autre forme de *P. granatum* est souvent traitée comme troisième espèce de *Punica* (Melgarejo et Martínez, 1992; Rana et *al.*, 2010).

Le genre *Punica* a des caractéristiques distinctives qui le placent dans l'ordre des Myrtales, bien que la famille dans laquelle il devrait être, soit discutable. Sur la base des

caractéristiques morphologiques et moléculaires, une discussion plus approfondie sur ce sujet a été explorée par Rana et al. (2010) résumé dans le tableau 1 à laquelle on a ajouté la position de ce genre sur la classification APG III (2009) et sur celle de la flore d'Afrique du Nord de Chatelain et Dobignard (2012). Des études phylogénétiques ont permis de distinguer *Punica* des autres genres et de le placer dans une famille en utilisant les données de la séquence rbcL (Conti et al., 1993, 1996, 1997), les séquences ITS de l'ADNr nucléaire (Shi et al., 2000), le gène rbcL, l'espaceur psaA-ycf3, et les régions ITS nucléaires incluant le gène ribosomal 5.8S (Huang et Shi, 2002). La confusion concernant le placement de *Punica* dans les Punicaceae ou les Lythraceae ou même les Myrtaceae peut être jugée à partir du tableau 1 qui résume les différents placements du genre selon les différents auteurs. Malgré les nombreuses études mentionnées, il n'y a toujours pas de résolution claire du statut taxonomique du genre *Punica*, la taxonomie actuellement acceptée est conforme à celle de l'APG-III, selon laquelle *Punica* est traité comme un genre inclus dans la famille des Lythraceae (APG III, 2009).

La classification classique et phylogénétique de *Punica granatum* L. a été établie quant à elle, elle est considérée comme la plus valable à ce jour (Meziane-Kaci, 2018):

- Règne : Plantae
- Sous-règne : Phanérogames
- Division : Angiospermes
- Classe : Dicotylédones
- Sous-classe : Rosidae
- Ordre : Myrtales
- Famille : Lythraceae
- Genre : *Punica*
- Espèce : *Punica granatum* L.

### **I.3. Origine géographique et aire de répartition du grenadier**

Le grenadier est cultivé depuis l'Antiquité et fait partie des arbres fruitiers bibliques, comme la vigne, l'olivier ou le palmier (également cité dans le Coran). Selon le scientifique russe Vavilov (1925), son centre d'origine est le Centre IV, le Proche-Orient, qui comprend l'intérieur de l'Asie mineure, la Transcaucasie, l'Iran et les hauts plateaux du Turkménistan (Figure 1) (Melgarejo et al., 2012)

La patrie phylogénétique du Grenadier (*Punica granatum* Linné) se trouve selon les derniers travaux des botanistes et pomologues, dans toute la vaste région englobant l'Iran, l'Afghanistan et la Transcaucasie orientale. On observe dans ces pays une multitude de formes spontanées et de variétés cultivées d'un grand intérêt. Une chose est certaine, la culture du Grenadier a commencé en Asie occidentale à l'époque préhistorique, son extension dans l'antiquité vers l'Occident d'abord, puis vers l'Inde et la Chine, a été suivie d'une naturalisation très fréquente et très ancienne qui peut induire en erreur sur sa véritable origine. La culture du Grenadier n'a pas débuté dans la zone méditerranéenne ou Caspienne comme on le supposait encore récemment. Elle a pris naissance en plusieurs points de l'aire du Grenadier sauvage. C'est ainsi que les variétés à fruits énormes de l'Asie centrale, notamment d'Afghanistan, ne sont pas d'origine méditerranéenne, mais locale ou iranienne (Evreinoff, 1957).

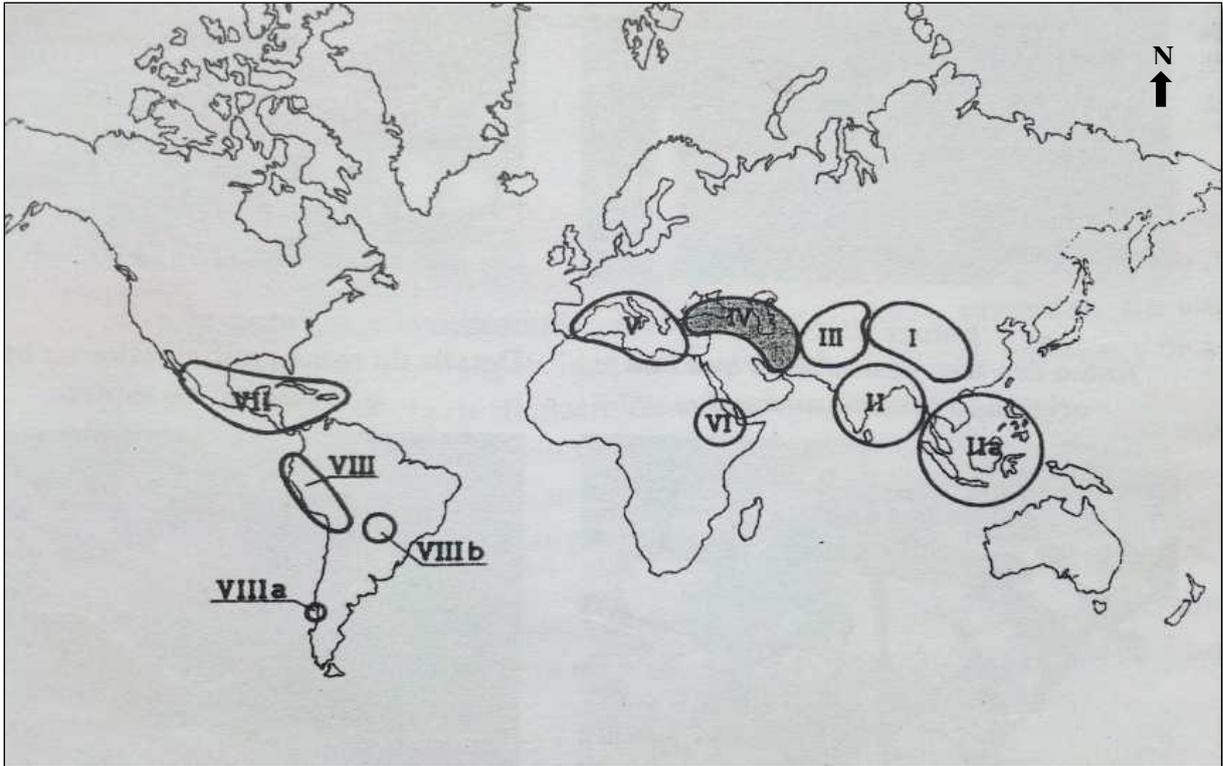
Durant l'époque romaine, entre 10 avant JC jusqu'à 0, la présence de grenades (*Punica granatum* L.) a été signalée à Vindonissa en Suisse du fait que les grenadiers étaient cultivées dans certaines parties de la Méditerranée et des régions environnantes (Bakels et Jacomet., 2003 ; Jacomet et al., 2002).

Le grenadier est originaire de l'Iran jusqu'à l'Himalaya au nord de l'Inde et est cultivé depuis l'Antiquité dans toute la région méditerranéenne d'Asie, d'Afrique et d'Europe. Le fruit était utilisé de nombreuses façons, comme aujourd'hui, et figurait dans la mythologie et l'art égyptiens, il était loué dans l'Ancien Testament de la Bible et dans le Talmud de Babylone, et il était transporté par les caravanes du désert pour son jus désaltérant. Il a voyagé vers le centre et le sud de l'Inde depuis l'Iran vers le premier siècle de notre ère et on a signalé sa culture en Indonésie en 1416. Il a été largement cultivé en Inde et dans les régions plus sèches de l'Asie du Sud-Est, en Malaisie, dans les Indes orientales et en Afrique tropicale (Morton, 1987). Selon Ward (2003), la grenade est probablement originaire du nord de la Turquie, si l'on en croit le fait que des restes de grenade ont été trouvés à proximité de l'épave d'Uluburun, datant de la fin du XIVe siècle avant J.-C., près de Kas, en Turquie.

**Tableau 1.** Position taxonomique du genre *Punica* dans différents systèmes de classification

Bentham and Hooker's system (1862–1883)	Engler's system (Melchior, 1964)	Takhtajan's system (1980)	Dahlgren's system (1980)	Cronquist's system (1981)	Young's system (Bedell and Reveal, 1982)	Thorne's system (1983)	APG II system (2003)	APG III system (2009)	Flore d'Afrique du Nord Chatelain et Dobignard (2012)
Dicotyledons	Dicotyledoneae	Magnoliopsida	Dicotyledoneae	Magnoliopsida	Magnoliopsida	Dicotyledoneae	Magnoliopsida	Eudicots	Magnoliophyta
Polypetalae	Archichlamydeae	Rosidae	Myrtiflorae	Rosidae	Rosidae	Myrtiflorae	Rosidae	Coreeudicots	Dicotyledoneae
Calyciflorae	Myrtiflorae	Myrtanae	Myrtales	Myrtales	Myrtanae	Myrtales	Myrtales	Malvids	Lythraceae
Myrtales	Myrtineae	Myrtales	Lythraceae	Punicaceae	Myrtales	Lythrineae	Lythraceae	Rosids	(Punicaceae)
Lythraceae	Punicaceae	Myrtineae	<i>Punica L.</i>	<i>Punica L.</i>	Lythraceae	Lythraceae	<i>Punica L.</i>	Myrtales	<i>Punica L.</i>
<i>Punica L.</i>	<i>Punica L.</i>	Punicaceae			<i>Punica L.</i>	<i>Punica L.</i>		Lythraceae	
		<i>Punica L.</i>						<i>Punica L.</i>	

**Source:** Rana et al. (2010)



**Figure 1.** Centres d'origine et de diversité du grenadier selon Vavilov (1925) cité par Melgarejo et *al.* (2012)

Pour son aire de répartition, Il a été signalé que le grenadier était cultivé dans le monde entier dans la zone située entre les latitudes 41° N et 42° S (Hodgson, 1917). Actuellement, le grenadier est fortement représenté au Moyen-Orient, sa terre d'origine. Ainsi, on le trouve fréquemment en Afghanistan, Turquie, Transcaucasie, et en Inde. Il est aussi beaucoup cultivé dans le bassin méditerranéen : Espagne, Italie, Grèce, Algérie, Tunisie et Maroc. On le rencontre déjà plus rarement dans le midi de la France, au Portugal, en Bulgarie et en Crimée. De même en Amérique, la culture du grenadier reste très sporadique. Il est présent en Californie, dans l'Utah, en Alabama, Louisiane et Floride (Wald, 2009).

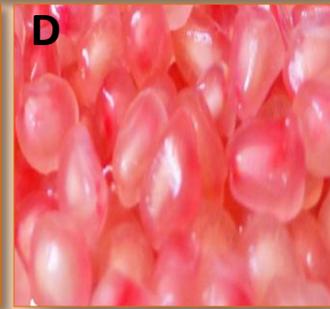
Aujourd'hui, le scénario de sa culture a changé, des vergers commerciaux de grenadiers sont maintenant cultivés dans le bassin méditerranéen et en Asie et l'Inde est devenue le plus grand producteur. Malgré cela, de nouveaux vergers sont traditionnellement cultivés dans l'hémisphère sud, en Amérique du Sud, en Afrique du Sud et en Australie (Holland et Bar-Ya'akov, 2008 ; Holland et *al.*, 2009).

#### **I.4. Quelques éléments d'écologie sur l'espèce**

Le grenadier s'adapte à de nombreux climats, des tropiques aux régions tempérées chaudes. Cependant, c'est le climat austral subtropical, voire tropical, qui lui convient le mieux. Les meilleurs fruits sont obtenus dans les régions subtropicales, où la période des températures élevées concorde avec la maturité des grenades. L'espèce exige une petite dose de froid en période hivernale pour son évocation florale, mais il craint les conditions généralement froides des hautes altitudes (Melgarejo, 1993 in Martinez et *al.* (2006)). Il supporte très bien la sécheresse, mais cela compromet la qualité de ses fruits. Un climat chaud et sec sera bon pour le grenadier à condition que ses racines ne manquent pas d'eau (Afaq et *al.*, 2005). Le grenadier préfère un climat semi-aride tempéré à subtropical et est naturellement adapté aux régions à hiver frais et à été chaud. Un climat humide nuit à la formation des fruits. L'arbre peut être gravement endommagé par des températures inférieures à 10 °C, stipulent Kumari et *al.* (2012).

Le grenadier est une culture fruitière tolérante à la sécheresse, qui peut se maintenir sous le manque d'eau dans une certaine mesure. La régulation de la culture est déterminée en fonction de l'irrigation. Une irrigation régulière est également importante pour réduire l'éclatement des fruits, qui est le principal désordre des fruits. Pendant l'hiver, l'irrigation devrait être appliquée de 10 à 12 jours d'intervalle tandis que pendant l'été de 4 à 5 jours d'intervalle. La plupart des agriculteurs approvisionnent l'eau par le biais de l'irrigation localisée, ce qui permet d'économiser de l'eau et de faciliter l'application d'engrais. Le dosage de l'irrigation se fait selon la région et l'expérience du chef de culture sur le plant de grenadier (Cauchard, 2013 ; Meena et *al.*, 2018).

Le grenadier après plantation doit être régulièrement soigné par des tailles de formation et de fructification. Sa taille doit préserver ses productions en assurant un léger élagage et la suppression du bois mort. Il est peu exigeant en matière de conduite. Les apports d'engrais, les fumures d'entretien et des irrigations fréquentes et régulières sont bénéfiques pour l'amélioration de la production tout en améliorant le calibre des fruits, leur rendement en jus et leur composition en sucres, polyphénols, etc... (Hmid, 2013).

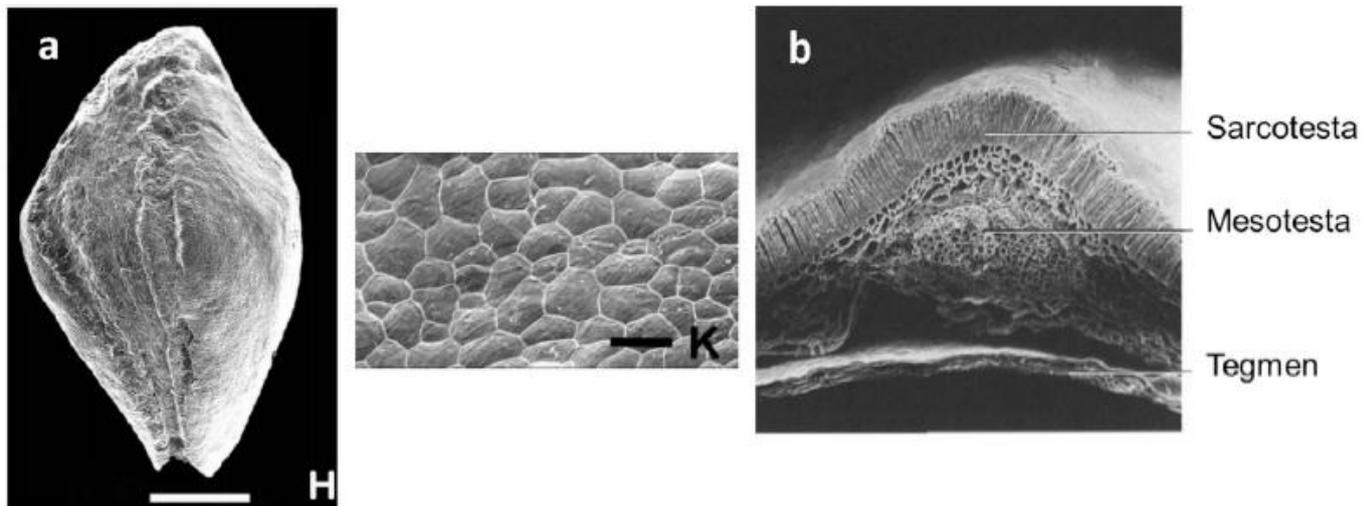
Nom vernaculaire	Nom scientifique
Grenadier	<i>Punica granatum L.</i>
<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div data-bbox="264 300 1321 1037" style="text-align: left; margin-bottom: 5px;"> <p><b>A</b></p>  </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%;"> <div data-bbox="264 1037 625 1346" style="text-align: left; width: 30%;"> <p><b>B</b></p>  </div> <div data-bbox="625 1037 991 1346" style="text-align: center; width: 30%;"> <p><b>C</b></p>  </div> <div data-bbox="991 1037 1321 1346" style="text-align: center; width: 30%;"> <p><b>D</b></p>  </div> </div> <p data-bbox="284 1355 1310 1391" style="text-align: center;"><i>Grenadier-Photos originales (2018). (A) Arbre entier. (B) Fleur. (C) Fruit. (D) Arilles</i></p> </div>	
<b>Techniques culturales</b>	
<p><b>1. Plantation :</b> Les distances à appliquer aux plantations dépendent de la nature du sol. Généralement les grenadiers sont plantés tous les 5 m, soit 400 pieds à l'hectare dans les sols riches et profonds, ils sont plantés tous les 6 m, soit 277 pieds à l'hectare dans les sols peu profonds. L'époque de la plantation dépend des régions et de l'altitude. Avec le même succès, on peut planter en automne (novembre-décembre), ou au printemps (mars-avril).</p> <p><b>2. Entretien régulier :</b> Il faut procéder, une fois par an, à un ameublissement du sol et à la destruction des mauvaises herbes. Au cours de l'été, plusieurs sarclages sont nécessaires afin de maintenir les racines humides.</p> <p><b>3. Engrais :</b> Il faut être prudent avec les engrais, et éviter ceux azotés, qui risquent de faire éclater les fruits sur l'arbre et faire proliférer les brindilles (Wald, 2009).</p>	

**Figure 2.** Fiche technique simplifiée du grenadier

### I.5. Concept botanique

Pour une utilisation correcte des concepts botaniques de base sur les différentes parties du fruit de grenade, on a eu recours à une étude récente de Melgarejo et *al.* (2020). Compte tenu de cela, on peut conclure que :

- La graine de grenade est le grain entier. Cela est composé de sarcotesta, mesotesta sclérotisé, tegmen, nucela et embryon avec cotylédons, et constitue la partie comestible de ce fruit complexe appelé balausta (Figure 3) ;
- La graine de grenade entière ne peut pas être appelée arille, car elle est exilée ;
- Le tegmen ou manteau intérieur est composé de deux couches membraneuses brun jaunâtre.



**Figure 3.** Photographies au MEB de graines de *Punica granatum*. (a) Sarcotesta et couches les plus externes du mesotesta enlevé; barre d'échelle = 1 mm (H) et surface sarcotesta, barre d'échelle = 50 µm (K) (Graham et Graham, 2014). (b) section longitudinale partielle de graines montrant différentes couches (Adapté de Boesewinkel et Bouman, 1984 In Melgarejo et *al.*, 2020).

### I.6. Cultivars et variétés

En dépit d'une culture très ancienne, les nombreuses variétés de grenades n'ont pas encore fait l'objet d'une étude pomologique spéciale et approfondie. Des cultivars de grenade intéressants ont été signalés dans plusieurs endroits du monde, notamment en Europe (Espagne, France, Italie, Grèce et Chypre), en Asie (Turquie, Turkménistan, Kirghizstan,

Azerbaïdjan, Iran, Inde, Chine, Russie) et en Afrique du Nord (Maroc, Tunisie, Égypte). (Evreinoff, 1957, Holland et *al.*, 2009).

Les cultivars de grenade se sont répandus dans différentes régions et sur différents continents, et il est probable que certains cultivars de grenade aient acquis des noms différents dans différents pays alors qu'il s'agit en fait des mêmes génotypes de base. Plus de 500 cultivars de grenade ont été nommés, mais ces fruits anciens et très répandus, présentent souvent une synonymie considérable. Du fait, le même génotype de base est connu sous différents noms dans différentes régions (Holland et *al.*, 2009 ; Stover et Mercure, 2007).

Malgré la difficulté d'évaluer la provenance des cultivars et leurs caractéristiques distinctives, certains cultivars se distinguent clairement. Les différentes cultures favorisent des différentes caractéristiques des fruits, et la sélection des cultivars reflète ces différences (Holland et *al.*, 2009).

Les variétés de grenades sont très nombreuses. L'ancienneté de la culture et la zone étendue de cette dernière en sont la cause. Dès le XIII<sup>ème</sup> siècle, un auteur arabe, Abn-Al-Aoun avait décrit dix variétés cultivées à cette époque en Espagne. Au même siècle, à Bagdad, les agronomes arabes avaient déjà dénombré et décrit les variétés locales en les classant en trois groupes : 1) grenade rouge; 2) grenade noire; 3) grenade sucrée (douce). C'était la première tentative d'une classification pomologique des grenades (Evreinoff, 1957).

Selon Dafny-Yalin et *al.* (2010), les variétés du fruit sont classées en deux grands groupes selon l'acidité de leurs pulpes:

- les grenades présentant des arilles douces, destinées à la consommation en frais et sont mieux appréciées lorsque les pépins sont situés à l'intérieur des arilles et sont de texture tendre ;
- les grenades acides, avec des grains généralement durs, servant généralement à la transformation industrielle.

Plus avant, un premier classement basé sur la plus ou moins grande acidité du fruit mûr, qui constitue un caractère assez stable est établi par Evreinoff (1957). Trois groupes sont ainsi définis et sont résumés en Annexe 01 (modifiée et améliorée):

1. *Variétés sucrées ou douces*, dont le jus ne contient pas plus de 1 % d'acidité. A ce groupe se rattachent les variétés de table consommées à l'état frais ;

2. *Variétés aigres-douces* ou acidulées, l'acidité du jus dans ces variétés variant de 1 % à 2 %. Dans ce groupe sont classées les variétés utilisées dans la fabrication des boissons rafraîchissantes telles que « la grenadine » ;
3. *Variétés acides*, dont le jus contient plus de 2 % d'acidité; c'est le groupe des variétés dites «industrielles» utilisées pour l'extraction de l'acide citrique et autres produits d'usage industriel.

Martinez et *al.* (2006) ont pu établir une classification pour des variétés de grenades Espagnoles en fonction du rapport des solides solubles (degré Brix) et le taux d'Acidité titrable (AT) en période de maturité. Ce rapport a été nommé "indice de maturité". Les variétés de grenades sont classées en trois catégories selon la valeur de ce rapport :

- Variétés aigres : 5 – 7 ;
- Variétés aigres-douces : 17 – 24 ;
- Variétés douces : 31 – 98.

D'après Cauchard (2013), il existe une multitude de variétés de grenades mais seulement quelques-unes ont un rôle dans le commerce international. Pour le moment, aucune différence entre les variétés au niveau de la taille du fruit ou de caractéristiques agronomiques n'a été mise en évidence. La différence visuelle entre chaque variété se situe au niveau :

- De la couleur de la peau : du rouge foncé au jaune pâle rosé ;
- De la couleur des arilles : du rouge très foncé au rose transparent (peu commercialisé) ;
- Du goût des arilles : acide ou doux.

En Algérie, aucune étude pomologique particulière n'a été mise en évidence pour recenser les différents cultivars de grenadier. Le deuxième rapport national sur l'état des ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture (2006) signale 13 variétés enregistrées, autorisées à la mise en marché et cultivés de grenadier et qui sont : Espagne rouge, Corda travita, Moller huesso, Mellisse, Papers shell, Gajin, Sefri, Zemdautomne, Sulfani, Spanish duoy, Chelfi, Doux de kolea et Messaad (INRAA, 2006).

Cependant, quelques travaux mentionnent l'existence de plusieurs cultivars à l'Est, à l'Ouest et au centre du pays. Chouaki et *al.* (2006) souligne que les variétés les plus cultivées

en Oranie seraient : Tendral (appelée Molla), Blanca, Si Hueso, Colorado. Plusieurs sortes de grenadier sont signalées dans des petits jardins en Kabylie, on ne connaît que leur appellation locale (Lahlou, Elmouze, ..). D'après Chougui (2018), dans les vergers de grenadier dans la wilaya de Tlemcen, exactement dans la commune de Remchi, une centaine de boutures, ont été prélevés, il s'agit de quatre variétés locales :

- ✓ Sefri : (variété juteuse) avec gros fruit jaune (500g), graine demi-tendre rose clair, juteuse et sucrée. Maturité début octobre, vigueur moyenne ;
- ✓ Mrini (variété aimée par les tlemceniens pour son arrière-goût) ;
- ✓ L'Ahmar ;
- ✓ Maadam (à semence dure et goût acide, utilisé comme porte greffe).

A l'est du pays; à M'sila particulièrement, Bouras (2018) a signalé la présence de quelques cultivars locaux dont les deux principaux sont appelés Khodrie et Tounsi.

Cette liste est très loin d'être complète et exhaustive. D'innombrables cultivars locaux algériens ne sont même pas cités. Un grand travail pomologique d'identification, de description et de synthèse s'impose.

**C h a p i t r e II**

**Etude du milieu physique et conditions  
environnementales**

## II.1. Cadre physique

### II.1.1. Localisation de la région d'étude

L'étude s'est déroulée dans le sud de la wilaya de Djelfa, dans la steppe sud algéroise. Trois stations (**Messaad**, **Amourah** et **Zaccar**) ont été retenues. La station de **Messaad** dont trois vergers ont été choisis est limitée au Nord par la commune de Moudjebara, à l'Est par la commune de Selmana, à l'Ouest par la commune de Deldoul et au Sud par la commune de Guettara. La station de **Amourah** dont un verger a été retenu est limité au Nord par la commune de Fied ElBotma, à l'Est par les wilayas de M'sila et de Biskra, à l'Ouest par la commune de Selmana et au Sud par la commune de Oum Laadam. La station de **Zaccar** dont un verger a été retenu est limitée au Nord par la commune de Djelfa, à l'Est par la commune de Moudjebara, à l'Ouest par la commune de Ain ElBel et au Sud par la commune de Deldoul (Tableau 2, Figure 4).

**Tableau 2.** Principales caractéristiques géographiques des stations étudiées

Station	Verger	Cordonnées Lambert		Altitude (m)
<b>Messaad</b>	Verger 1	34 ° 15 ' 28 '' N	3 ° 23 ' 07 '' E	805
	Verger 2	34 ° 10 ' 00 '' N	3 ° 31 ' 06 '' E	805
	Verger 3	34 ° 09 ' 47 '' N	3 ° 29 ' 59 '' E	805
<b>Amourah</b>	Verger 4	34 ° 21 ' 21 '' N	3 ° 52 ' 25 '' E	1022
<b>Zaccar</b>	Verger 5	34 ° 25 ' 38 '' N	3 ° 19 ' 58 '' E	1076

## II.2. Arboriculture dans la région de Djelfa

### II.2.1. Le verger arboricole fruitier de la région d'étude

L'occupation du sol (Figure 5) montre l'émergence de l'agriculture dans le nord (surtout le Plateau de Serssou), le sud-ouest (Fied El Botma, Djebel Amourah) et dans la partie centrale représentée par les régions de Ain El Ibel, Taadmit et Messaad.

La Superficie Agricole Utile S.A.U de la wilaya est estimée à 378 665 ha en 2016/2017. Les cultures fruitières qui couvrent une superficie de 15 376 ha (soit 4,06% de la S.A.U) sont représentées par des espèces à noyaux et à pépins ainsi que les espèces dites rustiques essentiellement l'olivier, l'abricotier et le grenadier (D.S.A., 2017).

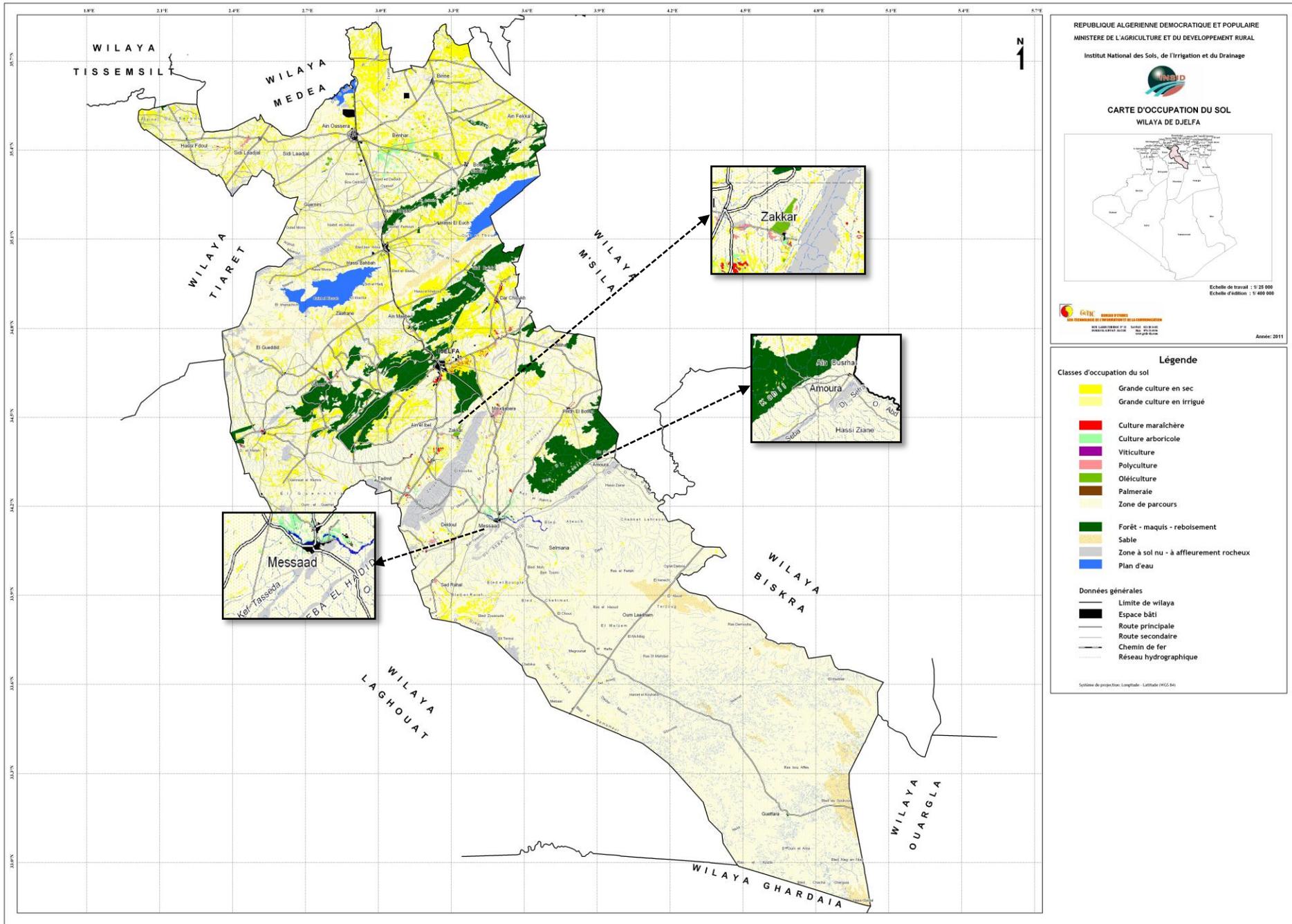


Figure 4. Localisation de la région d'étude et des sites d'échantillonnage

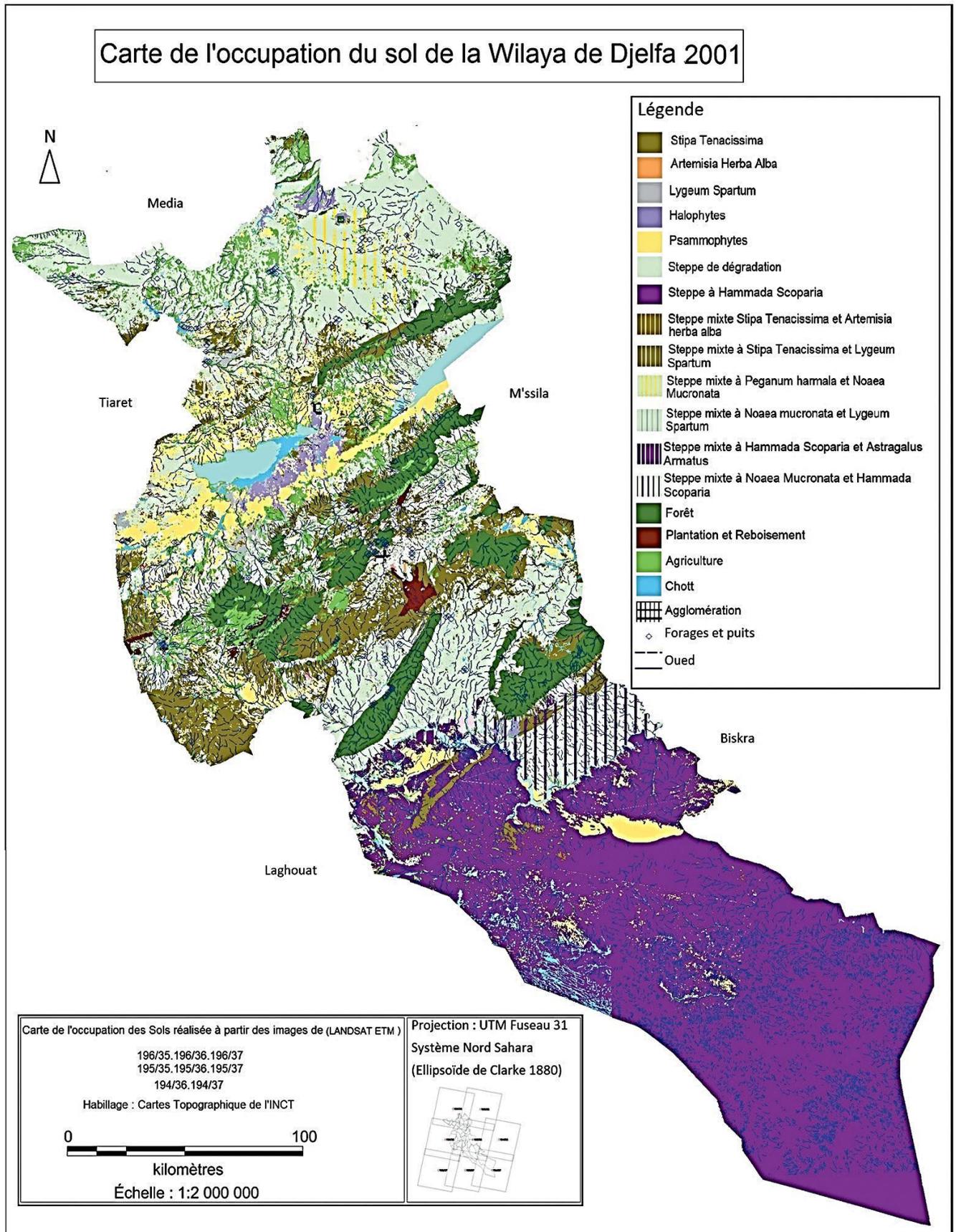


Figure 5. Carte de l'occupation du sol de la wilaya de Djelfa (I.N.C.T., 2001)

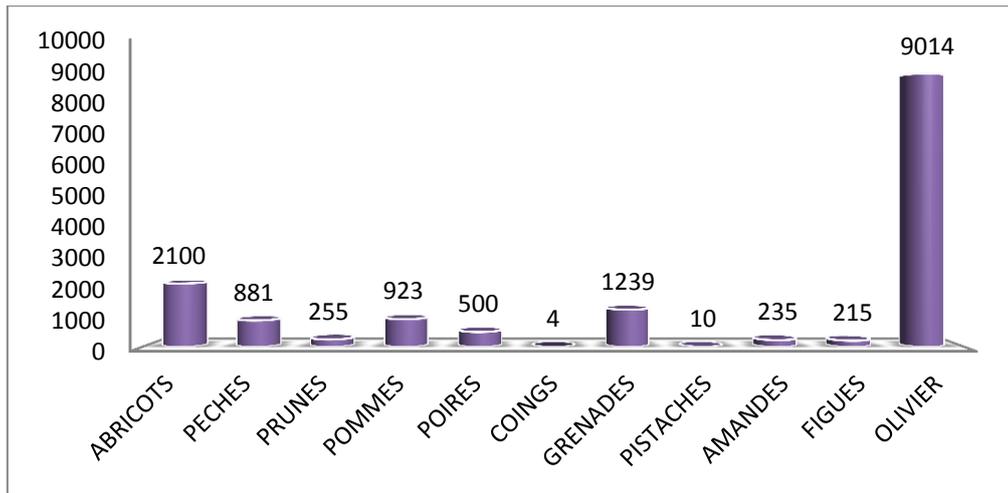
Cette superficie connaît une progression de l'ensemble des espèces. La répartition de la superficie de l'arboriculture fruitière par espèce durant la campagne agricole 2016/2017 à travers la wilaya révèle une dominance de l'olivier (59%), de l'abricotier (14%), du grenadier (8%), du pêcher (6%) et du pommier (6%). La production par espèce indique la dominance de l'olivier (27%), de l'abricotier (18%), du pommier (18%), du grenadier (14%) et du pêcher (11 %) (Figures 6 et 7) (D.S.A., 2017).

L'abricotier et le grenadier sont traditionnellement plantés dans la région centre de la wilaya, où ils dominent. Ils donnent des rendements caractéristiques attribuant à la région son aspect actuel de pôle de concentration de ces deux cultures.

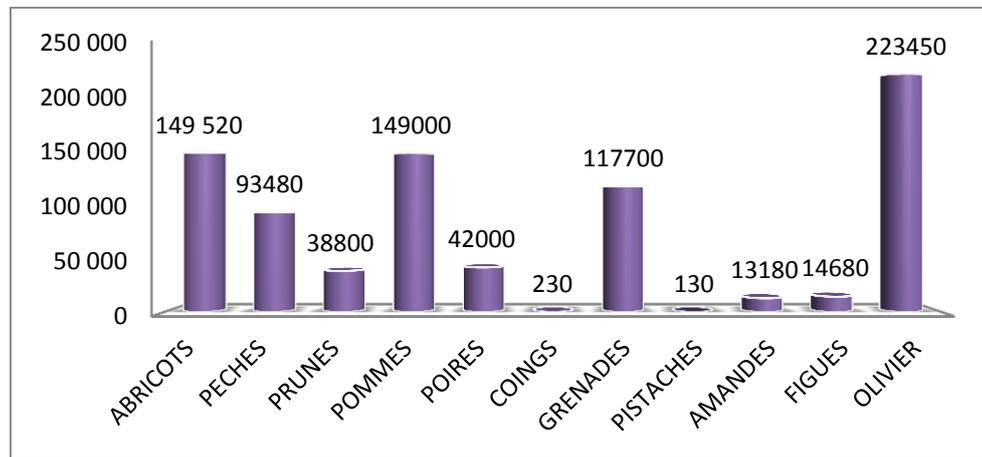
### II.2.2. Evolution de la culture du grenadier (*Punica granatum L.*)

La superficie du grenadier connaît une croissance continue importante, mais on note une grande fluctuation de la production. Ce produit a connu un développement remarquable durant les dernières années dans la région de Djelfa (Figure 8). Les grenadiers sont vulnérables à divers parasites et maladies des plantes, notamment des insectes, des champignons et des bactéries (Holland et al. 2009). Mais la diminution du rendement entre la campagne agricole 2013/2014 et 2014/2015 est due principalement :

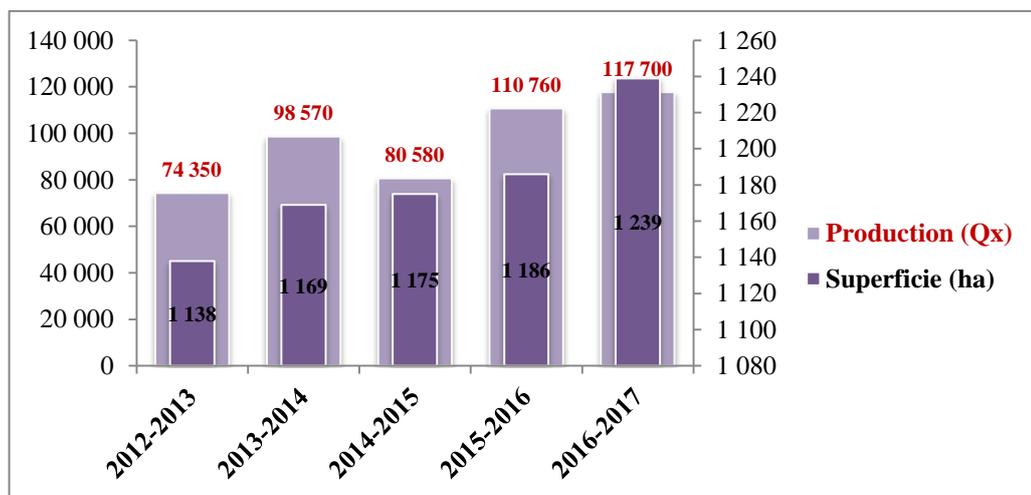
- à l'incidence des troubles de fissuration et/ou d'éclatement des fruits et à la diminution du calibre des fruits suite à de mauvaises pratiques d'irrigation (excès d'eau en période de floraison et/ou de maturation) ;
- aux attaques des insectes nuisibles comme la Pyrale du grenadier (*Virachola Isocrates*) et la cochenille. Le papillon du grenadier (La Pyrale) perce le fruit et se nourrit des arilles, et conduit à la pourriture de la grenade (Annexes 2 et 3).



**Figure 6.** Répartition de la **superficie (ha)** en arboriculture fruitière de la wilaya de Djelfa par espèce (D.S.A., 2017)



**Figure 7.** Répartition de la **production (Qx)** en arboriculture fruitière de la wilaya de Djelfa par espèce (D.S.A., 2017)



**Figure 8.** Evolution de la superficie et de la production du grenadier (D.S.A., 2017)

### II.2.3 Biotope et importance relative du grenadier dans la région

La production et la superficie élevées de grenadier sont remarquables dans les zones agricoles situées à travers la Daïra de Messaad estimée à 779 ha de superficie et 79 570 Qx de production et de Aïn El Ibel estimée à 253 ha de superficie et 23 290 Qx de production, donnant la qualification d'un vrai pôle de concentration avec une grande impulsion à la région (Tableau 3).

**Tableau 3.** Répartition de la superficie et production du grenadier par Daïra (2016/2017) (D.S.A., 2017)

Daira	Superficie (ha)	Production (Qx)	Daira	Superficie (ha)	Production (Qx)
Djelfa	14	560	El Idrissia	2	80
Aïn El Ibel	<b>253</b>	<b>23 290</b>	Faidh El Botma	62	4 180
Aïn Oussara	0	0	Had-Sahary	12	400
Birine	53	5 660	Hassi Bahbah	7	420
Charef	23	920	Messaad	<b>779</b>	<b>79 570</b>
Dar Chioukh	0	0	Sidi Ladjel	34	2 620

La figure 9 révèle la concentration de la culture dans trois municipalités de la Daïra de Messaad qui sont Messaad, Deldoul et Selmana avec des superficies comprises entre 100 – 319 ha. Le deuxième site favorable renferme toutes les communes de la Daïra de Aïn El Ibel, la commune d'Amourah de la Daïra de Faidh El Botma et la commune de Benhar de la Daïra de Birine des superficies comprises entre 45 – 100 ha.

Vu leurs participations caractéristiques à la production locale totale soit plus de 87% et par ordre d'importance économique, les municipalités des Daïra de Messaad et de Aïn El Ibel sont considérées comme les biotopes écologiques les plus favorables à cette culture et offrent les conditions pédoclimatiques adéquates pour son développement auxquelles s'ajoutent l'accumulation des connaissances avec le temps des pratiques agricoles et de la conduite des vergers par les agriculteurs à savoir la plantation et le choix du matériel végétal, la taille, l'irrigation et la fertilisation.

