



UNIVERSITE SULTAN MOULAY SLIMANE
Faculté des Sciences et Techniques
Béni-Mellal



Formation Doctorale : Ressources Naturelles, Environnement ET Santé
THÈSE

Présentée par
EJJILANI ASSIA
Pour l'obtention du grade de
DOCTEUR
Discipline : Biologie
Spécialité : Biologie Végétale_Biochimie

***Diversité pomologique et chimique du grenadier cultivé au Maroc
et effet du déficit hydrique sur la qualité du fruit***

Soutenue le Jeudi 08 Décembre 2022 à 10h devant la commission d'examen :

Pr. Abdelmajid HADDIOUI	Professeur, Faculté des Sciences et Techniques, Université Sultan Moulay Slimane, Béni Mellal, Maroc	Président
Pr. Hicham BERROUGUI	Professeur, Faculté Polydisciplinaire, Université Sultan Moulay Slimane, Béni Mellal, Maroc	Rapporteur
Pr. Kamal ABERKANI	Professeur, Faculté Polydisciplinaire, Université Mohammed Premier, Nador, Maroc	Rapporteur
Pr. Adnane EL YAACOUBI	Professeur Habilité, Ecole Supérieure de Technologie, Université Sultan Moulay Slimane, Khénifra, Maroc	Rapporteur
Pr. Hakim ALILOU	Professeur Habilité, Faculté Polydisciplinaire, Université Sultan Moulay Slimane, Khouribga, Maroc	Examineur
Pr. Hafida HANINE	Professeur, Faculté des Sciences et Techniques, Université Sultan Moulay Slimane, Béni Mellal, Maroc	Directeur de Thèse
Dr. Rachid RAZOUK	Ingénieur, Centre Régional de la Recherche Agronomique, Meknès, Maroc	Co-Directeur de thèse
Dr. Jamal CHARAFI	Ingénieur, Centre Régional de la Recherche Agronomique, Meknès, Maroc	Invité

Dédicaces

Je dédie ce travail à mes très chers parents,

A mes sœurs et mon frère,

A toute ma famille,

Ainsi qu'à tous mes ami(e)s

A mes collègues,

A tous mes encadrant(e)s et mes enseignants.

Et à toute personne qui me connaît.

Remerciements

Tout d'abord, je remercie Dieu, le Tout-Puissant, qui m'a donné le courage, la volonté et la force pour achever ce travail.

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce aux collaborations de plusieurs personnes à qui je voudrais témoigner toute ma gratitude.

Je voudrais tout d'abord adresser toute ma reconnaissance et mes chaleureux remerciements à la directrice de ce mémoire, Madame Pr HANINE Hafida, vice-président de l'Université Sultan Moulay Slimane Beni Mellal, pour sa patience, sa disponibilité, ses appuis, son encouragement, son accompagnement et surtout ses redressements et ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion.

Je désire aussi remercier sincèrement mes encadrants Dr Rachid RAZOUK, chercheur responsable de l'Unité de Recherche Agronomie et la Physiologie Végétale et Dr Jamal CHARAFI, chercheur en Biotechnologie et Amélioration Génétique des Plantes, pour leur accueil au sein des unités de recherche respectives relevant de l'INRA-Meknès (Agronomie et Physiologie Végétale», « Amélioration des Plantes et Conservation des Ressources Phylogénétiques) pour avoir planifié et encadré ce projet de thèse, pour l'intérêt qu'ils ont porté à mes travaux et pour leurs encouragements.

Je tiens également à remercier, le personnel de l'Institut National de la Recherche Agronomique du centre Régional de Meknès et le personnel de la FST de Béni Mellal. Qu'ils trouvent ici l'expression de mes profonds remerciements.

Je tiens à remercier spécialement Dr BAKHY Khadija, chef du Service de La Coopération et Partenariat de la Division scientifique, pour son soutien et ses recommandations, ainsi que pour son support, encouragements et sa confiance.

Je remercie particulièrement Dr HOUMANAT Karim et Dr HSSAINI Lahcen qui m'ont apporté leur soutien et support intellectuel tout au long de ma démarche.

Enfin, je tiens à témoigner toute ma gratitude à mes parents, mes sœurs et mon frère qui me donnent sans relâche leur confiance et leur soutien inestimable.

Mes sincères remerciements à toutes les personnes, qui ont contribué de près ou de loin à la réussite de mon travail.

Résumé

Contexte : Le grenadier (*Punica granatum* L.) est un arbre de la famille des Lythraceae, cultivé depuis l'antiquité pour ses fruits comestibles. Il présente une grande diversité génétique au niveau du Maroc, principalement dans les agroécosystèmes traditionnels. Toutefois, les potentialités nutritionnelles, technologiques et d'adaptation de cette diversité restent encore à étudier en vue de sa valorisation efficiente et compétitive.

A cet effet, les objectifs de la présente étude ont consisté en l'évaluation d'une part d'une collection ex-situ de 19 génotypes dont 11 locaux, au regard de descripteurs pomologiques et biochimiques au cours des années 2017 et 2018; puis d'autre part, en un suivi de ces paramètres chez certains génotypes en fonction de l'âge des arbres et du niveau de stress hydrique (70%ETc et 50%ETc) chez Sefri et Wonderful; ainsi qu'un suivi hebdomadaire de la croissance du fruit et des pousses de l'année chez les deux variétés de grenadier, qui a été réalisé dans l'objectif de situer les périodes moins-critiques pour l'expérimentation de l'irrigation déficitaire régulée.

Les résultats obtenus ont montré une grande variabilité au sein des accessions, pour la majorité des traits observés révélant un niveau élevé de diversité phénotypique au sein du pool génétique étudié. L'analyse en composantes principales (ACP) a identifié trois groupes principaux, distinguant la typicité de certains génotypes locaux par rapport aux variétés importées, notamment 'Sefri', 'Bzou', 'Chioukhi' et 'Djeibi'. L'effet de stress hydrique sur la qualité du fruit de grenade a varié en fonction de son intensité et du génotype. Les effets étaient moins importants sur la variété Wonderful, comparativement au type local Sefri. Chez ce dernier, les effets du stress hydrique étaient significatifs même à une intensité modérée de 70% ETc et sont plus prononcés sous un régime hydrique de 50% ETc (stress sévère), marqués essentiellement par des réductions du rendement liée principalement à l'induction de chutes importantes de fruits, des diminutions du calibre du fruit, de la densité du jus et du goût sucré du jus (°Brix). Le seul effet positif du stress hydrique sur la qualité du jus de cette variété était l'augmentation de l'intensité de la coloration rouge du jus. Les résultats de suivi montrent l'existence de deux périodes potentielles pour la variété Sefri (de la nouaison au 18 juin et du 12 septembre à la maturité du fruit). Cependant, pour la variété Wonderful, aucune période potentielle n'a été relevée du fait de la croissance relativement linéaire de son fruit. L'effet de l'âge de l'arbre (année de récolte) sur Sefri et Wonderful a été hautement significatif pour la majorité des paramètres physiques, chimiques et biochimiques. Les génotypes récoltés en 2018 ont présenté une qualité physique moindre par rapport aux années 2017 et 2009, particulièrement pour les calibres du fruit, de l'arille et des pépins. Les paramètres biochimiques (capacité antioxydante, flavonoïdes, anthocyanes, protéines, tanins hydrosolubles), ont enregistré des niveaux plus faibles en 2009. Les résultats de l'effet de l'âge de l'arbre sur la qualité du fruit ont montré une influence significative pour la majorité des paramètres pour les deux génotypes qui s'est traduites par une diminution du poids du fruit, de la douceur de son jus (°Brix), des flavonoïdes, des protéines et des tanins hydrosolubles, en l'occurrence sur des arbres âgés de plus de 22 ans pour le cas de Sefri et à l'âge de 36 ans pour la variété Wonderful. Le climat ainsi que l'âge de l'arbre (année de récolte) jouent un rôle direct mais aussi indirect en influençant de nombreuses autres caractéristiques du fruit. L'effet de l'année de 19 génotypes a été très hautement significatif pour la totalité des attributs physico-chimiques du fruit. Globalement, les résultats ont montré que les fruits récoltés en 2017 étaient de meilleure qualité que ceux récoltés en 2009 et 2018. En effet, le poids, le diamètre et la longueur des fruits étaient relativement plus élevés en 2017, dépassant les valeurs enregistrées en 2018 de 22,8%, 13,5% et 4%, respectivement. En outre, le poids et la longueur de l'arille et certaines propriétés chimiques (pH, degrés brix et indice de maturité) ont présenté des valeurs plus élevées en 2017, dépassant celles enregistrées en 2018 de 3%, 7% et 3%, 14% et 80%, respectivement. L'analyse en composantes principales (ACP) basée sur les moyennes de tous les paramètres mesurés a montré une forte variabilité selon le génotype et l'année de récolte. Cependant, un niveau de variance plus faible a été estimé entre les fruits récoltés en 2009 et 2017, en raison probablement de la similarité du climat entre ces deux années. L'analyse multivariée a révélé un niveau élevé de diversité au sein de la collection étudiée, distinguant six principaux groupes de génotypes. Le génotype local 'Khikho' a été classé dans un groupe distinct avec un profil typique. Les paramètres qui ont le plus d'impact sur la discrimination entre les génotypes étaient le calibre du fruit, l'épaisseur de l'écorce, le rendement en arilles, le rendement en jus, l'acidité et la teneur en sucre. Les résultats de ce travail sont d'un grand intérêt pour le développement de la filière de grenadier au Maroc, qui prévoit certains potentiels qualitatifs des génotypes locaux et leur stabilité en fonction de l'année de récolte et du stress hydrique, par rapport à certaines variétés étrangères.

Mots clés: Grenadier (*Punica granatum* L.); année de récolte; âge; stress hydrique; chimique; diversité des grenadiers.

Abstract

Background: Pomegranate (*Punica granatum* L.) is a tree of the Lythraceae family, cultivated since antiquity for its edible fruits. It presents a great genetic diversity in Morocco, mainly in traditional agroecosystems. During the last decade, it has regained importance because of its economic and ecological assets and its nutritional virtues. However, the nutritional, technological and adaptation potential of this diversity still needs to be studied with a view to its efficient and competitive development. To this end, **the objectives of the present study** consisted in the evaluation of an ex-situ collection of 19 varieties, 11 of which are of Moroccan origin, with respect to pomological and biochemical descriptors during the years 2017 and 2018; then, in a follow-up of these parameters in some genotypes according to the age of the trees and the level of water stress (70%ETc and 50%ETc) in Sefri and Wonderful; as well as a weekly follow-up of the growth of the fruit and the shoots of the year in the two pomegranate varieties, which was carried out with the objective of locating the less critical periods for the experimentation of the regulated deficit irrigation.