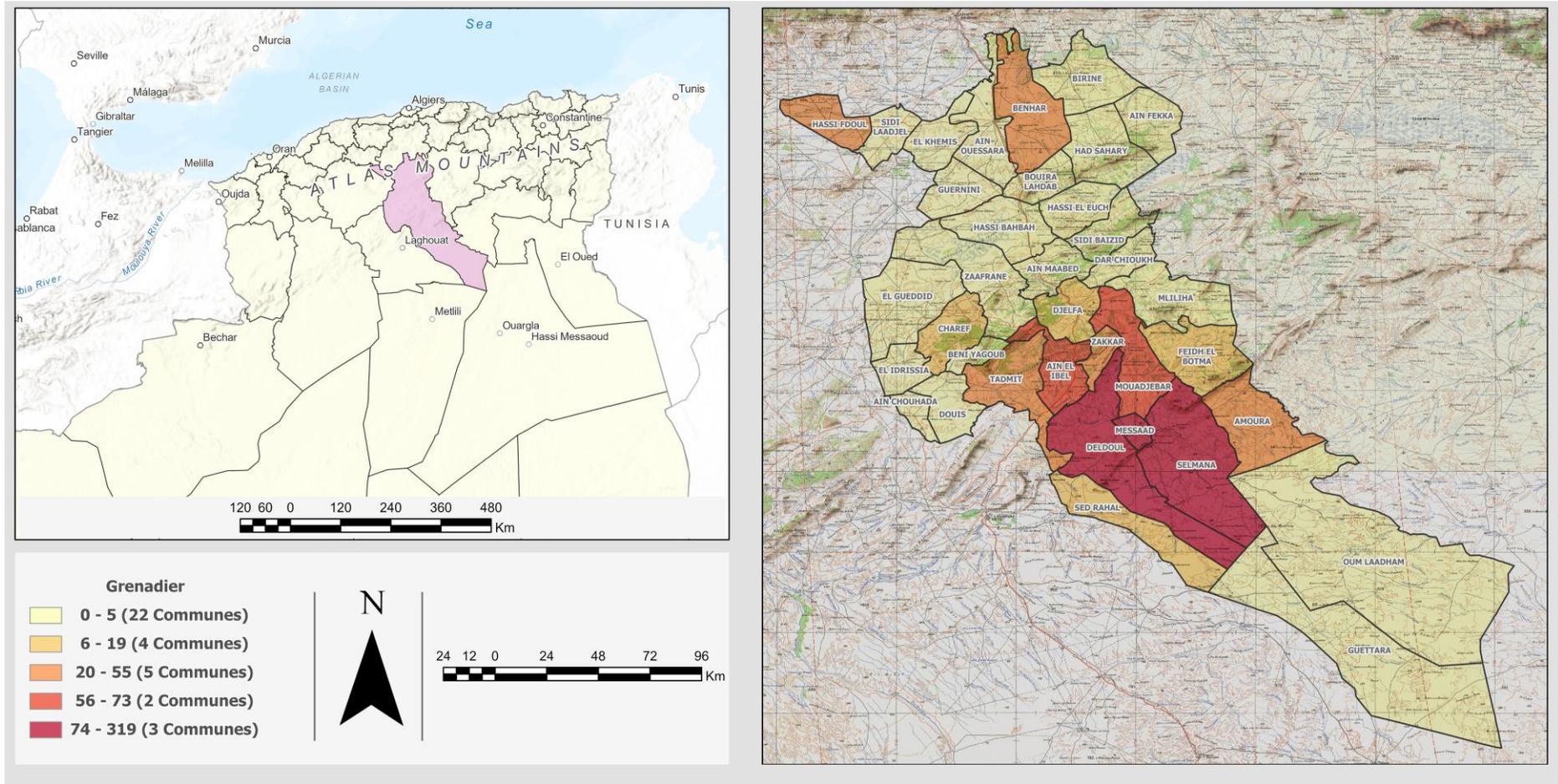


Figure 9. Biotope et importance relative du grenadier dans la S.A.U de la Wilaya de Djelfa

### **II.3. Cadre climatique**

L'étude du milieu est un paramètre très essentiel pour savoir dans quelles conditions évolue une culture. Ainsi, nous allons essayer de le présenter par l'examen de plusieurs paramètres climatiques comme la température, la pluviométrie, l'évapotranspiration et les vents, ces données observées et non modélisées ont été fournies par l'O.N.M.

Une synthèse climatique a porté ensuite sur la période 1975-2018 pour les trois stations. Des corrections ont été apportées à la série de données selon les altitudes du fait qu'il existe une seule station météorologique à Djelfa située à 1160 m d'altitude. La différence d'altitudes entre Messaad et Djelfa est de 355 m, entre Amourah et Djelfa est de 138 m alors qu'elle ne dépasse pas les 100 m entre Zaccar et Djelfa.

L'accroissement mensuel au niveau des précipitations est donné par la formule suivante :

$$A = \frac{Ni \times B}{X}$$

**A** : Accroissement de la pluie par mois (Lu à partir de la courbe d'accroissement des pluies avec l'altitude de Seltzer (1946).

**Ni** : Valeur à ajouter à chaque mois.

**B** : Valeur de précipitation de chaque mois.

**X** : Total des précipitations pour l'année.

Pour ajuster les températures d'une région donnée par rapport à une autre, SELTZER (1946) préconise l'emploi de coefficients de correction. Les températures minima diminuent de 0,4 °C. et les températures maxima de 0,7 °C pour chaque élévation d'altitude de 100 m.

#### **II.3.1. Les éléments climatiques**

Pour mieux comprendre les variations climatiques dans la région d'étude, nous avons divisé la période 1975-2018 en deux cycles égaux:

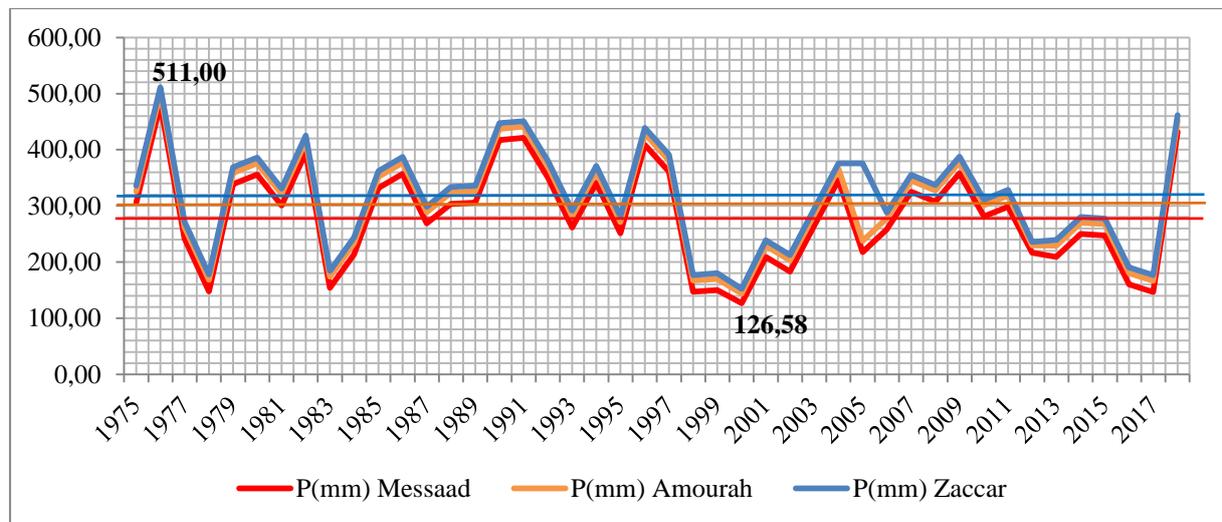
- ✓ Le premier cycle 1975-1996 ;
- ✓ Le deuxième cycle 1997-2018.

### II.3.1.1. Les précipitations

#### II.3.1.1.1. Variations interannuelles. Période 1975-2018

La répartition des précipitations interannuelles de 1975 à 2018 (Figure 10), montre que les trois stations ont subi une suite d'années sèches et d'années humides se succédant approximativement tous les trois ans selon un rythme de plus en plus irrégulier, sauf pour les deux périodes allant de 1998-2003 et de 2011-2017, on notera une longue durée de sécheresse.

La station de Zaccar enregistre l'année la plus pluvieuse de 511 mm en 1976 et Messaad marque l'année la moins pluvieuse de 126,58 mm en 2000 durant cette série.



**Figure 10.** Fluctuation des précipitations annuelles entre 1975 et 2018 pour les stations de Messaad, Amourah et de Zaccar

On remarquera aussi un comportement similaire des deux stations de Messaad et d'Amourah vis-à-vis des périodes de sécheresse (22 ans au-dessous de la moyenne) et d'humidité (22 ans au-dessus de la moyenne), la station de Zaccar qui note les plus grandes valeurs de précipitation montre un écart de +2, soit 23 années humides et 21 années sèches.

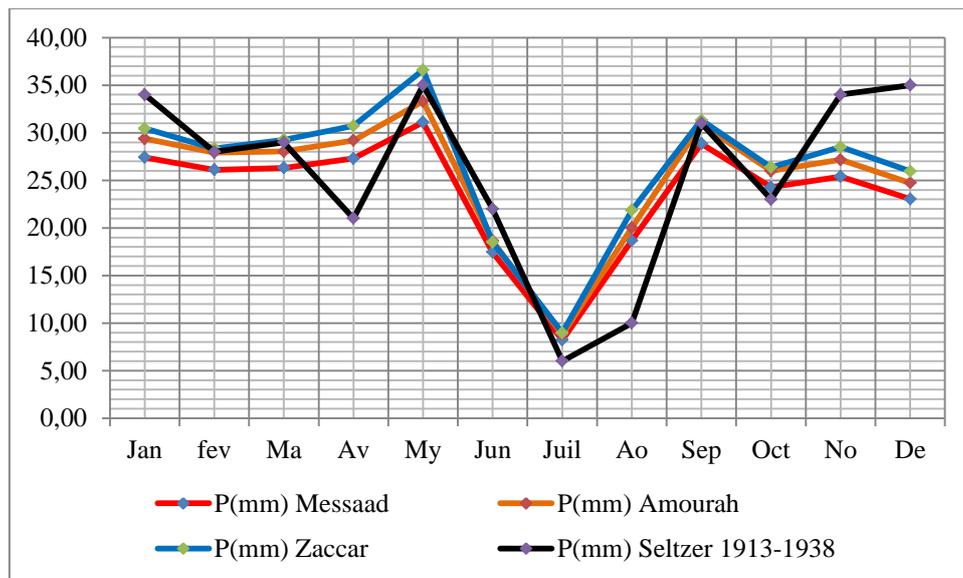
#### II.3.1.1.2. Régime mensuel. Période 1975-2018

L'examen des données relatives aux moyennes mensuelles (Tableau 4, Figure 11) pour les trois fait ressortir deux périodes en cours de l'année :

- La première, pluvieuse, s'étale de Septembre à Mai avec un premier maximum en Septembre et un deuxième en Mai ;
- La seconde, sèche, coïncide avec la saison la plus chaude. Elle présente un premier maximum de sécheresse en Juillet et un deuxième maximum de sécheresse en Juin.

**Tableau 4.** Précipitations mensuelles moyennes de la période 1975-2018 (O.N.M., 2020)

Mois	Janv	fevr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	P.annuelle (mm)
P(mm) Messaad	27,42	26,11	26,30	27,30	31,11	17,45	8,22	18,68	28,85	24,28	25,40	23,04	284,16
P(mm) Amourah	29,38	27,92	28,03	29,19	33,30	18,63	8,79	20,01	30,89	25,99	27,16	24,73	304,02
P(mm) Zaccar	30,45	28,36	29,26	30,72	36,59	18,50	8,97	21,84	31,32	26,37	28,50	25,95	316,83
P(mm) Seltzer 1913-1938(Steppe centrale)	34,00	28,00	29,00	21,00	35,00	22,00	6,00	10,00	31,00	23,00	34,00	35,00	308,00



**Figure 11.** Précipitations moyennes mensuelles (Période 1975-2018)

En comparant ces résultats à ceux de Seltzer de 1913-1938 de la steppe centrale (Tableau 4), les mêmes périodes s'exhibent mais les valeurs maximales changent ; pour la période pluvieuse, les mois de Novembre et d'Octobre sont respectivement les maximums, pour la période sèche ; les mois de Juillet et d'Août sont respectivement des maximums de sécheresse.

La moyenne annuelle des précipitations mensuelles enregistrées sur une période de 44ans (1975-2018), est de 316,83 mm pour la station de Zaccar, cette valeur est supérieure à la moyenne enregistrée pendant la période 1913-1938 qui est de l'ordre de 308mm.

En constat, durant la période 1975-2018, les précipitations sont faibles avec une grande variabilité intermensuelle et interannuelle et elles sont particulièrement concentrées en hiver et en automne et sont plus faibles en été (Juin-Juillet).

### II.3.1.1.2.1. Régime mensuel des deux cycles 1975-1996 et 1997-2018

La lecture de la figure 12 montre deux sections durant l'année, d'Octobre à Juillet un écart flagrant entre les deux cycles ; le premier cycle 1975-1996 est plus pluvieux que celui de 1997-2018. D'Août à la mi-octobre, la période 1997-2018 est plus pluvieuse que la période 1975-1996. Pour le premier cycle (1975-1996) et pour les trois stations, les mois les plus pluvieux sont les mois de Mai, de Janvier et de Mars, tandis que le mois le moins pluvieux est le mois de Juillet.

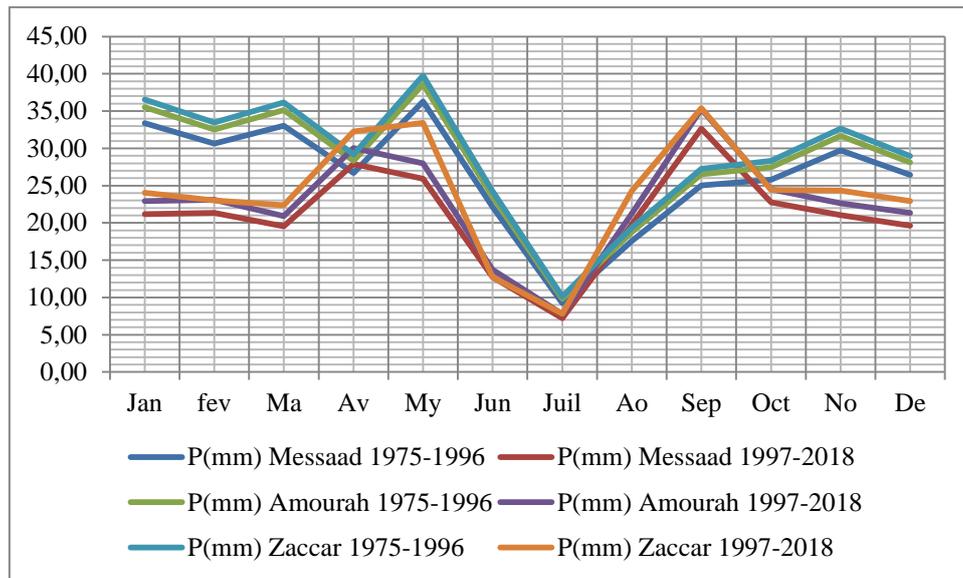


Figure 12. Précipitations moyennes mensuelles des deux cycles 1975-1996 et 1997-2018

Pour le deuxième cycle (1997-2018) et pour les deux stations de Messaad et d'Amourah, les mois les plus pluvieux sont les mois de Septembre, d'Avril et de Mai, respectivement tandis que le mois le moins pluvieux est le mois de Juillet. Pour la station de Zaccar, les mois de Septembre, Mai et d'Avril sont respectivement les mois les plus pluvieux (Figure 12).

La moyenne annuelle des précipitations mensuelles enregistrées dans le premier cycle (1975-1996) à Messaad (316,07mm) est supérieure à celle du deuxième cycle (1997-2018) (251,73mm) avec un écart de 64,34 mm. De même, la moyenne annuelle des précipitations mensuelles enregistrées dans le premier cycle (1975-1996) à Amourah (336,07mm) est supérieure à celle du deuxième cycle (1997-2018) (271,44mm) avec un écart de 64,63 mm. Même constat pour la station de Zaccar, où la moyenne annuelle enregistrée pour le cycle (1975-1996) est supérieure (346,07mm) à celle du deuxième cycle (1997-2018) (287,09mm) avec un écart de 58,99mm.

On notera que la variabilité des précipitations n'est pas uniquement intermensuelle et interannuelle, mais peut être aussi entre les cycles temporels décennaux et parfois plus.

### II.3.1.1.3. Régime saisonnier

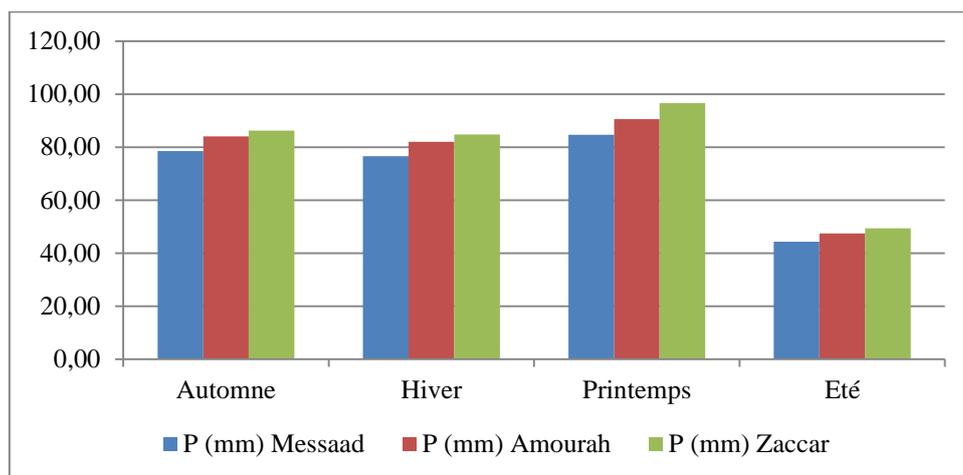
La variation saisonnière conditionne fortement les activités agricoles et le mode de vie, qui sont aussi liés étroitement aux fluctuations pluviométriques saisonnières. Pour mieux saisir le régime pluviométrique saisonnier, nous avons adopté la méthode qui consiste à « diviser l'année en quatre trimestres astronomiques, de sorte que les mois initiaux de chaque trimestre contienne soit un solstice, soit un équinoxe » (Halimi, 1980 ; Tir, 2009).

L'hiver a été défini comme la période de Décembre, Janvier et Février, le printemps intègre les mois de Mars à Mai, l'été les mois de Juin à Août et l'automne la période de Septembre à Novembre.

Le tableau 5 et la figure 13, ci-dessus, montrent la répartition saisonnière des précipitations pour la période 1975-2018. Pour cette période, le régime saisonnier est de type PAHE, les pluies se concentrent au Printemps ensuite en Automne pour les trois stations.

**Tableau 5.** Régime saisonnier pour les stations d'échantillonnage pour la période 1975-2018

Saison	Automne	Hiver	Printemps	Eté	Régime saisonnier
P (mm) Messaad	78,52	76,57	84,71	44,35	<b>PAHE</b>
P (mm) Amourah	84,04	82,02	90,52	47,43	<b>PAHE</b>
P (mm) Zaccar	86,20	84,75	96,57	49,32	<b>PAHE</b>



**Figure 13.** Régime saisonnier pour les stations d'échantillonnage pour la période 1975-2018

D’après Le Houerou (1977), suite à l’analyse des données climatique de Seltzer (1946) sur la steppe algérienne centrale, la répartition saisonnière est marquée par la prédominance des pluies d'Automne et de Printemps.

Pour mieux saisir l’évolution du régime saisonnier, nous avons détaillé la période (1975-2018) en la divisant en deux cycles (Tableaux 6 et 7, Figures 14 et 15). Pour la première période (1975-1996), le régime est de type PHAE tandis que pour la deuxième période (1997-2018), le régime est de type PAHE pour les trois stations. La concentration des pluies a eu lieu au Printemps et en Hiver pour le premier cycle alors qu’elle a lieu au Printemps et en Automne pour le deuxième cycle. Pouget (1980) constate que pour la végétation, l’efficacité des pluies hivernales se trouve limitée par le froid, surtout en altitude ou l’activité végétale est très ralentie, sinon arrêtée, pendant une période plus ou moins longue (dormance hivernale).

**Tableau 6.** Régime saisonnier pour les stations étudiées pour la période 1975-1996

Saison	Automne	Hiver	Printemps	Eté	Régime saisonnier
P (mm) Messaad	80,58	90,48	96,05	48,96	<b>PHAE</b>
P (mm) Amourah	85,69	96,15	102,07	52,16	<b>PHAE</b>
P (mm) Zaccar	88,25	98,99	105,08	53,75	<b>PHAE</b>

**Tableau 7.** Régime saisonnier pour les stations étudiées pour la période 1997-2018

Saison	Automne	Hiver	Printemps	Eté	Régime saisonnier
P (mm) Messaad	76,46	62,16	73,37	39,73	<b>PAHE</b>
P (mm) Amourah	82,39	67,38	78,96	42,70	<b>PAHE</b>
P (mm) Zaccar	84,15	69,98	88,06	44,89	<b>PAHE</b>

Les quantités de pluies saisonnières ont diminué considérablement du premier au deuxième cycle. Pour la station de Messaad, les pluies du Printemps ont marqué une valeur de 96,05 mm durant le premier cycle 1975-1996, ces quantités ont baissé durant le deuxième cycle enregistrant une valeur de 73,37mm. Pour la station d’Amourah, ces précipitations saisonnières sont passées de 102,07mm au premier cycle à 78,96mm au deuxième cycle pour le Printemps. La station de Zaccar a connu la même apparence de la saison, et a diminué de 105,08 mm (1975-1996) à 88,06 mm (1997-2018).

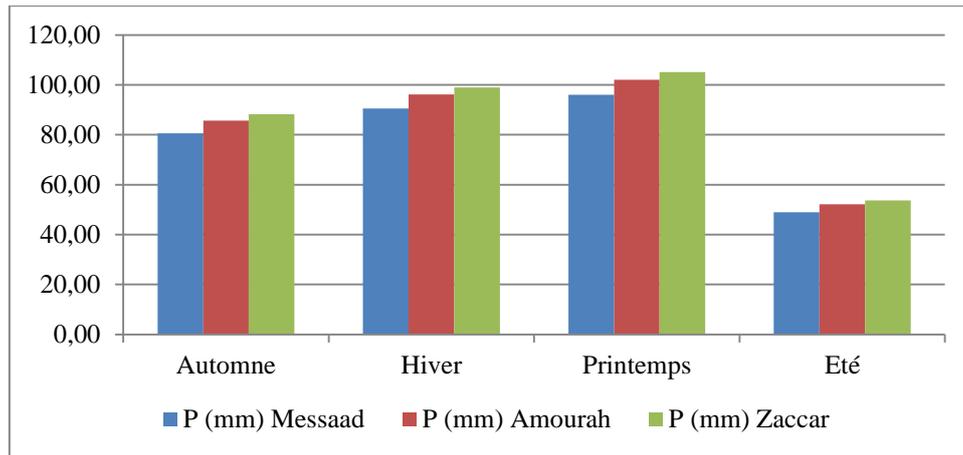


Figure 14. Régime saisonnier pour les stations étudiées pour la période 1975-1996

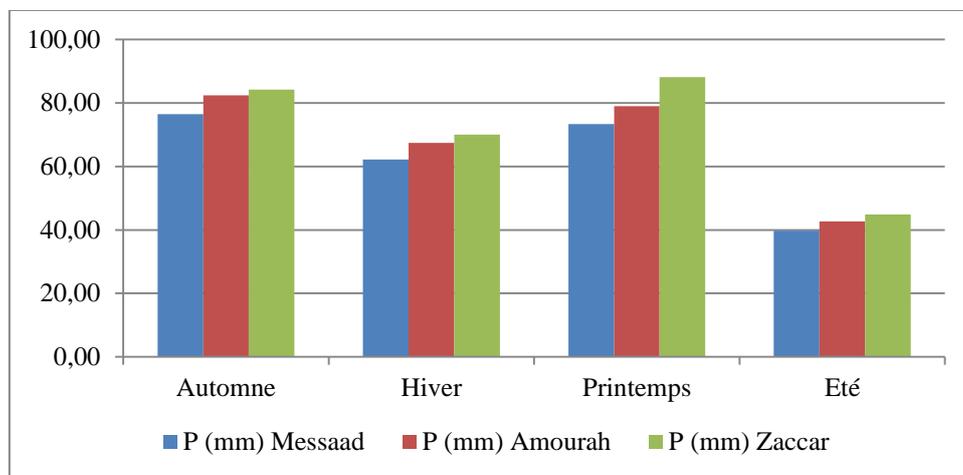


Figure 15. Régime saisonnier pour les stations étudiées pour la période 1997-2018

#### II.3.1.1.4. Phénomènes secondaires des précipitations

##### II.3.1.1.4.1. Les gelées

On remarque que la période la plus marquée par le gel est l'hiver (Décembre, Janvier et Février) (Tableau 8). Selon Le Houerou (1977), l'introduction de la moyenne des minima du mois le plus froid comme critère de classification rend compte des conditions thermiques limites et, classiquement les auteurs établissent une relation entre  $m$  et le nombre de jours de gelées par an. Les gelées constituent un des facteurs climatiques les plus contraignants des zones steppiques. Les jours de gelée de fin Février et du mois de Mars coïncident avec la floraison et peuvent causer des dégâts de chute intensive des fleurs et par la suite diminution de la production.

Tableau 8. Nombre de jours de gelée. Période 1975-2018 (Station météorologique de Djelfa)

Mois	Janv	fevr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
Nj de gelées	10	8	4	1	0	0	0	0	0	0	3	9

#### **II.3.1.1.4.2. La neige**

D'après le tableau 9, la durée d'enneigement est de l'ordre de 7 jours. La neige ne tombe en générale que dans la région des hautes altitudes. Les régions de Messaad et d'Amourah connaissent rarement l'enneigement.

**Tableau 9.** Nombre de jours de neige. Période 1975-2018 (Station météorologique de Djelfa)

<b>Mois</b>	<b>Janv</b>	<b>fevr</b>	<b>Mars</b>	<b>Avr</b>	<b>Mai</b>	<b>Juin</b>	<b>Juill</b>	<b>Aout</b>	<b>Sept</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dec</b>
<b>Nj de Neige</b>	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2

#### **II.3.1.1.4.3. La grêle**

La grêle est une des précipitations solides. D'après le tableau 10, elle est plus fréquente au mois de Février, Mars, Avril et Juin. Dans la région steppique, ce phénomène est nuisible et intense et peut causer des dégâts mais accidentels particulièrement au stade de la floraison et de la fructification où parfois il conduit à la destruction entière des vergers et donc de la perte totale de la production.

**Tableau 10.** Somme de jours de grêle. Période 1975-2018 (Station météorologique de Djelfa)

<b>Mois</b>	<b>Janv</b>	<b>fevr</b>	<b>Mars</b>	<b>Avr</b>	<b>Mai</b>	<b>Juin</b>	<b>Juill</b>	<b>Aout</b>	<b>Sept</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dec</b>
<b>Somme J de grêle</b>	7	8	13	9	7	9	4	5	3	2	5	3

#### **II.3.1.2. Les températures**

La température représente un facteur limitant de toute première importance car elle contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne de ce fait la répartition de la totalité des communautés d'êtres vivants dans la biosphère (Ramade, 1984).

Les données de la température mensuelle des trois stations sont présentées dans le tableau 11 et par les graphes des figures 16, 17 et 18.

**Tableau 11.** Températures moyennes mensuelles. Période 1975-2018

Mois	Janv	fevr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
<b>Messaad</b>												
T° mini (°C)	1,90	2,94	4,76	7,59	11,85	16,61	19,99	19,45	15,64	13,17	5,90	3,50
T° max (°C)	12,37	14,08	17,46	20,68	26,05	31,66	36,39	35,56	29,86	23,83	16,97	13,23
T° Moy (°C)	<b>7,13</b>	8,51	11,11	14,13	18,95	24,14	<b>28,19</b>	27,51	22,75	18,50	11,44	8,36
<b>Amourah</b>												
T° mini (°C)	1,03	2,07	3,89	6,72	10,98	15,74	19,12	18,58	14,77	12,30	5,03	2,63
T° max (°C)	10,86	12,57	15,95	19,17	24,54	30,15	34,88	34,05	28,35	22,32	15,46	11,69
T° Moy (°C)	<b>5,94</b>	7,32	9,92	12,94	17,76	22,95	<b>27,00</b>	26,32	21,56	17,31	10,25	7,16
<b>Zaccar</b>												
T° mini (°C)	0,48	1,52	3,34	6,17	10,43	15,19	18,57	18,03	14,22	11,75	4,48	2,08
T° max (°C)	9,89	11,60	14,98	18,20	23,57	29,18	33,91	33,08	27,38	21,35	14,49	10,75
T° Moy (°C)	<b>5,18</b>	6,56	9,16	12,18	17,00	22,19	<b>26,24</b>	25,56	20,80	16,55	9,49	6,41

*T° mini: Températures minimales moyennes en °C. T° max: Températures maximales moyennes en °C.*

Durant les 44 ans (1975-2018), il est mentionné que le mois de Juillet est le plus chaud pour les trois stations Messaad, Amourah et Zaccar avec respectivement des valeurs moyennes de 28,19°C, 27,00°C et 26,24°C, le mois le plus froid est le mois de Janvier avec respectivement 7,13°C, 5,94°C et 5,18°C (Tableau 11).

La station de Messaad enregistre parmi toutes les stations la valeur extrême de la température maximale moyenne au cours du mois de Juillet avec 36,39°C (Figure 16). La station d'Amourah enregistre 34,88°C comme max des températures maximales moyennes au mois de Juillet et 1,03°C comme min des températures minimales moyennes au mois de Janvier (Figure 17). La station de Zaccar est plus froide au mois de Janvier et marque une valeur de la température minimale moyenne de 0,48°C (Figure 18).

Pour les trois sites, la période chaude s'étale depuis le mois de Mai jusqu'à Septembre et avec la rareté des pluies et les vents chauds et secs, ce facteur peut être limitant pour la végétation en l'absence d'irrigation.

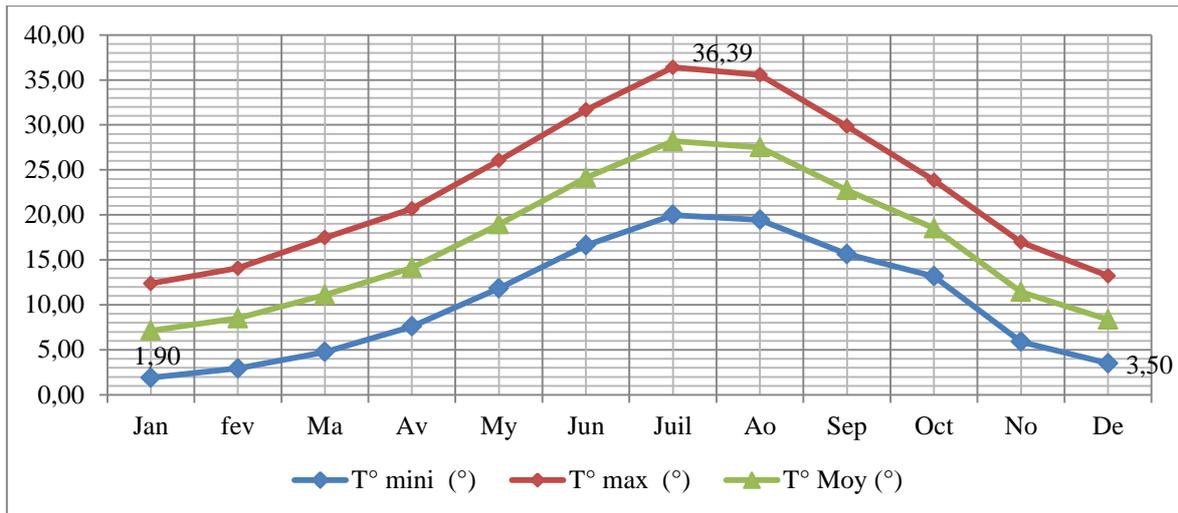


Figure 16. Températures moyennes mensuelles (Période 1975-2018) de la station de Messaad

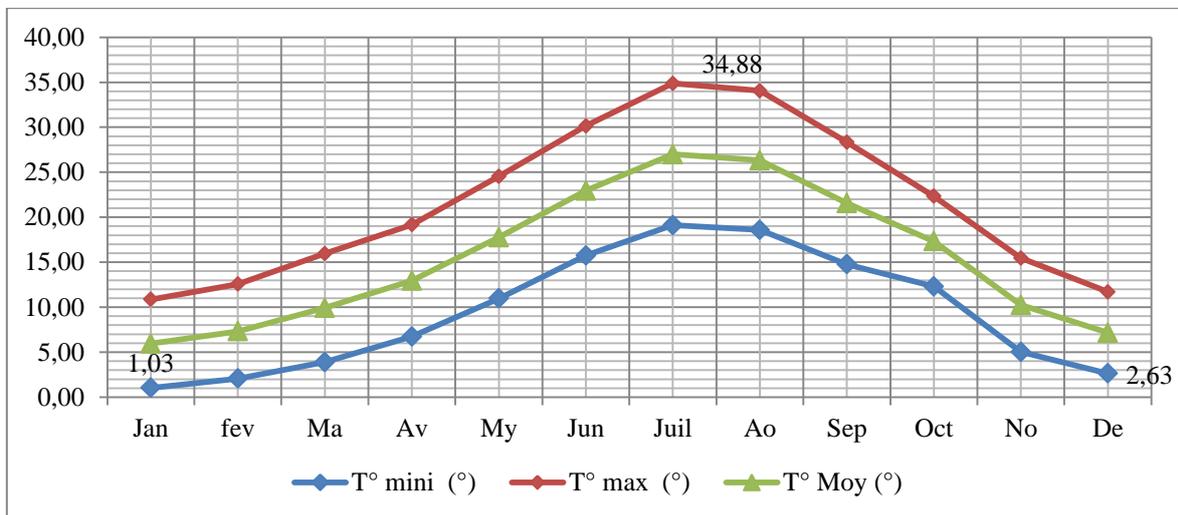


Figure 17. Températures moyennes mensuelles (Période 1975-2018) de la station d'Amourah

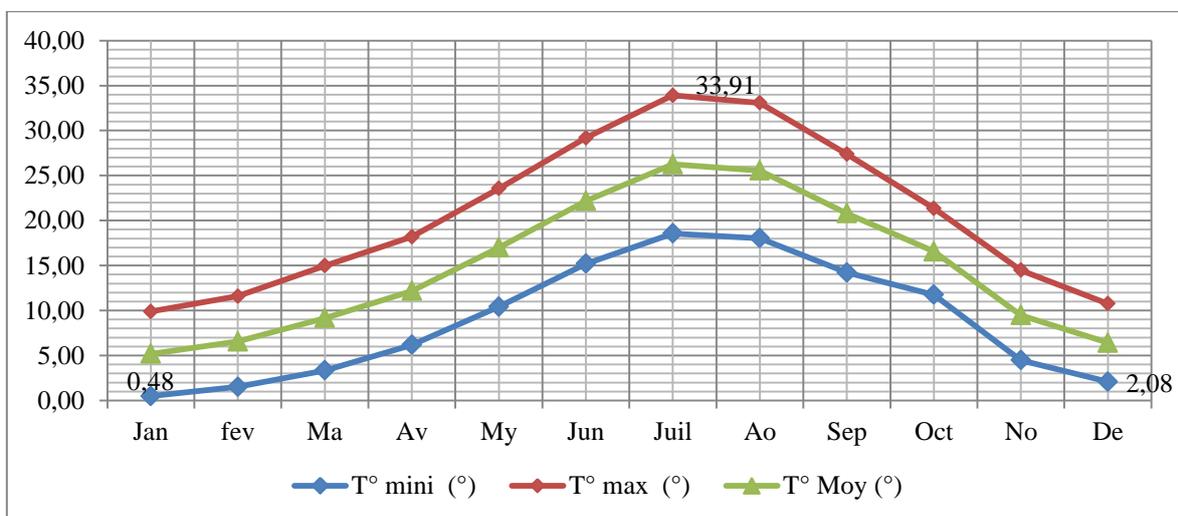


Figure 18. Températures moyennes mensuelles (Période 1975-2018) de la station de Zaccar

### **II.3.1.2.1. Ecart thermique**

D'après Alcaraz (1982), on peut distinguer quatre types de climats :

- Climat insulaire :  $M-m < 15^{\circ}\text{C}$  ;
- Climat littoral :  $15^{\circ}\text{C} < M-m < 25^{\circ}\text{C}$  ;
- Climat semi-continentale :  $25^{\circ}\text{C} < M-m < 35^{\circ}\text{C}$  ;
- Climat continentale :  $M-m > 35^{\circ}\text{C}$ .

Tels que :

**M** : Moyenne de la température du mois le plus chaud,

**m** : Moyenne de la température du mois le plus froid.

D'après le tableau 12, (M) dépasse  $30^{\circ}\text{C}$  pour toutes les stations, cette valeur montre l'importance de la chaleur estivale influencée par l'altitude de l'Atlas Saharien ainsi on constate que les deux régions de Messaad et Amourah sont classées dans un climat continentale alors que la région de Zaccar est classée dans un climat semi-continentale.

**Tableau 12.** Ecart thermique des différentes stations. Période 1975-2018

<b>Stations</b>	<b>M (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</b>	<b>m (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</b>	<b>M-m (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</b>	<b>Type de climat</b>
Messaad	36,83	1,10	35,73	Continentale
Amourah	35,32	0,23	35,09	Continentale
Zaccar	34,35	-0,32	34,67	Semi-continentale

### **II.3.2. Synthèse climatique**

Du fait que les éléments climatiques n'agissent jamais indépendamment les uns des autres, les nombreux utilisateurs, notamment les biologistes, ont toujours cherché à représenter le climat par des formules intégrant ses principales variables. Les formules les plus utilisées combinent les précipitations et les températures (Djellouli et Djebaili, 1984).

Dans cette partie, on va étudier le degré de sécheresse du climat et sa variabilité à partir des données de la température et de la pluviosité qui sont les deux facteurs limitant pour la vie végétale durant la période 1975-2018.

### **II.3.2.1. Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GUAUSSEN**

Tir (2009) stipule que le diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GUAUSSEN (1953) permet de définir pour chaque station la durée de la période sèche, en mettant en regard précipitations et températures. La saison sèche est la suite successive des mois secs. En effet un mois sec est défini comme un mois où le total des précipitations P, exprimé en millimètres, est égal ou inférieur au double de la température moyenne T du mois exprimé en degrés centigrades :  $P \leq 2T$ .

Nous avons établi les diagrammes Ombrothermiques pour les stations principales pour trois séries ; 1975-2018, 1975-1996 et 1997-2018 (Figures 19, 20 et 21).

#### **II.3.2.1.1 La station de Messaad**

Pour la période 1975-2018, la durée de la saison sèche est de huit mois allant du mois d'Avril jusqu'au mois de Novembre, tandis que pour la première période 1975-1996, la durée de la saison sèche est de six mois allant du mois de Mai jusqu'au mois d'Octobre. Dans le deuxième cycle 1997-2018, la saison sèche dure neuf mois, du mois de Mars jusqu'au mois de Novembre. Cette période de sécheresse étant importante par rapport aux autres cycles, peut engendrer une dormance estivale.

L'écart entre les précipitations et la température et l'aire dont la surface est proportionnelle à l'ampleur de la sécheresse estivale sont plus élevés à la deuxième période 1997-2018 que la première série 1975-1996 indiquant un changement vers un déficit hydrique considérable et une situation critique pour les agrosystèmes au cours de cette époque.

#### **II.3.2.1.2 La station d'Amourah**

Pour la période entre 1975-2018, la durée de la saison sèche est de six mois allant du mois de Mai jusqu'au mois d'Octobre. Durant le premier cycle (1975-1996), la durée de la saison sèche est réduite à cinq mois (de Juin à Octobre). Pour le deuxième cycle (1997-2018), la saison sèche est de six mois (de Mai à Octobre). Du point de vue durée et ampleur de la période sèche, la station d'Amourah présente des valeurs moindres à celle de Messaad et l'écart entre les deux stations peut aller jusqu'à trois mois.

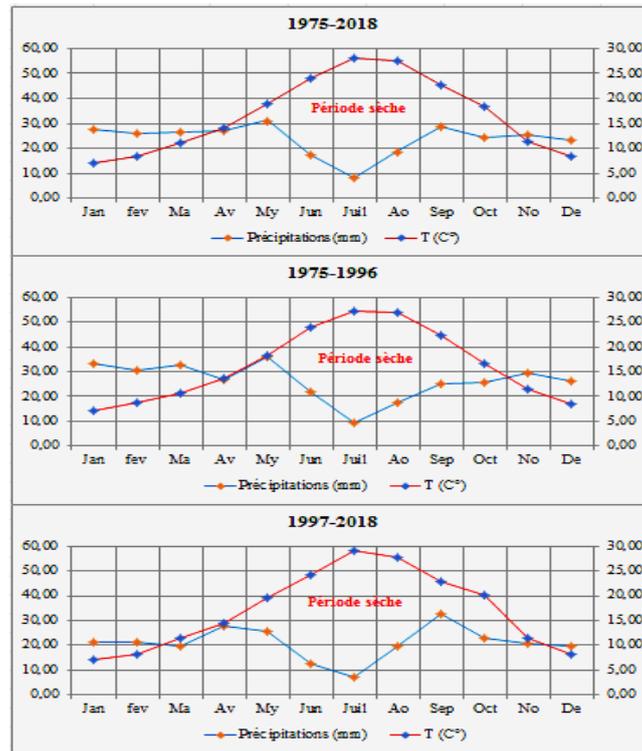


Figure 19. Diagramme ombrothermique de la région de Messaad (Périodes 1975-2018 ; 1975-1996 et 1997-2018).

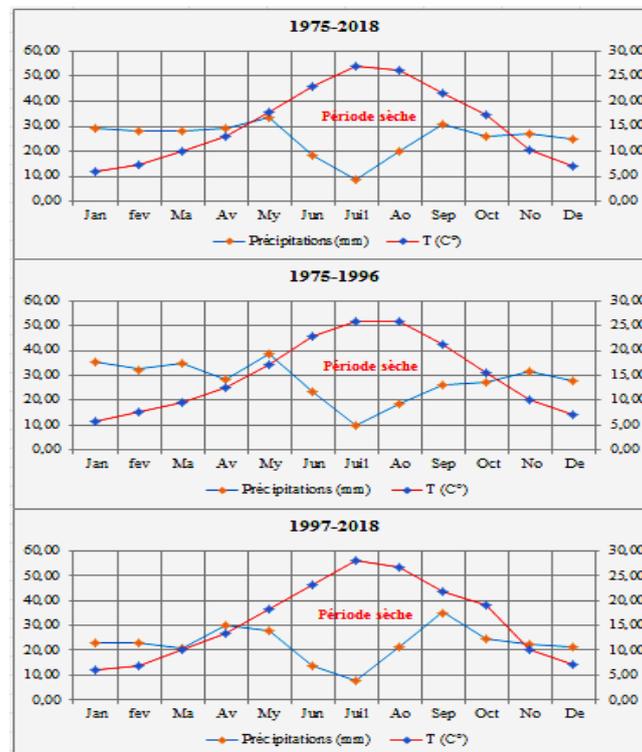


Figure 20. Diagramme ombrothermique de la région d'Amourah pour les périodes 1975-2018 ; 1975-1996 et 1997-2018

### II.3.2.1.3 La station de Zaccar

La station de Zaccar qui est la plus élevée (1076 m d'altitude) présente la saison sèche la plus courte (cinq mois allant de Juin à Octobre) durant la période entre 1975-2018. Durant le premier cycle 1975-1996, l'aire dont la surface est proportionnelle à l'ampleur de la sécheresse estivale est réduite, les températures extrêmes sont moins élevées et la saison sèche s'élève à cinq mois et demi indiquant des conditions climatiques favorables. La période 1997-2018 connaît un allongement de l'aire de la saison sèche marquant six mois et demi (de mi-mai à Octobre).

Concernant le facteur climatique du nord au sud de la région, Pouget (1980) constate que l'analyse des données traduit indubitablement un gradient d'aridité croissante pour la végétation naturelle depuis les groupements forestiers et de dégradation forestière des versants subhumides, semi-arides et arides (aride supérieur) jusqu'aux groupements steppiques des zones les plus arides.

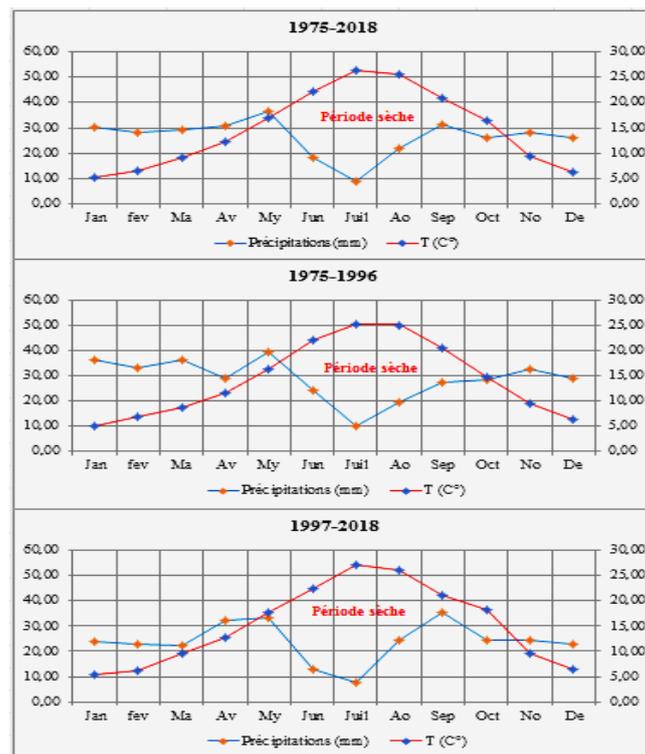


Figure 21. Diagramme ombrothermique de la région de Zaccar pour les périodes 1975-2018 ; 1975-1996 et 1997-2018

### **II.3.2.2. Indice de sécheresse estivale (Indice xérothermique d'Emberger)**

Comme le  $Q_2$  (Quotient pluviothermique d'Emberger) ne tient pas compte de la xéricité du climat, Emberger (1942), à la suite des travaux de Giacobbe (1937), a été amené à caractériser l'intensité de la sécheresse estivale par l'indice suivant :  $S = PE / M$

Tels que :

**S** : Indice de sécheresse estivale ;

**PE** : Somme des précipitations moyennes estivales ;

**M** : Moyenne de la température du mois le plus chaud.

D'après Emberger (1955), « un climat ne peut être réputé méditerranéen du point de vue phytogéographique que si  $S < 7$  ».

D'après les tableaux 13, 14 et 15, on constate que  $S$  est inférieur à Sept ( $S < 7$ ) pour les trois stations et pour les différentes périodes ce qui nous permet de classer le climat de notre région d'étude comme méditerranéen.

Pour la station de Messaad, on remarque que PE est légèrement supérieur à M durant le deuxième cycle 1997-2018. Pour la station d'amourah, l'écart entre PE et M n'est pas important durant le deuxième cycle 1997-2018. Cette relativité met en évidence une saison critique indiquant une période estivale difficile pour la végétation. Par contre, la station de Zaccar montre des écarts (PE et M) plus importants. Durant la période 1975-1996, la valeur de PE est supérieure à M et l'écart dépasse 20, tandis qu'en 1997-2018, il est presque de 10 ; ce rapport dévoile une saison plus-ou-moins favorable pour la végétation dans la région.

**Tableau 13.** Indice de sécheresse estivale pour Messaad

<b>Période et cycle</b>	<b>PE (mm)</b>	<b>M (°C)</b>	<b>S</b>
Seltzer 1913-1938	38,00	33,50	1,13
1975-2018	44,35	36,83	1,20
1975-1996	48,96	36,21	1,35
1997-2018	39,73	37,45	1,06

**Tableau 14.** Indice de sécheresse estivale pour Amourah

<b>Période et cycle</b>	<b>PE (mm)</b>	<b>M (°C)</b>	<b>S</b>
Seltzer 1913-1938	38,00	33,50	1,13
1975-2018	47,43	35,32	1,34
1975-1996	52,16	34,70	1,50
1997-2018	42,70	35,94	1,19

**Tableau 15.** Indice de sécheresse estivale Zaccar

<b>Période et cycle</b>	<b>PE (mm)</b>	<b>M (°C)</b>	<b>S</b>
Seltzer 1913-1938	38,00	33,50	1,13
1975-2018	49,32	34,35	1,44
1975-1996	53,75	33,73	1,59
1997-2018	44,89	34,97	1,28

Nous avons constaté qu'il existe une relation entre l'indice xérothermique d'Emberger et le diagramme ombrothermique, c'est-à-dire à chaque fois que la période sèche augmente l'intensité de sécheresse diminue est vice versa. La station de Messaad qui représente la période sèche la plus longue (Huit mois) montre la valeur la plus basse de l'indice de sécheresse S (1,20) durant la période 1975-2018.

### **II.3.2.3. Quotient pluviométrique et climagramme d'Emberger**

Selon Djebaili (1984), la première partie peu variable du quotient pluviométrique d'Emberger ( $Q_2$ ) est peut être ramenée à une constante K dont la valeur pour le Maroc et l'Algérie est égale à 3,43, d'où la nouvelle formule modifiée suivante élaborée par Stewart (1968), soit:

$$Q_3 = 3,43 (P/M-m)$$

Tels que :

**Q<sub>3</sub>**: Quotient pluviothermique ;

**P**: Pluviométrie annuelle moyenne en mm ;

**M**: Moyenne maximale du mois le plus chaud en °C ;

**m**: Moyenne minimale du mois le plus froid en °C.

Le tableau 16 et la figure 22 montrent les étages bioclimatiques et les variantes thermiques de nos stations pour la période totale étudiée 1975-2018 et pour les deux cycles 1975-1996 et 1997-2018 selon le climagramme d'Emberger.

**Tableau 16.** Synthèse des étages bioclimatiques d'après le Climagramme des trois stations

<b>Station et cycle</b>	<b>P (mm)</b>	<b>M (°C)</b>	<b>m (°C)</b>	<b>Q<sub>3</sub></b>	<b>Etage bioclimatique</b>
Messaad 1975-2018	282,94	36,83	1,10	27,16	<i>Aride supérieur à hiver frais</i>
Messaad 1975-1996	316,07	36,21	0,80	30,62	<i>Semi-aride inférieur à hiver frais</i>
Messaad 1997-2018	249,80	37,45	1,40	23,77	<i>Aride moyen à hiver frais</i>
Amourah 1975-2018	302,71	35,32	0,23	29,59	<i>Semi-aride inférieur à hiver frais</i>
Amourah 1975-1996	336,07	34,70	-0,07	33,15	<i>Semi-aride inférieur à hiver froid</i>
Amourah 1997-2018	269,35	35,94	0,53	26,09	<i>Aride supérieur à hiver frais</i>
Zaccar 1975-2018	315,51	34,35	-0,32	31,21	<i>Semi-aride inférieur à hiver froid</i>
Zaccar 1975-1996	346,07	33,73	-0,62	34,56	<i>Semi-aride moyen à hiver froid</i>
Zaccar 1997-2018	284,95	34,97	-0,02	27,93	<i>Semi-aride inférieur à hiver froid</i>

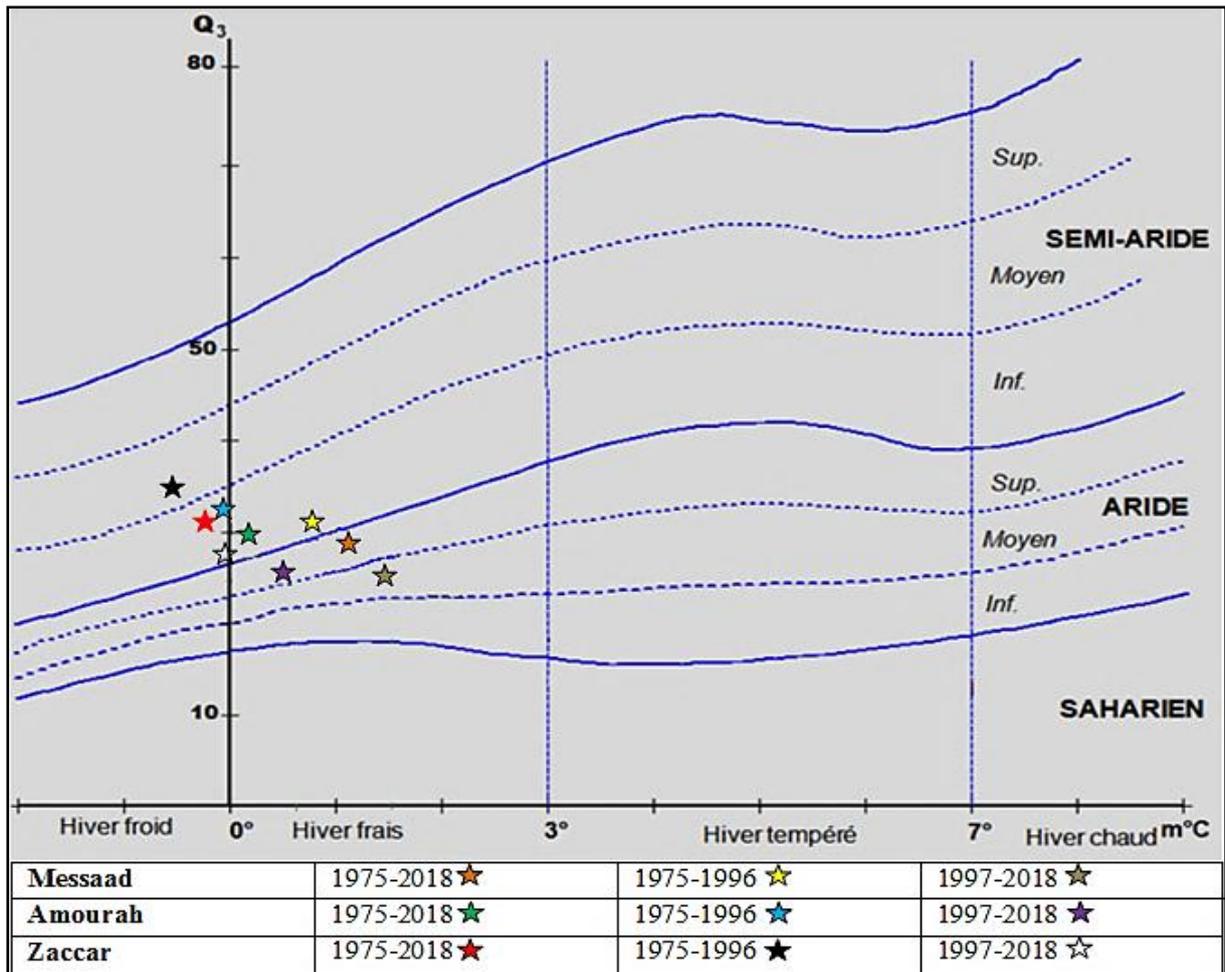


Figure 22. Climagramme d'Emberger

Entre les périodes 1975-1996 et 1997-2018, la station de Messaad a glissé vers l'aride moyen à hiver frais de l'étage bioclimatique semi-aride inférieur à hiver frais, transformation due essentiellement au changement des conditions climatiques de précipitations et de températures entre les deux intervalles en faveur d'une zone plus aride.

L'étage bioclimatique et la variante thermique ont également changé pour la station d'Amourah entre les deux cycles étudiés 1975-1996 et 1997-2018 du semi-aride à l'aride et d'un hiver froid à un hiver frais exhibant l'accentuation de l'aridité dans la dernière période.

La région de Zaccar, quant à elle, peu influencée en raison de l'effet d'altitude a glissé vers le semi-aride inférieur après avoir été sur l'étage bioclimatique semi-aride moyen entre les deux périodes en gardant la même variante thermique de l'hiver froid.

### II.3.2.4. Indice d'aridité annuel de De Martonne

En se basant sur des considérations essentiellement géographiques, De Martonne (1926) a défini l'aridité du climat à l'échelle annuelle par le quotient (Lebourgeois et Piedallu, 2005):

$$I = \frac{P}{(T + 10)}$$

Tels que :

**I** : indice d'aridité annuel de De Martonne ;

**P** : pluviométrie moyenne annuelle en (mm) ;

**T** : température moyenne annuelle en (°C).

**Tableau 17.** Indice d'aridité de De Martonne pour les trois stations

Station et période	P (mm)	T (°C)	Indice d'aridité (I)	Régime selon l'Abaque de De Martonne (Figure 23)
Messaad 1975-2018	282,94	16,73	10,59	Régime semi-aride à écoulement temporaire et à formation herbacée
Messaad 1975-1996	316,07	18,50	11,09	Régime semi-aride à écoulement temporaire et à formation herbacée
Messaad 1997-2018	249,80	19,43	8,49	Régime désertique à écoulement temporaire et à drainage intérieur
Amourah 1975-2018	302,71	15,54	11,85	Régime semi-aride à écoulement temporaire et à formation herbacée
Amourah 1975-1996	336,07	17,31	12,30	Régime semi-aride à écoulement temporaire et à formation herbacée
Amourah 1997-2018	269,35	18,24	9,54	Régime désertique à écoulement temporaire et à drainage intérieur
Zaccar 1975-2018	315,51	14,78	12,73	Régime semi-aride à écoulement temporaire et à formation herbacée
Zaccar 1975-1996	346,07	16,55	13,03	Régime semi-aride à écoulement temporaire et à formation herbacée
Zaccar 1997-2018	284,95	17,48	10,37	Régime semi-aride à écoulement temporaire et à formation herbacée

L'aridité augmente quand la valeur de l'indice diminue. Au niveau mondial, De Martonne a proposé six grands types de macroclimats allant des zones désertiques arides ( $I < 5$ ) aux zones humides à forêt prépondérante ( $I > 40$ ) (Lebourgeois et Piedallu, 2005)

Le tableau 17 et la figure 23 présentent la disposition de nos stations à travers les différentes périodes sur l'Abaque proposé par De Martonne.

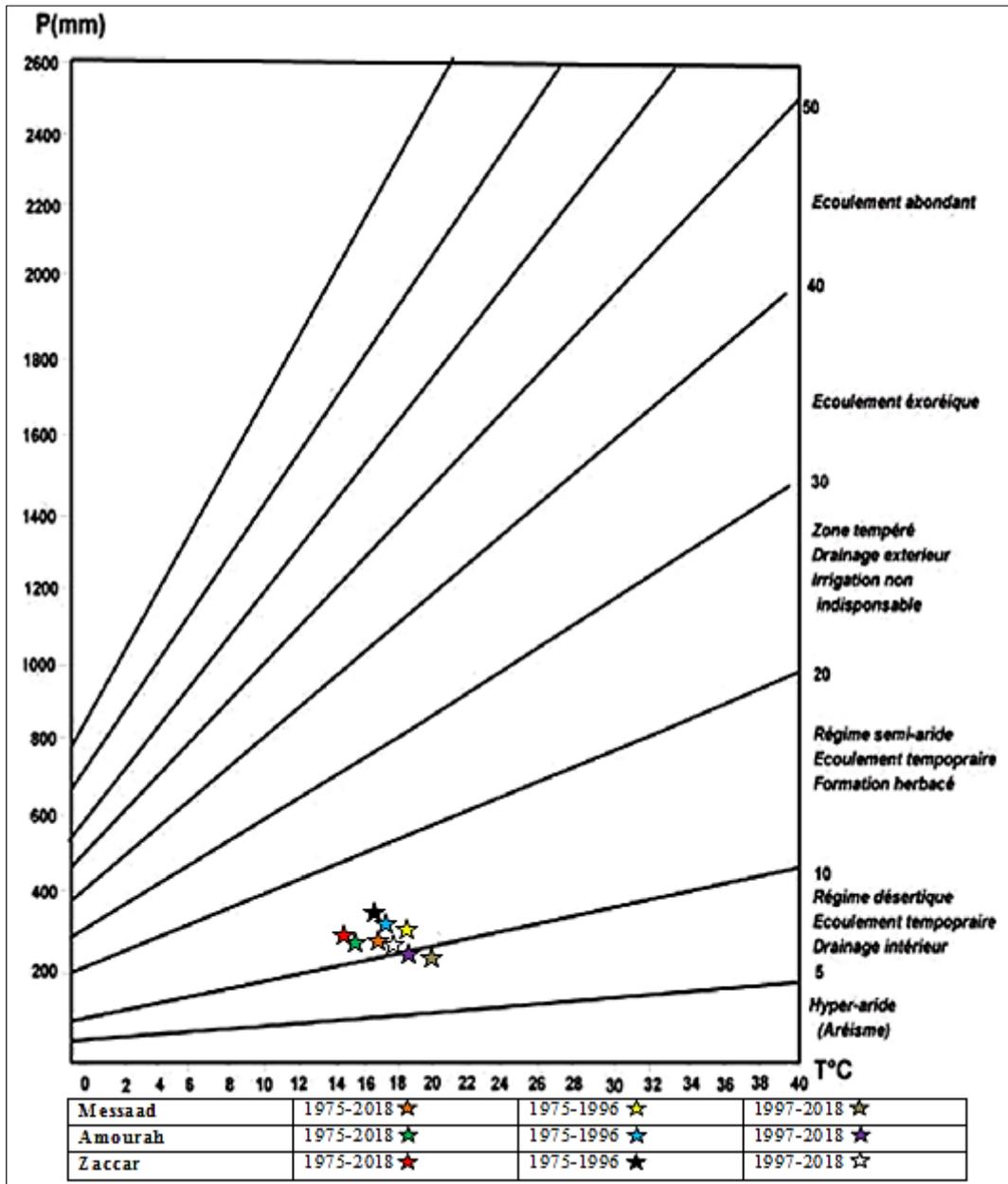


Figure 23. Abaque de De Martonne pour les stations d'étude

La station de Messaad a changé de régime durant le deuxième cycle 1997-2018 d'un régime semi-aride à écoulement temporaire et à formation herbacée à un régime désertique à écoulement temporaire et à drainage intérieur suite à la diminution de la valeur de l'indice d'aridité de Martonne I ; montrant une durée de sécheresse étendue due essentiellement à l'irrégularité des pluies et à l'augmentation de la température. Le même constat est observé pour la station d'Amourah qui montre une pluviométrie moyenne annuelle de 269,35mm et une température moyenne annuelle de 18,24°C soit un indice d'aridité de 9,54 durant la période critique de 1997-2018.

La région de Zaccar garde toujours le même régime sur l'Abaque de Martonne: régime semi-aride à écoulement temporaire et à formation herbacée bien que la valeur de l'indice d'aridité a diminué considérablement de 13,03 à 10,37 entre 1975-1996 et 1997-2018.

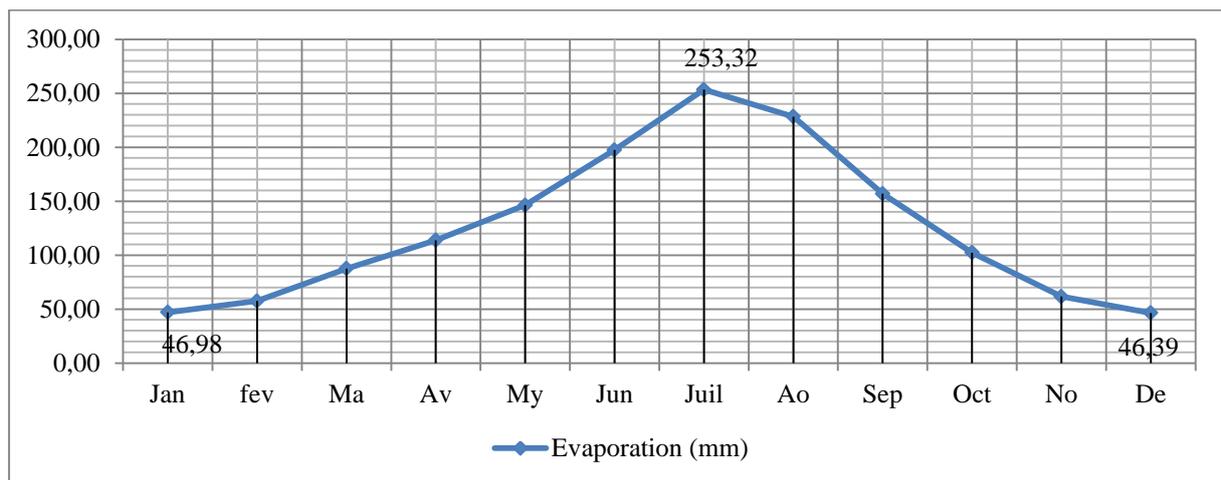
### II.3.3. L'évaporation

L'évaporation est un phénomène dû à l'augmentation de la température. Pour cette étude, les données des trois stations choisies ne sont pas disponibles et seules les données de la station météorologique de Djelfa de la période 1975-2018 sont prises en considération.

D'après le tableau 18 et la figure 24, on remarque que la valeur la plus marquante se trouve au mois de Juillet avec une moyenne de 253,32mm, cette augmentation est liée à la température moyenne maximale du mois le plus chaud en l'occurrence Juillet (36,39 °C pour Messaad, 34,88 °C pour Amourah et 33,91 °C pour Zaccar) conduisant inévitablement à déséquilibrer le bilan hydrique global dans le contexte de la rareté et de l'irrégularité des pluies constaté antérieurement.

**Tableau 18.** Valeurs de l'évaporation (mm), enregistrées pour la station de Djelfa. Période 1975-2018

Mois	Janv	fevr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
<b>Evaporation (mm)</b>	46,98	57,48	87,58	113,86	146,31	197,52	253,32	228,34	156,96	102,40	61,71	46,39



**Figure 24.** Valeurs de l'évaporation (mm), enregistrées pour la station de Djelfa

### II.3.4. Bilan climatique P-ETP

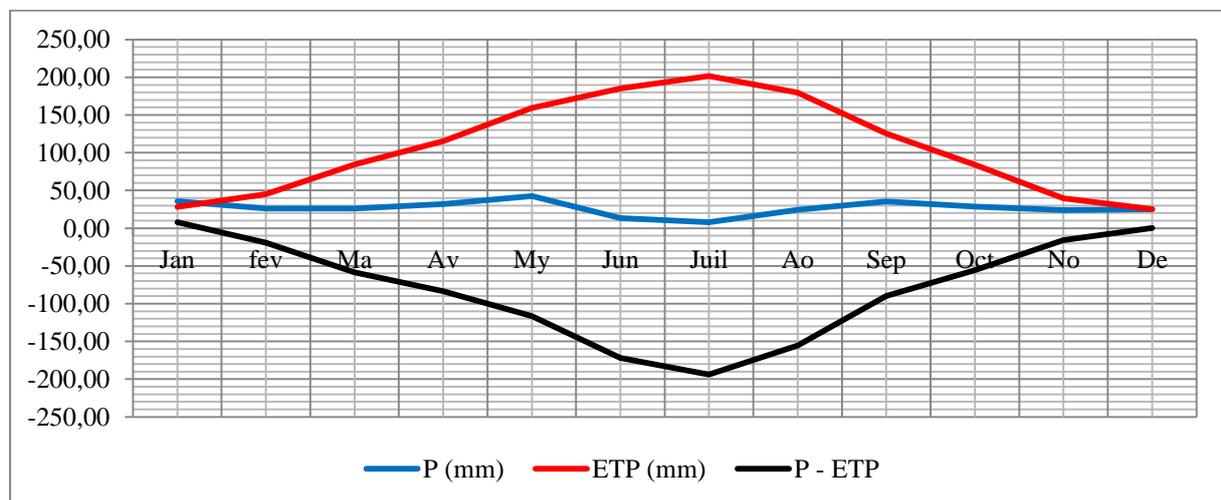
Un déficit hydrique exprime la différence cumulée entre l'évapotranspiration potentielle et les précipitations où ces dernières lui sont inférieures à la première pendant une période. On utilise l'évapotranspiration potentielle ETP pour estimer le déficit hydrique. Etant donné la très faible importance de la pluviométrie, les besoins en eau des différentes cultures seront calculés par référence au déficit hydrique (Akkouche, 2019).

Vu l'absence de données concernant l'évapotranspiration potentielle ETP pour la période entière (1975-2018), l'étude a porté seulement sur les données de l'ETP de la période 1990-2008 de la station météorologique de Djelfa.

Le tableau 19 et la figure 25 exposent les valeurs du bilan climatique de la région de Djelfa à travers les données des précipitations mensuelles et de l'ETP de la période 1990-2008.

**Tableau 19.** Bilan climatique pour la station de Djelfa pour la période 1990-2008

Mois	Janv	fevr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
P (mm)	35,87	25,93	26,18	32,11	42,72	13,23	8,01	24,32	35,47	28,45	23,87	25,20
ETP (mm)	28,10	45,00	84,50	115,40	159,20	185,20	201,80	179,70	125,30	84,20	39,80	25,10
P - ETP	7,77	-19,07	-58,32	-83,29	-116,48	-171,97	-193,79	-155,38	-89,83	-55,75	-15,93	0,10



**Figure 25.** Bilan climatique pour la station de Djelfa pour la période 1990-2008

D'après le graphe ci-dessus, on distingue deux périodes dans l'année :

- ✓ La première période est courte (Décembre, Janvier), celle où P-ETP est positif au cours de laquelle la demande atmosphérique est satisfaite ;

- ✓ La deuxième période est longue correspond aux autres mois de l'année où P-ETP est négatif cela s'explique par une demande non satisfaite c'est-à-dire un déficit de l'humidité de l'atmosphère.

D'après ces résultats, on déduit que le déficit hydrique est accentué dans la région à cause de l'augmentation des températures et la diminution des précipitations au cours de la majorité des mois de l'année.

### II.3.5. Les vents

Le vent est un facteur mécanique important à cause de son action sur la distribution de la faune et de la flore. Il est tenu compte par sa direction, et par sa fréquence et sa vitesse (Lacoste et Salanon, 1969), en effet l'évaporation et l'évapotranspiration dépendent pour une grande part en plus des températures de l'action du vent (Grisollet, 1973).

La principale caractéristique des vents dominants dans la région est la fréquence en été du sirocco, d'origine désertique, chaud et sec, dont la durée peut varier de 20 à 30 jours par an.

Pour la direction des vents, les données de la région de Djelfa de 1975-2018 sont utilisées vu le manque de celles de nos stations (Tableau 20).

**Tableau 20.** Direction des vents de la station de Djelfa pour la période 1975-2018

<b>Direction des vents 1975-2018</b>														
	N	NNE	NE	E	ESE	SE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
Direction des vents	81	10	9	0	0	8	36	26	214	4	27	2	73	5
<b>Par saison 1975-2018</b>														
	<b>Automne</b>													
	N	NNE	NE	E	ESE	SE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
Direction des vents	17	0	3	0	0	2	10	6	55	3	5	1	17	0
	<b>Hiver</b>													
	N	NNE	NE	E	ESE	SE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
Direction des vents	21	2	0	0	0	0	8	8	57	1	5	0	22	0
	<b>Printemps</b>													
	N	NNE	NE	E	ESE	SE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
Direction des vents	23	3	3	0	0	2	7	5	48	0	12	0	20	4
	<b>Eté</b>													
	N	NNE	NE	E	ESE	SE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
Direction des vents	20	5	3	0	0	4	11	7	54	0	5	1	14	1

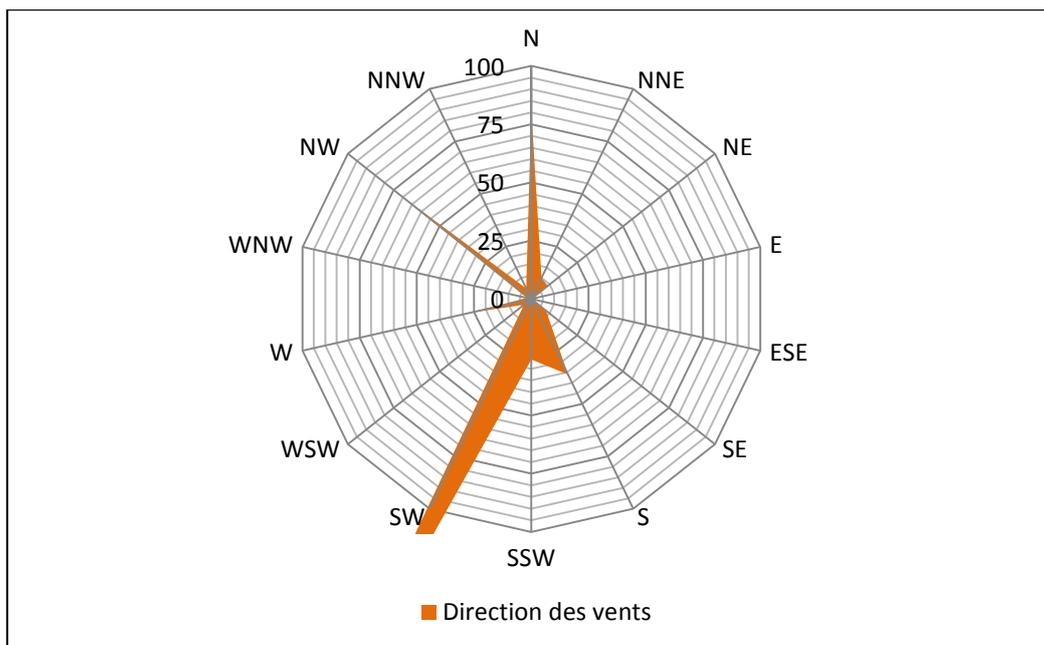


Figure 26. Direction des vents de la station de Djelfa (Période 1975-2018)

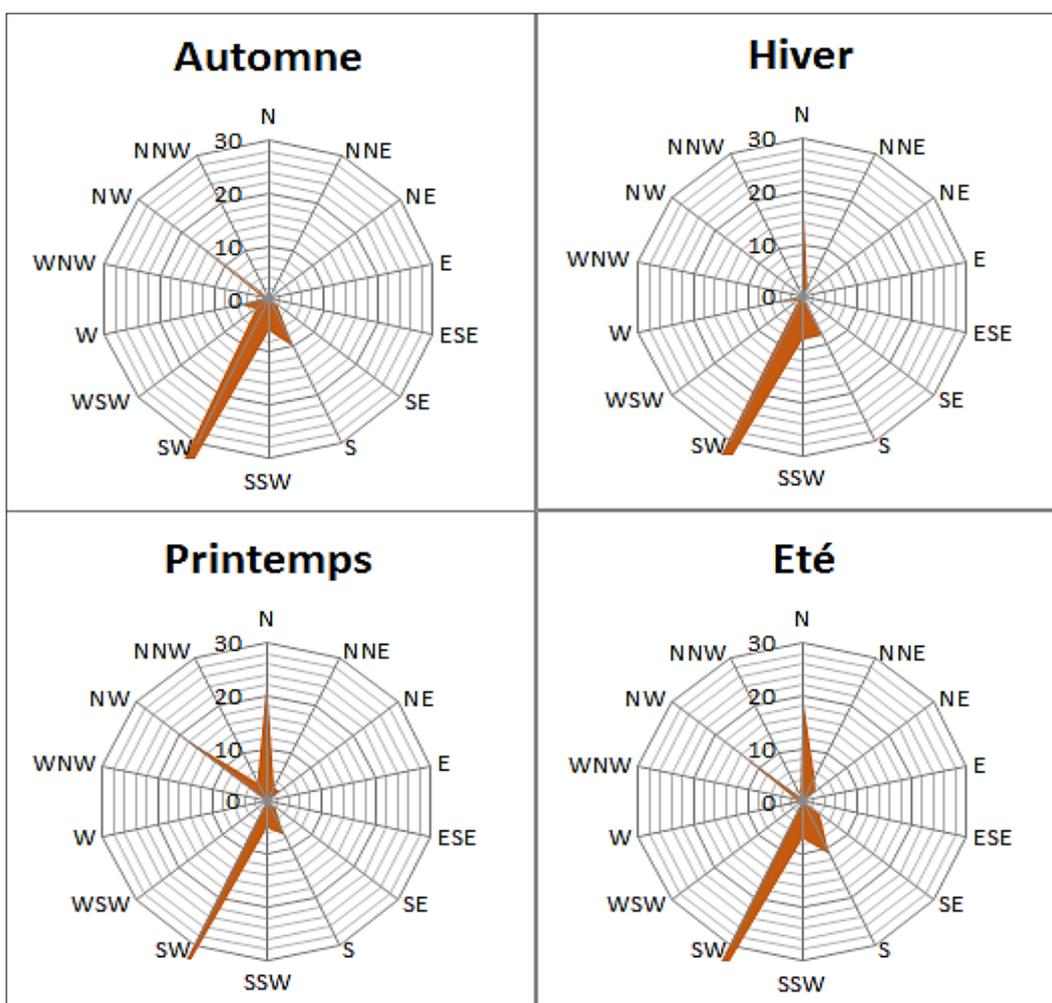


Figure 27. Direction des vents de la station de Djelfa pour les quatre saisons (Période 1975-2018)

D'après les figures 26 et 27, on remarque que le SW est la direction dominante ainsi que les vents du N et du NW durant la période étudiée. Pour les quatre saisons, la direction SW est dominante. Durant le printemps et l'été, les directions NW et N sont en deuxième position.

La direction SW est d'origine désertique, les vents sont chargés de chaleur, ce qui conduit à l'accentuation de l'évaporation et l'évapotranspiration.

#### **II.4. Climat et changement climatique**

Les évolutions des précipitations et des températures témoignent des bouleversements climatiques subis ces dernières années par l'Afrique du Nord et le Grand Maghreb. La sécheresse persistante de ces vingt dernières années (1980 – 2000) a favorisé le déséquilibre des écosystèmes sensibles. L'homme, de par ses activités, a exacerbé ce déséquilibre des écosystèmes sensibles. Les changements climatiques peuvent devenir un facteur aggravant de la dégradation de nombreuses régions du pays particulièrement les Hauts Plateaux et la Steppe (I.N.R.A.A., 2006 ; Nouaceur et *al.*, 2013).

Du fait de la variabilité du climat, des faibles ressources en eau, des sécheresses récurrentes, de la désertification mais également de la mauvaise gestion, les cultures pluviales et plus particulièrement les céréales, l'oléiculture et l'arboriculture (les rosacées à pépins), seraient vraisemblablement les activités agricoles les plus vulnérables aux variations climatiques. Elles sont particulièrement liées aux conditions pluviométriques et thermiques (M.A.T.E., 2015).

Nouaceur et *al.* (2013) annoncent des changements dès 1984 pour les températures minimales et à partir de 1987 pour les températures maximales. Sur l'ensemble de la période, ce sont ces dernières qui ont connu l'augmentation la plus sensible. En ce qui concerne les précipitations, une première période humide se produit de 1970 à 1986. Une forte sécheresse s'établit ensuite pendant près de quinze ans, de 1987 à 2002. Elle est suivie du retour à une situation plus clémente (qualifiée d'humide) depuis 2003. Ce retour à des précipitations plus abondantes s'accompagne d'un plus grand nombre d'épisodes pluvieux extrêmes (perturbations pluvio-orageuses sévères).

## **II.5. Cadre pédologique**

La nature des sols et leur répartition sont en étroite relation avec les unités géomorphologiques, les sols des zones arides de la steppe algérienne sont décrits par plusieurs auteurs (Pouget, 1980 ; Kadi-Hanifi, 1982, 1983, 1998 et Halitim, 1988). Ils sont en général pauvres en humus, fragiles et peu profonds. Les principaux sols rencontrés sont :

- ✓ Les sols minéraux bruts ou sols très peu évolués ;
- ✓ Les sols peu évolués ;
- ✓ Les sols calcimagnésiques ;
- ✓ Les sols isohumiques ;
- ✓ Les sols halomorphes.

Tous ces sols ont une faible épaisseur, sont pauvres en matière organique et en éléments trophiques ; ils sont plus profonds et parfois utilisés par l'agriculture dans les lits d'oueds et dans les dépressions non salées (dayas). Ils sont caractérisés aussi par une forte sensibilité à l'érosion et à la dégradation (Boughani, 2014).

En raison du manque de travaux récents et de cartes pédologiques des régions de Messaad, Zaccar et Amourah, à l'exception de celle développée par Pouget (1976), le gradient lié aux catégories de sols montre leur pauvreté et leur fragilité comme un commentaire général. Nous citons par exemple les sols minéraux bruts aux bases des montagnes et sur certaines collines, les sols peu évolués sur les dépôts fluviaux calcaires récents, les sols calcimagnésiques sur la topographie plane à des altitudes allant de 700 à 900 m et les sols halomorphes sur la bordure sud de Zahrez Gharbi (Djebaili, 1984).

Le profil pédologique de ces régions est classé comme sol xérique calcimagnésique avec une croûte calcaire (Figure 28). Ce qui signifie que la quasi-totalité des sols sont calcaires en surface ; il en résulte des pH basiques, parfois proches de la neutralité et des complexes absorbants saturés. C'est la principale caractéristique commune en relation avec la nature des roches mères, pratiquement toujours calcaires, et avec le climat, les précipitations étant insuffisantes pour produire une décarbonatation complète des horizons de surface. Ces caractéristiques (présence de calcaire, pH et saturation du complexe) ne jouent donc qu'un rôle très limité dans la différenciation pédologique, mais aussi comme facteurs écologiques responsables de certains déterminismes écologiques (groupe écologique édaphique : psamophytes, halophytes, gypsophytes ; espèces indicatrices des facteurs édaphiques : sable, sel, gypse, etc...) (Pouget, 1980).

Dans cette zone steppique, les sols sont pauvres ; probablement de type aride avec une très faible teneur en matière organique et un faible taux de phosphore. Les sols sont non salés et calcaires (calcaire). Leur richesse en azote, notamment la zone rhizosphérique, est le résultat de l'activité racinaire et de la biomasse microbienne dans l'interface sol/racine (Pouget, 1980 ; Lahouel *et al.*, 2016). Dans un travail antérieur (Lahouel, 2014), dans la région de Messaad nous avons procédé à la réalisation d'un profil pédologique. La description morphologique du profil et l'étude analytique nous a révélé la classification de ces sols comme aridosols, ces résultats ont été confirmés par des analyses physiques du sol montrant des taux élevés de sable fin et de sable grossier ; et donc une texture sableuse, avec un taux de sables de 75.45% (Tableau 21)

**Tableau 21.** Résultats de l'analyse granulométrique des sols sous grenadier de la station de Messaad (Lahouel, 2014)

Sols	Granulométrie					Texture
	A%	LF%	LG%	SF%	SG%	
	5.29	3.95	4.64	<b>75.45</b>	10.67	<b>Sableuse</b>



**C h a p i t r e III**  
**Matériel et méthodes**

### III.1. Présentation du Matériel végétal

Le choix du grenadier n'était pas arbitraire, les bilans liés à la production et aux superficies dédiées à sa culture montre son importance économique locale et nationale et son impact écologique dans la valorisation des terres situées dans la steppe centrale qui sont connues essentiellement par la pauvreté. Du fait de son existence historique dans ce territoire, le grenadier est considéré comme un produit de terroir pour la population locale de la région de Messaad, en conséquence une ressource phytogénétique à prendre en considération.

Pour le matériel végétal utilisé pour la présente étude, il s'agit de feuilles, de fruits, et des graines du grenadier (*Punica granatum* L.), récoltés sur différentes stations (cf. Chap. II) appartenant à sept (07) cultivars.

Les feuilles et les fruits sont utilisés pour une étude morphologique par l'investigation de plusieurs paramètres quantitatifs et qualitatifs dont uniquement le facteur cultivar est pris en compte.

L'étude et le suivi phénologique sont réalisés in-situ par des observations sur l'arbre entier et sur des branches individuelles de bois âgés.

### III.2. Stations et période d'échantillonnage

Notre étude a été réalisée durant la saison de fructification du grenadier (*Punica granatum* L.) de 2018 dans la partie centrale de la région de Djelfa. Le matériel végétal sélectionné fait partie des principaux cultivars du grenadier. L'étude a été menée sur sept (07) cultivars ; trois (03) cultivars de la station de Messaad qui sont : Khadraye de Messaad (KH1), Hamraye de Messaad (HM1) et Senin Aloudj de Messaad (SL1) , un (01) cultivar d'Amourah qui est Romane Amourah (AM2) et trois (03) cultivars des vergers de Zaccar qui sont : Khadraye de Zaccar (KH3), Mezabi de Zaccar (MZ3) et Senin Aloudj de Zaccar (SL3) (Tableau 22).

Le tableau 23 récapitule les caractéristiques écologiques des stations d'étude liées essentiellement au climat (Température et précipitations) (cf. Chap. II).

**Tableau 22.** Localisation, Origine géographique (O.g.), âge, date de récolte, densité, rendement et type d'irrigation (Forage F, Source d'eau naturelle Sn) des cultivars de grenadier (Messaad, Amourah et Zaccar) (2018)

Cultivar	Code	O.g	Irrigation	Age (an)	Date de récolte	Sup. (ha)	Densité (arbre/ha)	Rdt (kg/arbre)
<b>Khadraye de Messaad</b>	<b>KH1</b>	Messaad	F	14	10/10/2018	2.5	200	35
<b>Hamraye de Messaad</b>	<b>HM1</b>	Messaad	F	17	02/10/2018	2.0	250	40
<b>Senin Aloudj de Messaad</b>	<b>SL1</b>	Messaad	F	15	20/09/2018	3.0	300	45
<b>Romane Amourah</b>	<b>AM2</b>	Amourah	Sn	25	05/10/2018	2.5	150	20
<b>Khadraye de Zaccar</b>	<b>KH3</b>	Zaccar	Sn	18	25/09/2018	1.5	200	25
<b>Mezabi de Zaccar</b>	<b>MZ3</b>	Zaccar	Sn	18	20/09/2018	1.5	200	20
<b>Senin Aloudj de Zaccar</b>	<b>SL3</b>	Zaccar	Sn	18	25/09/2018	1.5	200	30

**Tableau 23.** Caractéristiques écologiques des stations d'étude

Espèce	Cultivar	Station	Alt. (m)	Lat. & Long.	M (°C)	m (°C)	P (mm)	Régime saisonnier	Continentalité thermique		Sècheresse				Aridité	
									M-m (°C)	Climat	Estivale		Globale		I	Régime
											S	Climat	Q3	Bioclimat		
<i>Punica granatum</i> L.	KH1	Messaad	805	34 ° 15 ' N 3 ° 23 ' E	36,83	1,10	282,94	PAHE	35,73	Continental	1,20	Méditer.	27,16	A.S.H.F	10,59	R.SA.ET.FH
	HM1		805	34 ° 10 ' N 3 ° 31 ' E	36,83	1,10	282,94	PAHE	35,73	Continental	1,20	Méditer.	27,16	A.S.H.F	10,59	R.SA.ET.FH
	SL1		805	34 ° 09 ' N 3 ° 29 ' E	36,83	1,10	282,94	PAHE	35,73	Continental	1,20	Méditer.	27,16	A.S.H.F	10,59	R.SA.ET.FH
	AM2	Amourah	1022	34 ° 21 ' N 3 ° 52 ' E	35,32	0,23	302,71	PAHE	35,09	Continental	1,34	Méditer.	29,59	SA.I.H.Fr	11,85	R.SA.ET.FH
	KH3	Zaccar	1076	34 ° 25 ' N 3 ° 19 ' E	34,35	-0,32	315,51	PAHE	34,67	Semi-continental	1,44	Méditer.	31,21	SA.I.H.F	12,73	R.SA.ET.FH
	MZ3		1076	34 ° 25 ' N 3 ° 19 ' E	34,35	-0,32	315,51	PAHE	34,67	Semi-continental	1,44	Méditer.	31,21	SA.I.H.F	12,73	R.SA.ET.FH
	SL3		1076	34 ° 25 ' N 3 ° 19 ' E	34,35	-0,32	315,51	PAHE	34,67	Semi-continental	1,44	Méditer.	31,21	SA.I.H.F	12,73	R.SA.ET.FH

Alt., altitude ; Lat., latitude ; Long., longitude ; M, moyenne des maxima du mois le plus chaud en degrés Celsius ; m, moyenne des minima du mois le plus froid en degrés Celsius ; P, pluviométrie en mm/an ; S, Indice de sécheresse estivale (Indice xérothermique d'Emberger) ; Méditer., Méditerranéen ; Q3, Quotient pluviométrique d'Emberger modifié par Stewart ; A.S.H.F, Aride supérieur à hiver frais ; SA.I.H.Fr, Semi-aride inférieur à hiver frais ; SA.I.H.F, Semi-aride inférieur à hiver froid ; I, Indice d'aridité de De Martonne ; R.SA.ET.FH, Régime semi-aride à écoulement temporaire et à formation herbacée

### III.3. Paramètres morphologiques étudiés

La méthode d'Hernandez et al. (2014) a été appliquée pour la méthode d'échantillonnage ainsi que pour les mesures réalisées sur les fruits, tandis que pour l'étude des graines, on a adopté le protocole d'Alcaraz-Marmola et al. (2017). Le référentiel utilisé pour d'autres espèces telles que les espèces du genre Pistacia (I.P.G.R.I., 1998), a servi de base pour notre protocole.

En utilisant un échantillonnage aléatoire subjectif, trente (30) arbres ont été choisis dans chaque verger. Pour les fruits, dix (10) fruits ont été prélevés au hasard sur chaque arbre et vingt (20) graines ont été extraites manuellement et aléatoirement de chaque fruit. Pour les feuilles, trente (30) feuilles ont été prélevées au hasard sur chaque arbre (Figures 29 et 30).

Les paramètres morphologiques étudiés ont été mesurés sur trois cents (300) fruits soit trois cents (300) répétitions, six mille (6000) graines soit six mille (6000) répétitions et neuf cent (900) feuilles soit neuf cent (900) répétitions pour chaque cultivar. (Figures 29 et 30).

#### III.3.1. Paramètres quantitatifs

Le diamètre et la longueur du fruit, la longueur de la couronne, la longueur et la largeur des graines, la longueur, la largeur du tegmen (partie ligneuse), la longueur et la largeur de la feuille et la longueur du pétiole ont été mesurés à l'aide d'un pied à coulisse numérique avec une précision de 0,01 mm. Les poids des fruits et de l'écorce ont été mesurés à l'aide d'une balance de précision avec une précision de 0,1 g (Tableau 24, Figures 31 et 32).