The results obtained showed a high variability within accessions, for the majority of the observed traits revealing a high level of phenotypic diversity within the studied gene pool. Principal component analysis (PCA) identified three main groups, distinguishing the typicality of some local genotypes compared to imported varieties, namely 'Sefri', 'Bzou', 'Chioukhi' and 'Djeibi'. The effect of water stress on pomegranate fruit quality varied according to its intensity and the genotype. For the Sefri variety, the effects are reduced even at a moderate intensity of 70% ETc and are considerable under a water regime of 50% Etc (severe stress), marked by decreases in fruit size, juice density, sweetness of the juice (°Brix). The effects are thus very important on this variety under a water regime of 50% ETc, marked by decreases in fruit size, juice density, juice sweetness and increases in acidity and arils dry matter. The only positive effect of water stress on the juice quality of this variety is the increase in the intensity of red juice color by increasing the values of a*, b* and c*. The monitoring results show the existence of two potential periods for the Sefri variety (from fruit set to June 18 and from September 12 to fruit maturity). However, for the Wonderful variety, no potential period was found because of its relatively linear fruit growth. The effect of tree age (year of harvest) on Sefri and Wonderful was highly significant for most physical, chemical and biochemical parameters. Genotypes harvested in 2018 showed greater deterioration in physical quality compared to 2017 and 2009, particularly for fruit weight, aril weight, and seed weight. For biochemical parameters (antioxidant capacity, flavonoids, anthocyanins, proteins, water soluble tannins), is the lowest in 2009. The results of the effect of age on fruit quality in the two varieties of pomegranate, show an influence for the majority of parameters for both genotypes by the existence of quality decrease for the variety Sefri including the decrease in weight, sweetness of the fruit (°Brix), flavonoids, proteins and hydro-soluble tannins for the fruits aged over 22 years. On the other hand, for Wonderful, no deterioration was found due to the growth of the majority of quality parameters (mainly at age 22 years) of its fruits but it exists at age 36 years. Climate as well as fruit age play a direct but also indirect role in influencing many other characteristics of the genotype and even the species. The effect of year of 19 genotypes was very highly significant for the totality of the physicochemical attributes of the fruit. Overall, they showed that fruits harvested in 2017 were of better quality than those harvested in 2009 and 2018. Indeed, fruit weight, diameter and height were relatively higher in 2017, exceeding the values recorded in 2018 by 22.8%, 13.5% and 4%, respectively. In addition, aril weight and length and some chemical properties, pH, brix degrees and maturity index, presented higher values in 2017, exceeding those recorded in 2018 by 3%, 7% and 3%, 14% and 80%, respectively. The principal component analysis (PCA) based on all the parameters measured showed a high variability according to genotype and year of harvest. However, a lower level of variance was estimated between fruit harvested in 2009 and 2017, likely due to the similarity in climate between these two years. Clustering analysis revealed a high level of diversity within the study collection, distinguishing six main genotype groups. The local genotype 'Khikho' was classified into a distinct group with a typical profile. The parameters that have the most impact on the discrimination between genotypes are fruit weight, fruit height, fruit diameter, rind thickness, aril yield, juice yield, acidity and sugar content. The results of this work are of great interest for the development of the pomegranate sector in Morocco, which foresees some qualitative potential of local genotypes and their stability according to the year of harvest, compared to some foreign varieties.

Keywords: Pomegranate (*Punica granatum* L.); harvest year; age; water stress; chemical; diversity of pomegranates.

ملخص

شجرة الرمان (*Punica granatum L.*) هي شجرة من عائلة لتراتسي (*Lythraceae*)، تُزرع منذ العصور القديمة من أجل ثمارها الصالحة للأكل. إنه يمثل تنوعاً وراثياً كبيراً في المغرب، ولا سيما في النظم الإيكولوجية الزراعية التقليدية. ومع ذلك، لا تزال الإمكانيات التغذوية والتكنولوجية والتكيفية لهذا التنوع بحاجة إلى الدراسة بهدف تطويره الفعال والتنافسي. ولهذه الغاية، تتمثل أهداف هذه الدراسة في التقييم من ناحية لمجموعة من 19 صنفاً مزروعة في محطة تجريبية بما في ذلك 11 صنفاً محلياً، فيما يتعلق بالوصفات البومولوجية والكيمياء الحيوية (البيوكيميائية) خلال عامي 2017 و2018؛ ومن ناحية أخرى، من خلال رصد هذه المعايير في أصناف معينة حسب عمر الأشجار ومستوى الإجهاد المائي. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها تبايناً كبيراً داخل المُدخَلات، بالنسبة لغالبيتها الصفات التي تمت ملاحظتها والتي كشفت عن مستوى عالٍ من التنوع المظهري داخل المجموعة الجينية المدروسة. حدد تحليل المكون الرئيسي (PCA) ثلاث مجموعات رئيسية، تميز بين خصائص بعض الأصناف المحلية من الأصناف المستوردة، بما في ذلك "الصفري" و"بزو" و"الشيوي" و"الدجيبى". اختلف تأثير الإجهاد المائي على جودة ثمار الرمان باختلاف كثافتها وصنفها. كانت التأثيرات أقل دلالة على الصنف واندرفول مقارنة بالأنواع المحلي الصفري. في الأخير، كانت تأثيرات الإجهاد المائي كبيرة حتى عند شدة معتدلة بنسبة 70 % ETC وكانت أكثر وضوحاً في ظل نظام مائي بنسبة 50 % ETC (إجهاد شديد)، يتميز بشكل أساسي بتخفيضات في حجم الفاكهة وكثافة العصير وطعم العصير الحلو (درجة بريكس). كان التأثير الإيجابي الوحيد للإجهاد المائي الشديد على جودة عصير هذا الصنف هو زيادة كثافة اللون الأحمر للعصير. كان تأثير عمر الشجرة (سنة الجني) على الصفري واندرفول معنوياً للغاية بالنسبة لغالبيتها المتغيرات الفيزيائية والكيميائية والبيوكيميائية. أظهرت الثمار التي تم حصادها في عام 2018 جودة مادية أقل مقارنة بعامي 2017 و2009، خاصة بالنسبة لأحجام الثمار والحبوب واللب. سجلت المعلمات البيوكيميائية (القدرة المضادة للأوكسدة، الفلافونويد، الأنثوسيانين، البروتينات، العفص القابل للذوبان)، مستويات منخفضة في عام 2009. تظهر نتائج الرصد وجود فترتين محتملتين لصنف الصفري (من الثمار حتى 18 يونيو ومن 12 سبتمبر حتى نضوج الثمار). ومع ذلك، بالنسبة للصنف واندرفول، لم يلاحظ أي فترة محتملة بسبب النمو الخطي نسبياً لثمارها. كان تأثير عمر الشجرة (سنة الحصاد) على الصفري والرائع معنوياً للغاية بالنسبة لغالبيتها المتغيرات الفيزيائية والكيميائية والبيوكيميائية. قدمت الطرز الوراثية التي تم حصادها في عام 2018 جودة مادية أقل مقارنة بعامي 2017 و2009، خاصة بالنسبة لأحجام الثمار والأريل والنقاط. سجلت المعلمات البيوكيميائية (القدرة المضادة للأوكسدة، الفلافونويد، الأنثوسيانين، البروتينات، العفص القابل للذوبان في الماء)، مستويات منخفضة في عام 2009. أظهرت نتائج تأثير عمر الشجرة على جودة الثمار تأثيراً نسبياً لمعظم المعلمات لكلا الصنفين مما أدى إلى انخفاض وزن الثمار، حلاوة العصير (درجة بركس)، الفلافونويد، البروتين والعفص الذائب، في هذه الحالة على الأشجار التي يزيد عمرها عن 22 عاماً لحالة الصفري وفي سن 36 للصنف واندرفول. يلعب المناخ وكذلك عمر الشجرة (سنة الجني) دوراً مباشراً ولكن أيضاً غير مباشر في التأثير على العديد من الخصائص الأخرى للفاكهة. كان تأثير عام 19 صنفاً نسبياً ضعيفاً لجميع الصفات الفيزيائية والكيميائية للفاكهة. بشكل عام، أظهرت النتائج أن الثمار التي تم حصادها في عام 2017 كانت ذات جودة أفضل من تلك التي تم حصادها في عامي 2009 و2018. وبالفعل، كان وزن وقطر وارتفاع الثمار أعلى نسبياً في عام 2017، متجاوزاً القيم المسجلة في عام 2018. 22.8% و13.5% و4% على التوالي. بالإضافة إلى ذلك، أظهر وزن وطول أربل وبعض الخواص الكيميائية (الأس الهيدروجيني ودرجات البريكس ومؤشر النضج) قيماً أعلى في عام 2017، متجاوزة تلك المسجلة في عام 2018 بنسبة 3% و7% و14% و80% على التوالي. أظهر تحليل المكون الرئيسي (PCA) القائم على متوسطات جميع المعلمات المقاسة تبايناً قوياً وفقاً للنمط الجيني وسنة الجني. ومع ذلك، تم تقدير مستوى أقل من التباين بين الثمار التي تم حصادها في عامي 2009 و2017، وربما يرجع ذلك إلى تشابه المناخ بين هذين العامين. كشف التحليل متعدد المتغيرات عن مستوى عالٍ من التنوع داخل المجموعة المدروسة، ويميز سنة أصناف رئيسية. صُنِّف التركيب الوراثي المحلي لـ "Khikho" في مجموعة متميزة ذات ملف تعريف نموذجي. العوامل التي كان لها أكبر الأثر في التمييز بين الأصناف هي حجم الثمار، سمك القشر، محصول الشجر، حاصل العصير، الحموضة ومحتوى السكر. تحظى نتائج هذا العمل باهتمام كبير لتنمية قطاع الرمان في المغرب، والذي يتوقع إمكانات نوعية معينة للأصناف المحلية واستقرارها حسب سنة الجني والضغط المائي، مقارنة ببعض الأصناف الأجنبية.

الكلمات المفتاحية: الرمان (*Punica granatum L.*)؛ سنة الجني؛ سن الأشجار؛ الإجهاد المائي؛ جودة؛ المواد الكيميائية؛ تنوع اشجار الرمان.

Table de matière

Remerciements	1
Résumé	2
Abstract	3
ملخص	4
<i>INTRODUCTION GÉNÉRALE</i>	5
<i>CHAPITRE I: REVUE BIBLIOGRAPHIQUE</i>	8
I. Présentation générale et phytotechnie de grenadier	9
I.1. Classification botanique et origine géographique	9
I.1.1 Classification botanique	10
I.1.2 Origine géographique	10
I.2. Aire de répartition de la culture.....	11
I.2.1. Répartition à l'échelle mondiale	11
I.2.2. Répartition à l'échelle nationale	12
I.3. Phénologie de grenadier	15
I.3.1 Cycle de croissance végétative	15
I.3.2. Croissance et développement du fruit.....	16
I.4. Exigences écologiques et de conduite de la culture.....	18
I.4.1 Exigences climatiques	18
I.4.2 Exigences édaphiques	19
I.4.3 Bonnes pratiques de conduite culturale.....	19
I.5. Diversité de l'espèce et profil variétal en culture	21
I.5.1 Diversité à l'échelle mondiale	21
I.5.2 Diversité à l'échelle nationale	23
I.5.2 Diversité à l'échelle mondiale	24
I.6 Maladies et ravageurs de <i>Punica granatum L.</i>	26
II. Propriétés physicochimiques et biochimiques des différents organes du grenadier	36

II.1. Caractéristiques du fruit	36
II.1.1 Fruit entier	36
II.1.2 Arilles et pépins	37
II.1.3 Épicarpe du fruit	37
II.2. Compositions biochimiques majeures du jus	38
II.2.1 Sucres	38
II.2.2 Protéines	38
II.2.3 Acides organiques.....	38
II.2.4 Acides phénoliques	39
II.2.5 les flavonoïdes	39
II.3. Propriétés phytochimiques des parties végétatives du grenadier.....	43
II.3.1 Feuille	44
II.3.2 Racine et écorce de l'arbre	44
II.4. Intérêts nutritionnels et diététiques.....	45
II.4.1 Intérêt nutritionnel.....	45
II.4.2 Intérêt thérapeutique	46
II.4.3 Utilisations médicinales des cultivars et autres	47
II.4.4 Saveur de la grenade	48
II.4.4.1 Attributs sensoriels.....	49
<input type="checkbox"/> Composantes du goût	49
<input type="checkbox"/> Arôme	50
<input type="checkbox"/> Astringence.....	51
<input type="checkbox"/> Dureté des pépins.....	51
<input type="checkbox"/> Saveurs principales.....	51
III. Potentialités de résilience de l'espèce aux stress hydrique et thermique	52
III.1. Stress thermique	52
III.1.1 Définition et généralités.....	52