**Tableau 24.** Principaux paramètres morphologiques quantitatifs étudiés

Paramètre	Longueur Fruit sans couronne (mm)	Diamètre Fruit (mm)	Poids Fruit (g)	Longueur Couronne (mm)	Poids Ecorce+ membranes carpellaires (g)	Rendement en graines	Longueur Graine (mm)	Largeur Graine (mm)	Longueur Tegmen (mm)	Largeur Tegmen (mm)	Indice Forme Fruit	Indice Calice	Longueur Feuille (mm)	Largeur Feuille (mm)	Longueur Pétiole (mm)
	L1	D1	Fw	L2	Rw+Cm	Sy	Ls	Ws	Lt	Wt	If	Ic	Ll	Wl	Lp

$$Sy = [Fw - (Rw + Cm) / Fw] \times 100 (\%), If = (D1 / Ll) \times 100 (\%), Ic = [L2 / (L1 + L2)] \times 100 (\%)$$

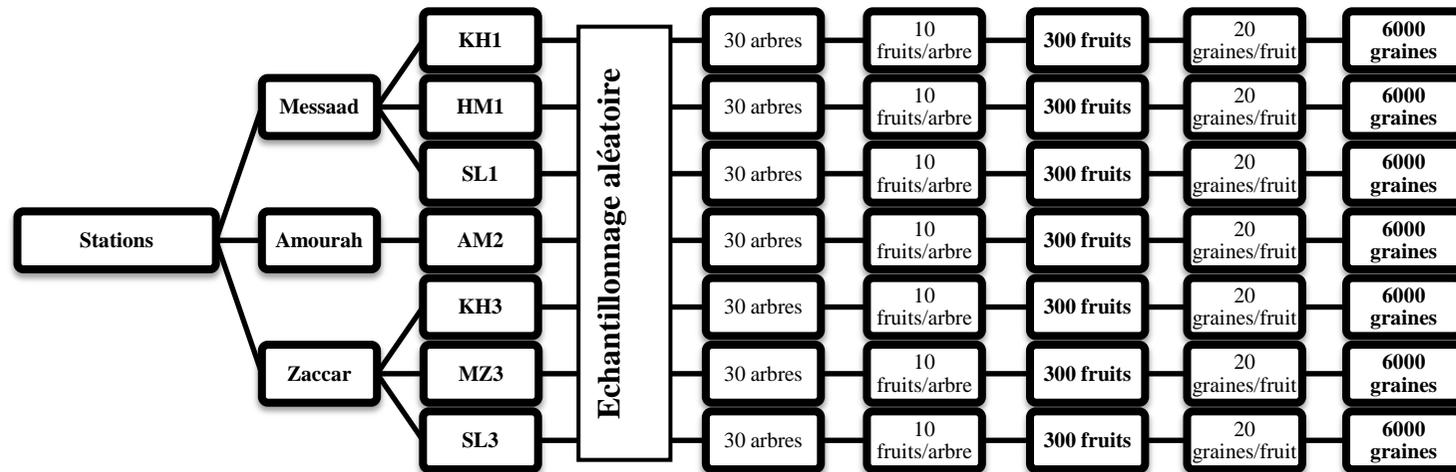


Figure 29. Protocole expérimental de l'échantillonnage aléatoire subjectif des fruits et graines du grenadier des stations de Messaad, Amourah et Zaccar

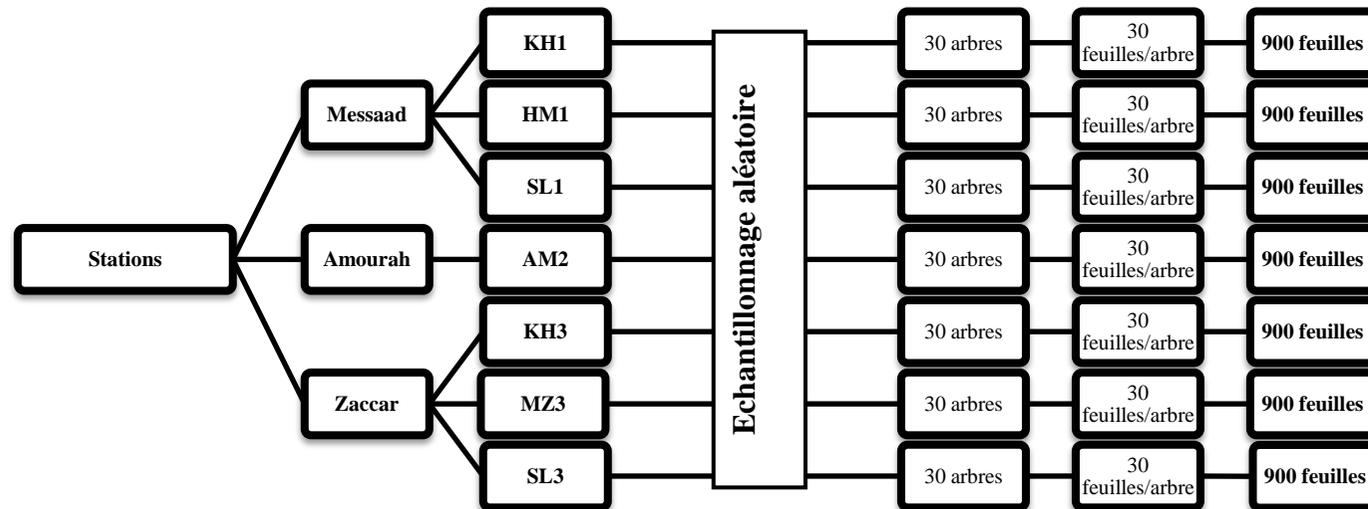


Figure 30. Protocole expérimental de l'échantillonnage aléatoire subjectif des feuilles du grenadier des stations de Messaad, Amourah et Zaccar

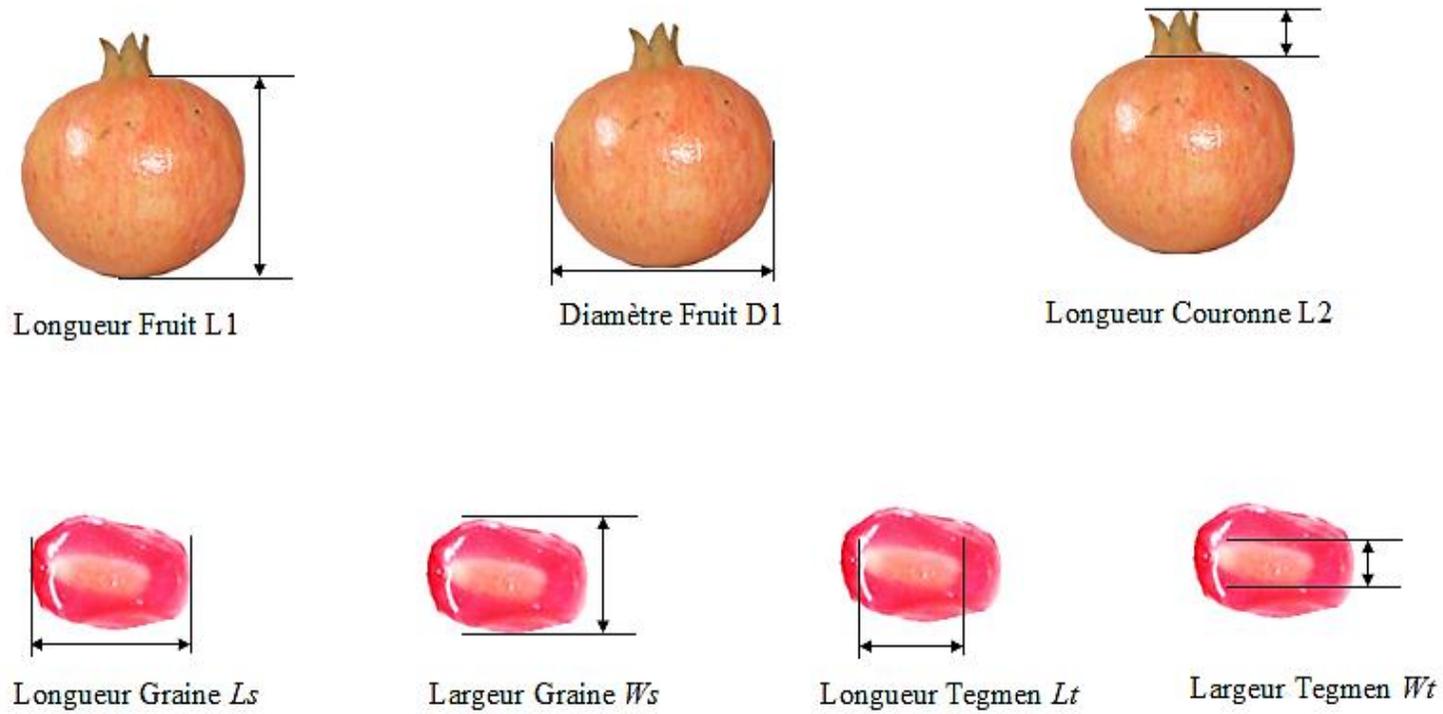


Figure 31. Quelques paramètres morphologiques quantitatifs pour les fruits et les graines (Original)



Figure 32. Paramètres morphologiques quantitatifs pour les feuilles (Original)

### III.3.2. Paramètres qualitatifs

La forme externe du fruit (Fs), la présence du mamelon sur le fruit (Pn), la couleur du fruit et de la graine, la forme de la feuille (Ls) et la forme d'apex de la feuille (As); ces paramètres sont perçus à l'œil nu et classés selon le descripteur U.P.O.V. (Union for the Protection Of new Varieties of plants) (2012) ; qui a été adapté selon les variantes observées de nos résultats pour chaque variable (Tableau 25, Figures 33, 34, 35 et 36).

**Tableau 25.** Variables qualitatives mesurées pour les fruits et les graines (Adapté U.P.O.V., 2012)

Variable	Code	Niveau
Forme Fruit	Fs	1, 3, 5, 7
Présence de Mamelon	Pn	1, 9
Couleur Fruit	Fc	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10
Couleur Graine	Sc	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7
Saveur	Ts	1, 2, 3
Forme Feuille	Ls	1, 2, 3
Forme Apex Feuille	As	2, 3, 5, 7

**Fs:** 1,Rond; 3,Obovale; 5,Ovale; 7,Elliptique.

**Pn:** 1,Absent sur fruit; 9,Présent sur fruit.

**Fc:** 1,Orange ; 2,Rouge orangé ; 3,Rose ; 4,Rose-rouge ; 5,Rouge moyen ; 6, Rouge-pourpre ; 7, Pourpre ; 8, Pourpre foncé ; 9, Vert clair\* ; 10, Jaune-rouge\*.

**Sc:** 1,Blanc ; 2,Rose clair ; 3,Rose moyen ; 4,Rose foncé ; 5,Rouge clair ; 6,Rouge moyen ; 7,Rouge foncé.

**Ls:** 1, Lancéolé; 2, Elliptique large; 3, Elliptique lancéolé\*.

**As :** 2, Modérément obtus ; 3, Aigu ; 5, Obtus ; 7, Echancré.

**Ts:** 1,Aigre; 2,Aigre-doux; 3,Doux

\* Variante ajoutée

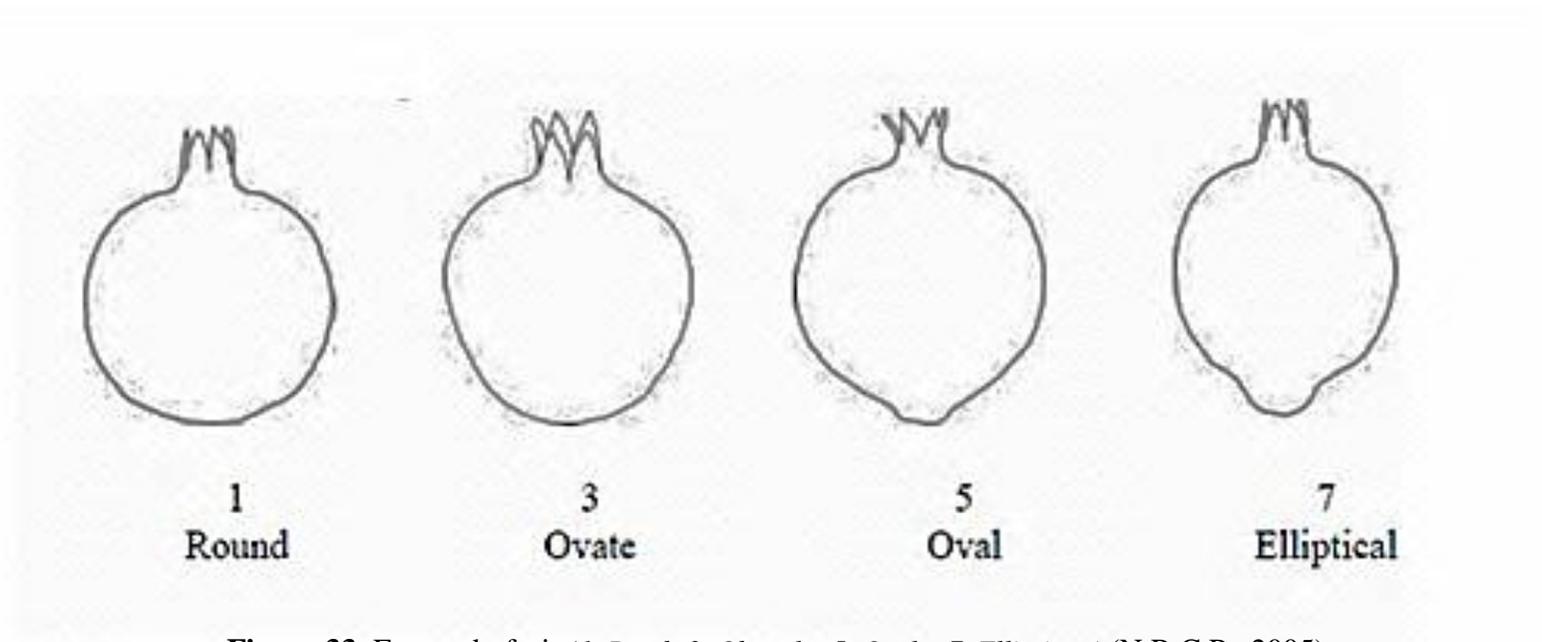


Figure 33. Forme du fruit (1, Rond; 3, Obovale; 5, Ovale; 7, Elliptique) (N.R.C.P., 2005)

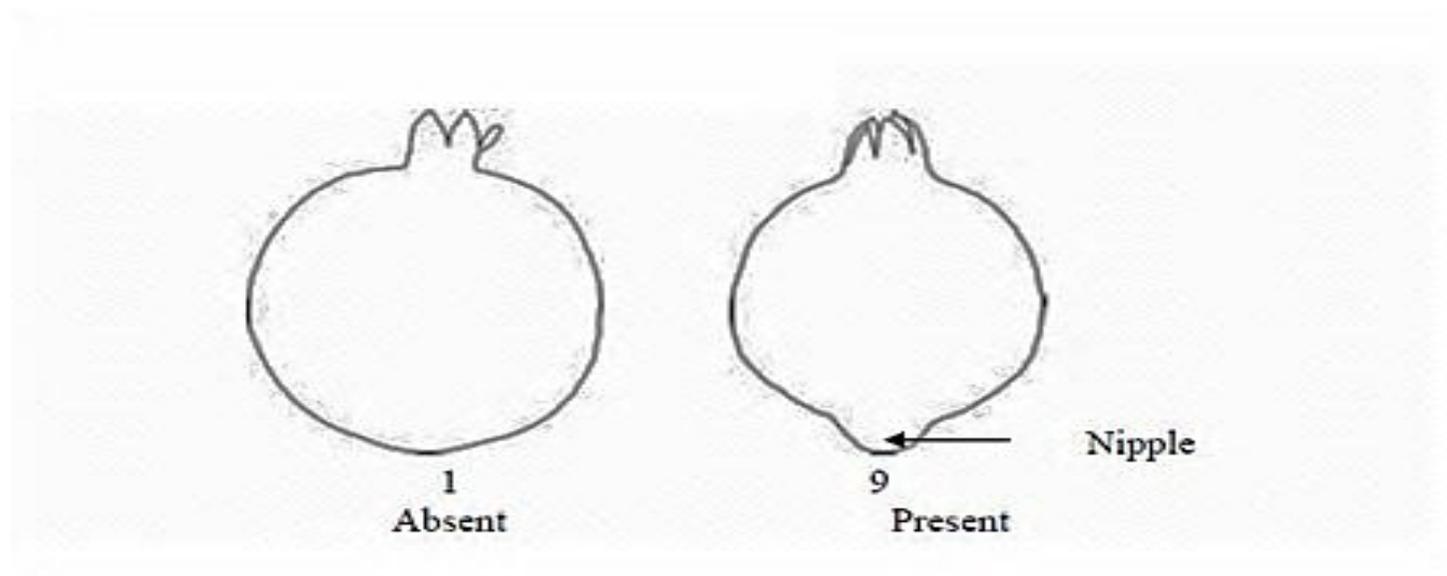


Figure 34. Présence de mamelon (Nipple en anglais) (N.R.C.P., 2005)



**Figure 35.** Formes de la feuille (Original)



**Figure 36.** Formes d'apex de la feuille (Original)

### III.3.3. Saveur

Afin de mesurer les caractéristiques sensorielles du goût et de la couleur du fruit de la grenade (*Punica granatum* L.), un test centré sur les consommateurs a été utilisé avec un panel de dégustateurs amateurs inexpérimentés (Watts et *al.*, 1991) dans les différentes stations. Les panels de dégustateurs amateurs (panels de consommateurs pilotes composés généralement de 30 à 50 personnes inexpérimentées) sont sélectionnés parmi les travailleurs employés (dégustateurs non formés) dans le verger. L'accent doit être mis sur la sélection d'un groupe de dégustateurs comparables à la population cible de consommateurs qui utilise le produit (représentatif des consommateurs).

Les panels de dégustateurs experts quant à eux sont utilisés pour les tests orientés vers les produits. Ces panels sont généralement petits et composés de 5 à 15 dégustateurs qui ont été choisis pour leur acuité sensorielle et ont reçu une formation spéciale pour cette tâche (Bacle et *al.*, 2009). Malheureusement, il n'y a pas de dégustateurs experts dans notre district qui ont reçu une formation spéciale pour goûter les fruits.

Pour notre étude, trente personnes ont été choisies pour chaque station afin de discriminer les trois goûts (doux, aigre-doux et aigre) pour chaque cultivar. Pour enregistrer les résultats, notre méthode consiste à demander aux sujets de noter le degré perçu de chacune des caractéristiques sensorielles du fruit mentionnées ci-dessus. La note est retenue comme un point pour chaque goût sélectionné.

### III.4. Suivi phénologique

Durant son cycle annuel, les modifications morphologiques et phénologiques du grenadier (*Punica granatum* L.) qui se produisent sont observées à l'œil nu et photographiées.

Pour cette étude, nous avons établi un plan de suivi des différents stades végétatifs et reproducteurs de deux sujets par cultivar pour les trois stations : Messaad, Amourah et Zaccar. Les stades phénologiques de la feuillaison sont décrits brièvement alors que la floraison et la fructification sont suivies et détaillées par l'étude de la dynamique de la floraison jusqu'à aboutissement aux fruits qui à leur tour font l'objet d'une investigation morphologique, biométrique et agronomique.

#### III.4.1. Dynamique de la floraison

Une étude de la dynamique de la floraison du grenadier a été réalisée sur les cultivars de Messaad, de Zaccar et d'Amourah. Le suivi de la floraison des 07 (sept) cultivars étudiés a

eu lieu à la fin du mois de mars soit le 25 mars jusqu'à la fin du mois de juin soit le 29 juin 2018.

La même méthodologie d'échantillonnage utilisée par Mars et Marrakchi (2004) est adoptée. Pour chacun de ces cultivars, deux arbres adultes et en bon état sanitaire ont été choisis au milieu du verger et conduite selon les techniques habituelles de la région.

Pour chacun des arbres étudiés, l'apparition des fleurs a été suivie par observations régulières des fleurs épanouies ou des jeunes fruits récemment noués, effectuées tous les 06 à 07 jours, d'une branche choisie dans la même orientation (nord-ouest) de façon à éviter tout effet éventuel de ce facteur orientation. Après comptage ; chaque fois ; les différents organes sont marqués afin d'éviter les répétitions dans les prochaines observations.

En revanche, la chute des boutons floraux, des fleurs épanouies par type de fleurs ou des jeunes fruits récemment noués a été comptabilisée tous les 07 jours pour l'arbre entier. Les arbres choisis sont isolés pour éviter toutes confusions dues à la chute d'organes des autres arbres. Un balayage sous l'arbre s'effectue chaque fois après le comptage.

Les observations ont débuté juste avant la floraison et se sont poursuivies jusqu'à la fin de la chute des fleurs ou des jeunes fruits, soit après la nouaison. Pour faciliter et homogénéiser les calculs, les comptages des fleurs épanouies ont été regroupés par périodes de 07 (sept) jours.

### **III.5. Analyse statistique**

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel XLSTAT (Version 2014 pour Windows). Une analyse statistique descriptive de base a été suivie d'une analyse de la variance et d'une analyse en composantes principales (ACP). Une classification ascendante hiérarchique (CAH) a également été réalisée. Cette analyse a été appliquée aux données pour les associations hiérarchiques en utilisant la méthode de Ward.

# **C h a p i t r e IV**

## **Résultats et discussion**

## IV.1. Résultats

### IV.1.1. Paramètres quantitatifs

#### IV.1.1.1. Le fruit

Montrant un effet très hautement significatif, toutes les longueurs et diamètres L1 et D1 des cultivars sont supérieurs à 80 mm, sauf pour la station AM2.Amourah qui a une longueur de 75,21 mm et un diamètre de 69,99 mm. Les diamètres de nos échantillons montrent des valeurs comprises entre 69,99 mm pour AM2.Amourah et 91,95 mm pour SL3.Zaccar. En même temps, L1 et D1 sont positivement corrélés. Les fruits ayant les plus grandes longueurs ont les plus grands diamètres comme HM1 de Messaad, SL3 et KH3 de Zaccar (Tableau 26). Pour le poids moyen du fruit Fw, cette variable d'intérêt agronomique, la signification est très élevée entre les cultivars. Le Fw varie entre une valeur maximale de 317,39 g pour HM1.Messaad et 135,85 g pour AM2.Amourah comme valeur minimale. Les cultivars KH3, MZ3 et SL3 de Zaccar ont des poids moyens de 271,25 g, 287,78 g et 276,21 g respectivement, qui sont, relativement, proches les uns des autres.

Très significativement différente entre les cultivars, la longueur de la couronne est comprise entre 17 mm et 23 mm, c'est une valeur moyenne pour tous les cultivars. Elle est corrélée positivement avec L1 et D1 qui présentent les dimensions du fruit, ainsi les fruits de HM1 de Messaad et SL3 de Zaccar ont les couronnes les plus longues (Tableau 26). Malgré la non-significativité des valeurs, les indices de calice du fruit Ic se situent entre 18,57% pour KH3.Zaccar et 19,17% pour HM1.Messaad. L'indice de forme du fruit If des sept cultivars étudiés est toujours inférieur ou proche de 100, indiquant que le diamètre équatorial de tous les fruits est inférieur à la longueur du fruit sans calice (entre 89,98% pour SL1.Messaad et 96,94% pour KH3.Zaccar).

#### IV.1.1.2. La graine

Une autre variable à valeur agronomique, le rendement en graines, présente un effet significatif très élevé. HM1.Messaad enregistre la valeur la plus élevée avec 73,33%, et dans la même station, SL1.Messaad, a la valeur la plus basse avec 62,03%. Bien que le poids du fruit de SL3.Zaccar soit supérieur à celui de KH3.Zaccar, le rendement en graines Sy de KH3 avec 66,32% est supérieur à celui de SL3.Zaccar avec 65,11%. Statistiquement, le poids du fruit Fw est positivement corrélé avec le poids de l'écorce et des membranes carpellaires Rw+Cm, par conséquent ils ont presque la même quantité de la partie comestible (Tableaux 26, 27).

Les valeurs des paramètres quantitatifs pour les graines montrent statistiquement une très grande significativité entre les cultivars, sauf pour la longueur du tegmen  $Lt$ . La longueur de graine  $Ls$  se situe entre 9,35 mm pour AM2.Amourah et 11,66 mm pour KH1.Messaad et la largeur de graine  $Ws$  entre 6,21 mm pour AM2.Amourah et 7,53 mm pour SL1.

Pour la partie ligneuse,  $Lt$  est comprise entre 6,97 mm pour AM2.Amourah et 7,85 mm pour KH1.Messaad. Concernant la largeur du tegmen  $Wt$ , les valeurs sont comprises entre 2,93 mm pour AM2.Amourah et 3,22 mm pour KH1.Messaad. Par ailleurs, la matrice de corrélation montre une forte corrélation positive entre  $Ls$  et  $Lt$  avec un coefficient de 0,94 et entre  $Ws$  et  $Wt$  avec un coefficient de 0,88 (Tableaux 26, 27). Le cultivar AM2.Amourah présente les valeurs les plus faibles pour tous les paramètres étudiés du fruit et de la graine.

Le coefficient de Pearson, appelé  $R^2$ , donne une idée de la proportion de la variabilité d'un paramètre quantitatif qui peut être expliquée par l'autre. Grâce à nos analyses statistiques reportés dans le tableau 26, les caractéristiques quantitatives des fruits  $L1$ ,  $D1$ ,  $Fw$ ,  $L2$ ,  $Rw+Cm$  et  $Sy$  et les paramètres quantitatifs des graines  $Ls$ ,  $Ws$  et  $Wt$  et leurs différences peuvent être fortement liés aux types de cultivars, résultats confirmés par l'analyse de la variance qui montre une significativité très élevée pour tous ces paramètres (variables dépendantes) et qui est expliquée statistiquement par l'effet "cultivar" (facteur indépendant).

#### IV.1.1.3. La feuille

Pour la longueur de la feuille  $Ll$ , le cultivar AM2 de Amourah enregistre la valeur la plus élevée (46,65 mm), HM1 de Messaad enregistre la valeur la plus faible (39,92 mm). Les longueurs des feuilles des cultivars KH1.Messaad et SL1.Messaad sont proches l'une de l'autre, avec respectivement 43,58 mm et 44,96 mm. Les cultivars de la station de Zaccar marquent des valeurs très proches entre 42,25 mm et 44,70 mm. Selon le descripteur N.R.C.P. (2005), toutes ces longueurs sont considérées comme moyennes (valeur comprise entre 2 cm et 5 cm) (Tableau 26).

Pour la largeur de la feuille  $Wl$ , toutes les largeurs des feuilles des différents cultivars sont moyennes selon le descripteur N.R.C.P. (2005) ; valeurs comprises entre 1 cm et 2 cm. Le cultivar HM1.Messaad enregistre la valeur la plus basse avec 15,23 mm par contre le cultivar SL1.Messaad enregistre la valeur la plus élevée avec 18,52 mm.

Pour *Pl*, la longueur du pétiole, notre échantillon est divisé en deux catégories : des feuilles avec un pétiole court, il s'agit de HM1.Messaad (3,76 mm) et AM2.Amourah (3,91mm). Les feuilles des autres cultivars sont à pétiole moyen compris entre 4,10 mm et 4,64 mm) selon le descripteur N.R.C.P. (2005).

En général, à un niveau de signification  $\alpha=0,05$ , tous les caractères étudiés sont positivement corrélés entre eux, à l'exception du rendement en graines *Sy*, mais l'intensité de la liaison diffère d'un caractère à l'autre. Les paramètres *L1*, *D1*, *L2*, *Rw+Cm* et *Ws* sont positivement corrélés avec le poids du fruit (*Fw*), avec des valeurs hautement significatives (Corrélation proche de la valeur 1). La longueur et la largeur des téguments (*Lt*, *Wt*) ont une corrélation hautement significative avec *Ls* et *Ws* (Tableau 27). Le rendement en graines est corrélé négativement avec *Rw+Cm* avec une valeur de  $r = -0,5$ , indiquant l'influence du poids de la peau sur la partie comestible du fruit. Les paramètres de la feuille *Ll*, *Wl* et *Pl* qui sont corrélés positivement (Coefficient de corrélation entre + 0,43 et + 0,53) montrent, statistiquement, une très grande significativité entre les cultivars.

**Tableau 26.** Valeurs moyennes des paramètres morphologiques quantitatifs des fruits et des graines de grenadier (Test d'ANOVA) (Annexe 01)

Paramètre	L1***	D1***	Fw***	L2***	Rw+Cm***	Sy***	Ls***	Ws***	Lt ns	Wt***	If***	Ic ns	Ll***	Wl***	Lp***
R <sup>2</sup>	0,75	0,75	0,78	0,41	0,81	0,96	0,92	0,81	0,04	0,60	0,35	0,04	0,17	0,39	0,23
Cultivar	<						<	<			<	<		<	<
Pr > F	0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0001	0,0001	0,25	0,0001	0,0001	0,17	0,0001	0,0001	0,0001
<b>KH1 Messaad</b>	87.04 ±5,40	82.69 ±6,25	243,4 ±28,0	19.90 ±2,69	71,2 ±8,0	70.74 ±0,20	11.66 ±0,11	7.24 ±0,07	7.85 ±0,05	3.22 ±0,04	94.99 ±3,42	18.61 ±1,34	43,58 ±4,53	17,82 ±1,51	4,19 ±0,47
<b>HM1 Messaad</b>	96.34 ±3,30	90.65 ±2,65	317,4 ±33,7	22.85 ±0,90	84,6 ±8,6	73.33 ±0,60	10.31 ±0,19	7.37 ±0,21	7.09 ±0,15	3.15 ±0,08	94.09 ±2,42	19.17 ±0,56	39,92 ±4,00	15,23 ±1,06	3,76 ±0,39
<b>SL1 Messaad</b>	89.89 ±5,43	80.89 ±5,24	228,6 ±41,8	21.30 ±1,92	86,8 ±15,1	62.03 ±0,72	10.98 ±0,23	7.53 ±0,34	7.53 ±0,38	3.21 ±0,12	89.98 ±3,95	19.16 ±1,09	44,96 ±4,59	18,52 ±1,90	4,64 ±0,64
<b>AM2 Amourah</b>	75.21 ±3,87	69.99 ±5,26	135,9 ±25,3	17.29 ±2,17	38,8 ±7,4	71.43 ±0,70	9.35 ±0,25	6.21 ±0,24	6.97 ±0,18	2.93 ±0,07	93.06 ±3,57	18.69 ±1,74	46,65 ±7,42	16,93 ±1,33	3,91 ±0,81
<b>KH3 Zaccar</b>	90.27 ±3,89	87.51 ±3,41	271,2 ±19,1	20.58 ±1,18	91,4 ±5,7	66.32 ±0,94	10.39 ±0,22	7.39 ±0,13	7.36 ±6,73	3.16 ±0,11	96.94 ±1,94	18.57 ±0,82	42,25 ±3,16	16,02 ±1,02	4,20 ±0,34
<b>MZ3 Zaccar</b>	93.75 ±2,05	90.12 ±1,85	287,8 ±25,7	21.45 ±0,87	87,8 ±6,9	69.48 ±0,62	11.02 ±0,09	7.16 ±0,09	7.48 ±0,12	3.04 ±0,06	96.13 ±1,46	18.62 ±0,69	44,70 ±3,84	15,68 ±0,92	4,41 ±0,45
<b>SL3 Zaccar</b>	97.72 ±3,26	91.95 ±2,79	276,2 ±25,5	22.40 ±3,68	96,4 ±8,8	65.11 ±1,00	11.08 ±0,30	7.26 ±0,18	7.75 ±0,17	3.19 ±0,09	94.09 ±2,35	18.65 ±2,24	42,69 ±2,68	17,17 ±1,79	4,10 ±0,28

1. \*\*\* Très hautement significatif, \*\* Hautement significatif, \* Significatif, ns non significatif

2. **L1** : Longueur Fruit sans couronne, **D1** : Diamètre Fruit, **Fw** : Poids Fruit, **L2** : Longueur Couronne, **Rw+Cm** : Poids Ecorce+ membranes carpellaires, **Sy** : Rendement en graines, **Ls** : Longueur Graine, **Ws** : Largeur Graine, **Lt** : Longueur Tegmen, **Wt** : Largeur Tegmen, **If** : Indice Forme Fruit, **Ic** : Indice Calice Fruit, **Ll** : Longueur Feuille, **Wl** : Largeur Feuille, **Lp** : Longueur Pétiole

**Tableau 27.** Matrice de corrélation (Pearson (n)) pour les paramètres quantitatifs

Variable	L1	D1	Fw	L2	Rw+Cm	Sy	Ls	Ws	Lt	Wt	Ll	Wl	Lp
<b>L1</b>	<b>1</b>	0,97	0,94	0,98	0,93	-0,23	0,55	0,80	0,41	0,61	-0,73	-0,31	0,11
<b>D1</b>	0,97	<b>1</b>	0,96	0,91	0,90	-0,10	0,52	0,74	0,39	0,53	-0,75	-0,46	0,03
<b>Fw</b>	0,94	0,96	<b>1</b>	0,91	0,86	0,01	0,50	0,79	0,29	0,56	-0,83	-0,51	0,00
<b>L2</b>	0,98	0,91	0,91	<b>1</b>	0,89	-0,22	0,50	0,82	0,32	0,62	-0,74	-0,28	0,10
<b>Rw+Cm</b>	0,93	0,90	0,86	0,89	<b>1</b>	-0,50	0,60	0,90	0,50	0,70	-0,61	-0,15	0,37
<b>Sy</b>	-0,23	-0,10	0,01	-0,22	-0,50	<b>1</b>	-0,33	-0,46	-0,46	-0,45	-0,20	-0,59	-0,75
<b>Ls</b>	0,55	0,52	0,50	0,50	0,60	-0,33	<b>1</b>	0,69	0,94	0,76	-0,19	0,36	0,54
<b>Ws</b>	0,80	0,74	0,79	0,82	0,90	-0,46	0,69	<b>1</b>	0,53	0,88	-0,62	0,04	0,44
<b>Lt</b>	0,41	0,39	0,29	0,32	0,50	-0,46	0,94	0,53	<b>1</b>	0,70	-0,03	0,52	0,53
<b>Wt</b>	0,61	0,53	0,56	0,62	0,70	-0,45	0,76	0,88	0,70	<b>1</b>	-0,55	0,36	0,32
<b>Ll</b>	-0,73	-0,75	-0,83	-0,74	-0,61	-0,20	-0,19	-0,62	-0,03	-0,55	<b>1</b>	0,51	0,43
<b>Wl</b>	-0,31	-0,46	-0,51	-0,28	-0,15	-0,59	0,36	0,04	0,52	0,36	0,51	<b>1</b>	0,53
<b>Lp</b>	0,11	0,03	0,00	0,10	0,37	-0,75	0,54	0,44	0,53	0,32	0,43	0,53	<b>1</b>

*Niveau de signification alpha=0,05*

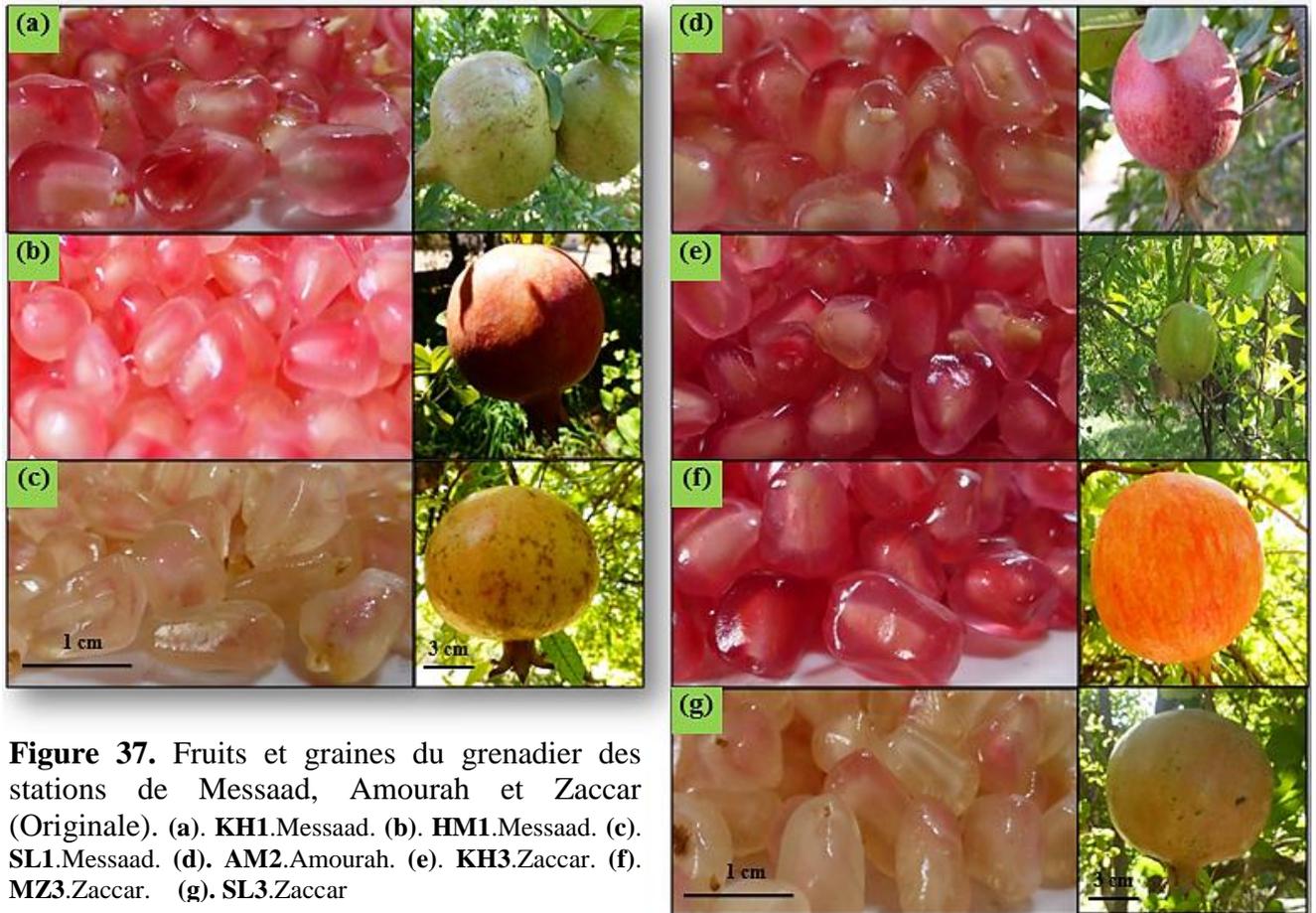
## IV.1.2. Paramètres qualitatifs

### IV.1.2.1. Le fruit et la graine

La plupart des cultivars ont une forme de fruit ronde à ovale sans mamelon, ce qui est confirmé par les valeurs If (Tableau 28) qui sont pour la plupart proches de 100%.

Les cultivars présentent des variations dans la couleur des fruits, de claire à foncée. SL1 et SL3 Zaccar ont une couleur de fruit jaune-rouge, KH1 Messaad et KH3 Zaccar ont la même couleur de fruit : vert clair ; AM2 Amourah a une couleur de fruit rouge-pourpre (Figure 15). Les cultivars KH1 Messaad, KH3 et MZ3 Zaccar ont la même couleur de la graine : rouge foncé. SL1 Messaad et SL3 Zaccar ont une couleur claire de la graine (Blanche), HM1 de Messaad et AM2 Amourah, quant à elles, ont une couleur rose à rouge moyenne (Tableau 28, Figure 37).

Pour la saveur du grenadier, notre échantillon est divisé en deux groupes ; KH1, SL1 Messaad, AM2 Amourah et SL3 Zaccar ont un goût doux. Par contre, HM1 Messaad, KH3 et MZ3 Zaccar se distinguent avec un goût aigre-doux (Tableau 28).



**Figure 37.** Fruits et graines du grenadier des stations de Messaad, Amourah et Zaccar (Originale). (a). KH1.Messaad. (b). HM1.Messaad. (c). SL1.Messaad. (d). AM2.Amourah. (e). KH3.Zaccar. (f). MZ3.Zaccar. (g). SL3.Zaccar

#### IV.1.2.2. La feuille

Pour la forme de la feuille *Ls*, le cultivar KH1-Messaad enregistre une fréquence cumulée de plus de 80% entre la forme lancéolée (47,67%) et elliptique large (32,56%). Les cultivars HM1 et SL1 de Messaad marquent une fréquence cumulée de plus 73% des mêmes formes avec une dominance relative de la forme elliptique large (respectivement, 48,33% et 50,00%).

Le AM2-Amourah et les deux cultivars de Zaccar KH3 et SL3 enregistrent une prépondérance pour la forme lancéolée (respectivement, 53,11%, 41,11% et 48,33%) et une fréquence cumulée de plus 72% entre la forme lancéolée et elliptique large pour les trois cultivars.

Le cultivar MZ3-Zaccar enregistre une valeur plus importante pour la forme elliptique lancéolée (42,56%) caractérisée par sa largeur réduite par rapport aux autres formes, résultat confirmé par la valeur de la largeur *Wl* de ce cultivar (Tableau 28).

Pour la forme de l'apex de la feuille (As), toutes les formes sont représentées par des fréquences diverses, dans la plupart des cas les valeurs sont proches. Pour la forme échancrée, on note sa majoration relative pour les cultivars KH1 et SL1 de Messaad avec respectivement 46,44% et 47,22%. Pour la forme modérément obtuse, on remarque sa domination relative pour les cultivars AM2-Amourah et KH3-Zaccar avec respectivement 45,33% et 40,33%. Le cultivar MZ3 de Zaccar enregistre une fréquence cumulative de 80% des deux formes d'apex ; modérément obtus (37,89%) et aigu (42,11%) (Tableau 28).

Les valeurs de la longueur et de la largeur de la feuille sont en étroite relation avec la forme de la feuille et la taille de limbe, les formes lancéolées et elliptique-lancéolées présentent des valeurs de longueur importantes. La forme elliptique large indique des valeurs de largeur caractéristiques. Pour le HM1-Messaad, on remarque que la forme elliptique large est relativement dominante, mais les valeurs *Ll* et *Wl* sont réduites indiquant une taille de limbe réduite par rapport aux autres cultivars.

Les cultivars AM2-Amourah, KH3-Zaccar et SL3-Zaccar sont caractérisés par la prépondérance de la forme lancéolée, résultat confirmé par les mesures de la longueur de la feuille *Ll* qui sont relativement particulières.

**Tableau 28.** Fréquences des moyennes des paramètres morphologiques qualitatifs des fruits et des graines du grenadier

Fruit	Forme du Fruit (%)		Presence de mamelon (%)		Couleur du Fruit	Couleur de la graine	Saveur	Forme de la Feuille (%)			Forme de l'apex (%)			
	Rond	Obovale	Absent	Present				Lancéolé	Elliptique large	Elliptique lancéolé	Modérément obtus	Aigu	Obtus	Echancré
<b>KH1 Messaad</b>	64,00	36,00	100	0	Vert clair	Rouge foncé	Doux	47,67	32,56	19,78	18,00	13,89	21,67	46,44
<b>HM1 Messaad</b>	62,33	37,67	100	0	Rouge orangé	Rose moyen	Aigre-doux	26,22	48,33	25,44	23,11	15,89	32,33	28,67
<b>SL1 Messaad</b>	79,00	21,00	100	0	Jaune-rouge	Blanc	Doux	23,89	50,00	26,11	15,00	9,56	28,22	47,22
<b>AM2 Amourah</b>	53,33	46,67	100	0	Rouge-pourpre	Rouge clair	Doux	53,11	25,44	21,44	45,33	15,67	16,44	22,56
<b>KH3 Zaccar</b>	42,67	57,33	100	0	Vert clair	Rouge foncé	Aigre-doux	41,11	32,44	26,44	40,33	23,00	14,00	22,67
<b>MZ3 Zaccar</b>	61,33	38,67	100	0	Rouge orangé	Rouge foncé	Aigre-doux	28,44	29,00	42,56	37,89	42,11	8,78	11,22
<b>SL3 Zaccar</b>	84,67	15,33	100	0	Jaune-rouge	Blanc	Doux	48,33	23,89	27,78	36,22	26,78	9,00	28,00

*Remarque : Les valeurs liées à la saveur sont des estimations résultantes d'un panel de dégustateurs amateurs qui donnent tous leurs appréciations indiquées dans le tableau. Pour la couleur, ces résultats découlent du descripteur U.P.O.V. (2012) cité en références bibliographiques.*

L'analyse en Composantes Principales a permis de déceler que les trois premières composantes principales expliquent plus de 88% de la variation totale. Près de 75,03% de la variabilité observée est expliquée par les deux premières composantes F1 et F2 concernant les paramètres morphologiques (Tableau 29).