III.1.2 Effets majeurs de l'augmentation des températures	53
III.2 Stress hydrique	54
III.2.1 Définition et généralités sur le stress hydrique	54
III.2.2 Gestion de l'eau en agriculture.....	55
III.2.3 Stress hydrique au Maroc.....	55
III.2.4 Notion du stress hydrique sur le grenadier	57
III.2.5 Les indicateurs du stress hydrique.....	58
III.2.6 Les effets du stress hydrique sur le grenadier	62
III.2.7 Les différentes stratégies face au déficit hydrique.....	67
IV. Demarche Scientifique	69
IV. 1. Contexte et problematique	69
IV. 2. Hypothèses directrices de la thèse:.....	70
<i>CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES</i>	71
I. Caractérisation pomologique chimique et biochimique et lipidique des cultivars du grenadier de la collection	72
I.1. Matériel végétal et conditions de culture.....	72
I.2. Echantillonnage des fruits	77
I.3. Mesures pomologiques	77
I.3.1 Paramètres morphologiques	77
I.3.2 Mesures colorimétriques	77
I.4. Analyses chimiques.....	78
I.4.1 Degré Brix	78
I.4.2 Acidité titrable	78
I.4.3 pH.....	78
I.4.4 Indice de maturité.....	78
I.5. Propriétés biochimiques majeures du jus	78
I.5.1 Dosage des polyphénols totaux	78

I.5.2 Dosage des protéines totales.....	78
I.5.3 Dosage des acides aminés totaux	79
I.5.4 Dosage des flavonoïdes totaux	79
I.5.5 Dosage des anthocyanes totaux.....	80
I.5.6 Dosage des tanins hydrosolubles	80
I.5.7 Dosage des tanins condensés (Pro-anthocyanidines)	80
I.5.8 Dosage des sucres solubles totaux	81
I.5.9 Détermination de l'activité antioxydante	81
I.6 Identification des fractions de composés biochimiques par chromatographie.....	81
I.6.1 Sucres du jus par l' HPLC	81
I.6.2 Identification des acides organiques du jus par l' HPLC	82
I.6.3 Acides gras des pépins par le CPG.....	82
I.7 Analyses statistiques.....	83
II. Variation de la qualité du fruit de grenadier sous stress hydrique.....	83
II.1 Matériel végétal et conditions expérimentales	83
II.2 Dispositif expérimental.....	84
II.3 Evolution des rameaux annuels et du diamètre du fruit de la nouaison à la maturité des deux variétés, <i>Sefri et Wonderful</i>	85
II.3 Echantillonnage.....	86
II.4 Mesures de la qualité physique du fruit.....	86
II.4.1 Poids moyen du fruit	86
II.4.2 Matière sèche des arilles	86
II.4.3 Poids moyen d'un arille et d'un pépin.....	86
II.4.4 Teneur en jus des arilles	86
II.4.5 Densité du jus.....	87
II.4.6 Couleur du jus	87
II.5 Paramètres chimiques et biochimiques du jus	87

III. Variation de la qualité du jus de grenade en fonction de l'âge de l'arbre	87
III.1 Matériel végétal.....	87
III. 2 Mesures physico-chimiques et biochimiques	88
III.4 Analyses statistiques	88
CHAPITRE III: RÉSULTATS ET DISCUSSION.....	89
I. Analyse descriptive.....	90
I.1 Variation des traits pomologiques.....	90
I.1.1 Traits agronomiques du fruit.....	95
I.1.2 Traits morphologiques des arilles.....	99
I.2 Variation des propriétés chimiques du jus	102
I.3 Variation des composés biochimiques majeurs du jus	106
II. Variation de la qualité de grenade en fonction de l'année de récolte.	109
II.1 Analyses de l'effet variétal, de l'année (2009, 2017 et 2018) et l'interaction des deux effets sur les paramètres de qualité des fruits.....	109
II.2 Analyse de la variance pour l'effet de l'année de récolte sur les paramètres étudiés.	110
II.3 Moyenne des caractères physiques et chimiques du fruit des différentes années de récolte.	112
II.4 Caractérisation physique des fruits des géotypes des 3 années de récoltes.	114
II.5 Caractérisation physique des arilles et des pépins de dix-neuf géotypes des 3 années de récoltes.....	115
II.6 Caractérisation chimique des jus élaborés des géotypes des 3 années de récoltes.....	117
II.7 La corrélation entre les caractères physiques et chimiques des géotypes de grenade des géotypes des 3 années de récoltes.....	118
II.8 L'ACP pour la collection de grenadiers étudiés, basés sur les paramètres les plus discriminants.....	122
II.9 clusters des géotypes de grenadiers étudiés, basée sur les paramètres les plus discriminants des 3 années de récoltes.	124
Conclusion.....	126
I. Analyse descriptive.....	129

I.1. Caractéristiques des sucres du jus	129
I.2. Profils des acides organiques	129
I.3. Profils d'acides gras	130
I.4. Analyse en composantes principales des traits morphométriques, lipochimiques et biochimiques.	132
I.6. Corrélation entre les variables	136
I.7. Carte de chaleur bidimensionnelle en cluster	139
Conclusion.....	143
I. Effet de l'irrigation sur les paramètres physiques chimiques et biochimiques étudiés.	147
I.1. Effet de l'irrigation sur les propriétés physiques des fruits.....	149
I.2. Effet sur les propriétés chimiques du jus	150
I.3. Effet sur les propriétés biochimiques du jus	151
II. Effet de l'âge de l'année de récolte sur les paramètres de qualité des grenades.	154
Conclusion.....	160
CONCLUSION GÉNÉRALE	162
Perspectives de recherche.....	167
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	168
Annexe1 : Identification des composés phytochimiques des grenades	181
Annexe2 : Corrélation entre les caractères agro-morphologiques et biochimiques de deux génotypes de grenade évalués.....	184

Liste des abréviations

- **Abs** : Absorbance
- **ACP** : Analyse en composantes principales
- **ANOVA** : Analyse de la variance
- **AOAC** : Association of Official Agricultural Chemists
- **CAM** : Coefficient d'absorption molaire de Cyanidine-3- glucoside
- **CPG** : Chromatographie en phase gazeuse
- **DF** : Degré de liberté
- **DPPH** : 2,2-DiPhenyl-1-PicrylHydrazyl
- **EAG** : Equivalent d'acide gallique
- **ET°** : Evapotranspiration de référence
- **ETc** : Evapotranspiration potentielle de la culture
- **Esys** : Efficience du système d'irrigation
- **FD** : Facteur de dilution
- **LSD** : Différence Significative Minimale (LSD)
- **HPLC** : Chromatographie Liquide à Haute Performance
- **INRA** : Institut National de recherche Agronomique
- **Kc** : Coefficient cultural
- **Kr** : Coefficient de réduction dépendant du taux de couverture du sol par la culture
- **MFA** : Masse des arilles frais
- **OMS** : Organisation mondiale de la Santé
- **PM** : Poids moléculaire
- **TSS** : Sucres solubles totaux

Liste des figures

Figure 1: Les feuilles, la fleur et le fruit de <i>Punica granatum</i>	9
Figure 2: Répartition géographique mondiale du grenadier [18].	12
Figure 3: L'évolution aux 10 dernières années de la superficie et de la production nationale de grenade au Maroc [4].....	13
Figure 4: Superficie de grenadier en 2018	14
Figure 5: Production de grenadier en 2018	14
Figure 6: Types des Fleurs de Grenade	17
Figure 7: Répartition de la superficie et la production annuelle (2018) au niveau des neufs grands pays producteurs de grenades au monde [39]	22
Figure 8: Maladies et ravageurs du grenadier	27
Figure 9: Diversité des cycles de vie chez les pucerons [53].	28
Figure 10: cycle biologique de <i>Ceratitis capitata</i> [56].	30
Figure 11: Zeuzère sur grenadier [57]	30
Figure 12: <i>Ectomyelois ceratoniae</i> [59].	31
Figure 13: <i>Aspergillus castaros</i> sur le grenadier [61].	32
Figure 14: Cycle de développement des Tetranyques [67].....	33
Figure 15: cycle de vie thrips tabaci [71]	34
Figure 16 : Symptômes de carence en éléments nutritives chez le grenadier (2018)	36
Figure 17: Structure des principaux acides phénoliques des grenades.....	39
Figure 18: Structure de base des flavonoïdes	40
Figure 19: Squelette de base de différentes classes des flavonoïdes	41
Figure 20: La quantité moyenne de vitamines présentes dans 100 g net de grenade ([151], [152]).	45
Figure 21: Diagramme interactif des proportions des principaux constituants de jus de grenade	46
Figure 22: Teneur en éléments minéraux de la grenade fraîche, pulpe et pépins.....	46
Figure 23: Modèle ohmique de la circulation de l'eau dans la plante.....	59
Figure 24: Modèle ohmique de la circulation de l'eau dans la plante.....	63
Figure 25: Carte représentant la localisation du domaine expérimental à Ain Taoujdate -Meknès (N 33°55,7 58'W-05°16,414' Altitude 485(m)).	72
Figure 26: graphique des températures et des précipitations mensuelles des années de récolte de la station climatique à Ain Taoujdate (donnée de station météorologiques du domaine).....	73
Figure 27: Aspect morphologique des fruits des 19 géotypes de grenadier étudiés pour la qualité de leurs jus (photos des géotypes prises en 2018).....	76
Figure 28: Colorimétrie de jus élaborée à partir des 19 géotypes de grenadier jus (photos du jus des géotypes prises en 2018).	77
Figure 29: Schéma descriptif de dispositif des arbres des deux cultivars irrigué.....	84
Figure 30: Parcelle d'essai de l'irrigation déficitaire sur grenadier au domaine expérimental d'Ain Taoujdate (Wonderful à gauche et Sefri à droite).	84
Figure 31: Diagramme de dispersion des deux premières composantes principales (PC1/PC2, 50,91% de la variance totale) pour la collection de grenades étudiées, en fonction des paramètres les plus discriminants.....	123
Figure 32: Dendrogramme des géotypes de grenadiers étudiés, basée sur les paramètres pomologique et physico-chimiques les plus discriminants des 3 années de récolte.	124
Figure 33: Diagramme de dispersion des trois premières composantes principales pour la collection de grenades étudiée, sur la base de tous les descripteurs.	135
Figure 34: Corrélations bivariées (split heatmap) entre les caractères morphométriques et lipo-biochimiques des 14 géotypes de grenade étudiés.....	138
Figure 35: Analyse des clusters des géotypes de grenade étudiés, basée sur les traits morphométriques.	140

Figure 36: Analyse des clusters des géotypes de grenade étudiés, basée sur les caractéristiques lipo-biochimiques.	141
Figure 37: Cinétique de croissance du fruit et des pousses de l'année chez les variétés de grenadier : Sefri (à gauche) et Wonderful (à droite) sous irrigation à la demande.....	145
Figure 38: ACP de tous les paramètres de <i>Sefri</i> et <i>Wonderful</i>.....	153
Figure 39: ACP des différentes années de récolte sur les paramètres de qualité de <i>Sefri</i> et <i>Wonderful</i>.....	158
Figure 40: ACP des différents âges sur les paramètres qualitatifs de <i>Sefri</i> et <i>Wonderful</i>.....	159

Liste des tableaux

Tableau 1: Besoins du grenadier en engrais (en g par an) [41]	21
Tableau 2 : Contribution des principaux pays aux productions et exportations de grenades 2017-2018 [39].	23
Tableau 3: Caractéristiques principales des cultivars de grenadiers	25
Tableau 4: Composition du jus de grenades en acides organiques (mg/100 g de la partie comestible du fruit) [91]	39
Tableau 5: Consensus des arômes volatils identifiés dans le jus de grenade frais	50
Tableau 6: Températures et précipitations mensuelles des années de récolte de la station climatique de Ain Taoujdade (donnée de station météorologiques du domaine)	73
Tableau 7: Origine géographique année de plantation et de récolte des géotypes de grenadier étudié pour la qualité de fruit et de leurs jus	74
Tableau 8: Valeurs mensuelles d'évapotranspiration, coefficient cultural et doses d'irrigation testées	85
Tableau 9: caractérisation morphologique des dix-sept géotypes de grenadier collectionnés à Ain Taoujdade de INRA-Meknès en 2017.	91
Tableau 10: Caractérisation physique des dix-neuf géotypes de grenadier collectionnés à Ain Taoujdade de l'INRA-Meknès en 2018.	95
Tableau 11: Rendement en arilles, en pépins et en jus pour les 17 géotypes récoltés en 2017. ...	97
Tableau 12: Rendement en arilles, en pépins et en jus pour les 19 géotypes récoltés en 2018. ...	98
Tableau 13: Coloration, poids, longueur et largeur des arilles et dureté des pépins pour les 17 géotypes récoltés en 2017.	99
Tableau 14: Coloration, poids, longueur et largeur des arilles et dureté des pépins pour les 19 géotypes récoltés en 2018.	101
Tableau 15: caractérisation chimique de la récolte de 2017.	102
Tableau 16: caractérisation chimique de la récolte de 2018.	105
Tableau 17: caractérisation biochimique de la récolte de 2018.	108
Tableau 18: Analyse de la variance de l'effet de la variété et de l'année de récolte sur les paramètres de qualité des fruits de grenade	109
Tableau 19: Analyse de la variance de l'effet de l'année de récolte sur les paramètres de qualité du fruit de la grenade	111
Tableau 20: Moyenne des caractères physiques et chimiques du fruit du grenadier des différentes années de récolte.	112
Tableau 21: Caractérisation physique des fruits des dix-neuf géotypes étudiés	115
Tableau 22: Caractérisation physique des arilles et des pépins de géotypes étudiés	116
Tableau 23: Caractérisation chimique des jus élaborés des géotypes	117
Tableau 24: la corrélation entre les caractères agro-morphologiques et physico-chimiques des géotypes de grenade évalués	121
Tableau 25: Vecteurs propres des axes de l'analyse en composantes principales des géotypes de grenade étudiés	122
Tableau 26: Le min, le max et la moyenne des groupes de clusters.	128
Tableau 27: Analyse descriptive et analyse de la variance des traits lipobiochimiques des accessions de grenadiers étudiées.	131
Tableau 28: Coefficients de corrélation entre les principales composantes de l'ACP et les variables observées	133
Tableau 29: Géotypes performants marocains sélectionnés en fonction de chaque paramètre souhaité (gradient de performance)	142
Tableau 30: effet de différents régimes d'eau sur les paramètres physiques du fruit de la grenade	144
Tableau 31: Analyse de la variance de l'effet variétal et des différents régimes hydriques sur les paramètres de qualité des fruits.	148

Tableau 32: Analyse de la variance de l'effet variétal sur les paramètres de qualité des fruits.	148
Tableau 33: Analyse de la variance de l'effet des différents régimes hydriques sur les paramètres de qualité des fruits.	148
Tableau 34: Effet de différents régimes d'eau sur les paramètres physiques du fruit de la grenade.	150
Tableau 35: Effet de différents régimes d'eau sur les paramètres chimiques du jus de grenade	151
Tableau 36: Effet de différents régimes d'eau sur les paramètres biochimiques du jus de grenade	152
Tableau 37: Analyse de la variance de l'effet de l'âge et de l'année de récolte sur les paramètres de qualité des fruits pour les fruits <i>Sefri</i> et <i>Wonderful</i>.	156
Tableau 38: Analyse de la variance de l'effet de l'année de récolte sur les paramètres de qualité de la grenade.	156
Tableau 39: Analyse de la variance de l'effet de l'âge sur les paramètres de qualité du fruit chez <i>Sefri</i> et <i>Wonderful</i>,	157

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le Grenadier, (*Punica granatum L.*) est un arbre fruitier à feuilles caduques qui a connu, ces dernières années, une grande expansion dans plusieurs pays, en particulier ceux à climat méditerranéen, réputés pour la qualité de leurs fruits. Il est cultivé depuis l'antiquité dans les différents pays de la région Européenne, Méditerranéenne et du Moyen-Orient, ce qui a permis le développement et la sélection de nombreux géotypes spécifiques au cours des derniers siècles [1].

Les bienfaits de la grenade sont multiples pour la santé. Toutes les parties de l'arbre (fruits feuilles, fleurs et racines) sont utilisées à des fins médicales [2]. Toutefois, les constituants biochimiques responsables des caractéristiques sensorielles de la grenade ont fait l'objet de peu d'études ; Ceci d'autant plus que la grenade a une grande capacité d'adaptation à différentes conditions edaphoclimatiques, c'est ainsi qu'elle est considérée comme une espèce tolérante au déficit hydrique [3]. Pour cette raison, au Maroc, sa culture est pratiquée dans différentes régions, dont certaines présentent une aridité prononcée, comme Settat (7% de la superficie totale) et Taounate (6%). Elle est également connue pour sa tolérance au stress hydrique, faisant de sa culture l'un des piliers de l'agriculture dans les zones de grandes surfaces hydrauliques, principalement les plaines de Tadla (35%) et du Haouz (20%) [4]. Les grenades à pépins doux consommées en frais : Le Sefri de Beni Mellal, les grenades rouges et jaunes de Marrakech, le Kharaji de Bzou, le Mesri de Meknès, Laroussi de Fès et Zhéri d'origine tunisienne [5]. Les grenades acides à pépins durs destinés généralement à la transformation : On distingue Wonderful, Negro, Monstruoso, et Dwarf semi evergreen. Les variétés Sefri, Grenade rouge et Grenade jaunes sont les variétés les plus cultivées dans le pays. Pour préserver le matériel génétique de cette espèce au Maroc, deux collections ont été établies : la collection d'Ahl Sousse à Beni Mellal et la collection de l'INRA à Meknès [5].

C'est dans ce sens que l'irrigation à déficit contrôlé a été développée dans les années 1980 comme stratégie d'économie d'eau et d'amélioration de la productivité des arbres fruitiers [6]. Cette stratégie de contrôle du déficit hydrique est basée sur la réduction des taux d'irrigation en dehors des stades phénologiques critiques, durant lesquels les composantes du rendement sont moins sensibles au stress hydrique. La mise en œuvre de cette technique nécessite une identification préalable de ces périodes avant d'expérimenter des restrictions d'eau raisonnées. Au niveau international, notamment dans certains pays d'Europe et d'Asie, les travaux sur ce thème se concentrent beaucoup plus sur les restrictions d'eau en fin de cycle afin d'améliorer la qualité de la production dans un contexte de forte disponibilité en eau [7]. Au niveau national, où la disponibilité en eau est limitée, les travaux doivent être orientés vers l'économie d'eau d'irrigation en assurant des niveaux satisfaisants en termes de rendement et de qualité de production. Au Maroc la culture du grenadier repose sur une gamme variétale réduite bien que le

germoplasme local comprend plusieurs genotypes. La collection de l'INRA constituée de variétés étrangères et de génotypes locaux, témoigne de l'importance accordée à cette espèce dans les programmes de recherche nationaux qui visent la diversification de la production fruitière et la réponse aux besoins spécifiques des professionnels. Ce matériel génétique constitue une base pour le programme d'amélioration national.

Au regard de descripteurs phénotypiques, 19 variétés dont 11 sont d'origine marocaine. Dans le cadre de la valorisation du patrimoine local du grenadier et de la mise en évidence de sa richesse et de sa diversité, vise l'évaluation d'une collection de génotypes du grenadier (*Punica granatum L.*) à travers l'étude de la qualité pomologique chimique et biochimique du fruit et de son jus par rapport à la variation génotypique et au déficit hydrique. Les travaux de recherche ont été réalisés sur trois ans (2009, 2017 et 2018). La collection objet de ce travail est constituée de 19 génotypes (11 variétés locales et 8 variétés introduites) et localisée au sein du domaine expérimental Ain Taoujdate du Centre Régional de la Recherche Agronomique de Méknès. Pour atteindre ces objectifs, la présente thèse s'est articulée en quatre phases complémentaires, définissant ses objectifs spécifiques, à savoir :

- ✓ La première phase traite la valorisation du patrimoine local du grenadier et de la mise en évidence de sa richesse et sa diversité, a concerné une analyse pomologique et biochimique de la collection de grenadier, constitué de 19 génotypes, et ce durant les années 2017 et 2018 afin d'élucider le niveau de diversité de la collection.
- ✓ La deuxième phase consiste à l'étude chimique à travers la caractérisation biochimique et phytochimique des fractions de composés biochimiques par chromatographie sur 14 génotypes, dans l'objectif de renforcer la pertinence de la discrimination et de la classification des accessions de grenade afin de mieux orienter sa valorisation et contribuer aux programmes de sélection génétique.
- ✓ La troisième phase a trait à l'expérimentation de deux niveaux d'irrigation déficitaire contrôlée, en s'intéressant à l'effet du changement climatique (à savoir les conditions hydriques) sur la qualité physique et biochimique du fruit et du jus (correspondant). La croissance des fruits et des pousses des deux variétés de grenade a également été surveillée chaque semaine. Les essais ont été réalisés au niveau du domaine de l'INRA à Ain Taoujdate sur deux variétés de grenadiers : Sefri et Wonderful.
- ✓ La quatrième phase vise à déterminer l'effet de l'âge, de l'année de récolte sur certains paramètres de qualité des fruits de 19 génotypes et de deux variétés de grenadier : *Sefri et Wonderfull*.

CHAPITRE I: REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

I. Présentation générale et phytotechnie de grenadier

I.1. Classification botanique et origine géographique

Le grenadier est un sous-arbrisseau ou un arbrisseau, touffu, très ramifié depuis la base du tronc. [8]. Le tronc tortueux, à écorce grisâtre, se ramifie en branches irrégulières, légèrement épineuses au sommet, portant des feuilles généralement opposées (Figure 1), luisantes, simples, entières et non stipulées ; parfois, elles sont isolées ou groupées en verticilles sur un même pied. Les fleurs (Figure 1), d'un rouge pourpre à grenat, brièvement pédonculées, sont axillaires, solitaires ou en petites cymes pauciflores. [8].

Le réceptacle floral turbiné ou campanulé est surmonté de quatre à huit sépales rouges, charnus, persistants, d'abord dressés, puis s'étalant après fécondation ; les pétales en même nombre sont insérés en dedans des sépales et alternent avec eux ; ils sont minces et chiffonnés dans le bouton ; les étamines, en grand nombre, sont insérées sur la face interne du réceptacle au-dessous de la corolle [8].

Le gynécée, qui comprend huit à neuf carpelles disposés sur deux verticilles, ne possède qu'un seul style surmonté d'un renflement stigmatique ; l'élongation de l'ovaire et du réceptacle donne au fruit une forme particulière ; les carpelles externes se trouvent entraînés au-dessus des autres, ce qui forme deux étages superposés, plus ou moins définis, de loges ovariennes, renfermant un nombre élevé et variable de arilles par loge. Le fruit, globuleux, rouge-brun, de la grosseur d'une orange, est surmonté des dents du calice desséchée ; c'est une baie cortiquée à péricarpe dur, divisée en plusieurs loges dont les arilles ont un tégument externe rouge, pulpeux, succulent, acidulé, sucré et un tégument interne dur; elles ne possèdent pas d'albumen mais deux cotylédons foliacés, enroulés l'un sur l'autre [8].