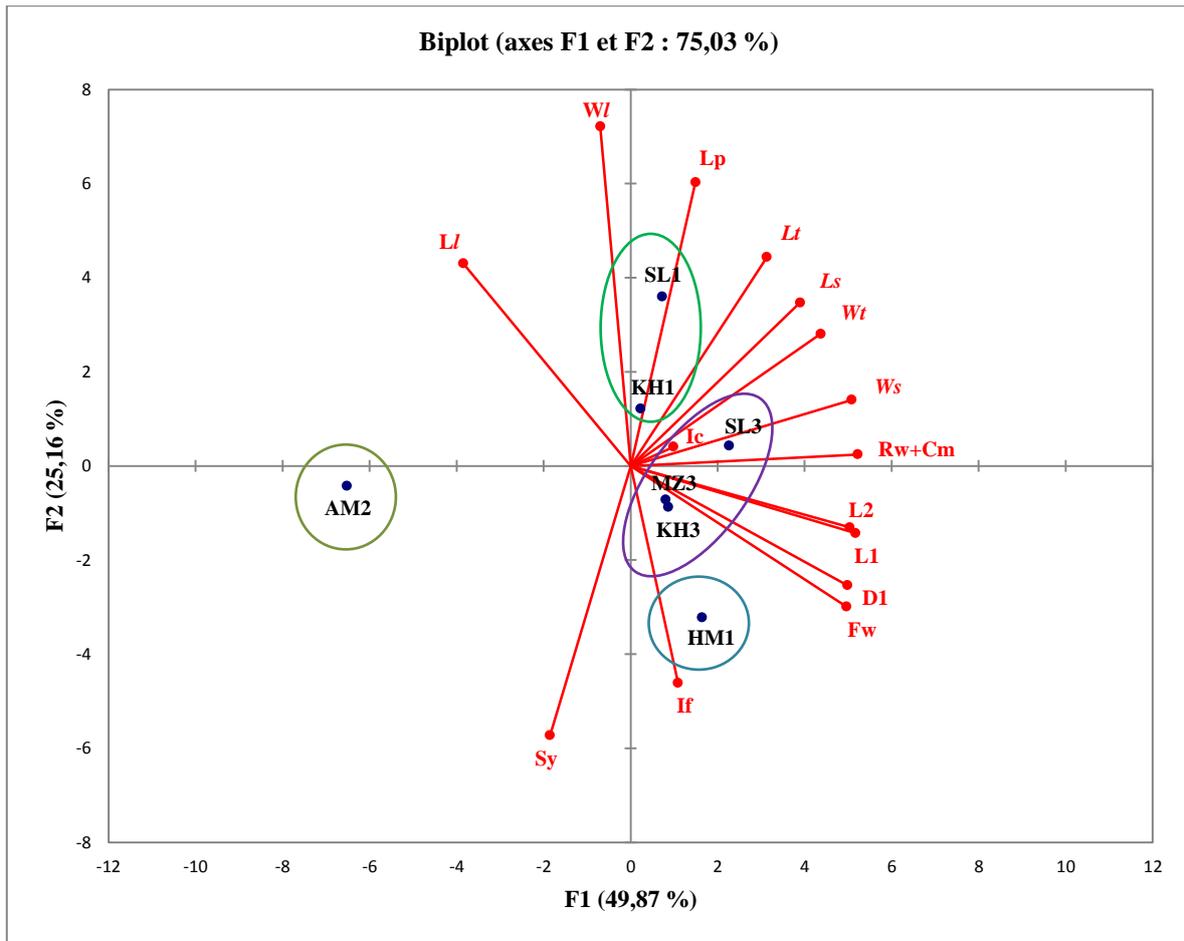
**Tableau 29.** Analyse en Composantes Principales (Facteurs et valeurs propres)

	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>	<b>F4</b>	<b>F5</b>	<b>F6</b>
<b>Valeur propre</b>	7,48	3,77	2,00	0,94	0,46	0,34
<b>Variabilité (%)</b>	49,87	25,16	13,36	6,27	3,05	2,29
<b>% cumulé</b>	49,87	75,03	88,38	94,66	97,71	100,00

La première composante, F1, qui compte 49,87% de la variabilité totale, est positivement liée à la taille des fruits (L1, D1, Fw, L2 et Rw+Cm) et à la taille des graines (*Ls*, *Ws*, *Lt* et *Wt*) ; expliquée par sa valeur propre de 7,48 parmi 15 paramètres quantitatifs étudiés alors qu'elle est inversement corrélée aux paramètres de la feuille *Ll* et *Wl* ; tandis que l'axe F2 compte 25,16% de la variabilité totale liée essentiellement aux paramètres de la graine et de la feuille. L'axe F2 est positivement corrélé aux mesures biométriques de la graine (*Ls*, *Ws*, *Lt* et *Wt*) et de celles de la feuille (*Ll*, *Wl* et *Lp*), alors qu'il est inversement corrélé à celles du fruit (L1, D1, Fw, L2 et Sy) (Tableau 29, Figure 38)

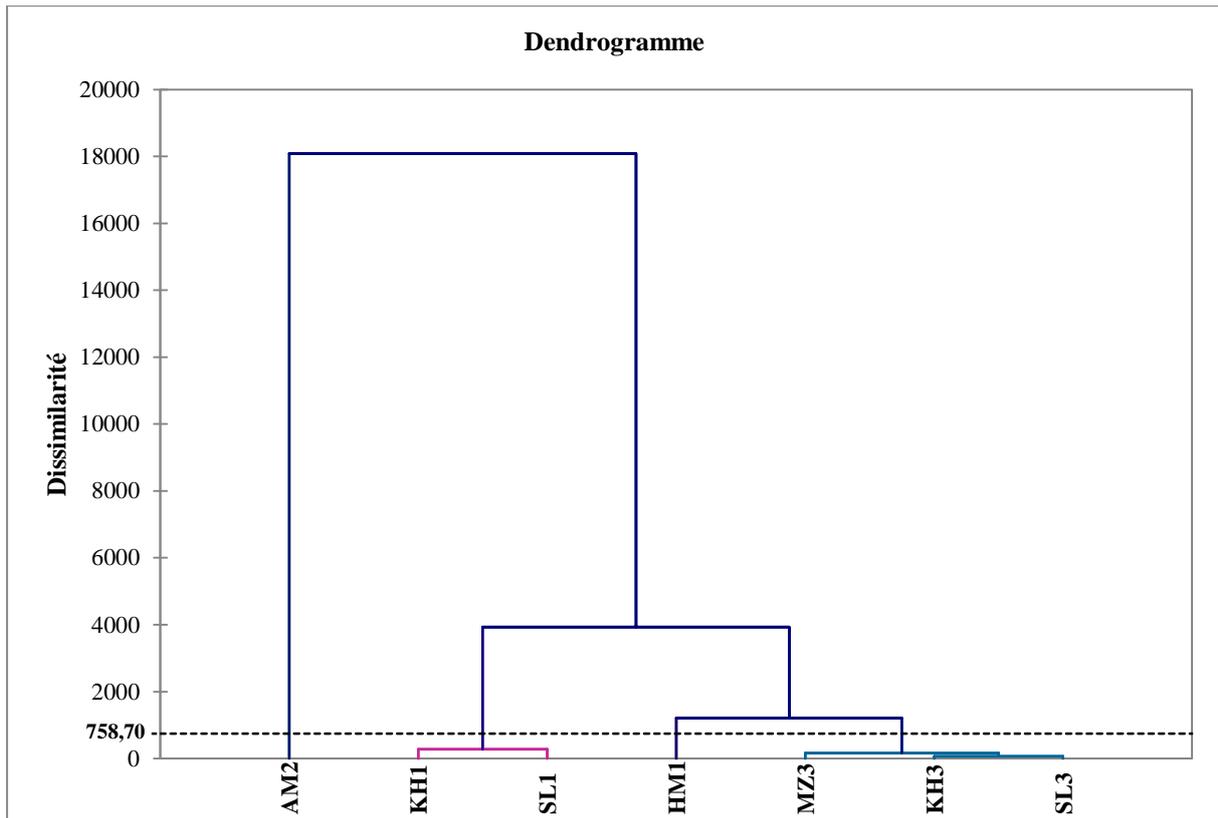
Le cultivar Hamraye (HM1) de Messaad enregistre un résultat plus négatif sur l'axe Y de la première composante principale F1 et confirme ainsi sa différenciation des autres cultivars qui s'explique essentiellement par ses valeurs maximales enregistrées pour des paramètres comme le poids des fruits et sa valeur minimale de longueur de la feuille *Ll*.

Certains cultivars, comme KH1 et SL1 de Messaad sont relativement proches les uns des autres sur l'axe des abscisses (F2). Les cultivars KH3, MZ3 et SL3 de Zaccar ont un score positif sur l'axe X (F2) et se séparent des autres sur l'axe Y (F1) ; ces deux groupes sont caractérisés par un gros calibre des fruits par rapport aux autres. AM2.Amourah est corrélé négativement avec F2 et ceci est lié à la petite taille de ses fruits et de ses graines et de sa feuille longue (Figure 38).



**Figure 38.** Répartition des groupes de cultivars en fonction des variables étudiées sur la carte factorielle de l'Analyse en Composantes Principales (ACP)

Les résultats obtenus pour la CAH, en utilisant la méthode agglomérative basée uniquement sur les caractéristiques morphologiques quantitatives des fruits, des graines et des feuilles, sont présentés sous forme de dendrogrammes (Figure 39), dans lesquels quatre classes principales ont été regroupées. La première classe C1 est constituée de deux cultivars (KH1.Messaad et SL1.Messaad), tandis que la deuxième classe C2 ne comprend qu'un seul cultivar particulier (HM1.Messaad). La troisième classe C3 est constituée du, très caractéristique, cultivar Romane Amourah (AM2) et la quatrième et dernière classe C4 comprend les cultivars de la troisième station de Zaccar, avec des caractéristiques morphologiquement similaires.



**Figure 39.** Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) basée sur les caractéristiques morphologiques quantitatives des fruits, des graines et des feuilles

#### IV.1.4. Stades phénologiques du grenadier (*Punica granatum* L.) de la région

Les stades phénologiques du grenadier dans la région d'étude des différents cultivars sont résumés dans le tableau 30 ci-dessous.

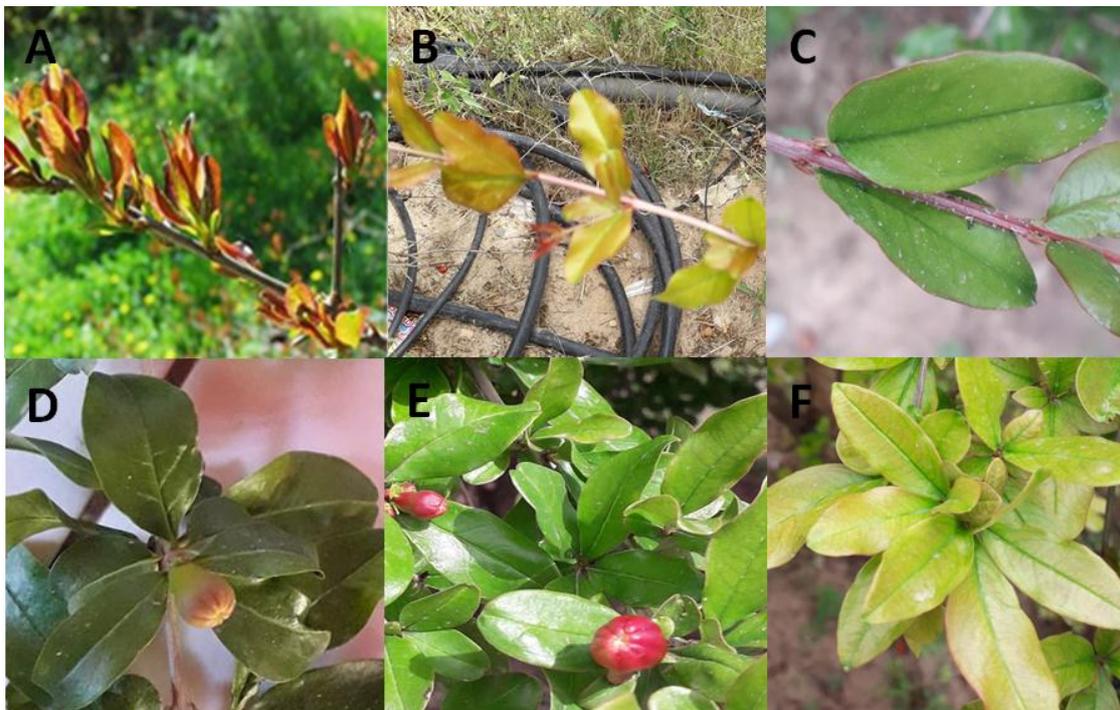
**Tableau 30.** Stades phénologiques du grenadier dans la région d'étude (Messaad, Amourah et Zaccar) (2018)

Mois	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.
<b>Stade phénologique</b>	Chute des feuilles et repos végétatif				Éclatement du bourgeon	Floraison	Croissance des feuilles	Nouaison du fruit Croissance du fruit			Maturation du fruit	

Le grenadier (*Punica granatum* L.) sélectionné est à feuilles caduques. Des modifications morphologiques et phénologiques se produisent après l'éclatement du bourgeon au mois de mars, des feuilles de couleur rouge sortent, des boutons floraux fermés en forme

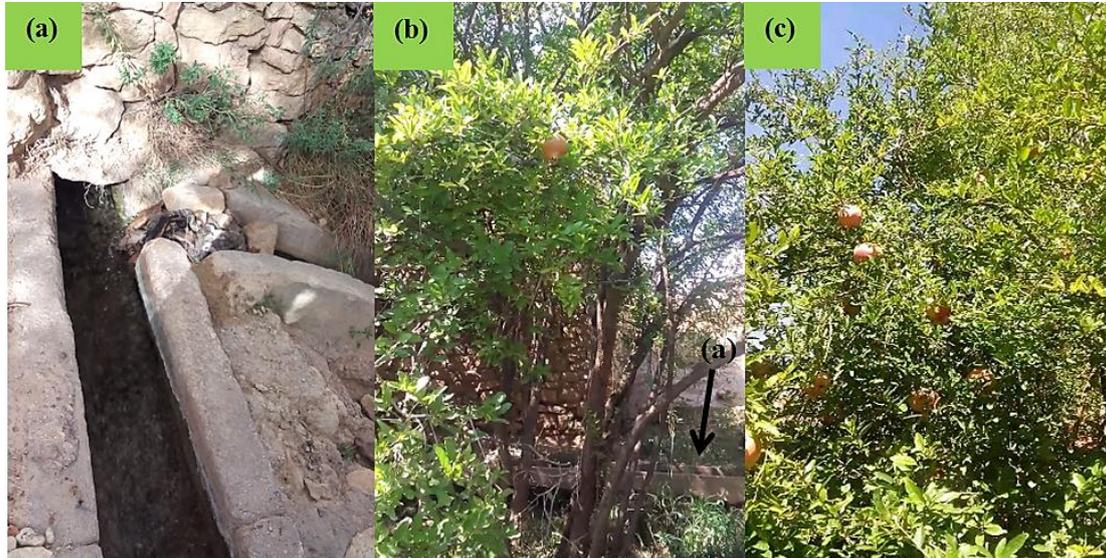
de cloche et de vase apparaissent vers la fin du mois de mars. La croissance des feuilles continue avec l'ouverture des fleurs au début de mois d'avril en changeant la couleur vers le rouge-verdâtre. Cette poussée se poursuit avec la nouaison et la maturation des fruits à partir du mois de juin. Les feuilles atteignent leur stade final durant la maturation des fruits et deviennent vertes. A la fin du mois d'octobre, elles deviennent vertes-jaunâtres jusqu'au jaunissement total à la chute et le repos végétatif (Figures 40 et 43).

Durant les mois de la maturation des fruits (Selon le type de cultivar), les feuilles atteignent l'étape finale de leur croissance et peuvent être cueillies et faire l'objet des mesures biométriques et de l'appréciation de la forme de limbe et de l'apex. La maturation consécutive des fruits des cultivars SL1 de Messaad, MZ3.Zaccar, KH3 et SL3 de Zaccar à la fin du mois de septembre coïncide avec des températures plus ou moins élevées (entre 20-23 °C). Au cours du mois d'octobre, la température baisse à moins de 18 °C, les cultivars HM1 de Messaad, AM2 d'amourah et KH1.Messaad atteignent respectivement la maturité et peuvent être récoltés. Selon les stades phénologiques du grenadier (Tableau 30), la nouaison et la croissance des fruits coïncident avec des températures élevées, de faibles précipitations et des vents de Sirocco, tous ces phénomènes se produisant durant la période estivale.



**Figure 40.** Fluctuations saisonnières de la feuillaison du grenadier de la région de Messaad (Originale). (A). Feuilles de couleur rouge (Mars). (B). Feuilles rouges-verdâtres. (C). Feuilles vertes. (D). Croissance des feuilles avec la nouaison des fruits. (E). Feuilles matures vertes. (F). Feuilles vertes-jaunâtres (Fin Octobre)

Ainsi, les pratiques agricoles principalement présentes dans quelques stations peuvent être expliquées, les agriculteurs adoptent une irrigation régulière afin de maintenir leurs cultures, et pratiquent la taille de formation et de fructification et la fumure organique dans l'objectif d'augmenter la production (Figures 41 et 42).



**Figure 41.** Irrigation traditionnelle par rigole à Amourah et à Zaccar (Source naturelle) (Originale). (a) Rigole. (b) Grenadier (Amourah) fructifié irrigué par rigole. (c) Grenadier (Zaccar) fructifié non taillé



**Figure 42.** Système d'irrigation localisée à Messaad (Goutte à goutte) à partir d'un forage (Originale). (a) Verger de grenadiers à Messaad taillés et irrigués par système d'irrigation localisée. (b) Tuyau Goutte-à-goutte avec goutteur au niveau de chaque arbre. (c) Grenadier (Messaad) irrigué par Goutte-à-goutte. (d) Grenadier (Messaad) fructifié

#### IV.1.4.1. La floraison

La floraison du grenadier (*Punica granatum* L.) dans la région d'étude a lieu à la fin de mois de mars par l'apparition de boutons floraux, ceci après le développement des feuilles et se poursuit jusqu'au début de mois de juillet.

L'ensemble de la période de développement des boutons floraux des cultivars étudiés, depuis leur première apparition jusqu'au stade de la pleine floraison, a été arbitrairement divisé en 05 stades. Les caractéristiques morphologiques des bourgeons dans les différents stades de développement sont présentées ci-dessous :

**Stade I (25 mars-31 mars):** A ce stade, les bourgeons sont très petits, de forme ronde, de couleur vert clair et complètement recouverts par le tube du calice ;

**Stade II (31 mars-06 avril):** A ce stade, le bouton s'agrandit légèrement, mais il est toujours de forme ronde et change de couleur vers le rouge foncé ;

**Stade III (A partir du 06 avril):** Les boutons floraux s'agrandissent encore et changent de couleur, passant du rouge foncé à l'orange. Le tube du calice des bourgeons se fissure et une corolle de couleur orange foncé apparaît à l'apex ;

**Stade IV (A partir du 20 avril):** Le calice commence à s'ouvrir et laisse apparaître la corolle orange vif ;

**Stade V (A partir du 27 avril):** les pétales commencent à s'ouvrir et à exposer les étamines et les stigmates et enfin les bourgeons atteignent la pleine floraison.

A partir de l'apparition des boutons floraux à la fin du mois de mars et au début du mois d'avril, la floraison du grenadier montre une dynamique importante jusqu'à la nouaison du fruit. Les fleurs se présentent sous deux formes : la forme de vase (Fleurs hermaphrodites) et la forme de cloche (fleurs mâles). La figure 43 récapitule les différentes étapes de la croissance des fleurs.



**Figure 43.** Dynamique de la floraison (Originale). (A) Arbre en floraison au mois d'avril. (B) Floraison en fin d'avril (C, D, E) Bouton floral et fleur en forme de vase (Fleur hermaphrodite). (F, G, H) Bouton floral et fleur en forme de cloche (Fleur mâle). (I, J) Fleurs ouvertes (Pleine floraison). (K) Fleur et fruit noué (Fin juin). (L, M, N) Croissance du fruit noué (Mois de juillet).

#### **IV.1.4.2. Dynamique de la floraison**

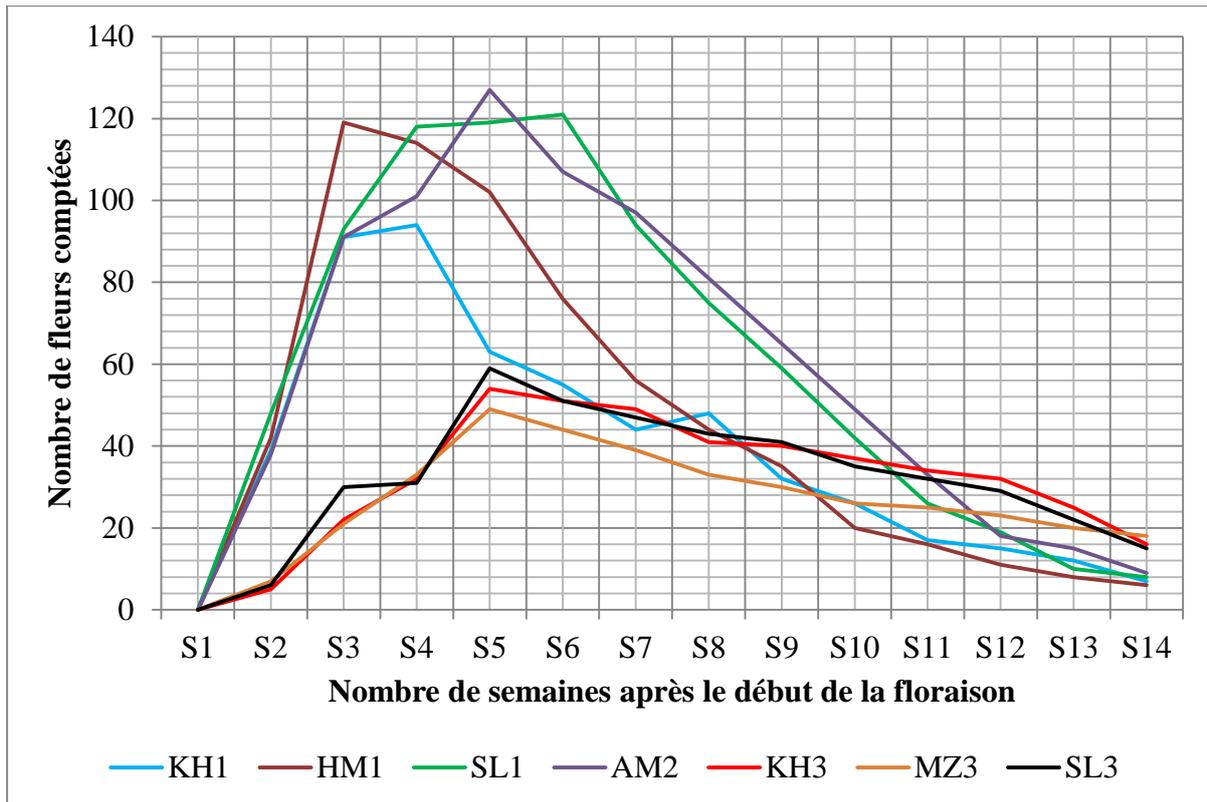
##### **IV.1.4.2.1. Suivi de la floraison**

L'évolution des fleurs épanouies et des fleurs chutées est représentée dans les figures 44 et 45. Les premières fleurs épanouies ont été observées sur les grenadiers de KH1 et de HM1 de Messaad pendant la première semaine d'avril, suivi par les cultivars de SL1 de Messaad et AM2 d'Amourah dans la deuxième semaine d'avril. Cependant, les fleurs des cultivars de Zaccar ne sont apparues qu'au cours de la troisième semaine d'avril.

Pour les cultivars de Messaad : KH1, HM1 et SL1, la durée de la floraison est d'environ 10 semaines. Pour le AM2 d'Amourah, elle a été d'environ 09 semaines et pour ceux de Zaccar, la période de la floraison a été d'environ 12 semaines (Figure 44).

Le rythme d'apparition des fleurs pour tous les cultivars est indiqué dans la figure 44. Les cultivars KH1, HM1 et SL1 de Messaad et le cultivar AM2 d'Amourah atteignent leurs maximums de fleurs entre la troisième et la sixième semaine (entre le 16 avril et le 04 mai) et durant cette période, les fréquences cumulées des fleurs ouvertes sont respectivement 62,98%, 69,80%, 59,98% et 55,84% pour le AM2 d'Amourah. L'apparition des fleurs pour les cultivars KH3, MZ3 et SL3 de Zaccar note son accélération depuis la quatrième semaine jusqu'à la huitième semaine (entre le 20 avril et le 18 mai). Les fréquences cumulées des fleurs épanouies pour cette durée sont respectivement 57,99%, 61,41% et 60,54%.

Pour le nombre total des fleurs comptabilisées, les cultivars AM2-Amourah et SL1-Messaad montrent les valeurs les plus élevées avec respectivement 1341 et 1132 fleurs. Les cultivars SL3 et KH3 de Zaccar notent les valeurs les plus faibles de fleurs avec respectivement 681 et 791 fleurs comptabilisées (Tableau 33).

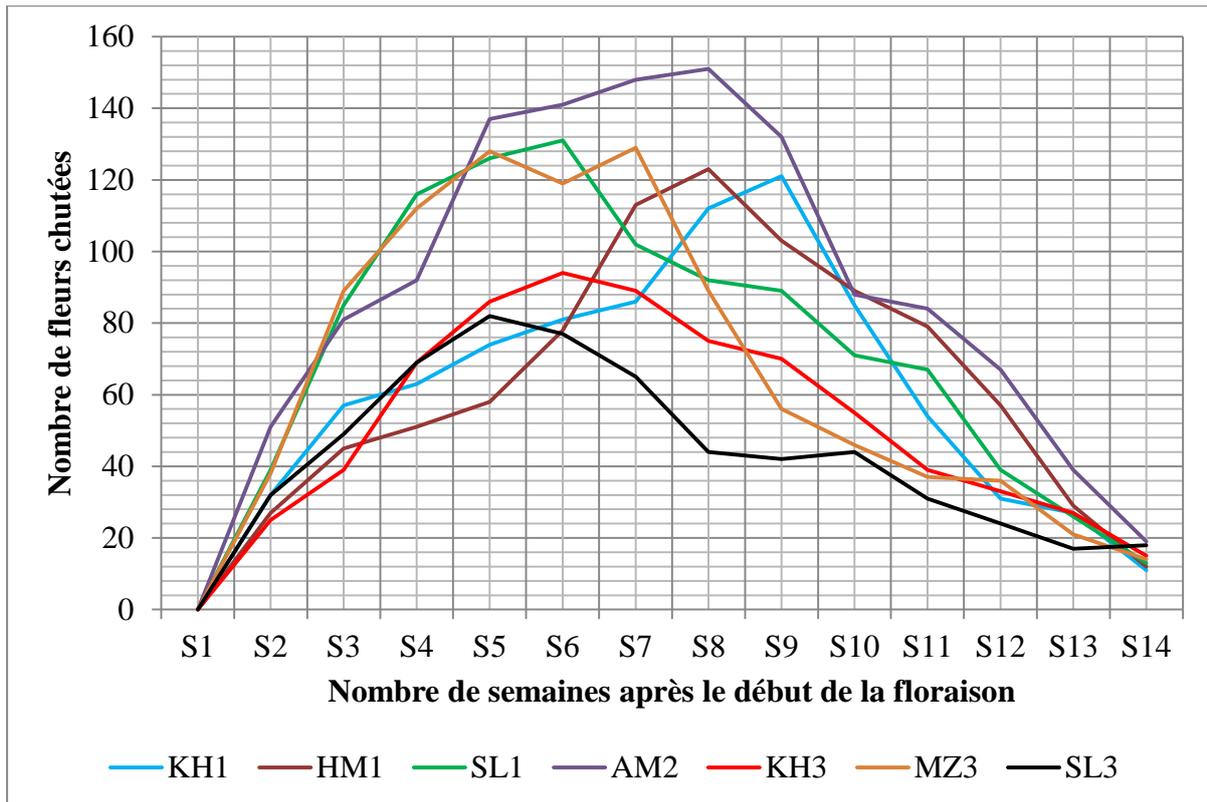


**Figure 44.** Évolution comparée de l'apparition des fleurs sur des branches de grenadiers appartenant à 07 (sept) cultivars du grenadier

La chute des boutons floraux ou des fleurs épanouies a commencé quelques jours après le début de la floraison et s'est poursuivie jusqu'à la fin de la période après l'épanouissement des dernières fleurs. L'intensité de la chute des fleurs et son évolution sont représentées dans la figure 45.

Le cultivar AM2-Amourah montre la valeur la plus intense de chute de fleurs entre la cinquième et la huitième semaine de floraison. Les cultivars KH1 et HM1 de Messaad qui avaient les premières fleurs épanouies, marquent leurs maximums de chute de fleurs entre la septième et la neuvième semaine de la floraison. Le SL1-Messaad dénombre sa valeur maximale de chute de fleurs entre la quatrième et la sixième semaine de floraison. Entre la cinquième et la septième semaine de floraison, le cultivar KH3-Zaccar marque sa période intense de chute de fleurs. Tardivement, vient les cultivars MZ3 et SL3 de Zaccar pour enregistrer leurs maximums de fleurs chutées entre la septième et la neuvième semaine de floraison.

Comme observation générale, les valeurs des fleurs chutées pour les 07 (sept) cultivars sont positivement corrélées avec les valeurs des fleurs comptabilisées.



**Figure 45.** Évolution comparée de la chute des fleurs sous des grenadiers (arbre entier) appartenant à 07 (sept) cultivars

Les organes chutés ont été séparés en quatre catégories : boutons floraux, fleurs de « type cloche », fleurs de « type vase » et jeunes fruits noués. La répartition des organes chutés pour les 07 (sept) cultivars sont résumés en pourcentage dans le tableau 31.

Les fleurs de « type cloche » soit les fleurs mâles constituent les organes ayant le plus chuté. Pour les cultivars de Messaad, Les fleurs de « type cloche » représentent plus de 75% des organes chutés. Pour le reste des cultivars, le pourcentage de ces organes a dépassé les 60%. Les fleurs hermaphrodites de « type vase » n'ont représenté que 8,51% pour le cultivar KH1-Messaad, 10,07% pour le HM1-Messaad, 11,24% pour le SL1-Messaad et 11,28% pour le SL3-Zaccar. Ce taux augmente pour le reste des cultivars et atteint 19,27% pour le cultivar d'Amourah AM2. La chute des jeunes fruits noués enregistre des taux plus au moins élevés pour les cultivars KH3, SL3 et MZ3 de Zaccar et AM2-Amourah par rapport à ceux de Messaad qui reste réduite. Pour tous les cultivars, la chute des boutons floraux demeure insignifiante par rapport au nombre total des organes chutés.

**Tableau 31.** Répartition des organes chutés après floraison pour 07 (sept) cultivars de grenadier (moyenne de comptage de deux arbres par cultivar, exprimée en % du total)

Cultivar	Boutons floraux	Fleurs « type cloche »	Fleurs « type vase »	Jeunes fruits noués
KH1	5,52	81,53	8,51	4,44
HM1	5,21	79,17	10,07	5,56
SL1	5,12	78,01	11,24	5,62
AM2	5,20	63,50	19,27	12,03
KH3	6,28	60,20	17,88	15,64
MZ3	6,46	64,55	16,08	12,91
SL3	6,23	68,18	11,28	14,31

#### IV.1.4.2.2. Rétention des fruits

Les fruits noués et non tombés à la fin de la période de floraison soit la fin du mois de juin ont été comptés sur les branches marquées au préalable et sur les arbres entiers pour les 07 (sept) cultivars. Le nombre de fruits retenus se révèle faible comparativement à celui des fleurs apparues soit pour les branches soit sur l'arbre entier (tableaux 32 et 33).

**Tableau 32.** Taux de rétention (Taux des fleurs apparues en %) des fruits de sept cultivars de grenadiers sur branche individuelle (Bois âgé)

Cultivar	Nombre de fleurs comptabilisées	Nombre de fruits noués	Nombre d'organes chutés	Taux des organes chutés	Taux de rétention des fruits
KH1	94	20	74	78,72	21,28
HM1	119	16	103	86,55	13,45
SL1	121	22	99	81,82	18,18
AM2	127	18	109	85,83	14,17
KH3	54	12	42	77,78	22,22
MZ3	49	9	40	81,63	18,37
SL3	59	14	45	76,27	23,73

Pour le comptage fait sur les branches, le taux de rétention de fruit le plus élevé est enregistré sur le cultivar SL3-Zaccar avec une valeur de 23,73% suivi par le cultivar KH3-

Zaccar et KH1-Messaad avec des valeurs respectives de 22,22% et 21,28%. Le taux le plus faible est noté chez le cultivar HM1-Messaad avec une valeur de 13,45% (Tableau 32).

**Tableau 33.** Taux de rétention (Taux des fleurs apparues en %) des fruits de sept cultivars de grenadiers à l'échelle de l'arbre entier

Cultivar	Nombre total de fleurs comptabilisées	Nombre de fruits noués	Nombre d'organes chutés	Taux des organes chutés	Taux de rétention des fruits
KH1	955	121	834	87,33	12,67
HM1	965	101	864	89,53	10,47
SL1	1132	136	996	87,99	12,01
AM2	1341	111	1230	91,72	8,28
KH3	791	75	716	90,52	9,48
MZ3	969	55	914	94,32	5,68
SL3	681	87	594	87,22	12,78

Pour l'arbre entier, le taux de rétention le plus élevé a été enregistré sur les arbres du cultivar SL3-Zaccar avec une valeur de 12,78% suivi par les cultivars KH1 et SL1 de Messaad avec des valeurs respectives de 12,67% et 12,01%. La valeur la plus faible de taux de fruits retenus a été enregistrée sur les arbres du cultivar MZ3-Zaccar avec 5,68%. Les valeurs obtenues à l'échelle de la branche sont supérieures à celles mesurées sur les arbres entiers (Tableau 33).

## IV.2. Discussion

### IV.2.1. Paramètres quantitatifs

Dans l'étude de Mars et Sayadi (1992), les fruits ayant la plus grande hauteur sont ceux des variétés Zehri (8,2 cm) et Kalaii (8,1 cm). Les fruits ayant le plus grand diamètre équatorial sont ceux des variétés Kalaii (8,9 cm) et Zehri (8,8 cm). Les fruits (grenades) les plus petits sont ceux de la variété espagnole (7,9 cm) tandis que Tapia-Campos et *al.* (2021) font état de 8,92 cm comme valeur moyenne pour le diamètre polaire et 8,14 cm comme valeur moyenne pour le diamètre équatorial dans seize géotypes de grenadiers étudiés.

Pour nos échantillons, toutes les longueurs des cultivars sont classées comme longues, sauf pour AM2.Amourah qui est considéré comme moyen. En comparaison avec une étude tunisienne (Mars et Marrakchi, 1999) pour 30 accessions, les longueurs enregistrées montrent une grande variabilité entre les tailles courtes, moyennes et longues. Pour les diamètres, ce

résultat classe tous les cultivars comme larges en se référant au descripteur du grenadier (*Punica granatum* L.) (N.R.C.P., 2005).

Pour le poids du fruit, nos échantillons sont pratiquement dans la même gamme, en comparaison avec les résultats reportés par Martinez et *al.* (2006) entre 251,05 g comme valeur minimale et 421,10 g comme valeur maximale dans la caractérisation de cinq variétés de grenadiers espagnols (*Punica granatum* L.) et par Mars et Sayadi (1992) entre 292 g comme valeur minimale et 400 g comme valeur maximale pour l'étude de cinq variétés de grenadiers.

On a constaté que la taille du fruit, le poids de l'écorce, le poids total des arilles (Graines), le poids de 100 arilles (Graines), et la largeur des arilles (Graines) avaient une forte corrélation positive ( $P < 0,01$ ) avec le poids du fruit, même constat émis par Chandra et *al.* (2012).

Kumari et *al.* (2019) ont précisé que la différence critique la plus élevée à 5% était de 13,21g pour le poids du fruit. Le poids du fruit était positivement corrélé avec l'épaisseur de la pelure du fruit ( $r = +0,11$ ). Pour notre cas, la longueur du fruit, le diamètre du fruit, la longueur de la couronne et le poids de l'écorce sont fortement corrélés au poids du fruit. Ces résultats sont confirmés par ceux de Mars et Sayadi (1992), les fruits les plus lourds ont les paramètres fruitiers mesurés les plus élevés.

Pour le rendement en graines, nos résultats sont comparés à ceux de Hernández et *al.* (2014) qui ont enregistré des rendements en graines pour des accessions de grenadiers espagnols variant entre 52,67% et 65,87% et ceux de Martinez et *al.* (2012) pour lesquels les valeurs relevées sont comprises entre 53,4% et 61,2% pour des cultivars marocains. Pour une sélection de grenadiers tunisiens (Mansour et *al.*, 2011), le pourcentage de graines est compris entre 57,72% et 78,90%. Par comparaison à ces études, nos échantillons ont des rendements en graines considérables.

Selon Martinez et *al.* (2012), les variables morphométriques mesurées pour les fruits ont des intérêts économiques, et pas seulement à cause de leur acceptation ou rejet par le consommateur, mais à cause de leur influence sur la manipulation industrielle de ce fruit ; par exemple, les cultivars avec un indice de calice élevé sont plus sensibles à la cassure du calice, et donc leur aspect extérieur devient négativement affecté.

Al-yahyai et *al.* (2009) affirment que pour la variabilité de la forme des fruits pendant la période de récolte commerciale se base uniquement, sur la taille et la forme des fruits lors de la récolte, pour tous les cultivars n'est pas suffisante pour assurer une maturité optimale pour l'utilisation et la performance des fruits pendant la manipulation post-récolte et le

stockage. D'autres indicateurs tels que les changements dans les attributs physico-chimiques des fruits à maturité peuvent être pris en compte lors de l'évaluation de l'état de préparation à la récolte afin d'assurer des revenus optimaux aux producteurs.

Pour les paramètres de la graine  $L_s$ ,  $W_s$ ,  $L_t$  et  $W_t$ , tous sont positivement corrélés.  $L_s$  et  $W_s$  ont une valeur élevée du coefficient de corrélation. Alors que les résultats signalés par Martinez et al. (2006) montrent une corrélation positive entre ces paramètres sauf entre  $W_s$  et  $L_t$ , qui est négative.

Pour les paramètres de la feuille  $L_l$  et  $W_l$ , Rajaei et Yazdanpanah (2015) soulignent pour le cultivar Rabbab-e-Neyriz de *Punica granatum*, des valeurs de longueur de la feuille de  $50 \pm 1,54$  mm pour le type de feuille (a) de forme obcordée (Elliptique large) et  $110 \pm 4,69$  mm pour le type de feuille (b) de forme lancéolée, ceci au stade final de maturité. Pour la largeur de la feuille, le type de feuille (a) enregistre une valeur de  $20 \pm 1,44$  mm et le type de feuille (b) marque une valeur de  $30 \pm 2,77$  mm. Comparativement à notre résultat, les paramètres de la feuille de tous les cultivars de la région sont réduits. Ceci est dû au facteur climatique de température élevée et de vents chauds de Sirocco, en réponse, la plante réduit la taille du limbe et par conséquent sa surface foliaire pour diminuer la transpiration foliaire, d'autres formes d'adaptation peuvent avoir lieu au niveau physiologique en réaction au stress hydrique et dont peuvent être l'objet d'une prospection approfondie.

#### IV.2.2. Paramètres qualitatifs

Pour nos résultats de dégustation, tous les cultivars sont propices à la consommation fraîche. Kumari et al. (2019) ont confirmé que le grenadier est assez populaire parmi les consommateurs pour son goût étonnant, doux et acide et ses arilles rafraîchissants. Dans l'étude de Boussaa et al. (2018), les consommateurs ont montré des différences significatives dans le goût global et dans leur degré de satisfaction pour tous les attributs sensoriels étudiés. Le panel descriptif n'a pas été en mesure de trouver des différences dans l'intensité des attributs sensoriels individuels à l'étude (acidité, douceur et astringence) comme affecté par les microclimats, les consommateurs ont marqué de meilleurs degrés de satisfaction pour l'arôme et le goût.

Les cultivars de Messaad, d'Amourah et de Zaccar présentent des variations dans la couleur des fruits allant du jaune-rouge au vert clair et au rouge-pourpre. Amir et al. (2019) ont indiqué dans leur étude que la couleur de la peau de l'écorce est le premier trait qui affecte les choix des consommateurs, cependant, la couleur des écorces ne peut pas prédire le jour

approprié de la récolte et la qualité de l'arille, la couleur varie considérablement d'un cultivar à l'autre, du blanc-jaune au rouge intense et au pourpre, en passant par le rose-orange.

La couleur des fruits et des graines présente d'importantes dissemblances et similitudes, allant du blanc au rouge foncé. Tous les cultivars présentent des caractéristiques organoleptiques appropriées pour la consommation fraîche. Ces dissimilitudes sont très utiles pour la sélection ; un résultat noté par Jalikop et *al.* (2010) qui révèlent que la sélection de génotypes avec des arilles (Graines) de couleur vive est utile pour la sélection de variétés exemptes de brunissement des arilles (Graines).

D'après une étude basée sur l'analyse RP-HPLC des anthocyanes des arilles (Graines) menée par Borochoy-Neori et *al.* (2011), sous l'effet du climat, l'accumulation d'anthocyanes qui confère aux fruits leur couleur rouge change inversement avec la température de la saison. Les cyanidines étaient généralement plus abondantes, mais l'accumulation de delphinidines était plus importante pendant les saisons plus fraîches. Les anthocyanines monoglucosylées prédominent aux températures les plus fraîches et diminuent pendant le réchauffement saisonnier avec une augmentation concomitante de la proportion de diglucosides. Ces résultats peuvent être utiles aux efforts de sélection et d'agriculture visant à améliorer la qualité des grenadiers, notamment face au "réchauffement climatique".

Selon Boussaa et *al.* (2018), l'analyse sensorielle descriptive a révélé des différences entre l'oasis et le verger régulier avec une exposition en plein soleil dans l'intensité de la couleur des arilles (Graines). Les arilles des fruits cultivés sous le système d'oasis en plein ombrage étaient caractérisés par une forte intensité de la couleur rouge (panel formé), ce qui les a faits bien appréciés par le panel de consommateurs.

Pour la forme de la feuille, nos résultats ont dévoilé que le grenadier est hétéophylle d'où l'existence de trois types de feuille ; lancéolé, elliptique large et elliptique lancéolé. Rajaei et Yazdanpanah (2015) n'estiment que deux types de feuilles, déjà distinguables dans les bourgeons dormants sur la base de la forme et surtout de l'apex. D'après les auteurs, les deux types de feuilles ont révélé les mêmes caractéristiques anatomiques, mais différent dans leur aspect de développement menant à une forme finale obcordée (Elliptique large) et lancéolée.

Alors que des différences statistiquement significatives ont été observées à travers l'ANOVA dans les paramètres morphologiques évalués (à la fois dans la taille du fruit et dans la graine entière), l'ACP et la CAH montrent des similarités dans de nombreux cultivars et les

discriminent en quatre classes. L'analyse a révélé une variabilité liée aux paramètres morphologiques. Cette variabilité est soutenue par plusieurs autres paramètres.

Dans l'étude de Tapia-Campos et *al.* (2021), les auteurs ont indiqué que le diamètre polaire, le diamètre équatorial et le poids du fruit peuvent expliquer plus de 90% de la variation en utilisant un test ACP dans le premier facteur CP1.

Pour notre cas, la première classe formée par les cultivars KH1.Messaad et SL1.Messaad est caractérisée par son goût doux et acceptable, par son rendement élevé (35 kg/arbre pour KH1.Messaad classé comme production moyenne et 45 kg/arbre pour SL1.Messaad classé comme production élevée, par référence à Melgarejo (1993) in Martinez et *al.* (2006), la deuxième classe formée par HM1.Messaad montre sa différenciation aux autres cultivars par sa taille, son goût acceptable et sa production élevée de 40 kg/arbre (Tableau 22). Ces trois cultivars, moins âgés, reçoivent des soins permanents par le biais de pratiques agricoles principalement présentes, notamment l'irrigation régulière afin de soutenir les cultures, la taille de formation et de fructification et la fumure organique dans l'objectif d'augmenter la production. La troisième classe est formée par AM2, le cultivar le plus vieux caractérisé par sa petite taille de fruit, son goût doux et acceptable et son faible rendement de 20 kg/arbre (Tableau 22) mais il reste une ressource à préserver et à valoriser. La quatrième classe formée par les cultivars de la station de Zaccar (KH3, MZ3 et SL3) plus âgés que ceux de Messaad est marquée par des aspects morphologiques similaires avec un gros calibre des fruits (Longueur et diamètre du fruit), mais avec des productions faibles à moyennes (20-30 kg/arbre) (Tableau 22) selon les niveaux établis par Melgarejo (1993) cité dans Martinez et *al.* (2006).

Le gradient climatique et les pratiques culturales, notamment le type d'irrigation entre l'irrigation localisée (goutte à goutte) à partir d'un forage et l'irrigation traditionnelle par rigole à partir d'une source d'eau naturelle, contribuent de manière significative à cette variabilité entre les cultivars. Singh (2004) a noté une différence inter-variétale très significative dans la croissance végétative, le rendement, la taille des fruits, la fissuration des fruits, le nombre et le poids des arilles (Graines) dans les écosystèmes arides à semi-arides et des résultats intéressants ont été enregistrés en termes de performance pour les traits souhaités. En outre, Mir et *al.* (2012) stipulent que même si le grenadier pousse bien dans des sols peu fertiles, la production peut être augmentée par l'application de fumier et d'engrais. Mellisho et *al.* (2012) et Galindo et *al.* (2017) ajoutent que l'irrigation de type goutte à goutte régulière et stratégique pendant la période de maturation des fruits (sous stress hydrique) améliore la taille des fruits et leurs caractéristiques chimiques liées au goût et à la couleur.

La variabilité des cultivars permet des choix pour les producteurs en fonction de leurs différentes conditions techniques, climatiques et édaphiques, la discrimination peut être prononcée par d'autres recherches ponctuelles comme les marqueurs moléculaires. Des études comme celle de Jbir et *al.* (2014) montrent que les cultivars du sud tunisien représentent une base génétique commune considérable malgré leurs différences phénotypiques et les faux-noms (synonymie et/ou homonymie signalées). Les problèmes de dénomination peuvent expliquer tous les résultats obtenus. Ils rapportent que les cultivars de grenadiers sont nommés localement en fonction de leurs origines géographiques ou en fonction des caractéristiques agronomiques du fruit comme le rapportent Mars et Marrakchi (1999). Alors que les résultats rapportés par Ajal et *al.* (2014) montrent clairement que les marqueurs moléculaires ISSR utilisés au cours de l'étude se sont avérés efficaces en termes de mise en évidence du polymorphisme moléculaire chez le grenadier ainsi que d'exploration des relations génétiques entre les cultivars concernés. L'analyse de ces marqueurs a révélé une grande diversité des accessions étudiées.

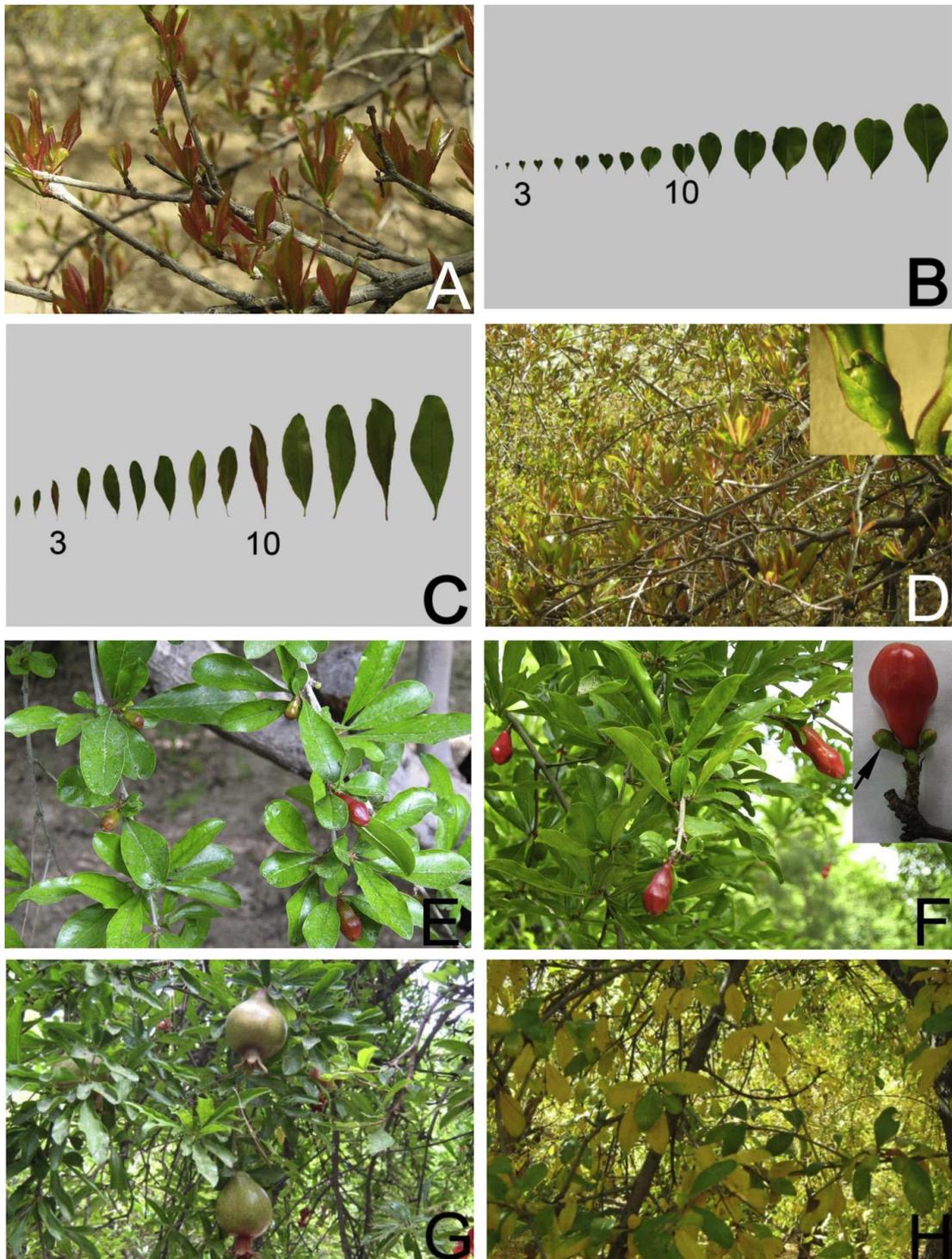
La description du matériel génétique du grenadier est basée principalement sur des critères pomologiques et agronomiques et les études génétiques sont rares. L'utilisation d'autres marqueurs biochimiques et moléculaires tels que les isozymes et les empreintes RAPD pourrait fournir des informations complémentaires utiles comme pour de nombreuses autres espèces fruitières (Khadari et *al.*, 1995 ; Mars et Marrakchi, 1999 ; Mars, 2000 ; Ouazzani et *al.*, 1995 ; Trifi et *al.*, 1998).