Figure 1: Les feuilles, la fleur et le fruit de *Punica granatum*

I.1.1 Classification botanique

Le grenadier, *Punica granatum*, a été décrit par Linné et introduit dans sa classification en 1753. Telle est cette **classification** : [9]

- Règne : Plantae
- Division : Magnoliophyta
- Classe : Magnoliopsida
- Ordre : Myrtales
- Famille: Punicaceae
- Genre : Punica
- Espèce: *P. granatum*
- Ordre : Myrtales
- Famille: Lythraceae

En 1998, une classification des angiospermes, c'est-à-dire des plantes à graines, est créée par un groupe de botanistes, l'Angiosperm Phylogeny Group ou APG. Cette classification phylogénétique réorganise le règne végétal en fonction de critères moléculaires, s'intéressant essentiellement à l'ADN de deux gènes chloroplastiques et d'un gène nucléaire de ribosome. Ainsi, pour certaines espèces végétales, les résultats moléculaires sont en accord avec les anciennes classifications alors que pour d'autres espèces végétales, il est nécessaire de modifier leur position dans la systématique. Ces résultats reconsidèrent la phylogénie des plantes. Cette nouvelle organisation se compose alors de 462 familles réparties dans 40 ordres [10]. Cette classification a été révisée en 2003, donnant naissance à la classification phylogénétique APGII, qui comporte 457 familles réparties dans 45 ordres. Au sein de cette classification [10], la position du grenadier est que ce soit dans la classification de Linné ou dans la classification APGII, le genre *Punica* ne possède que deux représentants : *Punica granatum*, d'une part, et *Punica protopunica*, d'autre part. Ce dernier est recensé exclusivement sur l'île de Socotra ou Socotora, située dans l'océan Indien, au large des côtes de Somalie [11].

I.1.2 Origine géographique

La grenade est le fruit du grenadier (*Punica granatum*). Ce petit arbre buissonnant est originaire du bassin méditerranéen, d'Asie Occidentale et du Moyen-Orient, où il est cultivé depuis 5000 à 6000 ans. Son nom est dérivé du latin « granatum » qui signifie « fruit à grain » [12]. La grenade est souvent mentionnée dans la mythologie grecque, ainsi que dans la Bible et le Coran, preuve que ce fruit est connu et consommé depuis des millénaires. Outre la dimension symbolique dont elle était revêtue, la grenade était appréciée à l'époque pour les propriétés vermifuges de son écorce, mais aussi pour sa pulpe désaltérante et son aptitude à se conserver et à résister aux chocs, grâce à son écorce rigide. Les voyageurs et les caravaniers l'emportaient donc avec eux comme provision de bouche : le grenadier s'est

ainsi rapidement répandu vers l'Est (Asie) et vers l'Ouest (bassin méditerranéen), grâce aux pépins du fruit. Cet arbre fruitier est aujourd'hui cultivé un peu partout dans le monde, sous les climats chauds et secs [13].

La patrie phylogénétique du Grenadier (*Punica granatum L.*), selon les travaux des botanistes et pomologues, se trouve 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. Chavroff a vu des bois entiers de Grenadiers sauvages dans le Mazanderan, province persane du littoral de la mer Caspienne. Aitkinson l'a observé spontané, couvrant de grandes étendues dans l'Afghanistan oriental. Il paraît être également spontané en Transcaucasie. En Asie Mineure dans la région méditerranéenne, ainsi qu'en Afrique du Nord, l'espèce se serait naturalisée à la suite d'une très ancienne culture et de sa dispersion par les oiseaux. Sa naturalisation dans la région méditerranéenne est si fréquente qu'elle paraît constituer un prolongement de son habitat primitif. 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. Le Grenadier sauvage diffère du Grenadier cultivé par la dimension de ses fruits. Le volume des grenades cultivées ainsi que l'épaisseur de la pulpe juteuse entourant les grains est le résultat d'une très longue sélection. Le Grenadier fournit un exemple typique de la domestication d'une espèce sauvage. 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. Il en est de même des variétés naines cultivées aujourd'hui en Chine, dont les fruits ont seulement la grosseur d'une cerise [14].

I.2. Aire de répartition de la culture

I.2.1. Répartition à l'échelle mondiale

Grâce à la plasticité du grenadier, sa capacité de coloniser les différents types des substrats, et la propagation facile de ses graines (dispersion par l'homme, les oiseaux et d'autres animaux), le grenadier est présent sur une grande aire de répartition qui s'étend sur plusieurs pays du monde (Figure 2) [15].

La surface mondiale dédiée à la culture du grenadier est de l'ordre de 835 900 ha, dont plus de 70 % est répartie sur cinq pays (Inde, Iran, Chine). L'Égypte et Azerbaïdjan et Turquie, en ont une superficie comprise entre 31 100, 28 000 et 25 000 ha et comptent parmi les pays ayant développé le secteur d'exportation et aussi la sélection de nouvelles variétés [16]. D'autres pays pratiquent également

cette culture : USA, Maroc, Tunisie, Espagne, Israël, Afghanistan, Pakistan, Arménie, Géorgie, Tadjikistan, Jordanie, Italie, Azerbaïdjan, Libye, Liban, Soudan, Myanmar, Bangladesh, Mauritanie, Chypre et Grèce [3].

Les nomades arabes, dans leurs transhumances, ont facilité la dissémination de cette espèce. En effet, en raison de la résistance de son écorce, qui en fait un fruit de longue conservation et peu susceptible d'être altéré durant le transport, la grenade a constitué, très tôt dans l'histoire, l'un des aliments de base des voyageurs et des caravaniers, ce qui a contribué à la propagation des graines de cette espèce vers d'autres zones [15].

Les Maures, berbères d'Afrique du nord, l'introduisirent dans la péninsule ibérique, au VIII^{ème} siècle après JC, lors de la conquête de ce territoire. Fort appréciés dans le sud de l'Espagne, les grenadiers connaissent alors une culture intensive [17].

Les envahisseurs espagnols introduisirent la culture du grenadier en Amérique et aux Antilles au XV^{ème} siècle lors de la découverte du continent américain [17].

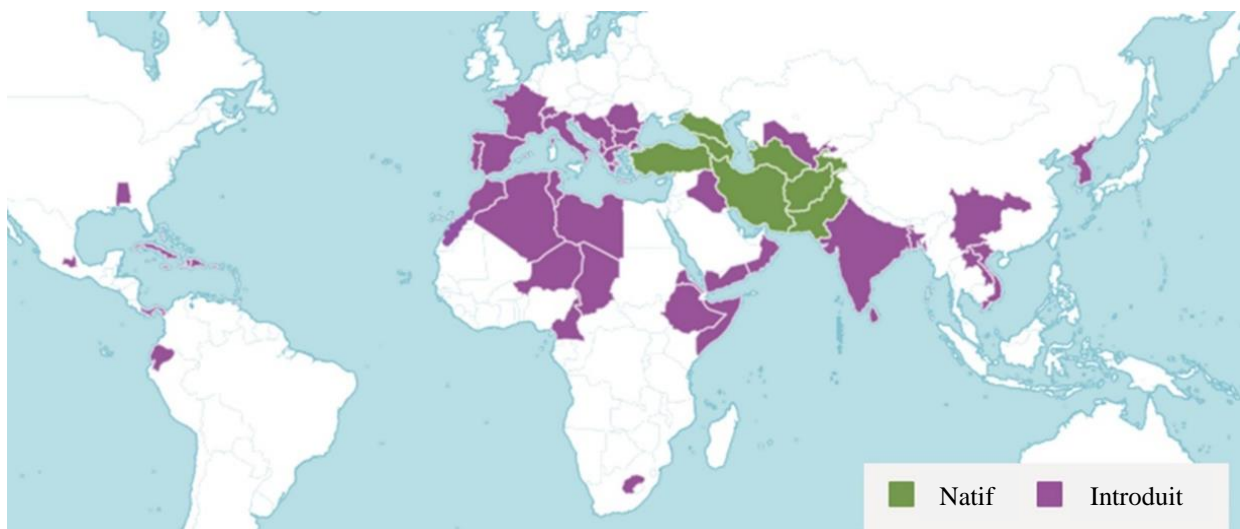


Figure 2: Répartition géographique mondiale du grenadier [18].

I.2.2. Répartition à l'échelle nationale

Avec le fort potentiel agronomique et l'adaptation du grenadier aux conditions pédoclimatiques de plusieurs zones agricoles marocaines, la culture du grenadier dans ce pays connaît un essor sans précédent durant les dernières années, marqué essentiellement par une forte expansion de la superficie emblavée par cette culture qui est passée de 5 220 ha en 2008 (Figure 3) à 14 120 ha en 2019 et à 12 644 ha en 2018 [4].

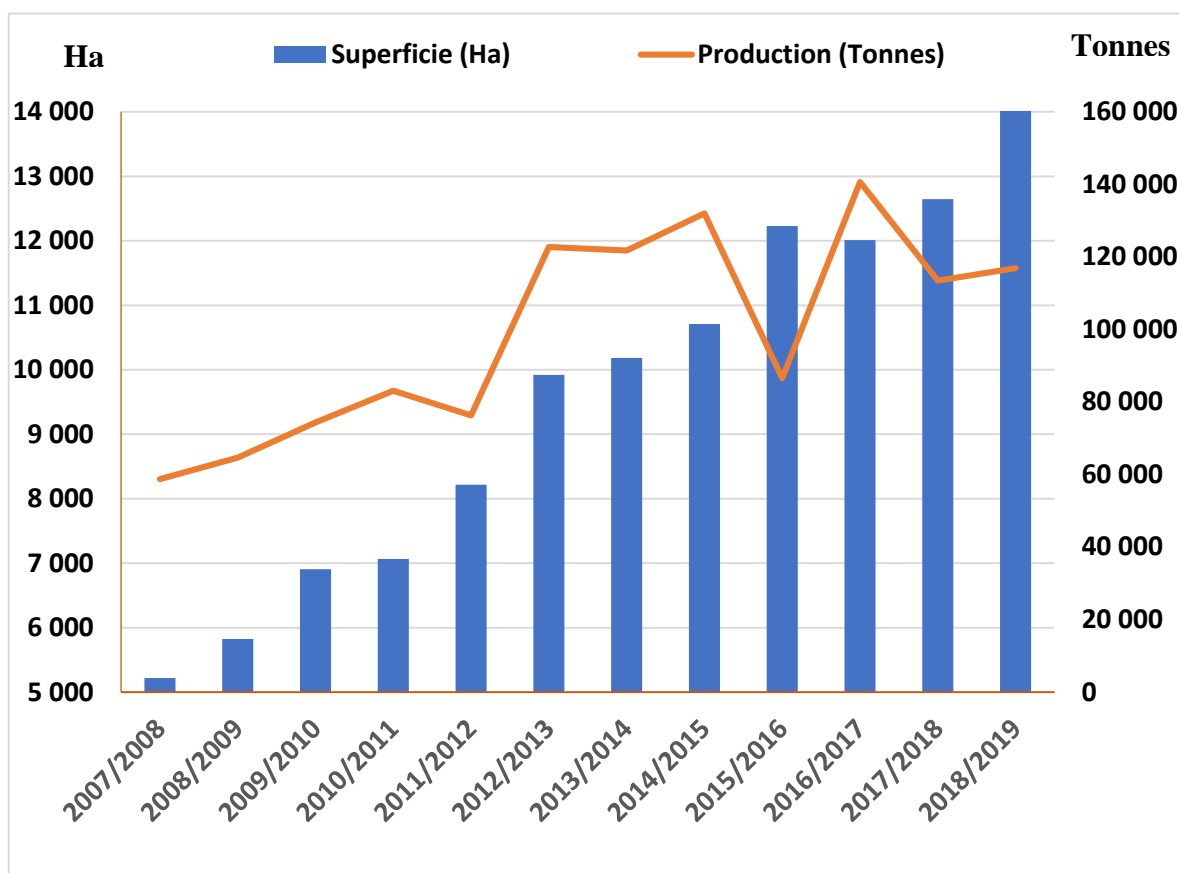


Figure 3: L'évolution aux 10 dernières années de la superficie et de la production nationale de grenade au Maroc [4].

La culture du grenadier au Maroc s'étale sur plusieurs régions, avec les principaux bassins de production de la grenade sont concentrés dans les régions de : 1-Béni Mellal-Khénifra (qui a produit en 2019, à elle seule, l'équivalent de 45,23% et 43% en 2018 (Figure 5) de la production nationale en grenade fraîche pour 19 % (Figure 4) de la superficie du grenadier au Maroc). C'est de loin la première zone productrice de la grenade fraîche au Maroc, 2- Marrakech-Safi (représentant 28,62% de la superficie du grenadier au Maroc et 12,81% (Figure 4) de la production nationale), 3- L'Oriental : assurant une part de la production nationale de l'ordre 10,44% pour une superficie avoisinant les 16,16% de la superficie du grenadier au Maroc) 4- Tanger-Tétouan- Al-Hoceima : 15,43% et 7,77% en termes de superficie et de production nationale respectivement. Ces quatre régions représentent environ 78,88% de la superficie du grenadier au Maroc et assurent 76,25% de la production de la grenade fraîche dans le pays. Par ailleurs, même si elle reste fluctuante d'une campagne à l'autre, du fait que le grenadier est naturellement sensible aux conditions climatiques, la production marocaine en grenade fraîche est passée de 58,78 tonnes en 2008 à 116,94 (Figure 3) tonnes en 2019 [4].

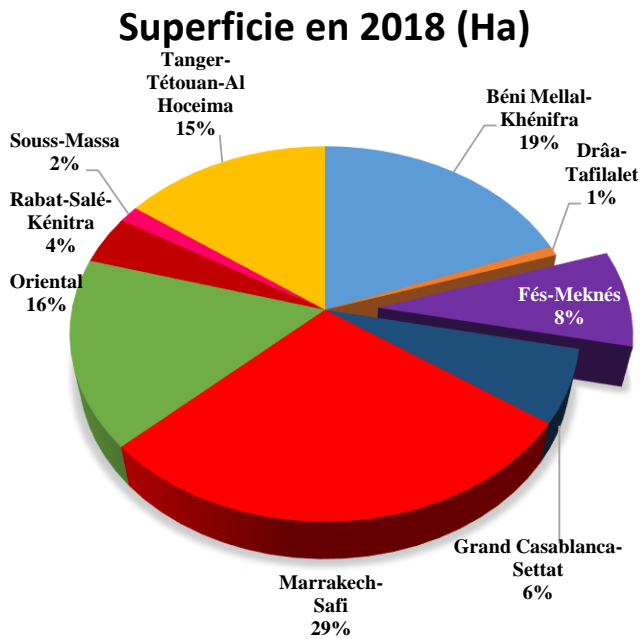


Figure 4: Superficie de grenadier en 2018

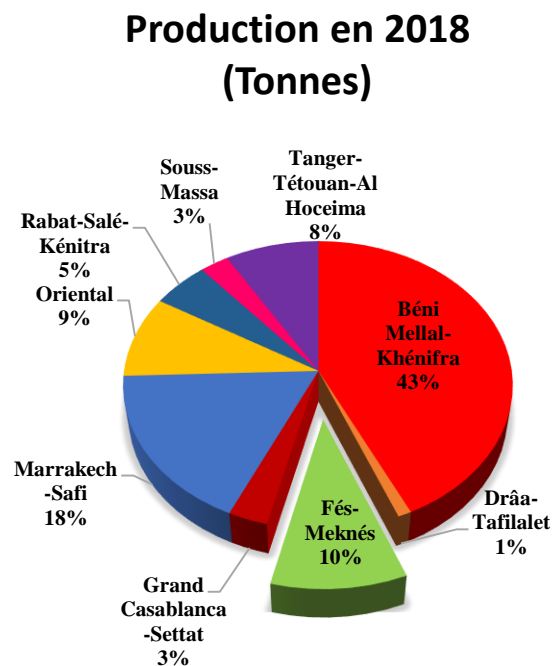


Figure 5: Production de grenadier en 2018

✓ Valorisation de la production

La mise en valeur du grenadier au Maroc, se traduit par la création d'une IGP (Indication Géographique Protégée) des arbres du grenadier, au niveau de la région de Tadla Azilal à Ouled Abdellah (Béni Mellal), afin de valoriser et protéger ce produit de terroir [19]. Dans le même cadre de valorisation de ces grenades, il y a aussi l'installation des programmes d'investissement dans le but d'assurer un développement durable de ce secteur au Maroc à travers l'extension de la superficie du grenadier notamment par la subvention de l'acquisition des plants certifiés pour la plantation et la création de nouveaux vergers. Ainsi, avec une densité minimale de 200 plants/ha, la subvention est de 60 % du prix d'acquisition des plants plafonnée à 6,000 Dhs/ha. En termes de commercialisation, l'essentiel de la production marocaine de grenade fraîche est commercialisé sur le marché local avec une prédominance claire du secteur informel et des circuits courts et la vente aux abords des routes, dans les marchés et souks locaux hebdomadaires, est assez fréquente. Toutefois des initiatives étatiques ont émergé pour promouvoir des programmes d'investissement dans le but d'assurer un développement durable de ce secteur au Maroc à travers l'extension de la superficie du grenadier notamment par la subvention de l'acquisition des plants certifiés pour la plantation et la création de nouveaux vergers. Ainsi, avec une densité minimale de 200 plants/ha, la subvention est de 60 % du prix d'acquisition des plants plafonnée à 6,000 Dhs/ha. Dans le même sens, des programmes de formation sont proposés annuellement au profit des producteurs et des organisations de producteurs de grenade au niveau des

principales zones productrices marocaines. Ces formations concernent essentiellement les bonnes pratiques de la culture du grenadier, la conservation et le conditionnement du fruit, les stratégies marketing et de labellisation. Parallèlement, l'état marocain encourage amplement la création des associations et des coopératives de producteurs de la grenade, mais aussi la mise place des unités de conservation et de conditionnement. Ceci dit, l'exemple le plus parlant qu'il convient de citer pourrait être celui de la mise en place d'un complexe de valorisation de la grenade du terroir d'Ouled Abdellah (région Beni-Mellal Khénifra). En effet, ce complexe illustre la stratégie nationale actuelle d'accompagnement des agriculteurs vers une meilleure valorisation de leur production. Ainsi, d'une capacité de conditionnement d'environ 1,5 ha et d'une capacité de 20,000 tonnes par an, ce complexe est composé, entre autres, de 2 frigos avec une capacité de 300 tonnes chacun, une aire de réception, une zone de conditionnement et une plateforme «Dar roumane» qui sert de vitrine pour la commercialisation de la production mais constitue également un lieu de rencontre des producteurs et des clients [4].

I.3. Phénologie de grenadier

Comme chez les autres espèces tempérées, le grenadier présente des caractéristiques phénologiques différentes au cours de son cycle végétatif en réponse aux changements de température [20].

I.3.1 Cycle de croissance végétative

L'étude phénologique des différents stades de développement des feuilles du grenadier permet de construire un modèle de l'évolution de l'indice foliaire au cours de l'année avec un pas de temps d'une journée, utilisant l'approche de Nizinski et Saugier en 1988. Avec l'utilisation des données météorologiques standards issues des stations météorologiques comme variables [21].

Selon une étude de Nizinski et Saugier en 2014 sur la phénologie du grenadier, il apparaît que le cycle annuel de l'évolution de la croissance des feuilles du grenadier est divisé en cinq stades :

La dormance : Elle peut être corrélée aux jours courts, aux basses températures de l'air, à un stress hydrique aigu ou aux carences nutritives. Elle correspond à un équilibre interne entre les phytohormones promoteuses (gibbereline, cytokinine) et les phytohormones inhibitrices (acide abscissique) de la croissance.

Le débourrement : Sous l'influence, d'abord du froid et ensuite de l'augmentation de la durée du jour et de la température de l'air, le taux d'acide abscissique diminue alors que le taux de gibbérelline augmente, avec comme conséquence, l'accroissement de l'activité métabolique ; il y a aussi la mobilisation des réserves nutritives, la croissance racinaire ainsi que le transfert de métabolites et d'hormones de croissance (gibbereline, cytokinine) des racines vers les bourgeons. Cette période est appelée période « d'activation métabolique ». Les études hormonales expliquent la division et

l'expansion des cellules des feuilles par l'action des cytokinines. Ainsi, les bourgeons évoluent de leur forme hivernale vers la libération distincte des feuilles. Ce stade est divisé en 4 phases :

B0 – Bourgeons non gonflés, conservant leurs dimensions hivernales ;

B1 – Bourgeons gonflés, écailles plus ou moins écartées ;

B2 – la jeune pousse apparaît dans le bourgeon sans faire éclater les écailles ;

B3 – Ecailles éclatées ; les feuilles de la pousse sont partiellement libérées ;

B4 – la jeune pousse est entièrement libérée et en phase de croissance.

La croissance des feuilles : il y a d'abord multiplication cellulaire dans les méristèmes, avec formation d'un grand nombre des cellules, correspondant au nombre des feuilles. Ensuite, il y a élongation de ces feuilles jusqu'à ce qu'elles acquièrent leurs dimensions définitives, puis dès que les feuilles sont mesurables, on peut estimer la phase de croissance des feuilles jusqu'à ce que la surface foliaire maximale soit atteinte (stade B4). En moyenne, pour un bourgeon donné, entre le moment où les premières feuilles sont mesurables et le moment où la dernière feuille qui apparaît devient aussi mesurable, il s'écoule environ une semaine. Les principaux facteurs climatiques qui régissent le phénomène de la croissance des feuilles du grenadier sont la température moyenne de l'air, l'humidité relative de l'air et la photopériode.

La date de la fin de croissance des feuilles : Correspond à la date de fin de la croissance de la surface des feuilles, la date pour laquelle les longueurs et les largueurs mesurées se stabilisent sur l'ensemble des feuilles observées.

La chute des feuilles : lors de ce stade, il y a décroissance de la surface totale des feuilles jusqu'à annulation de cette surface. Cette décroissance a pour conséquences : la diminution de la capacité de rétention en eau du couvert végétal et donc la modification de l'interception ; la diminution jusqu'à arrêt du flux transpiratoire. Cette phase est divisée elle-même en deux phases : la première est l'étape de sénescence des feuilles, lors de laquelle il y a changement de couleur des feuilles (perte de chlorophylle) et constitution à la base du pétiole de la zone d'abscission ; la deuxième est l'étape d'abscission, provoquée par la digestion des cellules constituant la zone d'abscission, puis détachement ou arrachement sous l'influence du vent. La sénescence des feuilles survient comme réponse au changement de photopériode et de régime thermique ; il y a rééquilibrage hormonal en faveur des inhibiteurs de la croissance (auxine, gibbérelline et cytokinine).

I.3.2. Croissance et développement du fruit

Contrairement à plusieurs autres espèces fruitières, chez le grenadier, les études relatives à la floraison et aux organes de fructification ont été éparses jusqu'à ces dernières années. Toutefois, il a été montré que cette espèce présentait une floraison très échelonnée pouvant se prolonger sur 10-12

semaines (avec le maximum des fleurs obtenu entre la troisième et la cinquième semaine après le début de floraison) et se dérouler sur trois ou quatre vagues distinctes selon la variété et la situation géographique [22].

Le grenadier est considéré comme une espèce monoïque (2 types de fleurs sur le même arbre): les fleurs mâles (stériles) avec des styles courts et des ovaires atrophiés, " en forme de cloche "; et des fleurs hermaphrodites (fertiles), "en forme de vase", ce que l'on appelle l'andromonoécie (Figure 6). Le pourcentage de fleurs mâles est important (plus de 60 à 70 %) et variable selon les variétés et le climat. Les fleurs mâles ont une capacité de production des pollens très importante comparée à celle des fleurs bisexuelles [23].