Malheureusement, ce type d'études sur le grenadier est entièrement absent en Algérie et les variétés algériennes demeurent mal appréhendées en attendant des progrès de travaux scientifiques dans ce sens particulièrement avec le transfert des biotechnologies aux universités algériennes pour des objectifs scientifiques et économiques et à fin d'accroître les connaissances humaines.

#### **IV.2.4. Stades phénologiques du grenadier (*Punica granatum* L.) de la région**

Les stades phénologiques soulignés concernent les 07 cultivars étudiés avec des différences minimales au niveau de début et de la durée de chaque stade.

Pour les feuilles et les fleurs du grenadier de la région, les mêmes évolutions morphologiques et phénologiques observés sur nos trois stations ont été reportées par Rajaei et Yazdanpanah (2015), et elles sont illustrées dans la figure 46.



**Figure 46.** Modifications morphologiques et phénologiques du grenadier après le débourrement (Rajaei et Yazdanpanah, 2015). (A) Feuilles rouges à la mi-mars. (B) Stades de développement du type de feuille (a) : obtus et fendu à l'apex, rouge (feuille 3) et rouge-verdâtre (feuille 10). (C) Stades de développement du type de feuille (b) : lancéolé ou oblancéolé, rouge (feuille 3) et rouge-verdâtre (feuille 10). (D) Feuilles rouge-verdâtres à la fin mars avec de petits boutons floraux non ouverts sur l'arbre. (E) Feuille verte de grenadier et fleurs non ouvertes dans les derniers jours de mars. (F) Deux types de fleurs non ouvertes, en forme de cloche et de vase, début avril, et des bourgeons tardifs (reproducteurs) (flèche). (G) Feuilles vertes pendant la nouaison et la maturation des fruits. (H) Feuilles vertes-jaunâtres à la mi-octobre.

Nizinski et Souguir (2014) ont divisé le cycle annuel en cinq stades pour étudier l'évolution de la surface des feuilles du grenadier en Tunisie centrale:

- stade de dormance des bourgeons où l'indice foliaire est constant et nul;
- stade « d'activation » physiologique des bourgeons qui se termine par le débourrement;
- stade de croissance de la surface des feuilles;
- stade de plein développement des feuilles où l'indice foliaire = l'indice foliaire max;
- stade de chute des feuilles où la surface des feuilles décroît.

Rajaei et Yazdanpanah (2015) stipulent que la connaissance de la phénologie d'une culture donnée est importante d'un point de vue climatologique, agronomique et économique, ce constat explique les pratiques agricoles en place pour chaque station envers particulièrement les conditions climatiques de température, de précipitation et de vents. Les rendements agricoles réalisés reflètent les réponses écologiques, phénologiques et physiologiques de l'espèce vis-à-vis du type de climat, du type des sols et des pratiques agricoles locales.

#### **IV.2.4.1. Dynamique de la floraison**

##### **IV.2.4.1.1. Suivi de la floraison**

Selon Mars et Marrakchi (2004), les premières fleurs épanouies ont été observées sur les grenadiers de Gabsi (Cultivar tunisien) pendant la dernière semaine du mois d'avril. Cependant, pour des cultivars d'Espagne, le grenadier fleurit en plusieurs vagues d'avril à mai (à Alicante, Espagne) jusqu'à fin juin ou début juillet, et parfois même jusqu'à la fin de l'été (Martinez et al, 2006).

Sous l'influence du climat méditerranéen à Montenegro, Čizmović et al. (2016) ont noté la formation la plus précoce des fleurs enregistrée en 2002 était le 26 avril sur les localités Tomba et Balabani. Les mêmes auteurs ont enregistré certaines divergences en 2003, année où les conditions climatiques étaient quelque peu différentes. Ceci est principalement lié à la température, facteur écologique qui a le plus grand impact sur la floraison. La floraison en 2003 a été retardée en raison d'une température de l'air plus basse dans la période du 6 au 9 avril et d'un mois de mars légèrement plus froid. Des températures très élevées en mai ont compensé ce retard dans la dernière période de floraison.

Pour les cultivars KH1, HM1 et SL1 de Messaad et AM2-Amourah, le grenadier fleurit dès les deux premières semaines du mois d'avril, ceci dû essentiellement au facteur climatique de la température élevée qui caractérise les deux sites de Messaad et d'Amourah par rapport au site de Zaccar.

Pour la période de floraison, Mars et Marrakchi (2004) ont noté une durée la floraison d'environ 08 semaines pour les arbres du cultivar Gabsi et d'environ 10 semaines pour ceux de Garoussi et Kalaii. Pour les cultivars de Messaad : KH1, HM1 et SL1, la durée de la floraison est d'environ 10 semaines. Pour le AM2 d'Amourah, elle a été d'environ 09 semaines. Cependant, pour ceux de Zaccar, la période de floraison est repoussée à environ 12 semaines pour compenser le retard de floraison lié essentiellement aux températures basses comparativement aux autres sites.

Les rythmes de floraison pour les sept cultivars peuvent être expliqués relativement aux températures moyennes mensuelles enregistrées durant les mois d'avril et de mai (02 mois de floraison intense) pour les trois stations et se séparent en deux catégories:

- les stations de Messaad et d'Amourah : avec respectivement 14,13 °C et 12,94 °C pour le mois d'avril et 18,95 °C et 17,76 °C pour le mois de mai ;
- la station de Zaccar : avec 12,18 °C pour le mois d'avril et 17,00 °C pour le mois de mai.

Les pratiques culturales présentes dans notre région d'étude principalement l'irrigation et les différences entre l'irrigation localisée aux vergers de Messaad et l'irrigation traditionnelle à Amourah et à Zaccar peuvent influencer la dynamique de la floraison et expliquer les résultats obtenus.

Mars et Marrakchi (2004) ont abouti aux mêmes résultats de point de vue influence du climat et révèlent que les conditions climatiques qui peuvent avoir une influence sur l'époque, la durée et l'abondance de la floraison auxquelles ils ajoutent l'influence des caractéristiques variétales et les pratiques culturales.

Concernant les organes chutés durant la période de la floraison, Čizmović et *al.* (2016) stipulent que la chute des fleurs mâles est un phénomène normal, car le processus de fertilisation est terminé. En plus de celles-ci, une partie des fleurs parfaites et des fructifications formées tombent également. La formation des fruits a été enregistrée au début,

le 17 mai 2002, dans les cultivars des localités de Balabani et de Tomba et tardivement dans la variété šebetaš des localités de Tomba et de Dobra Voda au 13 juin 2004.

Mars et Marrakchi (2004) constatent les mêmes résultats et les fleurs mâles « type cloche » constituent la majeure partie des organes chutés. Les mêmes aboutissements pour notre étude où les fleurs mâles « type cloche » représentent entre 60,20% et 81,53% des organes chutés selon les cultivars.

#### **IV.2.4.1.2. Rétention des fruits**

La rétention des fruits est l'un des caractéristiques agronomiques les plus importants, ce taux exprime le rendement prévu pour chaque cultivar.

Les valeurs obtenues à l'échelle de la branche sont supérieures à celles mesurées sur les arbres entiers. Ces écarts enregistrés sont dues essentiellement à deux facteurs qui sont l'orientation et l'âge du bois. Les branches exposées au vent marquent des chutes importantes de fleurs sessiles dans le cas du grenadier étudié. Pour l'âge du bois, le bois jeune porte moins de fleurs qu'un bois âgé ce qui réduit le taux total de rétention des fruits.

Comparativement aux résultats obtenus par Mars et Marrakchi (2004) et par Čizmović et al. (2016), les cultivars KH1, HM1 et SL1 de Messaad présentent les valeurs les plus intéressantes du taux de rétention de fruits, ceci peut être expliqué par les caractéristiques variétales et les pratiques culturales présentes dans la région.

## *Conclusion et perspectives*

## **Conclusion et perspectives**

Les conclusions rapportées dans cette étude mettent en exergue l'importance des aspects morphologiques, pomologiques et agronomiques dans la classification initiale des cultivars de grenadier. Les traits liés à la feuille et à la fleur sont peu discriminants sauf pour le facteur temps qui n'exprime que le moment et la façon par lesquels le cultivar répond phénologiquement aux conditions pédoclimatiques et à la conduite agricole. Les caractéristiques relatives au fruit, à la graine et aux rendements sont nettement discriminantes et conduisent à la différenciation entre les cultivars locaux existants.

Enfin, cette recherche participera à l'établissement d'un classement des différents cultivars locaux de grenadiers selon divers points de vue dans un premier temps, susceptible d'informer les exploitations agricoles et les entreprises du secteur sur leur localisation, leur état génétique et leur contribution économique.

Notre étude sur les 07 (sept) cultivars dans la région de Djelfa a révélé des variabilités morphologiques et agronomiques intéressantes démontrant des caractérisations variétales au sein du matériel végétal étudié et permet d'exploiter ces aboutissements pour des fins agronomiques et agro-alimentaires pour répondre aux besoins du marché local, national voir international vu l'importance des productions et des qualités de la grenade locale et penser à organiser cette filière en terme d'exportations pour participer à diversifier et à améliorer l'économie nationale.

Les résultats obtenus peuvent nous aider à orienter le choix des producteurs vers un classement de nos cultivars en fonction de plusieurs considérations.

En se référant spécifiquement au point de vue économique de rendement élevé, de qualité gustative acceptable et enfin de calibre, il faut affirmer que les cultivars de Messaad KH1, HM1 et SL1 sont les plus intéressants pour l'usage agricole et industriel et enregistrent respectivement des rendements de 35 kg/arbre, 40 kg/arbre et 45 kg/arbre.

Selon leurs performances des paramètres liés au fruit et à la graine, les cultivars de la station de Zaccar : KH3, MZ3, SL3 et le HM1 de Messaad sont les plus vigoureux et marquent à titre indicatif respectivement des poids du fruit de 271,2 g, 287,8 g, 276,2 g et 317,4 g.

Quant à l'adaptation aux différents gradients liés aux conditions climatiques et édaphiques, les cultivars de Messaad montrent une vigueur intéressante et donnent des rendements acceptables dus essentiellement aux pratiques culturales correctes ; ceux de

Zaccar et Amourah donnent une réponse négative en réduisant leur rendement sous irrigation traditionnelle par rigole dans ces conditions.

En conséquence, nous avons estimé que les cultivars KH1, HM1 et SL1 des vergers de Messaad, KH3, MZ3 et SL3 des vergers de Zaccar étaient des candidats-cultivars prometteurs avec de bonnes performances. Ces cultivars pourraient faire l'objet d'un examen plus approfondi comme l'utilisation des marqueurs génétiques, des biotechnologies (culture de tissus, culture in vitro) et des technologies alimentaires (aptitude à la transformation) en vue de leur valorisation.

Les cultivars de la station de Zaccar constituent encore une ressource phytogénétique à valoriser en améliorant les pratiques culturales dans le verger notamment le type d'irrigation utilisé. Le cultivar AM2 de Amourah est très caractéristique de point de vue qualité gustative et peut présenter une base génétique particulière à approfondir par des études complémentaires et à mettre en valeur, et en termes d'intensité de la floraison que présente ce cultivar à travers laquelle, on peut améliorer les techniques de conduite du verger pour augmenter le taux de rétention des fruits et par la suite le rendement agricole.

Sur la base de ces différents constats, les résultats révèlent les atouts de notre dispositif expérimental pour différencier les sept cultivars du point de vue de leur performance et de leur intérêt économique. Mais aussi ses limites dans la mise en évidence des différences chimiques et la variabilité au niveau du polymorphisme moléculaire qui peuvent guider les producteurs à faire les meilleurs choix.

De ce fait, il serait essentiel à l'avenir de compléter ce travail par une étude de l'analyse chimique et de la composition minérale des fruits. De même, une étude plus poussée du polymorphisme moléculaire des cultivars algériens, en utilisant des marqueurs génétiques pour mettre en évidence la diversité génétique existante.

Les résultats présentés dans ce travail justifient clairement la variabilité et son intérêt pour la préservation, l'exploitation et la valorisation de ce matériel génétique, non seulement pour la consommation fraîche, mais aussi dans le sens large de préservation des ressources phytogénétiques et de la biodiversité localement menacée et d'amélioration des variétés cultivées de grenade qui présentent des performances économiques appréciables par la vulgarisation des itinéraires techniques propres de fertilisation, d'irrigation et de traitement phytosanitaire.

## *Références bibliographiques*

## Références bibliographiques

**A.C.E., 2020.** ADMEDERA CONSULTING EXPORT. Identification des marchés cibles pour la filière de la grenade tunisienne. PAMPAT 2. Tunisie, 149p.

**Afaq F., Malik A., Syed D., Maes D., Matsui M.S. et Mukhtar H., 2005.** Pomegranate fruit extract modulates UV-B-mediated phosphorylation of mitogen-activated protein kinases and activation of nuclear factor kappa B in normal human epidermal keratinocytes paragraph sign. *Photochem Photobiol*, 81 (1), 38-45. <https://doi.org/10.1562/2004-08-06-RA-264>.

**Ajal E., Jbir R., Malgarejo P., Hernández Fca., Haddioui A. et Salhi H.A., 2014.** Exploration des marqueurs ISSR pour l'étude du polymorphisme moléculaire du grenadier (*Punica granatum* L.) au Maroc. *Rev. Reg. Arid*, 35, 393-398.

**Akkouche S., 2019.** Incidences des variabilités climatiques sur les milieux dunaires fixés méridionaux algériens et étude de la diversité floristique. Doct. Sci. USTHB, Alger. 171p.

**Alcaraz C., 1982.** La végétation de l'Ouest algérien: Thèse. Doct. Sci. Univ. Perpignan. 415p.

**Alcaraz-Mármola F., Nuncio-Jáureguib N., García-Sánchez F., Martínez-Nicolása J.J. et Hernández Fca., 2017.** Characterization of twenty pomegranate (*Punica granatum* L.) cultivars grown in Spain: Aptitudes for fresh consumption and processing. *Sci. Hortic.*, 219, 152-160, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.03.008>.

**Al-Yahyai R., Al-Said F. et Opara L., 2009.** Fruit growth characteristics of four pomegranate cultivars from northern Oman. *Fruits*, 64 (6), 335-341, <https://doi.org/10.1051/fruits/2009029>.

**Amir R., Borochoy-Neori H., Tian L. et Holland D., 2019.** The biodiversity of different traits of pomegranate fruit peels from a broad collection of diverse cultivars. *Scientia Horticulturae*, 246, 842-848, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.10.048>.

**A.P.G. III., 2009.** An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. *Bot. J. Linn. Soc.*, 161, 105–121, <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2009.00996.x>.

**Aseri G.K., Jain N., Panwar J., Rao A.V. et Meghwal P.R., 2008.** Biofertilizers improve plant growth, fruit yield, nutrition, metabolism and rhizosphere enzyme activities of

Pomegranate (*Punica granatum* L.) in Indian Thar Desert. *Sci. Hortic.*, 117, 130-135, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.03.014>.

**Bacle I., Barthélémy J., Bardot A., Bassereau J., Clément J., Crochemore S., Danzart M., Depledt F. et Dufour F., 2009.** Évaluation sensorielle. Manuel méthodologique. 3e Éd. Paris, France : Tec & Doc.

**Bakels C. et Jacomet S., 2003.** Access to luxury foods in Central Europe during the Roman period: the archaeobotanical evidence. *World Archaeology*, 34(3), 542 - 557. DOI: 10.1080/0043824021000026503.

**Borochoy-Neori H., Judeinstein S., Harari M., Bar-Ya'akov I., Patil B.S., Lurie S. et Holland D., 2011.** Climate effects on anthocyanin accumulation and composition in the pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit arils. *J. Agric. Food. Chem.*, 59, 5325-5334, <http://dx.doi.org/10.1021/jf2003688>.

**Boughani A., 2014.** Contribution à l'étude phytogéographique des steppes algériennes (Biodiversité et endémisme). Thèse Doct. Sci. USTHB, Alger. 314p.

**Bouras H., 2018.** Biodiversité et Multiplication in vitro de grenadier :*Punica granatum* L. Thèse de Master académique. Université Mohamed BOUDIAF. M'sila. 61p.

**Boussaa F., Zaouay F., Hernandez F., Noguera-Artiaga L., Carbonell-Barrachina A, Melgarejo P. et Mars M., 2018.** Cropping system contributes largely to fruit composition and sensory properties of pomegranate (*Punica granatum* L. var. Gabsi). *South. Afr. J. Bot.* , 115, 170–178, <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2018.01.016>.

**Cauchard P., 2013.** La grenade : Organisation de la filière, opportunités et contraintes pour son développement. Thèse d'Ingénieur. Institut Supérieur des Sciences Agronomiques, Agroalimentaires, Horticoles et du Paysage. Angers. France. 40 p.

**Chandra R., Dhinesh Babu K., Jadhav V.T., Jaime A. et Da Silva T., 2010.** Origin, History and Domestication of Pomegranate. *Fruit. Veg. and Cereal. Sci. and Biotechnol.*, 4, 1-6.

**Chandra R., Lohakare A.S., Dhinesh Babu K., Maity A., Singh N.V. et Jadhav V.T., 2012.** Variability studies of physico-chemical properties of pomegranate (*Punica granatum* L.) using a scoring technique. *Fruits*, 68 (2), 135-146, <https://doi.org/10.1051/fruits/2013059>.

**Chatelain C et Dobignard A., 2012.** Index synonymique de la flore d'Afrique du Nord. Volume 04. Editions des conservatoires et jardin botaniques. 433p. ISBN : 978-2-8277-01261.

**Chéchile-Toniolo G.E., 2012.** Usefulness of pomegranate in prostate cancer. II International Symposium on the Pomegranate. *Options Mediterr.* A, 103, 311-320, <https://doi.org/10.1111/j.1479-8298.2011.00443.x>.

**Chouaki S., Bassadlk F., Chebouti A., Maamri F., Oumata S., Kheldoun S., Hamana M-F., Douzene M., Bellah F., et Kheldoun A., 2006.** Deuxième rapport national sur l'état des ressources phylogénétiques . INRAA. 92p.

**Chougui H., 2018.** Etude du comportement physiologique avec application d'hormone de boutures de quatre variétés de grenadier (Maadam, Lahmar, Mrinie et Sefri) .Thèse de Master en agronomie. université Abdelhamid IBN BADIS. Mostaganem. 96p.

**Čizmović M., Popović R., Adakalić M., Lazović B. et Perović T., 2016.** Characteristics of flowering and fruit set of main pomegranate varieties (*Punica granatum* L.) in Montenegro. *Agriculture and Forestry*, 62 (1), 83-90. DOI: 10.17707/AgricultForest.62.1.10.

**Conti E., Fischbach A. et Sytsma K.J., 1993.** Tribal relationships in Onagraceae: Implications from rbcL sequence data. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 80, 672-685.

**Conti E., Litt A. et Sytsma K.J., 1996.** Circumscription of Myrtales and their relationships to other rosids: evidence from rbcL sequence data. *American Journal of Botany*, 83, 221-233.

**Conti E., Litt A., Wilson P.G., Graham S.A, Briggs B.G., Johnson L.A.S., Sytsma K.J., 1997.** Interfamilial relationships in Myrtales: Molecular phylogeny and patterns of morphological evolution. *Systematic Botany*, 22, 629-647.

**Crivellaro A. et Schweingruber F.H., 2013.** Atlas of Wood, Bark and Pith Anatomy of Eastern Mediterranean Trees and Shrubs. Berlin: Springer., 402-403, <https://doi.org/10.1007/978-3-642-37235-3>.

**Dafny-Yalin M., Glazer I., Bar-Ilan I., Kerem Z., Holland D. et Amir R., 2010.** Color, sugars and organic acids composition in aril juices and peel homogenates prepared from different pomegranate accessions. *J. Agric. Food Chem*, 58, 4342- 4352.

- Djebaili S., 1984.** Steppe Algérienne, phytosociologie et Ecologie O.P.U. Alger. 127 p.
- Djellouli Y et Djebaili S., 1984.** Synthèse sur les relations flore-climat en zone aride Cas de la Wilaya de Saïda, Bulletin de la Société Botanique de France. Actualités Botaniques, 131:24, 249-264, Doi: 10.1080/01811789.1984.10826666.
- D.S.A., 2017.** Statistiques sur l'arboriculture fruitière et rustique. Service des Statistiques Agricoles. Direction des Services Agricoles de la wilaya de Djelfa. Algérie.
- D.S.A., 2021.** Statistiques sur l'arboriculture fruitière et rustique. Service des Statistiques Agricoles. Direction des Services Agricoles de la wilaya de Djelfa. Algérie.
- Emberger L., 1942.** Un projet de classification des climats du point de vue phytogéographique. *Bull. Soc. Hist. Nat.*, 77, 97-124. Toulouse.
- Emberger L., 1955.** Une classification biogéographique des climats. *Trav. Lab. Bot. Zool. Fac. Sci. Serv. Bot* ; 7, 3- 43. Montpellier.
- Evreinoff V.A., 1957.** Contribution à l'étude du Grenadier. *Journal d'agriculture tropicale et de botanique appliquée*, 4 (3-4), 124-138. <http://dx.doi.org/10.3406/jatba.1957.2380>.
- Galindo A., Calín-Sánchez A., Griñán I., Rodríguez P., Cruz Z.N., Girón I.F., Corell M., Martínez-Font R., Moriana A., Carbonell-Barrachina A.A, Torrecillas A. et Hernández F., 2017.** Water stress at the end of the pomegranate fruit ripening stage produces earlier harvest and improves fruit quality. *Sci. Hortic.*, 226, 68-74, <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2017.08.029>.
- Grisollet H., 1973.** Climatologie : méthodes et pratiques. Ed.Gauthier-Villars. Paris. 434p.
- Halimi, A., 1980.** L'Atlas Blideen : climat et étages végétaux. O.P.U, Alger, 623p.
- Halitim A., 1988 .** Sols des régions arides d'Algérie. O.P.U. Alger. 384 p.
- Hernández Fca., Legua P., Martínez R., Melgarejo P. et Martínez J.J., 2014.** Fruit quality characterization of seven pomegranate accessions (*Punica granatum* L.) grown in Southeast of Spain. *Sci. Hortic.*, 175, 174-180, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.05.035>.
- Hmid I., 2013.** Contribution à la valorisation alimentaire de la grenade marocaine (*Punica Granatum* L.) : caractérisation physicochimique, biochimique et stabilité de leur jus frais.

Thèse de doctorat. Université d'Angers. France. 176 p. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01066442>.

**Hodgson R.W., 1917.** The pomegranate. California Agricultural Experiment. *Station Bulletin*, 276, 163-192.

**Holland D. et Bar-Ya'akov I., 2008.** The Pomegranate: New Interest in an Ancient Fruit. *Chronica Horticulturae*, 48 (3), 12-15.

**Holland D., Hatib K. et Bar-Ya'akov I., 2009.** Pomegranate: Botany, Horticulture, Breeding. *Horticultural Reviews*, 35 (127-191).

**Huang Y. et Shi S., 2002.** Phylogenetics of Lythraceae sensu lato: a preliminary analysis based on chloroplast *rbcL* gene, *psaA-ycf3* spacer, and nuclear rDNA internal transcribed spacer (ITS) sequences. *International Journal of Plant Sciences*, 163, 215-225.

**I.N.R.A.A., 2006.** Deuxième rapport national sur l'état des ressources phylogénétiques. FAO, 92 p.

**I.P.G.R.I., 1998.** Descriptors for *Pistacia* spp. (excluding *Pistacia vera* L.). I.P.G.R.I. Rome, Italy. P. 48.

**Jacomet S., Kuçan d., Ritter A., Suter G., Hagendorn A., 2002.** *Punica granatum* L. (Pomegranates) from early Roman contexts in Vindonissa (Switzerland). *Veget Hist Archaeobot*, 11, 79–92.

**Jain K. et Desai N., 2018.** Pomegranate the Cash Crop of India: A Comprehensive Review on Agricultural Practices and Diseases. *Int. J. of Health Sci. and Res.*, 8 (5), 315-336.

**Jaime A., Teixeira D.S., Tikam S.R., Diganta N., Nidhi V., Deodas T.M. et Shirish A.R., 2013.** Pomegranate biology and biotechnology: A review, *Scientia Horticulturae*, Volume 160, Pages 85-107, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.05.017>.

**Jaliekop S.H., Venugopalan R. et Kumar R., 2010.** Association of fruit traits and aril browning in pomegranate (*Punica granatum* L.). *Euphytica*, 174, 137-141, <https://doi.org/10.1007/s10681-010-0158-3>.

- Jbir R., Bendhiaf A., Ajal E., Haddioui A. et Salhi H.A., 2014.** Etude de la diversité moléculaire de cultivars de grenadier (*Punica granatum* L.) du sud Tunisien. *Rev. Reg. Arid*, 35, 119-124.
- Kadi-Hanifi AH., 1982.** Essai de synthèse sur les sols de Saida en relation avec la végétation. *Biocénoses*, 1 (2) :83-110 p.
- Kadi-Hanifi AH., 1983.** Etude phytoécologique des formations à Alfa (*Stipa tenacissima* L.) du Sud-Oranais, Wilaya de Saida. Thèse. 3ème Cycle, Univ. Sci. USTHB, Alger. 216 p.
- Kadi-Hanifi AH., 1998.** L'Alfa en Algérie : syntaxonomie, relations milieu- végétation, dynamique et perspectives d'avenir. Thèse Doct. Etat, Univ. USTHB. Alger. 228p.
- Khadari B., Lashermes Ph. et Kjellberg F., 1995.** RAPD fingerprints for identification and genetic characterization of fig (*Ficus carica* L.) genotypes. *J. Genet. Breed.*, 49, 77-86.
- Khwairakpam A.D., Bordoloia D., Thakur K.K., Monisha J., Arfuso F., Sethi G., Mishra S., Kumar A.P. et Kunnumakkara A.B., 2018.** Possible use of *Punica granatum* (Pomegranate) in cancer therapy. *Pharmacol. Res.*, 133, 53–64, <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2018.04.021>.
- Kumari A., Dora J., Kumar A. et Kumar A., 2012.** Pomegranate (*Punica granatum*)-Overview. *Interna. J. of Pharm. and Chem. Sci.*, 1 (4), 1218-1222.
- Kumari S., Dinesh M.R., Murthy B.N.S., Shankaran K.M., Lakshmana Reddy D.C., Shivashankara K.S. , Kanupriya et Upreti K.K., 2019.** Correlation between different morphological traits of Pomegranate (*Punica grantum*). *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci*, 8(1), 981-985, <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.801.106>.
- Lacoste A. et Salanon R., 1969.** Éléments de biogéographie. In: *Norois*, 62, 270-271.
- Lahouel M., 2014.** Caractérisation de l'environnement racinaire du pistachier de l'Atlas, de l'Olivier et du Grenadier dans la région de Messaad. Thèse de Magister. Université Ziane Achour de Djelfa (Algérie). 101 p.
- Lahouel M., Belhadj S. et Nait Kaci Boudiaf M., 2016.** *Pistacia atlantica* rhizosphere characterization under arid climate. XVI GREMPA Meeting on Almonds and Pistachios. *Options Mediterr. A*, 119, 187-191.

**Lebourgeois F et Piedallu C., 2005.** Appréhender le niveau de sécheresse dans le cadre des études stationnelles et de la gestion forestière à partir d'indices bioclimatiques. *Rev. For. Fr. LVII*, 4, 331-356.

**Le Houerou J.C et Pouget M., 1977.** Etude bioclimatique des steppes Algériennes *Bull.Soc. Hist. nat. Afr. Nord*, 68 (J et 4). Alger.

**M.A.D.R., 2021.** Rapport sur les arbres fruitiers en Algérie. Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural. Algérie.

**Mansour E., Ben Khaled A., Haddad M., Abid M., Bachar K. et Ferchichi A., 2011.** Selection of pomegranate (*Punica granatum* L.) in south-eastern Tunisia. *Afr. J. Biotechnol.*, 10(46), 9352-9361, <https://doi.org/10.5897/AJB10.1959>.

**Mars M., 2000.** Pomegranate plant material: Genetic resources and breeding. Production, processing and marketing of pomegranate in the Mediterranean region: Advances in research and technology. *Options Mediterr. A*, 42, 55-62.

**Mars M. et Marrakchi M., 1999.** Diversity of pomegranate germplasm in Tunisia. *Genet. Ressour. Crop Evol.*, 46, 461-467, <https://doi.org/10.1023/A:1008774221687>.

**Mars M. et Marrakchi M., 2004.** Dynamique de floraison et régime de reproduction chez le grenadier (*Punica granatum* L.) en Tunisie. *Fruits*, vol. 59, p. 39-48. DOI: 10.1051/fruits:2004005.

**Mars M. et Sayadi S., 1992.** Etude comparative de la qualité des fruits de cinq variétés de grenadier (*Punica granatum* L.). *Rev. Reg. Arid*, 3, 45-57.

**Martínez J.J., Melgarejo P., Hernández Fca., Salazar D.M. et Martínez R., 2006.** Seed characterisation of five new pomegranate (*Punica granatum* L.) varieties. *Sci. Hortic.*, 110, 241-246, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.07.018>.

**Martínez J.J., Hernández Fca., Haddioui A., Legua P., Martínez R., Ajal E. et Melgarejo P., 2012.** Physico-chemical characterization of six pomegranate cultivars from Morocco: Processing and fresh market aptitudes. *Sci. Hortic.*, 140, 100-106, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.04.002>.

- M.A.T.E., 2014.** Cinquième Rapport National sur la mise en œuvre de la convention sur la diversité biologique au niveau national. MATE-GEF- PNUD-CDB. Algérie, 128 p.
- M.A.T.E., 2015.** Etude diagnostique sur la Biodiversité et les changements climatiques en Algérie. Projet MATE-PNUD-FEM : Planification nationale sur la diversité biologique et mise en œuvre en Algérie du plan stratégique de la convention sur la diversité biologique 2011-2020. Algérie, 135 p.
- Meena N.K., Asrey R. et Baghel M., 2018.** Pomegranate Cultivation is Promising in Arid Region of Rajasthan. *Indian Farming*, 68 (06), 30-33. ISBN: 978-81-7164-116-1.
- Melgarejo P., Martínez R., 1992.** El Granado, Ediciones Mundi-Prensa, S.A., Madrid, 163p.
- Melgarejo P., Martínez J.J., Hernández F., Legua P., Melgarejo-Sánchez P. et Martínez-Font R., 2012.** The pomegranate tree in the world: Its problems and uses. II International Symposium on the Pomegranate. *Options Mediterr*, A (103), 11-26.
- Melgarejo P., Núñez-Gómez D., Legua P., Martínez-Nicolása J.J. et Almansab M.S., 2020.** Pomegranate (*Punica granatum* L.) a dry pericarp fruit with fleshy seeds. *Trends in Food Sci. and Technol.*, 102, 232-236, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.02.014>.
- Mellisho C.D., Egea I., Galindo A., Rodríguez P., Rodríguez J., Conejero W., Romojaro F. et Torrecillas A., 2012.** Pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit response to different deficit irrigation conditions. *Agric. Water. Manag.*, 114, 30-36, <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2012.06.010>.
- Meziane-Kaci Z., 2018.** Valorisation de l'écorce de trois cultivars de fruit de la grenade (*Punica granatum* L.) de la plaine de Mitidja (Algérie) par l'obtention d'un extrait riche en polyphenols à usage alimentaire et pharmaceutique. Doct. Sci. Univ.. Saad DAHLEB - Blida 1. 237p.
- Mir M.M., Umar I., Mir S.A., Rehman M.U., Rather G.H. et Banday S.A., 2012.** Quality evaluation of Pomegranate crop – A review. *Int. J. Agric. Biol.*, 14: 658–667.
- Morton J.F., 1987.** Fruits of warm climates. *Creative Resource Systems* Miami, USA, 352–355, ISBN: 0-9610184-1-0.

**Nizinski G. et Souguir D., 2014.** Suivi phénologique et étude des variations de la conductance stomatique maximale chez le grenadier (*Punica granatum* L) (sols argileux salés de la plaine du Sisseb-Kairouan, Tunisie Centrale). Projet de recherche 2015-2018. Institut d'Ecologie et des Sciences de l'Environnement - iEES de Paris. 12p.

**Nouaceur Z., Laignel B. et Turki I., 2013.** Changements climatiques au Maghreb : vers des conditions plus humides et plus chaudes sur le littoral algérien ?. *Physio-Géo*, 7, 307-323, <https://doi.org/10.4000/physioge0.3671>.

**N.R.C.P., 2005.** DUS Test Guidelines: Pomegranate species (*Punica granatum* L.) - National Research Centre on Pomegranate. India. <http://www.plantauthority.gov.in>, (2019).

**O.N.M., 2020.** Données climatiques de la station de Djelfa (Période 2002 - 2017). Office National de Météorologie. ALGERIA.

**Ouazzani N., Lumaret R. et Villemur P., 1995.** Apport du polymorphisme alloenzymatique à l'identification variétale de l'olivier (*Olea europea* L.). *Agron. EDP. Sci.*, 15, 31-37.

**Pouget M., 1976.** Pédologie : Région de Messaad-Aïn El Ibel. éd. ORSTOM. Paris.

**Pouget M., 1980.** Les relations sol-végétation dans les steppes sud-algéroises. éd. ORSTOM. Paris. 569 p.

**Quiroz I., 2009.** Producción mundial in :Granados, perspectivas y oportunidades de un negocio emergente. *Área Agroindustria de Fundación*. Santiago. Chile, 14-16.

**Rajaei H et Yazdanpanah P., 2015.** Buds and leaves in pomegranate (*Punica granatum* L.): Phenology in relation to structure and development. *Flora*, 214 (2015), 61-69, <http://dx.doi.org/10.1016/j.flora.2015.05.002>.

**Rana T., Narzary D., et Ranade S., 2010.** Systematics and taxonomic disposition of the genus *Punica* L.. Pomegranate. *Fruit Veg. Cereal Sci. Biotechnol.*. 4. 19-25.

**Reddy P.P., 2014.** Biointensive Integrated Pest Management in Horticultural Ecosystems, Semiarid Fruit Crops, ed. Springer India. 277 p, 69-70. <https://doi.org/10.1007/978-81-322-1844-9>.

- Ricci D., Giamperi L., Bucchini A., et Fraternali D., 2006.** Antioxidant activity of *Punica granatum* fruits). *Fitoterapia*, 77 (2006), 310-312, <http://dx.doi.org/10.1016/j>.
- Ruis A.R., 2015.** Pomegranate and the mediation of balance in early medicine. *Gastronomica*, 15 (01), 22-33, <https://doi:10.1525/gfc.2015.15.1.22>.
- Seltzer P., 1946.** Le climat de l'Algérie. Alger. Carbonel. 1946 ; 219p.
- Shi S., Huang Y., Tan F., He X., Boufford D., 2000.** Phylogenetic analysis of the Sonneratiaceae and its relationship to Lythraceae based on ITS sequences of nrDNA. *Journal of Plant Research* 113, 253-258.
- Singh D.B., 2004.** Screening of pomegranate (*Punica granatum*) cultivars for arid ecosystem. *Indian. J. Agric. Sci*, 74, 604-606.
- Soriano J.M., Zuriaga E., Rubio P., Llàcer G., Infante R. et Badenes M.L., 2011.** Development and characterization of microsatellite markers in pomegranate (*Punica granatum* L.). *Mol. Breed.*, 27, 119-128, <https://doi.org/10.1007/s11032-010-9511-4>.
- Souza A.D., Ribamar De Souza Jr JR., Sousa D.C.P. et Albuquerque U.P., 2018.** *Punica granatum* L. In: Albuquerque U.P., Patil U. et Mâthé Á., eds. Medicinal and Aromatic Plants of the World. Dordrecht: Ed. Springer., 413-420, <https://doi.org/10.1007/978-94-024-1552-0>.
- Sreekumar S., Sithul H., Muraleedharan P., Mohammed Azeez J. et Sreeharshan S., 2014.** Pomegranate fruit as a rich source of biologically active compounds. *BioMed. Res. Int.*, V2014, 12 p, <http://dx.doi.org/10.1155/2014/686921>.
- Stover E. et Mercure E.W., 2007.** The Pomegranate: A New Look at the Fruit of Paradise. *Hortic.Sci.*, 42(5), 1088-1092.
- Tapia-Campos E., Ramírez-Anaya J.P., Cavazos-Garduño A., Serrano-Niño J.C., Fragoso-Jiménez J.C. et Castañeda-Saucedo C., 2021.** Morphological characterization of southern Jalisco, Mexico, Pomegranate genotypes using AFLP Markers. *Agronomy*, 11 (1449), 15p, <https://doi.org/10.3390/agronomy11081449>.
- Tir K., 2009.** Climagramme d'Emberger : Analyses et correction dans quelques stations météorologiques de l'Est Algérien. Thèse de Magister. Université Mentouri de Constantine. Algérie.

**Trifi M., Benslimane A.A., Rhouma A. et Marrakchi M., 1998.** Molecular characterization of Tunisian date-palm varieties. *First International Conf. on Date-palms*. U.A.E, 1, 183-193.

**U.P.O.V., 2012.** Pomegranate *Punica granatum* L. Guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability. International Union for the Protection Of new Varieties of plants TG/PGRAN (proj.3). Geneva.

**Wald E., 2009.** Le grenadier (*Punica granatum*) : plante historique et évolutions thérapeutiques récentes. Thèse de Doctorat. Université Henri Poincaré – Nancy 1. France. 149 p.

**Ward C., 2003.** Pomegranates in eastern Mediterranean contexts during the Late Bronze Age. *World archaeology*, 34 (3), 529-541. DOI: 10.1080/0043824021000026495.

**Watts B.M., Ylimaki G.L., Jeffery L.E. et Elias L.G., 1991.** Méthodes de base pour l'évaluation sensorielle des aliments. éd. CRDI. Ottawa, Canada. 159 p.

## *Annexes*

## Annexe 1 .....

### a. Test d'ANOVA. Paramètres du fruit

Paramètre	L1	D1	Fw	L2	Rw+Cm	Sy	If	Ic
<b>R<sup>2</sup></b>	0,75	0,75	0,78	0,41	0,81	0,96	0,35	0,04
<b>F</b>	103,395	100,260	119,579	23,542	141,050	916,866	18,130	1,536
<b>Pr &gt; F</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	0,168						
<b>Cultivar</b>	103,395	100,260	119,579	23,542	141,050	916,866	18,130	1,536
	<b>&lt; 0,0001</b>	0,168						
<b>KH1 Messaad</b>	87.04 ±5,40	82.69 ±6,25	243,4 ±28,0	19.90 ±2,69	71,2 ±8,0	70.74 ±0,20	94.99 ±3,42	18.61 ±1,34
<b>HM1 Messaad</b>	96.34 ±3,30	90.65 ±2,65	317,4 ±33,7	22.85 ±0,90	84,6 ±8,6	73.33 ±0,60	94.09 ±2,42	19.17 ±0,56
<b>SL1 Messaad</b>	89.89 ±5,43	80.89 ±5,24	228,6 ±41,8	21.30 ±1,92	86,8±15,1	62.03 ±0,72	89.98 ±3,95	19.16 ±1,09
<b>AM2 Amourah</b>	75.21 ±3,87	69.99 ±5,26	135,9 ±25,3	17.29 ±2,17	38,8 ±7,4	71.43 ±0,70	93.06 ±3,57	18.69 ±1,74
<b>KH3 Zaccar</b>	90.27 ±3,89	87.51 ±3,41	271,2 ±19,1	20.58 ±1,18	91,4 ±5,7	66.32 ±0,94	96.94 ±1,94	18.57 ±0,82
<b>MZ3 Zaccar</b>	93.75 ±2,05	90.12 ±1,85	287,8 ±25,7	21.45 ±0,87	87,8 ±6,9	69.48 ±0,62	96.13 ±1,46	18.62 ±0,69
<b>SL3 Zaccar</b>	97.72 ±3,26	91.95 ±2,79	276,2 ±25,5	22.40 ±3,68	96,4 ±8,8	65.11 ±1,00	94.09 ±2,35	18.65 ±2,24

### b. Test d'ANOVA. Paramètres de la graine

Paramètre	Ls	Ws	Lt	Wt
<b>R<sup>2</sup></b>	0,92	0,81	0,04	0,60
<b>F</b>	378,410	145,576	1,323	50,999
<b>Pr &gt; F</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	0,248	<b>&lt; 0,0001</b>
<b>Cultivar</b>	378,410	145,576	1,323	50,999
	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	0,248	<b>&lt; 0,0001</b>
<b>KH1 Messaad</b>	11.66 ±0,11	7.24 ±0,07	7.85 ±0,05	3.22 ±0,04
<b>HM1 Messaad</b>	10.31 ±0,19	7.37 ±0,21	7.09 ±0,15	3.15 ±0,08
<b>SL1 Messaad</b>	10.98 ±0,23	7.53 ±0,34	7.53 ±0,38	3.21 ±0,12
<b>AM2 Amourah</b>	9.35 ±0,25	6.21 ±0,24	6.97 ±0,18	2.93 ±0,07
<b>KH3 Zaccar</b>	10.39 ±0,22	7.39 ±0,13	7.36 ±6,73	3.16 ±0,11
<b>MZ3 Zaccar</b>	11.02 ±0,09	7.16 ±0,09	7.48 ±0,12	3.04 ±0,06
<b>SL3 Zaccar</b>	11.08 ±0,30	7.26 ±0,18	7.75 ±0,17	3.19 ±0,09

## c. Test d'ANOVA. Paramètres de la feuille

Paramètre	L1	W1	Lp
R <sup>2</sup>	0,17	0,39	0,23
F	6,904	21,433	9,843
Pr > F	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Cultivar	6,904	21,433	9,843
	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
KH1 Messaad	43,58 ±4,53	17,82 ±1,51	4,19 ±0,47
HM1 Messaad	39,92 ±4,00	15,23 ±1,06	3,76 ±0,39
SL1 Messaad	44,96 ±4,59	18,52 ±1,90	4,64 ±0,64
AM2 Amourah	46,65 ±7,42	16,93 ±1,33	3,91 ±0,81
KH3 Zaccar	42,25 ±3,16	16,02 ±1,02	4,20 ±0,34
MZ3 Zaccar	44,70 ±3,84	15,68 ±0,92	4,41 ±0,45
SL3 Zaccar	42,69 ±2,68	17,17 ±1,79	4,10 ±0,28

## Annexe 2 .....

Annexe 2. Variétés cultivées de grenade (Evreinoff, 1957 ; Holland et *al.*, 2009 ; Wald, 2009)

## I. Variétés sucrées (douces).

*Agh-noury*. — Fruit moyen (150-200 g.) ; péricarpe d'un crème lavé de rouge, sucré; maturité: fin octobre. Arbre très fertile et rustique (Caucase).

*Ak-Anar*. — Fruit moyen, péricarpe jaune-blanchâtre; jus peu coloré, sucré; maturité : septembre. Arbre fertile (Turquie).

*AI-Chirine*. — Fruit gros (300 g.); péricarpe rouge-écarlate; jus coloré, sucré; maturité : mi-octobre. Arbre vigoureux assez fertile (Caucase).

*Ak-Dona*. — Fruit gros (300-400 g.) globuleux, d'un rose vif, jus et pulpe très sucrés (15 % de sucre et 0,5 % d'acidité) de très bonne qualité; maturité : fin septembre. Arbre très fertile, rustique (Turkestan).

*Blanca*. — Fruit moyen, péricarpe lisse, blanchâtre; jus très abondant, sucré; pépins parfois avortés; maturité : septembre-octobre. Arbre fertile (Espagne).

**Chio ou Khios.** — Fruit assez gros (300 g.) aplati; péricarpe bien coloré; jus sucré; pépins très petits, très bonne qualité; maturité : octobre. Arbre fertile et vigoureux (Turquie).

**Chirine-nar.** — Fruit assez gros (300 g.) aplati; péricarpe très coloré, rouge vermillon; jus et pulpe sucrés; maturité : fin octobre; fruit se conservant 5 mois et supportant très bien le transport. Arbre très fertile, rustique (Turkestan) .