Les fleurs hermaphrodites du grenadier ont des parties femelles (stigmate, style, ovaire) et mâles (filaments et anthères) bien formées et ont été qualifiées de fleurs «fertiles», car ce sont les fleurs qui produisent le fruit, elles sont communément appelées fleurs «femelles». Les fleurs mâles produisent des parties mâles bien développées, mais en examinant de plus près le pistil, elles contiennent des parties femelles réduites. Ainsi, leur rôle est plus précisément décrit en tant que fleurs fonctionnellement mâles (ne sont pas strictement masculines). Les fleurs mâles tombent généralement et ne produisent pas de fruits [24].

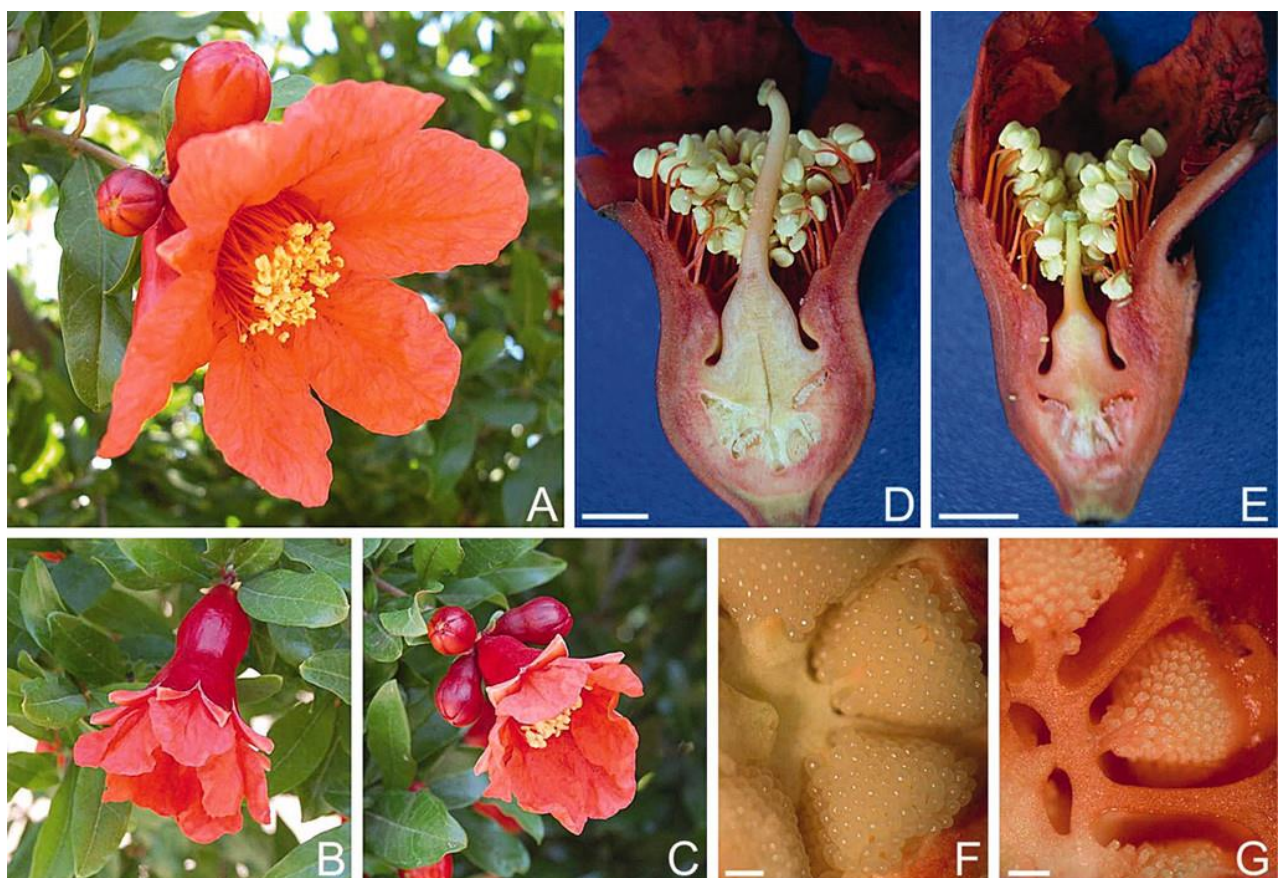


Figure 6: Types des Fleurs de Grenade

(A) Fleur complètement ouverte. (B) Fleur simple près de sessile. (C) Grappe de fleurs. (D) Coupe longitudinale d'une fleur bisexuée. (E) Coupe longitudinale d'une fleur mâle. (F) Détails des ovules d'une fleur hermaphrodite. (G) Ovules d'une fleur mâle.

Barres d'échelle: **D et E** = 5,0 mm, **F et G** = 500 μm .

La date, la durée, le mode et l'intensité de floraison sont des caractéristiques variétales importantes pouvant avoir des conséquences sur la fructification et la qualité des grenades. La proportion de fleurs fertiles varie en fonction de la date d'apparition, des pratiques culturales et du climat, mais est souvent plus importante en début de saison. Les premières vagues de floraison présentent le meilleur potentiel qualitatif et les dernières vagues, le plus mauvais [15].

La période de pleine floraison dure environ un mois et la fructification a lieu dans environ 2 ou 4 périodes distinctes. Mais, les fruits de haute qualité obtenus à partir du premier distinct a lieu 3 à 4 semaines après le début de la floraison [25].

La pollinisation des fleurs du grenadier est pour partie autogame (autopollinisation) et pour partie allogame (pollinisation croisée). La proportion entre les deux dépend des variétés et du contexte environnemental. Les taux de nouaison des fruits pour les fleurs autogames étaient inférieurs à ceux des fleurs allogames [24]. Le grenadier fructifie à partir de la 3^{ème} année, mais la production devient significative à partir de la 4^{ème} année. Le rendement augmente durant les 10 à 20 premières années de la culture (selon le degré d'intensification) [17].

I.4. Exigences écologiques et de conduite de la culture

I.4.1 Exigences climatiques

Le grenadier s'adapte à de nombreux climats. Cependant, le climat austral subtropical voire tropical lui convient mieux. Les meilleurs fruits sont obtenus dans les régions subtropicales, chaudes et tempérées, où la période des températures élevées correspond au moment de la maturité des grenades. L'espèce exige une petite dose de froid en hiver pour son évocation florale, mais elle craint les conditions généralement froides des hautes altitudes [26]. Elle supporte très bien la sécheresse, mais cela compromet la qualité de ses fruits. Un climat chaud et sec sera bon pour la croissance et le développement du grenadier à condition que ses racines ne manquent pas d'eau [27].

En dehors des régions subtropicales, le grenadier pousse bien dans toutes les régions où la température ne descend pas en dessous de -15 °C et certains géotypes acides, d'Asie centrale, peuvent même survivre à des températures très basses, qui peuvent atteindre -25 °C ou -30 °C [15].

Enfin, cet arbre remarquable supporte aussi bien la chaleur et la sécheresse que le froid. Cependant, il ne pourra fructifier correctement qu'en plein soleil et dans les zones où l'été se prolonge longtemps, ce qui explique leur adaptation au climat méditerranéen [17].

I.4.2 Exigences édaphiques

Le grenadier est un arbre qui se caractérise par sa grande résistance et sa large plasticité eu égard aux besoins édaphiques, car il n'est pas exigé en ce qui concerne la nature de son sol et il est capable de s'adapter avec une gamme élargie de substrats, ce qui explique sa grande répartition géographique et sa plantation dans différents continents du globe [19].

Il est connu aussi pour sa grande capacité de se développer dans les sols salins et est classé dans le 4^{ème} groupe des espèces les plus résistantes à la salinité globe [20]. Les meilleurs résultats d'installation de plantations sont obtenus en sols d'alluvions profondes avec des disponibilités satisfaisantes en eau (bords des courants d'eau). Les sols argilo-limoneux irrigués conviennent également à la culture du grenadier [19].

I.4.3 Bonnes pratiques de conduite culturale

1) Taille

Le grenadier est un arbrisseau vigoureux, qui donne chaque année beaucoup de repousses au pied et de drageons. Ces derniers lui donnent un aspect de touffe si l'arbre est laissé sans taille. La fructification chez cette espèce a lieu sur une bourse à l'extrémité d'une coursonne. C'est le vieux bois qui produit les fruits sur les branches exposées en dehors de la charpente. Vu cette propriété de fructification, la taille courte doit être pratiquée en automne ou au début de l'hiver, juste après la chute des feuilles alors que le plus souvent, et c'est fort regrettable, le grenadier est abandonné à lui-même. Il n'est pas difficile de surveiller son développement en favorisant la vigueur des rameaux charpentiers, qui eux sont justement fructifères [28].

Pour la culture du grenadier, la taille se fait par rapport à la densité du verger. Pour les vergers les plus denses, la taille a lieu par l'élimination des rameaux secondaires et le maintien des rameaux principaux, ce qui donne aux arbres la forme d'une pyramide où la longueur des branches est décroissante de la base vers le sommet. Néanmoins, dans les vergers où la densité des arbres est moins importante, la taille se fait régulièrement pour obtenir une forme de vase classique dont les embranchements du tronc sont bas et proches du sol [29].

2) Densité de plantation

La densité des arbres du grenadier est variable selon la fertilité du sol et l'intensification souhaitée. Les densités les plus courantes sont 5 m x 5 m pour un terrain aride et/ou pauvre (400 pieds/ha) jusqu'à 3 m x 5 m (667 pieds/ha) pour une culture semi-intensive. Des densités plus fortes (jusqu'à 1200 pieds /ha) sont possibles pour des vergers plus intensifs [17]. La forte tendance de cette espèce à drageonner fait que les vergers sont souvent conduits en multi-tronc. La gestion des drageons reste un problème majeur de la culture, leur arrachage manuel qui est obligatoire constitue un poste de charge important [30].

3) Fertilisation

La fertilisation des vergers de grenadier est indispensable pour assurer une bonne production des grenades (grande quantité et meilleure qualité). Le grenadier est une espèce exigeante en éléments fertilisants majeurs et même en fer et manganèse [19]. Les fertilisants du grenadier les plus utilisés sont l'azote, le phosphore et le potassium : le premier est réservé pour les arbres chétifs et en mauvaise santé, et un apport excessif en cet élément présente le risque de faire éclater les grenades. En revanche, le deuxième a une influence favorable sur l'enracinement des jeunes plantes et sur la fructification des arbres adultes s'il est être apporté en hiver aux arbres à partir d'un système d'irrigation à la raie. L'ajout du potassium est généralement tardif (après la floraison), il est utilisé pour réduire les risques d'éclatement des fruits [31] et [15].

Cependant, l'ajout des engrais est propre à chaque stade de développement des arbres du grenadier. Un grenadier commence à produire à partir de 4 ans et rentre en pleine production à 7 ans. Durant les 4 premières années, l'apport d'azote est quasiment égal au potassium ou au phosphore. A partir de la cinquième année, on obtient un ratio de 1N - 0,5 P - 1K [15].

Au Maroc, la fertilisation des vergers du grenadier se fait par des apports en engrais chimiques et/ou en fumier. Une étude faite dans la région de Tadla a montré que les apports des engrais de synthèse pratiqués par 66% des producteurs enquêtés sont sous forme du complexe 14N-28P-14K [32]. Ces apports sont effectués manuellement à partir de février en apportant entre 200 et 500 kg/ha. En revanche, 84% des producteurs de cette région procèdent à partir du mois de décembre à l'épandage des quantités comprises entre 20 et 30 tonnes de fumier par ha [32]. La fertilisation minérale (Tableau 1) possibilité de supprimer les apports d'engrais chimique quand les arbres ont plus de 10 ans et qu'ils ont reçu une fertilisation suffisante lors des premières années de leur vie se fractionnera en 3 fois: avant la floraison (en février), à la fin de la nouaison (en mars-avril) et après les récoltes (en septembre) [41].