**Dulce Colorado.** — Fruit volumineux (400 g.), péricarpe lisse, rouge écarlate; jus abondant, très sucré; qualité très bonne, maturité : octobre. Arbre très fertile (Espagne).

**Ezdy-nouri.** — Fruit au-dessous de la moyenne (150 g.) ; péricarpe blanc crème, lavé de rose; jus et pulpe très sucrée, de très bonne qualité; maturité : octobre. Arbre vigoureux, très fertile et rustique (Caucase).

**Gabsi.** — Fruit gros (400 g.) ; péricarpe blanc crème, peu coloré; jus sucré; maturité : septembre. Arbre fertile et rustique (Tunisie).

**Ganesh** — Fruit gros (350 g.) ; vert à jaune orangé, selon la saison, et la taille du fruit est petite. Arbre à feuillage persistant et fertile (Inde).

**Gorda de Jativa.** — Fruit gros (300-400 g.); péricarpe bien coloré; jus et pulpe sucrés; bonne qualité; maturité : novembre. Le fruit se conserve longtemps. Arbre vigoureux et fertile (Espagne).

**Goï-nar.** — Fruit assez gros (300 g.); péricarpe vert crème, lavé de rouge; jus et pulpe très sucrés, de très bonne qualité; maturité : octobre. Arbre fertile (Caucase).

**Guissepe.** — Fruit très gros (400-500 g.), péricarpe rouge écarlate, passant au rouge brun foncé; jus et pulpe très sucrés très bonne; maturité : octobre. Arbre fertile (Malte).

**Gulocha.** — Fruit gros (400 g.), globuleux; péricarpe rouge écarlate; jus très coloré, très sucré (22 % de sucre); très bonne qualité; maturité : fin octobre. Arbre très fertile, très rustique. La meilleure variété caucasienne (Caucase).

**Iridané.** — Fruit moyen (200-250 g.); péricarpe rose crème, lisse; pulpe et jus très sucrés (18 % de sucre); très bonne qualité, maturité : fin octobre. Arbre très fertile et rustique (Caucase).

**Kaiatchik-anar.** — Fruit gros (300-400 gr.) onctueux, globuleux; péricarpe rose verdâtre, lavé et strié de rouge; jus très abondant, très coloré, sucré; maturité : mi-octobre, les fruits se conservent 6 mois. Arbres très fertiles, 50 kg. par pied et très rustique (Turkestan).

**Kandahar blanche.** — Fruit très gros (500 g.); péricarpe blanc ivoire, passant au jaune rose; jus très abondant, très sucré; maturité : très précoce, fin août. Arbre très vigoureux et très fertile (Afghanistan).

**Kandahar rouge.** — Fruit très gros (500-600 g. parfois 800 g.) péricarpe rouge écarlate; jus très abondant, très coloré et très sucré. Maturité : fin septembre; les fruits se conservent 2-3 mois. Arbre très vigoureux. Très fertile. Cette variété est considérée comme une des meilleures grenades du monde (Afghanistan).

**Kzul Kabouk.** — Fruit très gros (400 g.) péricarpe rouge écarlate; pulpe et jus sucré; maturité: mi-octobre. Arbre rustique, de fertilité, moyenne (Caucase).

**Mellassi.** — Fruit très gros (500 g.); péricarpe coloré; jus très coloré, sucré; maturité : début septembre. Arbre fertile, mais peu rustique (Arabie).

**Melekech.** — Fruit gros ou très gros (400 g.), à péricarpe lisse, rouge; pulpe et jus légèrement acidulé, sucré (16 % de sucre), de très bonne qualité; maturité : fin octobre. Arbre très fertile, très rustique (Caucase).

**Paper Shell.** — Fruit gros (400 g.), arrondi, péricarpe jaune ivoire, marbré de pourpre, à jus très coloré, très sucré, de bonne qualité; maturité précoce : fin septembre. Arbre très fertile et rustique (Californie).

**Patras douce.** — Fruit très gros (400-500 g.); péricarpe coloré; jus abondant, très sucré, de très bonne qualité; maturité précoce : fin août; arbre très fertile (Grèce).

**Pignonenca.** — Fruit gros, bien coloré; jus sucré, pépins très durs; maturité très tardive : novembre. Arbre fertile (Espagne).

**Sefri.** — Gros fruit jaune (500g), graine demi-tendre rose clair, juteuse et sucrée. Maturité début octobre, vigueur moyenne (Maroc).

**Selimi.** — Fruit très gros, énorme, parfois pesant 1 kg., péricarpe rouge écarlate, passant au pourpre, très abondant, sucré de qualité extra; maturité : octobre. Arbre fertile, vigoureux. Cette variété est considérée comme une des meilleures pour la qualité de ces fruits (Irak).

**Spanish-Ruby.** — Fruit assez gros, globuleux, entièrement rouge; pulpe et jus très colorés, sucrés, de bonne qualité; maturité : octobre. Arbre fertile (Californie).

**Sucré de Bernaon Sladky Bernaon.** — Fruit petit (200 g.) globuleux, péricarpe verdâtre, lavé de rouge brun, pulpe sacrée; maturité : fin octobre. Arbre très fertile et rustique (Turkestan).

**Tchercherdeksis.** — Fruit assez gros; péricarpe jaune foncé, lavé de rouge; jus abondant, sucré à pépins très tendres, presque inexistant, d'où son nom « sans pépins » ; maturité : octobre. Arbre fertile et rustique. Variété appréciée dans le commerce (Turquie).

**Verte de Crimée.** — Fruit moyen (200-300 g.) globuleux, verdâtre, lavé de rouge écarlate; pulpe sucrée de bonne qualité; maturité : fin octobre. Arbre fertile et très rustique (Crimée).

**Wonder ful.** — Fruit moyen (200-300 g.), globuleux, péricarpe d'un pourpre foncé, pulpe sucrée, jus très coloré, agréablement acidulé, de très bonne qualité; maturité : début octobre, arbre très vigoureux, très rustique et très fertile (70 kg. par pied) (Californie).

**Zebeïda.** — Fruit moyen (200-250 g.), côtelé, péricarpe blanc crème, lavé de rose; pulpe très sucrée, très bonne; maturité : octobre. Arbre peu vigoureux, fertile (Caucase).

**Zéri.** — Fruit assez gros, péricarpe rouge pourpre; jus très abondant, sucré; maturité précoce : fin août. Arbre peu vigoureux, fertile (Tunisie).

## II. Variétés aigres-douces

**Atchik-dona.** — Fruit très gros, très lourd (500 g. parfois 1 kg) globuleux d'un rouge écarlate vif, jus et pulpe acidulés-sucrés de bonne qualité ; maturité : fin octobre. Arbre rustique, d'une fertilité moyenne (20 kg. par pied) (Turkestan).

**Bachkalinsky.** — Fruit gros ou très gros (300-400 g.) péricarpe peu colorée, jus abondant, acidulé; maturité : début octobre. Arbre d'une très grande et régulière fertilité (Turkestan).

**Bala Marsal.** — Fruit gros ou très gros (300-400 g.), globuleux, péricarpe lisse, rouge pourpre foncé; jus très abondant, très coloré, acidulé sucré, de très bonne qualité; maturité : début octobre; arbre très fertile (50 kg. par pied), rustique (Caucase).

**Bhagwa (Kesar)** — Fruit gros (200-300 g.) ; une peau rouge attrayante et de l'arille et sont à graines molles. Arbre à feuillage persistant et fertile (Inde).

**Chelfi.** — Fruit moyen; péricarpe jaune, frappé de rouge; pulpe à pépins peu développés; maturité : octobre; arbre très rustique (Tunisie).

**Chooulansky.** — Fruit moyen, piriforme (250 g.), à jus abondant, acidulé-sucré; maturité : fin octobre; arbre très fertile, donnant jusqu'à 50 kg. Par pied; très rustique, supportant sans dégâts des froids de 15° au-dessous de zéro (Caucase).

**Denagra.** — Fruit gros, à péricarpe bien coloré, très épais; jus abondant acidulé-sucré; maturité : octobre. Arbre fertile et rustique (Grèce).

**Ermazar,** — Fruit très gros, pesant 500 g., parfois 600 g., d'un rouge écarlate intense; jus très abondant, très coloré, sucré-acidulé de très bonne qualité, vineux; maturité : début octobre. Arbre très fertile : 40 kg. par pied; très rustique; une des plus grosses et des plus belles variétés (Turkestan).

**Kandahar noir.** — Fruit très gros, pesant 500 g.; parfois 800 g.; péricarpe d'un rouge foncé violacé; jus très coloré, abondant sucré acidulé, très bon; maturité tardive : fin novembre. Arbre très vigoureux, souvent énorme; fertile. Une des plus belles variétés de grenade (Afghanistan).

**Kavadany.** — Fruit très gros, lourd, pesant de 500 à 700 g., globuleux, péricarpe d'un rose vif, passant au rouge écarlate; jus très abondant, coloré, sucré-acidulé, très bon; maturité : fin octobre. Arbre très fertile, donnant jusqu'à 60 kg. par pied, très vigoureux et rustique (Turkestan).

**Kazaké-anar ou Kok-anar.** — Fruit gros (400 g.), globuleux d'un rouge écarlate clair; jus très coloré, rafraîchissant abondant, de très bonne qualité; maturité : octobre, le fruit se conserve longtemps. Arbre d'un port très étalé, rustique, très fertile (40 kg. par pied) (Turkestan)

**Kyzyl-Anar.** — Fruit assez gros, péricarpe d'un rouge foncé; à jus très coloré rouge sang; maturité : octobre; arbre vigoureux, fertile (Turquie).

**Kyzyl Poutchak.** — Fruit assez gros (300 g.) globuleux; péricarpe d'un rouge vif; jus acidulé; maturité : octobre. Arbre très vigoureux, de longue durée, très fertile, donnant jusqu'à 45 kg. par pied, très rustique, supporte sans dégâts des froids de 12-15° au-dessous de zéro (Turkestan).

**Meless-Chelli.** — Fruit assez gros (300 g.), péricarpe d'un rouge-foncé, grenat; jus très abondant, coloré, de très bonne qualité; maturité : octobre. Arbre vigoureux, érigé, très fertile, portant jusqu'à 45 kg. par pied. Le fruit se conserve quatre mois (Caucase).

**Mridula (Arkta)** — Fruit gros (200-300 g.) ; une peau rouge attrayante et de l'arille et sont à graines molles. Arbre à feuillage persistant et fertile (Inde).

**Nejidi.** — Fruit assez gros, très coloré; jus abondant et très coloré, acidulé-sucré; maturité tardive : mi-novembre. Arbre moyen, fertile (Irak).

**Olegh.** — Fruit moyen, péricarpe d'un rose crème lavé de rouge; jus assez coloré, acidulé sucré; maturité : début octobre. Arbre rustique (Crimée).

**Purple-Seeded (ou de pourpre).** — Fruit gros (350 g.), arrondi, d'un vert crème, lavé de pourpre; jus coloré, sucré, acidulé, agréable; maturité : (octobre, arbre vigoureux, très fertile, donnant jusqu'à 50 kg. par pied, très rustique. Les fruits se conservent 2 mois (Californie).

**Roman-Choual ou Roman Chouab.** — Fruit moyen, d'un violet foncé, presque noir; jus très abondant, très coloré, acidulé, bon; maturité tardive : fin novembre. Arbre vigoureux, fertile (Arabie).

**Tunsi ou Tounsi.** — Fruit moyen, rouge écarlate du côté du soleil; rouge terne du côté ombré; jus très coloré et abondant, sucré, acidulé; maturité : octobre. Arbre rustique, fertile de moyenne vigueur (Tunisie).

**Vir.** — Fruit gros, piriforme, lourd (500 g.); d'un coloris terne crème et strié de rouge pâle; jus coloré, abondant, acidulé, maturité : fin octobre; les fruits se conservent 5-6 mois. Arbre d'une taille très réduite (2-3 m. de haut), port étalé, très rustique supportant sans dégâts 15° au-dessous de zéro, très fertile (45 kg. par pied) (Crimée).

### III. Variétés acides ou industrielles.

**Cagin.** — Fruit gros, globuleux, à péricarpe très coloré; jus abondant, très coloré, très acide; maturité : fin octobre. Arbre très fertile, de faible vigueur. Fruit recherché pour la fabrication de la Grenadine (Espagne).

**Cherabani ou Kherab.** — Fruit moyen, coloré, à jus très abondant acide, maturité tardive : fin novembre; arbre très fertile, rustique de faible vigueur. Fruit recherché pour la préparation de boissons rafraîchissantes dites «vin de grenade» (Arabie).

**Kara-Anar.** — Fruit assez gros, rouge foncé, passant au violet; jus abondant, acide; maturité très tardive : décembre. Arbre très fertile et rustique. Fruit se conservant 3-4 mois, recherché.

**Krmyzy-Kabouk**, — Fruit gros (400 g.), globuleux, d'un rouge vif; jus très abondant, très coloré, très acide; maturité : fin octobre. Arbre vigoureux, très étalé, très fertile (45 kg. par pied). Le fruit se conserve de 4 à 5 mois (Caucase).

**Kzyl-Anor**. — Fruit petit (200 g.), péricarpe; lisse, rouge écarlate; à jus très abondant, très coloré (couleur framboise), acidulé; maturité mi-octobre. Arbre rustique et assez fertile (Turkestan).

**Nazyk-Kabouk**. — Fruit gros (400 g.), d'un rouge foncé; jus très coloré, acide, abondant; maturité octobre. Arbre vigoureux, étalé, très fertile (jusqu'à 50 kg. par pied). Fruit se conservant 4 mois (Caucase).

**Patras acide**. — Fruit très gros (400-500 g.), très coloré; à jus abondant, très acide; maturité : mi-octobre. Arbre vigoureux et fertile. Fruit utilisé à la préparation de la grenadine (Grèce).

**Shah-nar**. — Fruit moyen, arrondi ou péricarpe, d'un rouge-grenat; jus coloré, acidulé ; maturité : fin octobre. Arbre très touffu, de faible vigueur, rustique très fertile (45 kg. par pied) (Caucase).

**Senna-Djemel**. — Fruit gros, coloré; jus acidulé, coloré; maturité tardive : mi-novembre. Arbre de moyenne vigueur, fertile (Irak).

**Sourk-anor**. — Fruit gros (400 g.), soit arrondi, soit piriforme; lisse, rouge écarlate; jus abondant, coloré, acidulé; maturité tardive : fin octobre. Arbre assez vigoureux, rustique et très fertile (50 kg. pr pied).

## Annexe 3

Annexe 3. Ravageurs et maladies importants du grenadier (*Punica granatum* L.) (Jain et Desai, 2018)

Maladies causées par des insectes nuisibles				
Nom de la maladie	Organisme causal	Symptômes	Partie de la plante affectée	Références
Pyrale du grenadier (Papillon du grenadier)	<i>Virachola Isocrates</i>	Les chenilles perforent le fruit et se nourrissent des arilles.	Fruit	NHB 2012, BDD
Chenille mangeuse d'écorce	<i>Indarbela tetraonis</i>	Le parasite perce la tige de l'arbre et se nourrit à l'intérieur.	Tige	NHB 2012, BDD
Perceur de tiges	<i>Aleurodes</i> sp.	Ce parasite fait un trou dans le tronc principal de l'arbre et se nourrit des tiges.	Tige	NHB 2012, BDD
Mouche blanche du grenadier	<i>Siphoninus phillyreae</i>	Jaunissement des feuilles, croissance courte et défoliation des feuilles dans les cas extrêmes.	Feuille	NHB 2012, BDD
Pucerons	<i>Aphis punicae</i>	Taches chlorotiques sur les feuilles.	Feuilles	NHB 2012, BDD
Cochenilles	<i>Drosicha mangiferae</i>	La cochenille suceuse de sève sécrète des gouttelettes sur les fruits dans le cadre de son activité alimentaire, sur lesquelles peuvent se développer des moisissures noires ou brun foncé. En conséquence les fruits tombent.	Fruit	NHB 2012, BDD
Insectes à écailles	<i>Saissetia nigra</i>	L'insecte se nourrit des fruits et des pousses tendres en suçant la sève cellulaire, ce qui provoque le dessèchement des pousses. L'invasion sévère peut entraîner le dessèchement de l'arbre entier.	Fruit	NHB 2012, BDD
Acarien plat	<i>Brevipalpus lewisi</i>	Provoque des rouilles et des fuites sur les fruits.	Fruit	Stover <i>et</i> Mercure, 2007
Rouleau à feuilles	<i>Platynola stultana</i>	Provoque des rouilles et des fuites sur les fruits.	Fruit	Stover <i>et</i> Mercure, 2007
Maladies causées par des parasites fongiques et bactériens				
Tache frutière de l'alternariose	<i>A. alternata</i>	Taches minuscules, rondes, de couleur rouge à brune sur la surface des fruits et des feuilles.	Fruits et Feuilles	Ezra <i>et al.</i> , 2010
Alternaria - pourriture noire interne	<i>A. alternata</i> , <i>A. tenuissima</i> et <i>A. arborescens</i>	//	Fruits	Tziros <i>et al.</i> , 2008
Pourriture du cœur	<i>Aspergillus niger</i>	Un champignon noir sporulant à l'intérieur des fruits provoque le pourrissement de l'écorce des fruits. La couleur des arilles et de l'écorce devient respectivement brune et pâle.	Fruits	Yehia, 2013
Pourriture des fruits	<i>Alternaria</i> Sp., <i>Fusarium</i> Sp., <i>A. Aspergillus niger</i>	Les symptômes sont similaires à ceux de la pourriture du cœur, de la pourriture des fruits et de la Tache des fruits.	Fruits	Munhuweyi <i>et al.</i> , 2016
Pourriture grise	<i>Botrytis cinerea</i> , <i>Botrytis spp.</i>	Le mycélium grisâtre provoque la pourriture des fruits entiers.	Fruits	Munhuweyi <i>et al.</i> , 2016
Flétrissement	<i>Ceratocystis fimbriata</i> , <i>Fusarium oxysporum</i> , <i>Rhizoctonia</i>	Le jaunissement et le flétrissement des feuilles entraînent la mort de la plante en quelques semaines.	Feuilles	Munhuweyi <i>et al.</i> , 2016
Anthraxose	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	Taches brunes foncées, rondes ou sporadiques, avec un centre déprimé, entraînant la pourriture des fruits.	Plante complète	Munhuweyi <i>et al.</i> , 2016
Pourriture des fruits	<i>Cytospora punicae</i>	Pourriture du col de l'apoplexie.	Fruits	Ammar <i>et</i> El-Nagggar, 2014
Pourriture bleue des fruits	<i>Penicillium implicatum</i>	Régions gorgées d'eau à la surface du fruit, suivies du développement de moisissures poudreuses vertes à bleu-vert. Les régions souillées sont bronzées ou grises à la coupe.	Fruits	Munhuweyi <i>et al.</i> , 2016
Pourriture des fruits	<i>Penicillium</i> sp., <i>Botrytis cinerea</i> , <i>Coniella granati</i> ,	Pourriture des fruits.	Fruits	Palavouzis <i>et al.</i> , 2015
Dépérissement et pourriture des fruits, pourriture sèche	<i>Coniella granati</i>	Pourriture des parties aériennes de l'arbre et développement de masses frutières autour du fruit.	Fruits	Munhuweyi <i>et al.</i> , 2016
Brûlure des pousses (chancre des tiges)	<i>Neofusicoccum parvum</i>	Les pousses atteintes de la maladie ont des nécroses sur la tige, ce qui entraîne la mort de l'arbre entier.	Tige	Kc <i>et</i> Vallad, 2016
Brûlure des feuilles	<i>Xanthomonas axanopodis punicae</i> pv	Taches brunâtres foncées, circulaires ou sporadiques imbibées d'eau sur les feuilles et les fruits. En cas de contamination extrême, une défoliation prématurée se produit.	Plante complète	Munhuweyi <i>et al.</i> , 2016

**Annexe 4** .....



**Annexe 4.** Dégâts causés par le papillon sur des fruits de grenadier (Reddy, 2014)

**Annexe 5** .....



**Annexe 5.** Brûlure bactérienne sur les feuilles et les fruits du grenadier (Reddy, 2014)

## Annexe 6 .....

### Annexe 6. Reportage TSA-Algérie sur la grenade de Messaad

#### **T S A** Algérie

**REPORTAGE.** 31 Octobre 2018. La **grenade** de **Messaâd**, une merveille en quête de reconnaissance. <https://www.tsa-algerie.dz/reportage-la-grenade-messaad-une-merveille-en-quete-de-reconnaissance/>

*Virée dans un marché d'Alger, un jour d'octobre. Tous les étals de fruits proposent des **grenades**, fruit de saison. Les prix varient entre 150 et 250 dinars, suivant un critère unique : le calibre...La labellisation et la traçabilité ne sont pas le fort de l'agriculture algérienne.*

*La **grenade** de **Messaâd**, par exemple, seuls de rares fins connaisseurs la recherchent, à Alger, et dans les autres grandes villes du pays. Pourtant dans toute la région des hauts-plateaux, à Djelfa, Laghouat, Boussaâda, tout le monde se l'arrache....*

*...C'est connu, les nutritionnistes du monde entier conseillent la consommation de la **grenade** qui protège des maladies cardiovasculaires, réduit le risque de cancer... Récemment, un médecin français très sérieux, du nom de Michel Cymes, a même proposé que ce fruit soit remboursé par la sécurité sociale, comme un médicament !*

*Mais la **grenade** de Djelfa a d'autres atouts. Elle se distingue par son goût exquis, sa forte teneur en jus et ses pépins tendres. Elle est cultivée essentiellement dans la région de **Messaâd**, à une soixantaine de kilomètres? au sud du chef-lieu de la wilaya.*

*Selon le chef de la subdivision agricole locale, Ahmed Nouari, 950 sur les 1200 hectares consacrés à la culture du grenadier dans la wilaya de Djelfa se trouvent à **Messaâd**. Les régions de **Deldoul**, **Amoura** et **Zakar** comptent aussi des vergers de grenadiers et produisent les mêmes variétés, mais en moindres quantités.*

*Article*

# Morphological variability of the fruits of seven pomegranate (*Punica granatum* L.) cultivars grown in Messaad region in central Algeria

Mohamed Lahouel, Safia Belhadj

Ziane Achour University of Djelfa. Faculty of Nature and Life Sciences. Route de Moudjebara. Djelfa (Algeria). E-mail: lahouelmohamed08@gmail.com

Received 5 February 2021, accepted 24 January 2022, available online 7 February 2022.

This article is distributed under the terms and conditions of the CC-BY License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>)

**Description of the subject.** In the Messaad region, in central Algeria, pomegranate (*Punica granatum* L.) is one of the main fruit crops in agricultural systems after apricot.

**Objectives.** To explore cultivar diversity, a study of the morphological variability of pomegranate fruits and seeds was carried out on the fruits of seven pomegranate cultivars: Khadraye KH1, Hamraye HM1, Senin Alouj SL1 from Messaad orchards, AM2 (Amourah) from Amourah orchards, Khadraye KH3, Mezabi MZ3, Senin Alouj SL3 from Zaccar orchards.

**Method.** Analysis of variance (ANOVA), a principal Component Analysis (PCA) followed by an Ascending Hierarchical Classification (AHC) based on quantitative morphological parameters are used.

**Results.** The results show similarities between classes according to which four main classes were grouped. The first class C1 consists of two cultivars (KH1 and SL1 of Messaad), while the second class C2 consists of one cultivar, HM1 of Messaad. The third class C3 consists of the very characteristic Romane Amourah (AM2) and the fourth and last class C4 includes all cultivars of the third station of Zaccar. The evaluation of the qualitative characteristics of color and taste of the fruit by a panel of amateur tasters reveals significant dissimilarities and similarities.

**Conclusions.** The results presented in this work clearly justify the variability and its interest in the preservation, exploitation and valorization of this genetic material, and for improving cultivated varieties of pomegranate that show appreciable economic performances.

**Keywords.** Aril, antioxidant activity, functional foods, Punicaceae, cultivar selection.

## Variabilité morphologique des fruits de sept cultivars de grenadier (*Punica granatum* L.) cultivés dans la région de Messaad, au centre de l'Algérie

**Description du sujet.** Dans la région de Messaad, au centre de l'Algérie, le grenadier (*Punica granatum* L.) est l'une des principales cultures fruitières des systèmes agricoles après l'abricot.

**Objectifs.** Pour explorer la diversité des cultivars, une étude de la variabilité morphologique des fruits et des graines du grenadier a été réalisée sur les fruits de sept cultivars de grenade : Khadraye KH1, Hamraye HM1, Senin Alouj SL1 des vergers de Messaad, AM2 (Amourah) des vergers d'Amourah, Khadraye KH3, Mezabi MZ3, Senin Alouj SL3 des vergers de Zaccar.

**Méthode.** Une analyse de la variance (ANOVA), une Analyse en Composantes Principales (ACP) suivie d'une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) basée sur des paramètres morphologiques quantitatifs sont utilisées.

**Résultats.** Les résultats montrent des similitudes entre les classes, selon lesquelles quatre classes principales ont été regroupées. La première classe C1 est constituée de deux cultivars (KH1 et SL1 de Messaad), tandis que la seconde classe C2 est constituée d'un cultivar, HM1 de Messaad. La troisième classe C3 est constituée d'un grenadier très caractéristique, Romane Amourah (AM2) et la quatrième et dernière classe C4 comprend tous les cultivars de la troisième station de Zaccar. L'évaluation des caractéristiques qualitatives de la couleur et du goût du fruit par un panel de dégustateurs amateurs révèle des dissemblances et des similitudes significatives.

**Conclusions.** Les résultats présentés dans ce travail justifient clairement la variabilité et son intérêt pour la préservation, l'exploitation et la valorisation de ce matériel génétique, ainsi que pour l'amélioration des variétés cultivées de grenadier qui présentent des performances économiques appréciables.

**Mots-clés.** Arille, activité antioxydante, aliment fonctionnel, Punicaceae, sélection de cultivars.

## 1. INTRODUCTION

Pomegranate (*Punica granatum* L.) is from the Punicaceae (L.) or the Lythraceae (APG II, 2003) botanical family which includes only one genus and two species, the other one, little-known, being *P. protopunica* Balf. peculiar and endemic to Socotra Island (Yemen). The plant is drought tolerant, winter hardy and can thrive well under desert conditions (Morton, 1987; Aseri et al., 2008; Chandra et al., 2010). It is a native tree from Iran, Afghanistan, and south east Turkey. The species is a fruit tree with deciduous leaves which, in recent years, has seen great expansion in several countries, especially those with Mediterranean-like climates, where fruits of excellent quality can be produced. The pomegranate tree is well adapted to many different climates and soils; very often it grows in poor soils (Martinez et al., 2006; Soriano et al., 2011; Crivellaro et al., 2013; Hernández et al., 2014).

Pomegranate had a rich symbolic role in the art, literature, and religion of numerous cultures. In nearly every part of the globe where the pomegranate grew, it came to represent fundamental dualities: life and death, inside and out, many and one (Ruis, 2015).

Recently, pomegranate has established itself as a functional food of increasing interest, both economically and within the scientific community, which has generated a significant increase in publications focused mainly on its characteristics, benefits, and nutritional composition (Melgarejo et al., 2020). Indeed, pomegranate is a species of great importance for not only the food, pharmaceutical and cosmetic industries but also for the traditional medicine, it is regarded as “a Pharmacy unto itself” in Ayurveda which specifically uses it to treat infections, inflammations and fungal diseases. Many pomegranate cultivars can be considered as a source of fiber and natural antioxidants to develop or enhance functional foods (Alcaraz-Mármola et al., 2017; Khwairakpam et al., 2018; Souza et al., 2018).

Its therapeutic properties have been used to treat different conditions (cardiovascular, neurological, diabetes and cancer) for hundreds of years. Numerous studies have recently shown the antioxidant, anti-inflammatory and anti-tumoral properties of pomegranate as cited by Khwairakpam et al. (2018) and Sreekumar et al. (2014). As well, inhibition of tumor invasion has been proven in several experimental models of urological tumors such as in prostate cancer (Chéchile-Toniolo, 2012). It has always been allocated for fresh consumption, but recently there is a huge demand for industrial processing to obtain pomegranate juice, jams, etc. (Martinez et al., 2006).

Worldwide *P. granatum* production has expanded greatly due to recent evidence on the fruit health

attributes (Borochoy-Neori et al., 2011). Current global production estimates for pomegranate are unavailable (Stover & Mercure, 2007). From the data provided by different researchers and associations, the total world area dedicated to pomegranate cultivation is well above 300,000 ha, of which more than 76% is found in five countries (India, Iran, China, Turkey and the USA), the estimation of world pomegranate production is more than 3 million tons. The data provided does not, therefore, correspond to an exact year and constitutes an estimation based on different sources (Melgarejo-Sánchez et al., 2013).

In the 2013/2014 crop year, Algeria's location in the Mediterranean basin makes it one of the most productive pomegranate countries with 81,390 tons, where the cultivated area was estimated at 9,439 ha with a yield of 8,620 kg·ha<sup>-1</sup> (MADR, 2016). Consequently, the country occupies a significant position among pomegranate-producing countries despite the technical and economic difficulties, such as exportation encountered in this sector.

With a pomegranate area of 1,094 ha, *i.e.* 11.59% of the total cultivated area in Algeria, a production of 10,704 tons, *i.e.* more than 13.15% of the national production of pomegranate, a yield of 9,784 kg·ha<sup>-1</sup> and the quality of its fruits, the region of Messaad, which traditionally includes the areas of Messaad, Ain El Ibel, Zaccar, Moudjebara, Amourah and Faid El Botma, in central Algeria, has become a promising area for this activity (DSA, 2017). In addition, *P. granatum* varieties from Messaad, some of which are subject to severe erosion, adapt well to aridosols despite the limiting conditions such as physical, chemical and climatic characteristics. The development of these crops is of paramount importance given the size of this land in Algeria (Lahouel, 2014).

The objective of this work was to determine the phenotypic variability among several *P. granatum* cultivars grown in these regions and to highlight its economic interest. A morphological study is conducted by the examination of the characteristics of the fruits and the seeds of seven cultivars from three different locations.

## 2. MATERIALS AND METHODS

### 2.1. Study location and environmental conditions

The study took place in the region located south of Djelfa district in central Algeria. Three different locations: Messaad, Amourah and Zaccar sites were retained.

The evolution of rainfall and temperatures reflects the recent climate upheaval experienced in recent years

in North Africa and the Great Maghreb (Nouaceur et al., 2013). During 16 years (2002-2017), it is mentioned that July is the hottest month for the three stations Messaad, Amourah and Zaccar with respectively average values of 29.23 °C, 28.04 °C and 27.28 °C, the coldest month is January with respectively 7.27 °C, 6.08 °C and 5.32 °C. During the same period, precipitation is low with a large inter-monthly and inter-annual variability and it is particularly concentrated in winter and autumn and is lower in summer (June-July) (**Figure 1**) (ONM, 2020).

The inter-annual variability of precipitation is significant and is 182.80 mm for the year 2002 and 146.5 mm for the year 2017 with a standard deviation of 63.37 mm in Messaad. It is 202.80 mm for the year 2002 and 166.5 mm for the year 2017 with a standard

deviation of 63.67 mm in Amourah and about of 212.80 mm for the year 2002 and 176.5 mm for the year 2017 with a standard deviation of 67 mm in Zaccar. The dry period in Messaad and Amourah is longer than in Zaccar station (**Figure 1**). The main characteristic of the prevailing winds in the region is the frequency in summer of the sirocco, of desertic origin, hot and dry, whose duration may vary from 20 to 30 days per year (**Figure 1**) (ONM, 2020). Due to the altitude effect (**Table 1**), the sites Messaad and Amourah are located in the bioclimatic arid stage with a cool winter while the station Zaccar is located in arid bioclimate with cold winter on the Emberger's climatogram (data not shown).

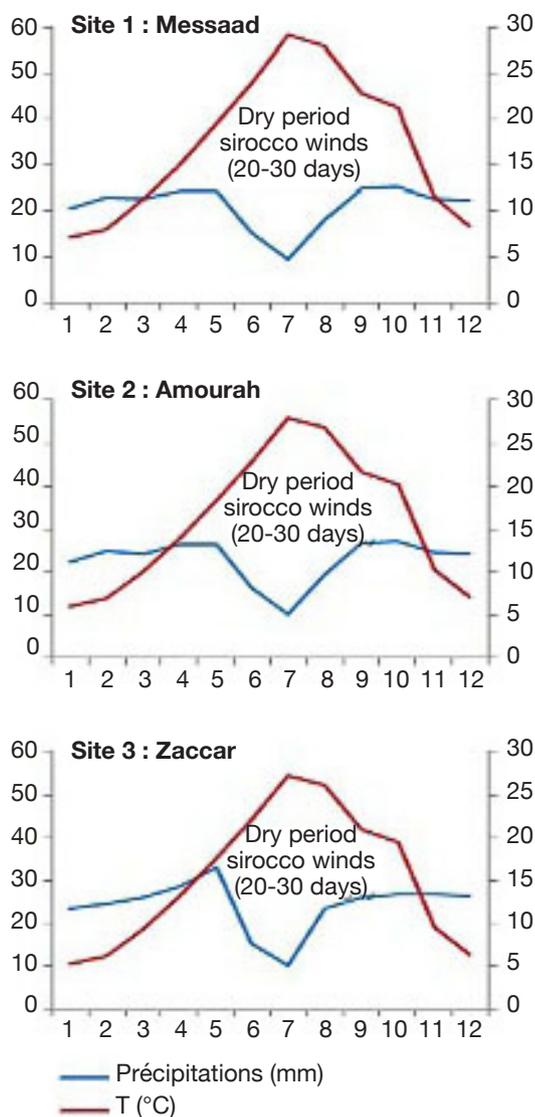
In the absence of soil maps on the region, except for that of Pouget (1976), our description will take into account this former document. The gradient related to soil categories shows their paucity and fragility as a general comment. The soil profile of the three sites is classified as calcimagnesian xeric soil with a calcareous crust (limestone), which means that the soils are calcareous from the surface; this results in an alkaline pH, sometimes close to neutrality and saturated absorbent complexes. These characteristics therefore play only a very limited role in soil differentiation, but also as ecological factors responsible for some ecological determinism (edaphic ecological group: psamophytes, halophytes, gypsophytes; indicator species for edaphic factors: sand, salt, gypsum, etc.). Their richness in nitrogen, especially the rhizospheric area, is the result of the root activity and the microbial biomass in the soil/root interface (Pouget, 1980; Lahouel et al., 2016).

## 2.2. Plant material

Our study was conducted during the *P. granatum* fruiting season of 2018 in Messaad region. The selected plant material (KH1, HM1, SL1, AM2, KH3, MZ3 and SL3) is among the main cultivars existing in the central region of Algeria (**Table 1**).

The consecutive fruit's ripening of cultivars SL1 of Messaad, MZ3 of Zaccar, KH3 and SL3 of Zaccar at end of September occurs with more or less high temperatures (between 20-23 °C). During the month of October, the temperature declines to less than 18 °C, the cultivars HM1 of Messaad, AM2 of Amourah and KH1 (Messaad) reach respectively maturity and can be harvested.

According to the phenological stages of pomegranate (**Table 2**), fruit setting and growth coincide with high temperatures, low rainfall and sirocco winds, which occur during the summer period. This situation pushes the farmers to practice regular irrigation in order to maintain their crops, formative and fruit tree pruning and organic manuring in the objective to increase production.



**Figure 1.** Umbrothermal diagram of the Messaad area (2002-2017) — *Diagramme ombrothermique de la zone de Messaad (2002-2017).*

**Table 1.** Geographical origin (G.o), age, harvest day, density and yield of the studied pomegranate cultivars grown in the studied area (Borehole B, Natural water source Nws) — *Origine géographique (G.o), âge, date de récolte, densité et rendement des cultivars de grenadier dans la zone étudiée (Forage B, Source d'eau naturelle Nws)..*

Cultivar	Code	G.o	D.M.S	Altitude	Irrigation	Age (year)	Harvest date	Area (ha)	Density (tree·ha <sup>-1</sup> )	Yield (kg·tree <sup>-1</sup> )
Khadraye of Messaad	KH1	Messaad	34° 15' 28" N 3° 23' 07" E	829 m	B	14	10/10/2018	2.5	200	35
Hamraye of Messaad	HM1	Messaad	34° 10' 00" N 3° 31' 06" E	751 m	B	17	02/10/2018	2.0	250	40
Senin Aloudj of Messaad	SL1	Messaad	34° 09' 47" N 3° 29' 59" E	754 m	B	15	20/09/2018	3.0	300	45
Romane Amourah	AM2	Amourah	34° 21' 21" N 3° 52' 25" E	1,022 m	Nws	25	05/10/2018	2.5	150	20
Khadraye of Zaccar	KH3	Zaccar	34° 25' 38" N 3° 19' 58" E	1,076 m	Nws	18	25/09/2018	1.5	200	25
Mezabi of Zaccar	MZ3	Zaccar	34° 25' 38" N 3° 19' 58" E	1,076 m	Nws	18	20/09/2018	1.5	200	20
Senin Aloudj of Zaccar	SL3	Zaccar	34° 25' 38" N 3° 19' 58" E	1,076 m	Nws	18	25/09/2018	1.5	200	30

### 2.3. Morphological parameters studied

The study was conducted on seven cultivars. Thirty trees were randomly selected from each orchard, 10 fruits were randomly picked from each tree and 20 seeds were manually extracted randomly from each fruit. The morphological parameters studied were measured on 300 fruits (300 repetitions) and 6,000 seeds (6,000 repetitions) for each cultivar (**Figure 2**).

**Quantitative parameters.** The diameter and the length of the fruit, the length of the crown, the length and the width of the seeds, the length and the width of the tegmen (woody portion) were measured, using a digital caliper with an accuracy of 0.01 mm. Fruit and rind weights were measured with a scale with an accuracy of 0.1 g (**Table 3**).

**Qualitative parameters.** For the external fruit shape coded by Fs and the presence of the nipple on the fruit coded by Pn; these two parameters are measured with the naked eye and classified according to the UPOV (2012) descriptor (**Table 4**).

**Taste and color.** To measure the sensory characteristics for the taste and the color of the *P. granatum* fruit, a test centered on consumers was used with a panel of inexperienced amateur tasters (Watts et al., 1991) of thirty people at the different stations. The amateur taster panels (pilot consumer panels usually consisting of 30 to 50 inexperienced people) are selected from the workers who are employed (non-trained tasters) in the orchard. The focus should be on selecting a group of tasters comparable to the target consumer population that uses the product (representative of consumers). Thirty people were chosen for each site in order to discriminate between the three tastes: sweet, sour-sweet, sour for each cultivar. To record the results, our method consists of asking subjects to rate the perceived degree of each of the above mentioned sensory characteristics of the fruit. The rating is held as one point for each selected taste.

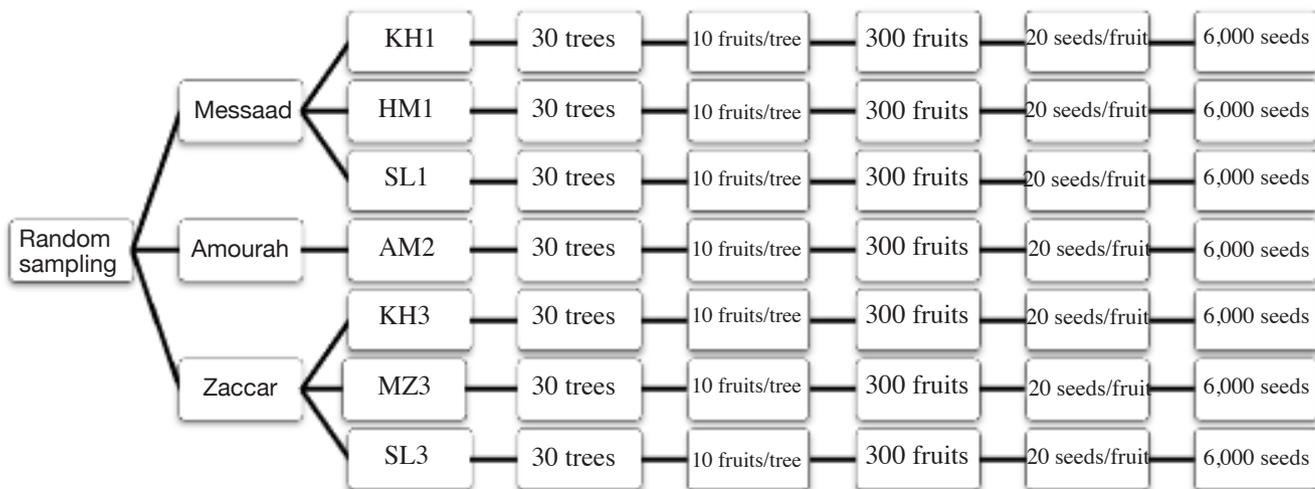
Expert taster panels are used for product-oriented testing. These panels are usually small and made up of 5 to 15 tasters who have been chosen for their sensory acuity and have received special training for the task (Bacle et al., 2009). Unfortunately, there are no expert tasters in our district who have received special training to taste the fruit.

### 2.4. Statistical analysis

Statistical analyses have been performed using XLSTAT software (version 2014 for Windows). A basic descriptive statistical analysis was followed by an Analysis of variance and a Principal Component Analysis (PCA). An Ascending Hierarchical Classification (AHC) was

**Table 2.** Phenological stages of the pomegranate in the Messaad region — *Stades phénologiques du grenadier dans la région de Messaad.*

Month	Nov	Dec	Jan	Feb	March	April	May	June	July	Ag	Sep	Oct
Phenological stage	Leaf fall and vegetative rest				Bud burst	Flowering		Fruit setting			Fruit ripening	
						Leaf growth		Fruit growth				

**Figure 2.** Sampling experimental design — *Protocole expérimental de l'échantillonnage.***Table 3.** Main studied quantitative morphological parameters for the fruits and the seeds — *Principaux paramètres morphologiques quantitatifs étudiés pour les fruits et les graines.*

Parameter	Fruit length without crown (mm)	Fruit diameter (mm)	Fruit weight (g)	Crown length (mm)	Rind weight + carpellary membranes (g)	Seeds yield	Seed length (mm)	Seed width (mm)
Code*	L1	D1	Fw	L2	Rw+Cm	Sy	Ls	Ws
	Tegmen length (mm)	Tegmen width (mm)	Fruit form index	Fruit calyx index				
Code*	Lt	Wt	If	Ic				

\* Sy=  $[Fw-(Rw+Cm)/Fw] \times 100$  (%), If=  $(D1/L1) \times 100$  (%), Ic=  $[L2/(L1+L2)] \times 100$  (%).

also performed. This analysis has been applied to the data for hierarchical associations using the Ward's method.

### 3. RESULTS

#### 3.1. Quantitative parameters

Showing a very highly significant effect, all cultivar lengths and diameters L1 and D1 are more than 80 mm, excepted for AM2 (Amourah) for which it was registered a length of 75.21 mm and a diameter close to 70 mm. Our samples diameters show values between

nearly 70 mm for AM2 (Amourah) and 91.95 mm for SL3 (Zaccar). At the same time, L1 and D1 are positively correlated. Fruits with the longest lengths have the largest diameters such as HM1 of Messaad, SL3 and KH3 of Zaccar (Table 5).

For the fruit weight (Fw), this agronomically interesting variable, signification is very high between cultivars. The average Fw varies between a maximum value of 317.39 g for HM1 (Messaad) and 135.85 g for AM2 (Amourah) as a minimum value. Cultivars KH3, MZ3 and SL3 of Zaccar have average weights of 271.25 g, 287.78 g and 276.21 g respectively, which are, relatively, close to each other. Another agronomically valuable variable, seed yield, shows a

**Table 4.** Qualitative variables measured for the fruits and the seeds (adapted from UPOV, 2012) — *Variables qualitatives mesurées pour les fruits et les grains (adapté de UPOV, 2012).*

Variable	Code	Value
Fruit shape	Fs	1, 3, 5, 7
Presence of nipple	Pn	1, 9
Fruit color	Fc	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10
Seed color	Sc	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7
Taste	Ts	Sour; sour-sweet; sweet

Fs: 1, round — *rond*; 3, ovate — *ovoïde*; 5, oval — *ovale*; 7, elliptical — *elliptique*; Pn: 1, absent on fruit — *absent sur le fruit*; 9, present on fruit — *présent sur le fruit*; Fc: 1, orange — *orange*; 2, orange red — *orange rouge*; 3, pink — *rose*; 4, pink red — *rose rouge*; 5, medium red — *rouge moyen*; 6, red purple — *rouge pourpre*; 7, purple — *pourpre*; 8, dark purple — *pourpre foncé*; 9, light green — *vert clair*; 10, yellow red — *jaune rouge*; Sc: 1, white — *blanc*; 2, light pink — *rose clair*; 3, medium pink — *rose moyen*; 4, dark pink — *rose foncé*; 5, light red — *rouge clair*; 6, medium red — *rouge moyen*; 7, dark red — *rouge foncé*.

very high significant effect. HM1 (Messaad) records the highest value with 73.33%, and in the same site, SL1 (Messaad) has the lowest value with 62.03%. Although the Fw of SL3 (Zaccar) is higher than that of KH3 (Zaccar), the seed yield of KH3 with 66.32% is higher than that of SL3 (Zaccar) with 65.11%. Statistically, Fw is positively correlated with the rind and carpellary membranes weight Rw+Cm, consequently they have almost the same quantity of the edible part (Tables 5 and 6).

Highly significantly differences among cultivars are recorded, the crown length is between 17 mm and 23 mm, this is a mean value for all cultivars. It is correlated positively with L1 and D1 which present the size of the fruit, thus the fruits of HM1 of Messaad and SL3 of Zaccar have the longest crowns (Tables 5 and 6). Despite the non-significance in values, the Ic records are between 18.57% for KH3 (Zaccar) and 19.17% for HM1 (Messaad). The If of the seven studied cultivars is always less or near to 100, indicating that the equatorial diameter in all fruits is smaller than the fruit length without calyx (between 89.98% for SL1-Messaad and 96.94% for KH3-Zaccar).

The values of the quantitative parameters for the seeds show a statistically very high significance between cultivars excepted for the tegmen length. *Ls* is between 9.35 mm for AM2 (Amourah) and 11.66 mm for KH1 (Messaad); a *Ws* between 6.21 mm for AM2 (Amourah) and 7.53 mm for SL1 (Messaad). For the woody part, *Lt* is between 6.97 mm for AM2 (Amourah) and 7.85 mm for KH1 (Messaad), *Wt* is

between 2.93 mm for AM2 (Amourah) and 3.22 mm for KH1 (Messaad). Cultivar AM2 (Amourah) shows the lowest values for all the studied parameters. In addition, the correlation matrix shows a positive dependence between *Ls* and *Lt* with a coefficient of 0.94 and between *Ws* and *Wt* with a coefficient of 0.88 (Tables 5 and 6).

The Pearson squared coefficient ( $R^2$ ) gives an idea on the proportion of variability in one variable which may be explained by the other. Through our statistical analyses (Table 5), the quantitative fruit characteristics (L1, D1, Fw, L2, Rw+Cm and Sy) and the quantitative seed parameters (*Ls*, *Ws* and *Wt*) and their differences can be strongly related to cultivar types, these results are confirmed by the ANOVA which shows a very high significance for all these parameters (dependent variables) and which is explained statistically by the "cultivar" effect (independent factor).

### 3.2. Qualitative parameters

Most cultivars have a round to ovate fruit shape without nipple, results are confirmed by the If values (Table 5) which are mostly near 100%.

Cultivars show variations in fruit color from light to dark color. SL1 (Messaad) and SL3 (Zaccar) have a yellow red fruit color, KH1 (Messaad) and KH3 (Zaccar) have the same fruit color light green; AM2 (Amourah) has a red purple fruit color (Figure 3).

Cultivars KH1 (Messaad), KH3 and MZ3 (Zaccar) have the same seed color: dark red. HM1 (Messaad), SL1 (Messaad) and SL3 (Zaccar) have medium to light seed color (Table 7, Figure 3). For the pomegranate flavor, our sample is divided into two groups; the first one: KH1, SL1 (Messaad), AM2 (Amourah) and SL3 (Zaccar) have a sweet taste while the second one: HM1 (Messaad), KH3 and MZ3 (Zaccar) is characterized by a sour-sweet taste (Table 7).

### 3.3. Principal Component Analysis (PCA) and Ascending Hierarchical Classification (AHC)

In general, all the traits studied are positively correlated with each other except Sy but the intensity of the binding differs from each other. The parameters L1, D1, L2, Rw+Cm and *Ws* are positively correlated with Fw, with highly significant values (close to value 1). Tegmen length and width *Lt*, *Wt* have a highly significant correlation with *Ls* and *Ws* (Table 6). The seed yield is negatively correlated with Rw+Cm with a value of -0.5, indicating the influence of the peel weight on the fruit edible part.

The first three principal components explain more than 94% of the total variation. Almost 85.97% of the observed variability (Figure 4) is explained by the first two components concerning morphological

**Table 5.** Mean values for the studied quantitative morphological parameters of pomegranate fruits and seeds (ANOVA test) — Valeurs moyennes des paramètres morphologiques quantitatives étudiés des fruits et graines de grenadier (Test d'ANOVA).

Cultivar	Parameter	L1***	D1***	Fw***	L2***	Rw+Cm***	Sy***	LS***	WS***	Lt <sup>ns</sup>	Wt***	If***	Ic <sup>ns</sup>
	R <sup>2</sup>	<b>0,75</b>	<b>0,75</b>	<b>0,78</b>	<b>0,41</b>	<b>0,81</b>	<b>0,96</b>	<b>0,92</b>	<b>0,81</b>	<b>0,04</b>	<b>0,60</b>	<b>0,35</b>	<b>0,04</b>
	Pr > F	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	<b>0,25</b>	< 0,0001	< 0,0001	<b>0,17</b>
KH1 Messaad		87,04 ± 5,40	82,69 ± 6,25	243,4 ± 28,0	19,90 ± 2,69	71,2 ± 8,0	70,74 ± 0,20	11,66 ± 0,11	7,24 ± 0,07	7,85 ± 0,05	3,22 ± 0,04	94,99 ± 3,42	18,61 ± 1,34
HM1 Messaad		96,34 ± 3,30	90,65 ± 2,65	317,4 ± 33,7	22,85 ± 0,90	84,6 ± 8,6	73,33 ± 0,60	10,31 ± 0,19	7,37 ± 0,21	7,09 ± 0,15	3,15 ± 0,08	94,09 ± 2,42	19,17 ± 0,56
SL1 Messaad		89,89 ± 5,43	80,89 ± 5,24	228,6 ± 41,8	21,30 ± 1,92	86,8 ± 15,1	62,03 ± 0,72	10,98 ± 0,23	7,53 ± 0,34	7,53 ± 0,38	3,21 ± 0,12	89,98 ± 3,95	19,16 ± 1,09
AM2 Amourah		75,21 ± 3,87	69,99 ± 5,26	135,9 ± 25,3	17,29 ± 2,17	38,8 ± 7,4	71,43 ± 0,70	9,35 ± 0,25	6,21 ± 0,24	6,97 ± 0,18	2,93 ± 0,07	93,06 ± 3,57	18,69 ± 1,74
KH3 Zaccar		90,27 ± 3,89	87,51 ± 3,41	271,2 ± 19,1	20,58 ± 1,18	91,4 ± 5,7	66,32 ± 0,94	10,39 ± 0,22	7,39 ± 0,13	7,36 ± 6,73	3,16 ± 0,11	96,94 ± 1,94	18,57 ± 0,82
MZ3 Zaccar		93,75 ± 2,05	90,12 ± 1,85	287,8 ± 25,7	21,45 ± 0,87	87,8 ± 6,9	69,48 ± 0,62	11,02 ± 0,09	7,16 ± 0,09	7,48 ± 0,12	3,04 ± 0,06	96,13 ± 1,46	18,62 ± 0,69
SL3 Zaccar		97,72 ± 3,26	91,95 ± 2,79	276,2 ± 25,5	22,40 ± 3,68	96,4 ± 8,8	65,11 ± 1,00	11,08 ± 0,30	7,26 ± 0,18	7,75 ± 0,17	3,19 ± 0,09	94,09 ± 2,35	18,65 ± 2,24

L1, D1, Fw, L2, Rw+Cm, Sy, LS, WS, Lt, Wt, If, Ic: see table 3 — voir tableau 3; \*\*\*: very highly significant — très hautement significatif; \*\*: highly significant — hautement significatif; \*: significant — significatif; ns: non-significant — non significatif.

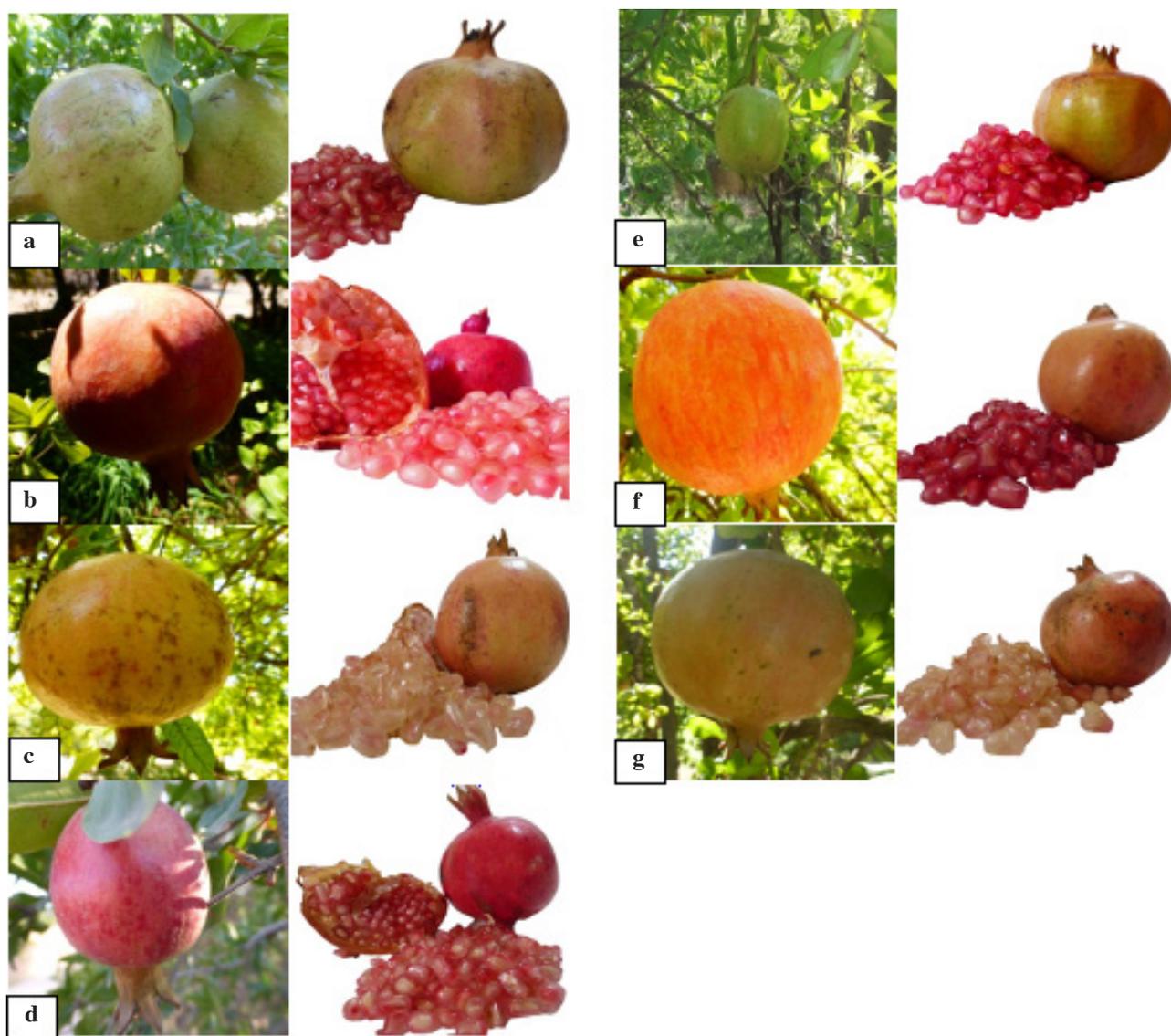
parameters (F1 and F2 axes). The first component, F1, which counts 68.59% of the total variance, is positively related to fruit size (L1, D1, Fw, L2 and Rw+Cm) and seed size (LS, WS, Lt and Wt) (Figure 4), while F2 counts 17.38% of the total variance. The F2 axis is positively correlated to the biometric measurements of the seed (LS, WS, Lt and Wt), while inversely correlated to those of the fruit (L1, D1, Fw, L2 and Sy) (Figure 4).

Messaad's Hamraye (HM1) cultivar registers a more negative result on the Y-axis of the second principal component and thus confirms its differentiation from other cultivars which is explained essentially by maximum values recorded for parameters like the fruits weight. Some cultivars such as KH1 and SL1 of Messaad are relatively close to each other on the X-axis (F1). Ecotypes KH3, MZ3 and SL3 of Zaccar scored positively on the X axis (F1) and separated from the others on the Y axis (F2); these two groups are characterized by large fruit size compared to the others. AM2 (Amourah) is negatively correlated with F1 and this is related to its small fruit and seed size (Figure 4).

The results obtained from AHC, using the agglomerative method based only on the quantitative morphological characteristics of fruits and seeds, are presented as dendrograms (Figure 5), in which four main classes were grouped together. The first class C1 consists of two cultivars: KH1 (Messaad) and SL1 (Messaad), while the second class C2 includes only one particular cultivar: HM1 (Messaad). The third class C3 consists of the very characteristic Romane Amourah cultivar (AM2) and the fourth and last class C4 includes the cultivar of the third station of Zaccar, with morphologically similar characteristics.

**Table 6.** Correlation matrix (Pearson [n]) — *Matrice de corrélation (Pearson [n])*.

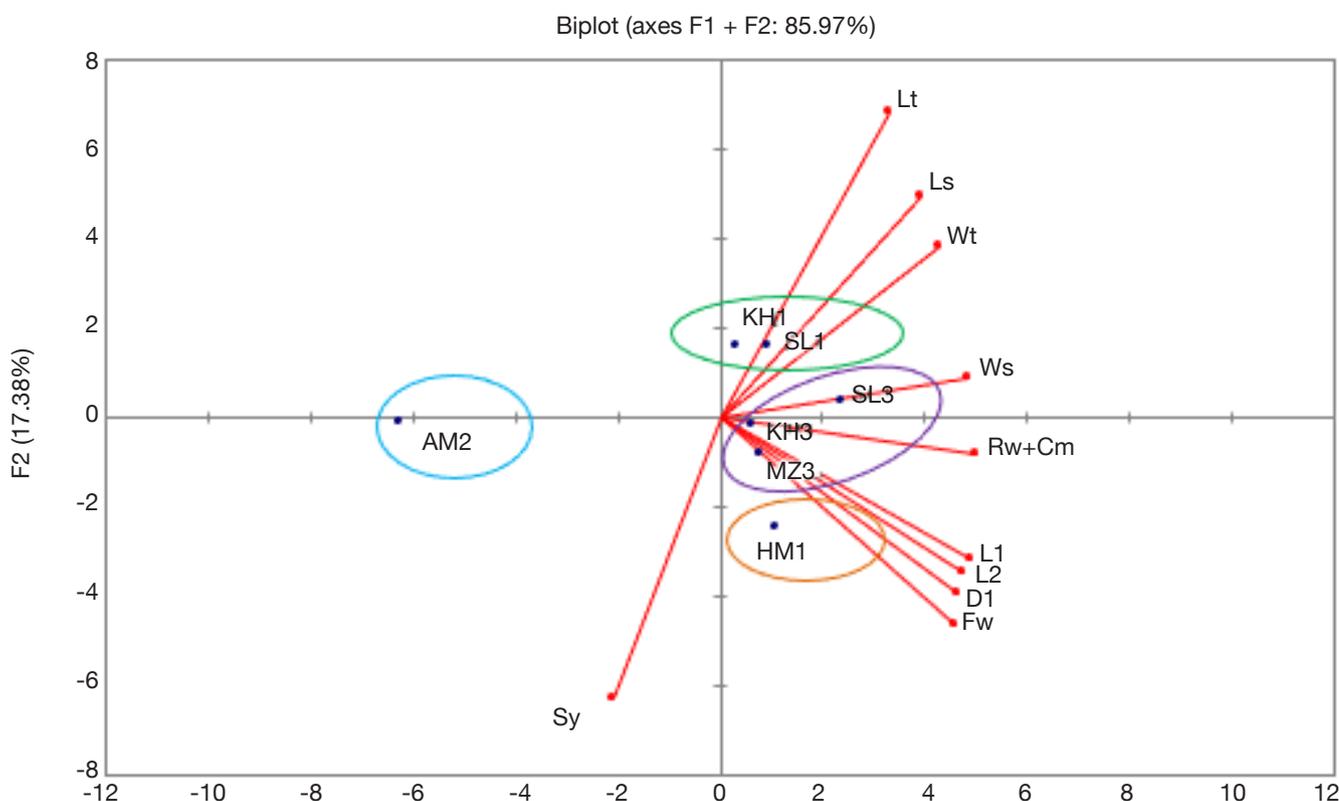
Variables	L1	D1	Fw	L2	Rw+Cm	Sy	Ls	Ws	Lt	Wt
L1	1	0,97	0,94	0,98	0,93	-0,23	0,55	0,80	0,41	0,61
D1	0,97	1	0,96	0,91	0,90	-0,10	0,52	0,74	0,39	0,53
Fw	0,94	0,96	1	0,91	0,86	0,01	0,50	0,79	0,29	0,56
L2	0,98	0,91	0,91	1	0,89	-0,22	0,50	0,82	0,32	0,62
Rw+Cm	0,93	0,90	0,86	0,89	1	-0,50	0,60	0,90	0,50	0,70
Sy	-0,23	-0,10	0,01	-0,22	-0,50	1	-0,33	-0,46	-0,46	-0,45
Ls	0,55	0,52	0,50	0,50	0,60	-0,33	1	0,69	0,94	0,76
Ws	0,80	0,74	0,79	0,82	0,90	-0,46	0,69	1	0,53	0,88
Lt	0,41	0,39	0,29	0,32	0,50	-0,46	0,94	0,53	1	0,70
Wt	0,61	0,53	0,56	0,62	0,70	-0,45	0,76	0,88	0,70	1

**Figure 3.** Fruits and seeds — *Fruits et graines*.

a: KH1 (Messaad); b: HM1 (Messaad); c: SL1 (Messaad); d: AM2 (Amourah); e: KH3 (Zaccar); f: MZ3 (Zaccar); g: SL3 (Zaccar).

**Table 7.** Mean values registered for the studied qualitative morphological parameters of pomegranate fruits and seeds — *Valeurs moyennes des paramètres morphologiques qualitatifs étudiés des fruits et graines de grenadier.*

Fruit	Fruit shape (frequency %)		Presence of nipple (frequency %)		Fruit color	Seed color	Taste
	Round	Ovate	Absent	Present			
KH1 Messaad	64.00	36.00	100.00	0	Light green	Dark red	Sweet
HM1 Messaad	62.33	37.67	100.00	0	Orange red	Medium pink	Sour-sweet
SL1 Messaad	79.00	21.00	100.00	0	Yellow red	White	Sweet
AM2 Amourah	53.33	46.67	100.00	0	Red purple	Light red	Sweet
KH3 Zaccar	42.67	57.33	100.00	0	Light green	Dark red	Sour-sweet
MZ3 Zaccar	61.33	38.67	100.00	0	Orange red	Dark red	Sour-sweet
SL3 Zaccar	84.67	15.33	100.00	0	Yellow red	White	Sweet



**Figure 4.** Principal Component Analysis (PCA) Biplot — *Analyse en Composantes Principales (ACP) Biplot.*

## 4. DISCUSSION

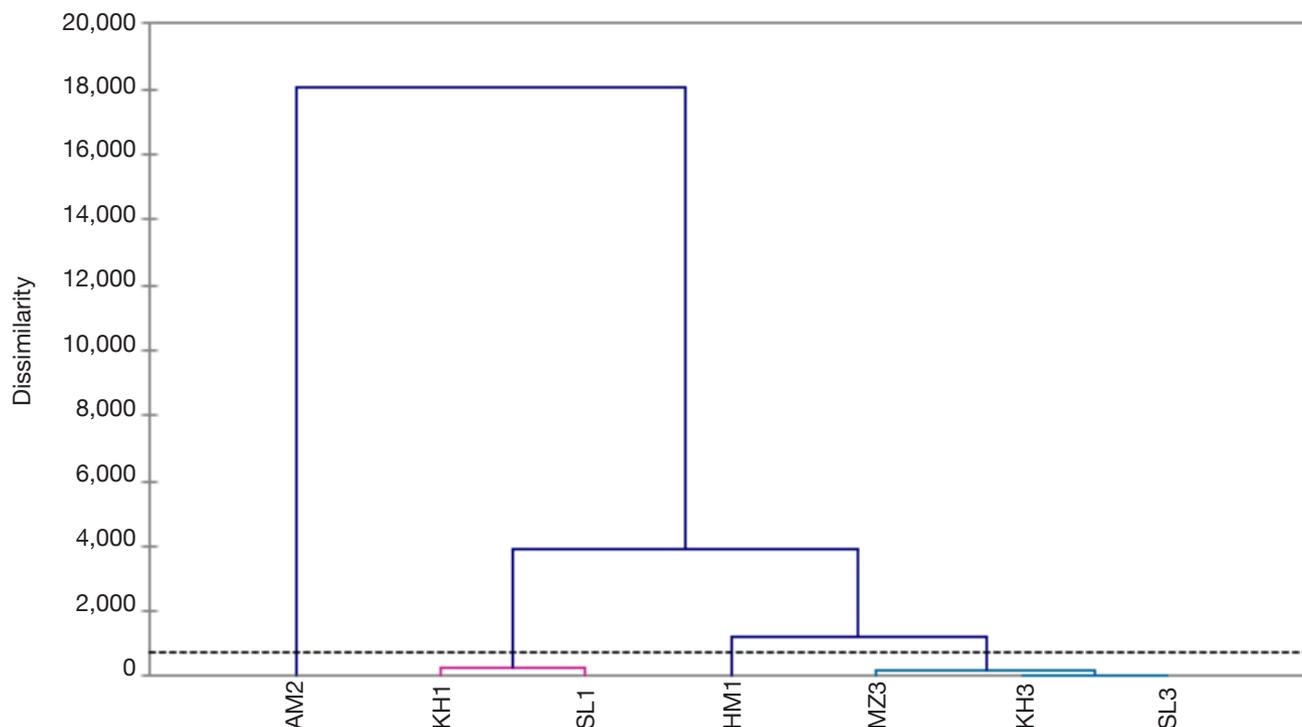
### 4.1. Quantitative parameters

In Mars & Sayadi (1992) study, the fruits with the greatest height are those of Zehri (8.2 cm) and Kalaii (8.1 cm) varieties. The fruits with the highest equatorial diameter are found on Kalaii (8.9 cm) and Zehri (8.8 cm). The smallest pomegranates are those of the Spanish variety (7.9 cm) while Tapiia-Campos et al. (2021) recorded 8.92 cm as a mean value for

polar diameter, 8.14 cm as a mean value for equatorial diameter in 16 pomegranate genotypes studied.

For our samples, all cultivar lengths are classified as long, except for AM2 (Amourah) which is considered as medium. Comparing to a Tunisian study (Mars & Marrakchi, 1999) for 30 accessions, lengths recorded show a great variability between short, medium and long sizes. For diameters, this result ranks all cultivars as large referring to the *P. granatum* descriptor (NRCP, 2005).

For the fruit weight, our samples are practically in the same range, comparing to results recorded by



**Figure 5.** Ascending Hierarchical Classification (AHC) based on the quantitative morphological characteristics of the fruits and the seeds — *Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) basée sur les caractéristiques morphologiques quantitatives des fruits et des graines.*

Martinez et al. (2006) which reported between 251.05 g as minimum and 421.10 g as maximum values in the characterization of five Spanish *P. granatum*. For Mars & Sayadi (1992), values between 292 g as minimum and 400 g as maximum were recorded for the study of five pomegranate varieties. Fruit size, rind weight, total aril weight, 100-aril weight, juice weight and aril width were found to have a strong positive correlation ( $p < 0.01$ ) with fruit weight (Chandra et al., 2012). Kumari et al. (2019) specified that a highest critical difference at 5% were 13.21 for fruit weight. Fruit weight was positively correlated with fruit peel thickness ( $r = + 0.11$ ). In Tapia-Campos et al. (2021) study, authors reported that the polar diameter, equatorial diameter and fruit weight can explain more than 90% of the variation using a PCA test in first factor PC1.

In our case, fruit length, fruit diameter, crown length and rind weight are highly correlated with fruit weight. These results are confirmed by Mars & Sayadi (1992) where the heaviest fruits have the highest measured fruit parameters.

For the seed yield, Hernández et al. (2014) recorded for the Spanish *P. granatum* accessions values varying between 52.67% and 65.87%, while for Martinez et al. (2012) the values are between 53.4% and 61.2% for the Moroccan cultivars. For a selection of Tunisian

pomegranate (Mansour et al., 2011), the percentage of seeds is between 57.72% and 78.90%. According to these studies, our samples have considerable seed yields.

According to Martinez et al. (2012), the morphometric variables measured in the fruits have economic interests, and not just because of their acceptance or rejection by the consumer, but additionally because of their influence upon industrial manipulation of this fruit; for instance, cultivars with a high calyx index are more sensitive to calyx breakage, and therefore their external aspect becoming negatively affected.

Al-Yahyai et al. (2009) claim that the variability in fruit shape during the period of commercial harvest, fruit harvesting based solely on size and shape for all cultivars are not sufficient to ensure optimum maturity for fruit utilization and performance during postharvest handling and storage. Other indicators such as the changes in physico-chemical fruit attributes at maturity may be taken into account when assessing readiness to harvest to ensure optimum income returns to growers.

For the seed parameters ( $L_s$ ,  $W_s$ ,  $L_t$  and  $W_t$ ), all are positively correlated.  $L_s$  and  $W_s$  have a high value of correlation coefficient. Martinez et al. (2006) showed a positive correlation between these parameters excepted between  $W_s$  and  $L_t$  which is negative.

#### 4.2. Qualitative parameters

For the taste, all cultivars are suitable for fresh consumption. Kumari et al. (2019) confirmed that *P. granatum* is quite popular among consumers for its striking, sweet acidic taste and refreshing arils. According to Boussaa et al. (2018), the consumers showed significant differences in their overall liking and in their satisfaction degree for all studied sensory attributes. The descriptive panel was not able to find differences in the intensity of the individual sensory attributes under study (sourness, sweetness, and astringency) as affected by the microclimates, the consumers scored better their satisfaction degrees for both aroma and taste.

Messaad, Amourah and Zaccar cultivars showed variations in fruit color from yellow red, light green to red purple. Dafny-Yalin et al. (2010) indicated that the skin color of the peel is the first trait affecting consumer choices; however, the color of the peels cannot predict the appropriate day of harvest and aril quality. Color varies significantly between cultivars, from white-yellow through orange-pink, to intense red and purple.

The color of the fruit and the seeds showed significant dissimilarities and similarities from white to dark red. All cultivars are presenting appropriate organoleptic characteristics for fresh consumption. These dissimilarities are very useful for breeding; an interesting research work conducted by Jalikop et al. (2010) revealed that selecting genotypes with vividly colored arils is useful in breeding varieties free from aril browning. Other authors (Boročov-Neori et al., 2011) revealed on the basis of RP-HPLC analysis of the arils' anthocyanins under climate effects, that anthocyanin accumulation, which conferred fruit's red color, changed inversely to the season's temperatures. Cyanidins were generally more abundant but delphinidin accumulation was enhanced in cooler season. Monoglucosylated anthocyanins prevailed at cooler temperatures and subsided during seasonal warming with a concomitant increase in diglucoside proportion. The findings can benefit breeding and agricultural efforts to enhance pomegranate quality, especially in the face of "global warming".

According to Boussaa et al. (2018), descriptive sensory analysis revealed differences between oasis and regular orchard with full sun exposure in the aril color intensity. Arils from fruits cultivated under full shade oasis system were characterized by high intensity of the red color (trained panel) which made them well appreciated by the consumer panel.

#### 4.3. Principal Component Analysis (PCA) and Ascending Hierarchical Classification (AHC)

Whereas statistically significant differences were observed through ANOVA in the evaluated morphological

parameters (both in the fruit size and in the whole seed), the PCA and AHC analysis show similarities in many cultivars and discriminate them in four classes. Analysis revealed variability related to morphological parameters, supported by several other parameters.

The first class (KH1-Messaad and SL1-Messaad) is characterized by a sweet and acceptable taste, a high yield, 35 kg-tree<sup>-1</sup> for KH1 (Messaad) classified as medium production and 45 kg-tree<sup>-1</sup> for SL1 (Messaad) (**Table 1**) classified as high production referring to Melgarejo (1993) reported by Martinez et al. (2006). The second class (HM1 of Messaad) which shows differences with the remaining cultivars by the size, has an acceptable taste and a high production of 40 kg-tree<sup>-1</sup> (**Table 1**). These three less aged cultivars receive permanent care through agricultural practices, including regular irrigation in order to sustain crops, formative and fruit tree pruning and organic manuring in the objective to increase production. The third class is formed by AM2 (Amourah), the oldest cultivar characterized by smaller size, a sweet and acceptable taste and a low yield of 20 kg-tree<sup>-1</sup> (**Table 1**). Even though these low records, yet, this cultivar remains a resource to be preserved and valorized. The fourth class (Zaccar cultivars: KH3, MZ3 and SL3) older than Messaad's is marked by similar morphological aspects with a large fruit size, but with low to medium productions (20-30 kg-tree<sup>-1</sup>) (**Table 1**) according to the levels established by Melgarejo (1993) reported by Martinez et al. (2006).

The climatic gradient and cultural practices, especially the type of irrigation between drip irrigation from a borehole and traditional channel irrigation from a natural water source, contribute significantly to this variability among cultivars. Singh (2004) noted highly significant inter-varietal differences in vegetative growth, yield, fruit size, fruit cracking, number and weight of arils in arid to semi-arid ecosystems and interesting results were recorded in terms of performance for the desired traits. In addition, Mir et al. (2012) stipulate that even though pomegranate grows well in low fertility soils, production can be increased by application of manures and fertilizers. Galindo et al. (2017) and Mellisho et al. (2012) added that regular and strategic drip irrigation during the fruit ripening period (under water stress) improves the fruit size and its chemical characteristics linked to taste and color.

The cultivar variability allows choices for growers according to their different technical, climatic and edaphic conditions, the discrimination can be pronounced by other punctual researches like molecular markers. Studies as of Jbir et al. (2014) showed that cultivars from southern Tunisia represent a considerable common genetic base despite their phenotypic differences and misnames: synonymy and/or homonymy reported. Naming problems may

explain all the results obtained. They reported that pomegranate cultivars are locally named according to their geographical origins or according to the agronomic characteristics of the fruit as reported by Mars & Marrakchi (1999). While the results reported by Ajal et al. (2014) showed clearly that the ISSR molecular markers used during the study proved to be efficient in terms of highlighting molecular polymorphism in pomegranate as well as exploring the genetic relationships between the cultivars involved, the analysis of these markers revealed a great diversity of the accessions studied.

The description of pomegranate germplasm is based mainly on pomological and agronomic criteria and genetic studies are rare. The use of other biochemical and molecular markers such as isozymes and RAPD fingerprints could supply complementary useful information as for many other fruit species (Khadari et al., 1995; Ouazzani et al., 1995; Trifi et al., 1998; Mars & Marrakchi, 1999; Mars, 2000).

## 5. CONCLUSIONS

In conclusion, we can orient the choice for growers to a ranking of our cultivars according to several considerations. Referring specifically to the economic point of view of high yield, acceptable taste quality and lastly size, it is necessary to affirm that the cultivars of Messaad KH1, HM1 and SL1 are the most interesting for the agricultural and industrial use. According to their performances of parameters linked to the fruit and the seed, the cultivars of the Zaccar site (KH3, MZ3 and SL3) are the most vigorous and still a phylogenetic resource to be valorized by improving the cultural practices in the orchard especially the type of irrigation used. As for the adaptation to the different gradients related to the climatic and edaphic conditions, the cultivars of Messaad show an interesting vigor and give acceptable yields due essentially to the correct cultural practices; those of Zaccar and Amourah give a negative response by reducing their yield under traditional irrigation by channel in these conditions.

Based on these different findings, the results reveal the strengths of our experimental device to differentiate the seven cultivars from the point of view of performance and economic interest and its limitations to highlight the chemical differences and variability at the level of molecular polymorphism that can guide growers to make the right choices. It is essential in the future to complete this work by a chemical analysis and a mineral composition of the fruit. A completed study of the molecular polymorphism of the cultivars in our case using genetic markers such as Random amplification of polymorphic DNA (RAPD), simple sequence repeats (SSRs), or amplified fragment length

polymorphism (AFLP) to highlight the molecular diversity is more than necessary.

## Bibliography

- Ajal E. et al., 2014. Exploration des marqueurs ISSR pour l'étude du polymorphisme moléculaire du grenadier (*Punica granatum* L.) au Maroc. *Rev. Reg. Arides*, **35**, 393-398.
- Alcaraz-Mármola F. et al., 2017. Characterization of twenty pomegranate (*Punica granatum* L.) cultivars grown in Spain: aptitudes for fresh consumption and processing. *Sci. Hortic.*, **219**, 152-160, doi.org /10.1016/j.scienta.2017.03.008
- Al-Yahyai R., Al-Said F. & Opara L., 2009. Fruit growth characteristics of four pomegranate cultivars from northern Oman. *Fruits*, **64**(6), 335-341, doi.org/10.1051/fruits/2009029
- APG II., 2003. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG II. *Bot. J. Linn. Soc.*, **141**, 399-436, doi.org /10.1111/boj.12385
- Aseri G.K. et al., 2008. Biofertilizers improve plant growth, fruit yield, nutrition, metabolism and rhizosphere enzyme activities of pomegranate (*Punica granatum* L.) in Indian Thar Desert. *Sci. Hortic.*, **117**, 130-135, doi.org/10.1016/j.scienta.2008.03.014
- Bacle I. et al., 2009. *Évaluation sensorielle. Manuel méthodologique*. 3<sup>e</sup> éd. Paris : Tec & Doc.
- Borochoy-Neori H. et al., 2011. Climate effects on anthocyanin accumulation and composition in the pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit arils. *J. Agric. Food. Chem.*, **59**, 5325-5334, doi.org/10.1021/jf2003688
- Boussaa F. et al., 2018. Cropping system contributes largely to fruit composition and sensory properties of pomegranate (*Punica granatum* L. var. Gabsi). *S. Afr. J. Bot.*, **115**, 170-178, doi.org/10.1016/j.sajb.2018.01.016
- Chandra R. et al., 2010. Origin, history and domestication of pomegranate. *Fruit Veg. Cereal Sci. Biotechnol.*, **4**, 1-6.
- Chandra R. et al., 2012. Variability studies of physico-chemical properties of pomegranate (*Punica granatum* L.) using a scoring technique. *Fruits*, **68**(2), 135-146, doi.org/10.1051/fruits/2013059
- Chéchile-Toniolo G.E., 2012. Usefulness of pomegranate in prostate cancer. II International Symposium on the Pomegranate. *Options Mediterr. A*, **103**, 311-320, doi.org/10.1111/j.1479-8298.2011.00443.x
- Crivellaro A. & Schweingruber F.H., 2013. *Atlas of wood, bark and pith anatomy of eastern mediterranean trees and shrubs*. Berlin: Springer, 402-403, doi.org/10.1007/978-3-642-37235-3
- Dafny-Yalin.M. et al., 2010. Color, sugars and organic acids composition in aril juices and peel homogenates prepared from different pomegranate accessions. *J. Agric. Food Chem.*, **58**, 4342-4352, doi.org/10.1021/jf904337t

- DSA (Direction des Services Agricoles), 2017. *Rapport sur la wilaya de Djelfa*. Djelfa, Algérie : Direction des Services Agricoles de la wilaya de Djelfa.
- Galindo A. et al., 2017. Water stress at the end of the pomegranate fruit ripening stage produces earlier harvest and improves fruit quality. *Sci. Hortic.*, **226**, 68-74, doi.org/10.1016/j.scienta.2017.08.029
- Hernández F. et al., 2014. Fruit quality characterization of seven pomegranate accessions (*Punica granatum* L.) grown in Southeast of Spain. *Sci. Hortic.*, **175**, 174-180, doi.org/10.1016/j.scienta.2014.05.035
- Jalilop S.H., Venugopalan R. & Kumar R., 2010. Association of fruit traits and aril browning in pomegranate (*Punica granatum* L.). *Euphytica*, **174**, 137-141, doi.org/10.1007/s10681-010-0158-3
- Jbir R. et al., 2014. Étude de la diversité moléculaire de cultivars de grenadier (*Punica granatum* L.) du sud tunisien. *Rev. Reg. Arides*, **35**, 119-124.
- Khadari B., Lashermes Ph. & Kjellberg F., 1995. RAPD fingerprints for identification and genetic characterization of fig (*Ficus carica* L.) genotypes. *J. Genet. Breed.*, **49**, 77-86.
- Khwairakpam A.D. et al., 2018. Possible use of *Punica granatum* (pomegranate) in cancer therapy. *Pharmacol. Res.*, **133**, 53-64, doi.org/10.1016/j.phrs.2018.04.021
- Kumari S. et al., 2019. Correlation between different morphological traits of pomegranate (*Punica granatum*). *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.*, **8**(1), 981-985, doi.org/10.20546/ijcmas.2019.801.106
- Lahouel M., 2014. *Caractérisation de l'environnement racinaire du pistachier de l'Atlas, de l'olivier et du grenadier dans la région de Messaad*. Mémoire de magister : Université Ziane Achour, Djelfa (Algérie).
- Lahouel M., Belhadj S. & Nait Kaci Boudiaf M., 2016. *Pistacia atlantica* rhizosphere characterization under arid climate. XVI GREMPA Meeting on almonds and pistachios. *Options Mediterr. A*, **119**, 187-191.
- MADR (Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural), 2016. *Rapport sur les arbres fruitiers en Algérie*. Alger : Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural.
- Mansour E. et al., 2011. Selection of pomegranate (*Punica granatum* L.) in south-eastern Tunisia. *Afr. J. Biotechnol.*, **10**(46), 9352-9361, doi.org/10.5897/AJB10.1959
- Mars M., 2000. Pomegranate plant material: genetic resources and breeding. Production, processing and marketing of pomegranate in the Mediterranean region: advances in research and technology. *Options Mediterr. A*, **42**, 55-62.
- Mars M. & Marrakchi M., 1999. Diversity of pomegranate germplasm in Tunisia. *Genet. Ressour. Crop Evol.*, **46**, 461-467, doi.org/10.1023/A:1008774221687
- Mars M. & Sayadi S., 1992. Étude comparative de la qualité des fruits de cinq variétés de grenadier (*Punica granatum* L.). *Rev. Reg. Arides*, **3**, 45-57.
- Martinez J.J. et al., 2006. Seed characterisation of five new pomegranate (*Punica granatum* L.) varieties. *Sci. Hortic.*, **110**, 241-246, doi.org/10.1016/j.scienta.2006.07.018
- Martinez J.J. et al., 2012. Physico-chemical characterization of six pomegranate cultivars from Morocco: processing and fresh market aptitudes. *Sci. Hortic.*, **140**, 100-106, doi.org/10.1016/j.scienta.2012.04.002
- Melgarejo P. et al., 2020. Pomegranate (*Punica granatum* L.) a dry pericarp fruit with fleshy seeds. *Trends Food Sci. Technol.*, **102**, 232-236, doi.org/10.1016/j.tifs.2020.02.014
- Melgarejo-Sánchez P. et al., 2013. The pomegranate tree in the world: new cultivars and uses. *Acta Hortic.*, **1089**, 327-332, doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1089.43
- Mellisho C.D. et al., 2012. Pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit response to different deficit irrigation conditions. *Agric. Water Manage.*, **114**, 30-36, doi.org/10.1016/j.agwat.2012.06.010
- Mir M.M. et al., 2012. Quality evaluation of pomegranate crop – A review. *Int. J. Agric. Biol.*, **14**, 658-667.
- Morton J.F., 1987. *Fruits of warm climates*. Brattleboro, VT, USA: Echo Point Books & Media, 352-355.
- Nouaceur Z., Laignel B. & Turki I., 2013. Changements climatiques au Maghreb : vers des conditions plus humides et plus chaudes sur le littoral algérien ? *Physio-Géo*, **7**, 307-323, doi.org/10.4000/physiogeog.3671
- NRCP (National Research Centre on Pomegranate), 2005. *DUS test guidelines: pomegranate species* (*Punica granatum* L.). Maharashtra, India : National Research Centre on Pomegranate, <http://www.plantauthority.gov.in>, (2019).
- ONM (Office National de Météorologie), 2020. *Données climatiques de la station de Djelfa (période 2000-2019)*. Alger : Office National de Météorologie.
- Ouazzani N., Lumaret R. & Villemur P., 1995. Apport du polymorphisme alloenzymatique à l'identification variétale de l'olivier (*Olea europea* L.). *Agronomie (EDP Sciences)*, **15**, 31-37.
- Pouget M., 1976. *Pédologie : région de Messaad-Aïn El Ibel*. Paris : éd. ORSTOM.
- Pouget M., 1980. Le cadre physique. In : *Les relations sol-végétation dans les steppes sud-algéroises*. Paris : ORSTOM.
- Ruis A.R., 2015. Pomegranate and the mediation of balance in early medicine. *Gastronomica*, **15**(01), 22-33, doi:10.1525/gfc.2015.15.1.22
- Singh D.B., 2004. Screening of pomegranate (*Punica granatum*) cultivars for arid ecosystem. *Indian J. Agric. Sci.*, **74**, 604-606.
- Soriano J.M. et al., 2011. Development and characterization of microsatellite markers in pomegranate (*Punica granatum* L.). *Mol. Breed.*, **27**, 119-128, doi.org/10.1007/s11032-010-9511-4
- Souza A.D., De Souza Jr.JR., Sousa D.C.P. & Albuquerque U.P., 2018. *Punica granatum* L. In: Albuquerque U.P., Patil U. & Mâthé Á., eds. *Medicinal and aromatic*

- plants of the world*. Dordrecht: Springer, 413-420, doi.org/10.1007/978-94-024-1552-0
- Sreekumar S. et al., 2014. Pomegranate fruit as a rich source of biologically active compounds. *BioMed. Res. Int.*, article ID 686921, 12 p, doi.org/10.1155/2014/686921
- Stover E. & Mercure E.W., 2007. The pomegranate: a new look at the fruit of paradise. *Hortic. Sci.*, **42**(5), 1088-1092.
- Tapia-Campos E. et al., 2021. Morphological characterization of southern Jalisco, Mexico, pomegranate genotypes using AFLP markers. *Agronomy*, **11**(1449), doi.org/10.3390/agronomy11081449
- Trifi M., Benslimane A.A., Rhouma A. & Marrakchi M., 1998. Molecular characterization of Tunisian date-palm varieties. In : *Proceedings of the First International Conference on Date Palms, 8-10 March 1998, Al-Ain, United Arab Emirates*, 183-193.
- UPOV (International Union for the Protection of new Varieties of plants), 2012. *Pomegranate Punica granatum L. guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability*. TG/PGRAN (proj.3). Geneva, Switzerland : UPOV.
- Watts B.M., Ylimaki G.L., Jeffery L.E. & Elias L.G., 1991. *Méthodes de base pour l'évaluation sensorielle des aliments*. Ottawa, Canada : éd. CRDI.
- (51 ref.)

## Abstract

In the Messaad region, in central Algeria, pomegranate (*Punica granatum* L.) is one of the main fruit crops in agricultural systems after apricot. To examine the agronomic and phenotypic diversity of cultivars, a study of the morphological variability of pomegranate fruits, seeds and leaves in relation to agronomic traits followed by an investigation of flowering dynamics were carried out on seven pomegranate cultivars; Khadraye KH1, Hamraye HM1, Senin Alouj SL1 from Messaad orchards, AM2 (Amourah) from Amourah orchards, Khadraye KH3, Mezabi MZ3, Senin Alouj SL3 from Zaccar orchards in central Algeria. Based on quantitative morphological parameters used, the results show similarities between classes according to which four main classes were grouped. The first class C1 consists of two cultivars (KH1 and SL1 of Messaad), while the second class C2 consists of one cultivar, HM1 of Messaad. The third class C3 consists of the very characteristic Romane Amourah (AM2) and the fourth and last class C4 includes all cultivars of the station of Zaccar. While the evaluation of the qualitative characteristics of color and taste of the fruit by a panel of amateur tasters reveals significant dissimilarities and similarities. The results presented in this work clearly justify the variability and its interest for the preservation, the exploitation and the valorization of this genetic material, as well as for the improvement of the cultivated varieties of pomegranate which present appreciable economic performances like the cultivars of the station of Messaad and Zaccar.

**Keywords:** *Punica granatum*, Morphology, Agronomy, Seed, Fruit, Resources, Flowering.

## ملخص

في منطقة مسعد، في وسط الجزائر، يعد الرمان (*Punica granatum* L.) أحد محاصيل الفاكهة الرئيسية في النظم الزراعية بعد: المشمش. لدراسة التنوع الزراعي والنمط الظاهري للزراعة، أجريت دراسة عن مورفولوجيا الثمار و البذور و الأوراق ارتباطا بالخصائص الفلاحية متنوعة بدراسة ديناميكيات الازهار لسبعة أنواع: خضراي مسعد (KH1)، حمراي مسعد (HM1)، سنين العلوج مسعد (SL1)، رمان عمورة (AM2)، خضراي زكار (KH3)، مزابي زكار (MZ3)، سنين العلوج زكار (SL3) و هذا في المناطق الوسطى للجزائر. بناءً على المعاملات المورفولوجية الكمية. تظهر النتائج أوجه التشابه و التباين بين الفئات التي تم تصنيفها الى أربع فئات رئيسية. تتكون الفئة الأولى C1 من صنفين (KH1 و SL1 من مسعد)، بينما تتكون الفئة الثانية C2 من صنف واحد، HM1 من مسعد. تتكون الفئة الثالثة C3 من صنف رمان عمورة المميز للغاية (AM2) والفئة الرابعة والأخيرة C4 تشمل جميع أصناف المحطة الثالثة من زكار. في حين أن تقييم الخصائص النوعية للون ومذاق الفاكهة من قبل لجنة من المتذوقين الهواة يكشف عن أوجه تشابه وتشابه كبيرة. النتائج المقدمة في هذا العمل تبرر بوضوح التشابه والتباين وأهميته في الحفاظ على هذه الموارد الوراثية واستغلالها وتثمينها، وكذلك لتحسين الأصناف المزروعة من الرمان التي تقدم صفات فلاحية ملموسة مثل أصناف المحطتين: مسعد و زكار.

## الكلمات المفتاحية:

*Punica granatum*، مورفولوجيا، زراعة، بذور، فاكهة، موارد، الازهار