Tableau 1: Besoins du grenadier en engrais (en g par an) [41]

âge de l'arbre	N g/ans	P g/ans	K g/ans
0 à 2 ans	155	100	155
3 à 4 ans	200	100	300
5 ans et +	280	100	420

4) Irrigation

Les *Punica granatum* sont des arbustes résistant à la sécheresse. Ils peuvent survivre avec très peu d'eau. Mais pour avoir une meilleure récolte sur un arbre pas trop âgé, il faut arroser régulièrement et attendre que l'arbre ait installé ses racines profondément dans le sol [33]. En général, les arrosages réguliers sont recommandés lors de la culture du grenadier pour maintenir le sol constamment humide. Les doses journalières sont calculées en tenant compte de paramètres essentiels : l'évapotranspiration potentielle et les caractéristiques physico-chimiques du sol, en particulier la capacité de rétention d'eau. Les irrigations doivent s'effectuer à intervalles de temps réguliers pour éviter les éclatements des baies [19]. Les pratiques les plus courantes font état de 13 à 18 apports effectués entre le mois de mars et le mois d'octobre, soit une moyenne de 10000 m³/ha. Il est nécessaire de garder le système racinaire constamment frais par des irrigations régulières et bien raisonnées. Le système d'irrigation goutte à goutte permet d'éviter l'altération des grenades et d'améliorer les performances avec une économie de l'eau [33].

Au Maroc, la fréquence des apports d'eau varie d'un verger à l'autre, selon le stade phénologique de la plante et la source des eaux utilisées. Dans le cas des vergers irrigués par pompage, les apports d'eau sont menés de façon régulière tous les 8 à 15 jours dès le mois de mars jusqu'à la récolte. Cependant, pour les vergers desservis par le réseau hydroagricole, la fréquence d'apports dépend uniquement des programmes de lâchers d'eau. En général, les pratiques les plus courantes font état de 8 à 9 apports par campagne avec un intervalle de 20 jours en moyenne entre deux lâchers d'eau [32].

I.5. Diversité de l'espèce et profil variétal en culture

I.5.1 Diversité à l'échelle mondiale

Il existe plus de Mille variétés de *Punica granatum* à l'échelle mondiale. Les critères les plus utilisés pour les distinguer sont la taille du fruit, la couleur de l'écorce, la couleur des arilles, la dureté des pépins, la teneur en jus, l'acidité et astringence et la période de maturation [34]. La grande diversité de cette espèce est évidente dans différents pays, l'Espagne abrite la banque de matériel génétique en Europe avec plus de 104 variétés. De grandes collections existent aussi dans d'autres pays comme l'Inde

qui a 3 collections principales contenant chacune au moins 30 accessions [35]. Levin [36] a signalé que 8 pays de l'ex-URSS avaient des collections de matériel génétique de grenade. L'Azerbaïdjan, l'Ukraine, l'Ouzbékistan et le Tadjikistan possèdent aussi des collections de grenadier relativement importantes allant de 200 à 300 accessions. La collection de la station expérimentale de ressources phylogénétiques du Turkménistan a été créée en 1934 et est la plus vaste au monde, avec 1117 variétés [35].

En ce qui concerne les rendements de production mondiale des grenades, il n'y a pas de données chiffrées précises et actualisées, en raison de l'augmentation rapide de l'expansion et de la production de cette espèce. En se basant sur les données élaborées par différents chercheurs et associations à travers le monde, la production annuelle des fruits de grenadier dans le monde est estimée à 1,5 million de tonnes [37]. La Figure 7 ci-dessous montre la répartition de la production annuelle des pays considérés comme les plus grands producteurs de grenade au niveau mondial.

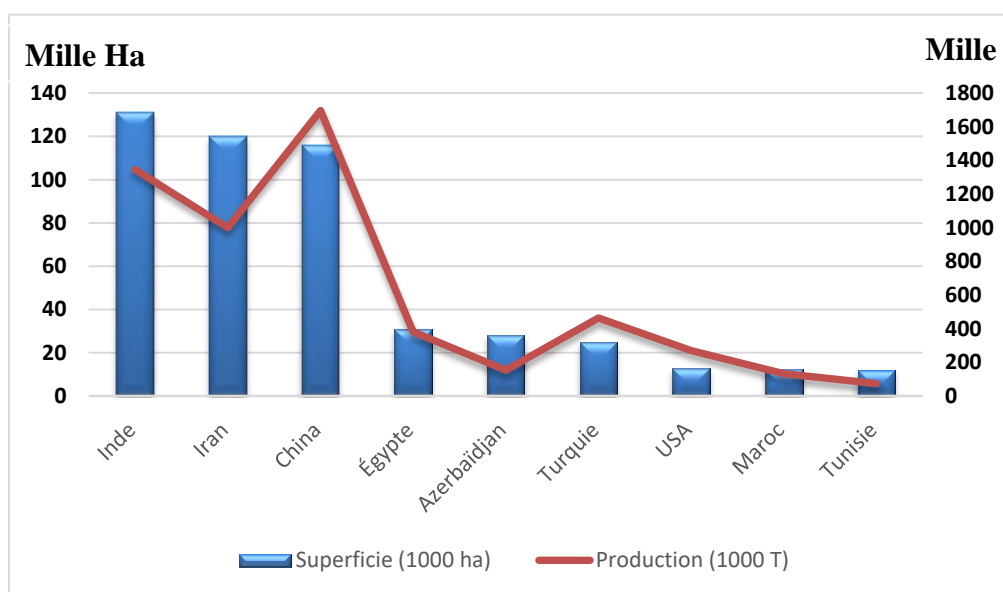


Figure 7: Répartition de la superficie et de la production annuelle (2018) au niveau des neuf grands pays producteurs de grenades au monde [39]

Les plus grands pays producteurs de grenades sont les pays d'Orient dont l'Iran, la Turquie, la Chine et l'Inde, mais aussi certains autres situés dans la zone méditerranéenne il y a des pays qui s'intéressent à la plantation et la production du grenadier dont tels que la Tunisie, le Maroc, l'Algérie, l'Espagne, l'Italie et la Grèce. Aux Etats-Unis et plus particulièrement en Californie, la culture du grenadier est très développée. La production du grenadier est en nette augmentation ces dernières années, montrant un regain d'intérêt pour ce fruit oublié depuis plusieurs décennies [15]. Outre les pays mentionnés ci-dessus Tableau 2, d'autres sont considérés comme de nouveaux producteurs des grenades, à l'instar du Chili, du Pérou et de l'Argentine qui exportent vers l'Amérique du Nord et l'Europe et entrent ainsi en compétition avec l'Espagne qui exporte plus de 60 000 T. Parmi les grands pays on

trouve, les USA qui exportent 270 000 T vers le Japon, le Canada, le Mexique et l'Angleterre, réservent 80 % de leur production à la fabrication de jus [38].

Tableau 2 : Contribution des principaux pays aux productions et exportations de grenades 2017-2018 [39].

Numéros	Payes	Superficie (1000 ha)	Production (1000 T)	Exportation (1000T)
1	Inde	131	1346	31,33
2	Iran	120	1000	10
3	China	116	1697	-
4	Égypte	31,1	382	62,5
5	Azerbaïdjan	28	155	9,9
6	Turquie	25	465	96,6
7	USA	12,7	270	17
8	Maroc	12,3	133	8,4
9	Tunisie	12	74,5	6
10	Afghanistan	8	60	3
11	Espagne	6	60	35
12	Israël	3	60	23,5
13	Pérou	2,8	46,4	32,9
14	Afrique du Sud	1,8	11	5,5
15	Argentine	1,5	20	3
16	Chili	1,15	25	4,2
17	Australie	0,25	4	-
	Total 2018	512,6	5808,9	348,8
	Total 2021	835,9	8000	

I.5.2 Diversité à l'échelle nationale

Au Maroc, la culture du grenadier a connu un grand développement ces dernières années. Actuellement, la superficie totale occupée par cette espèce est d'environ 12 300 hectares, ce qui donne une production estimée à 133 000 T [40]. La majeure partie de cette production est destinée au marché local. Les quantités exportées restent faibles et ne dépassent pas 8,4% de la production nationale. Le grenadier se place parmi les espèces fruitières ayant une importance économique majeure, notamment dans les régions de Beni Mellal, Marrakech, Settat, Taounate, Nador, Meknès, Fès ainsi que dans certaines oasis du sud [4]. La région de Beni Mellal au centre du pays est considérée comme la première zone productrice des grenades au Maroc. Elle contribue pour plus de 45% de la production nationale (28800 t pour 1410 ha). Le rendement moyen obtenu dans cette région est de 20 T/ha contre une moyenne nationale de 12,5 tonnes à l'hectare [19]. D'autant plus, le grenadier cultivé au Maroc présente une diversité génétique qui se traduit par une grande richesse génotypique. Pour préserver le matériel génétique de cette espèce, deux collections ont été établies : la collection d'Ain Taoujdate-Meknès avec plus de 18 variétés et la collection d'Ahl souss-Beni Mellal aussi avec plus de 18 variétés. Les deux

collections contiennent à la fois des génotypes locaux et des génotypes étrangers [42]. Les clones marocains de grenadier portent des dénominations différentes, attribuées selon la forme du fruit (Ounk Hmam), la zone (Bzou, Djebali) ou la couleur de l'épiderme de la baie (comme *Sefri*, grenade rouge et grenade jaune). Leurs caractéristiques restent relativement proches de celles des variétés étrangères du point de vue de la couleur de l'épiderme et des arilles. Les différences sont nettes sur le plan pomologique, notamment la qualité gustative et la texture des baies qui déterminent la qualité des fruits [19].

Parmi les génotypes de grenadiers marocains qui ont une nomenclature locale, on trouve : *Bouâdime, Kharaji, Bourassa, Bzioui, Hamed rouge, Hamed blanc, Grenade verte, Merssi, Bzou, Chelfi, Djebali, Grenade rouge, Sefri, Meski, Ounk hmam, Zehri d'automne, Zehri Précoce, et Bouyâlem* [37]. Cependant, cette nomenclature qui est purement locale et l'échange de matériel végétal entre les différentes régions du pays, peuvent expliquer le polymorphisme faible entre les populations de grenadier de différentes régions du Maroc, qui n'est pas corrélé avec l'origine géographique de ces génotypes. Ce qui suggère une base génétique commune qui caractérise ces génotypes malgré la divergence phénotypique révélée par des études sur des caractères morphologiques, physiologiques et physicochimiques de ces génotypes [37]. Les variétés (*Sefri, Grenade rouge et Grenade jaunes*) sont les variétés marocaines les plus cultivées dans le pays [42].

1.5.2 Diversité à l'échelle mondiale

Plus de 500 cultivars de grenadier ont été nommés [43], mais ces fruits anciens et répandus présentent souvent une synonymie considérable, dans laquelle le même génotype de base est connu sous différents noms dans différentes régions. La synonymie est probablement encouragée par le fait que la couleur de l'épicarpe et de l'arille peut varier de façon marquée lorsqu'elles sont cultivées dans différentes régions. Un certain nombre de caractéristiques varient entre les génotypes de grenade et sont essentielles à l'identification, à la préférence des consommateurs, à l'utilisation préférée et éventuellement à la commercialisation de niche (Tableau 3). Les caractéristiques les plus importantes sont la taille du fruit, la couleur de l'épicarpe (allant du jaune au violet, le rose et le rouge étant les plus courants), la couleur de l'arille (allant du blanc au rouge), la dureté de la graine, la maturité, la teneur en jus, l'acidité, la douceur et l'astringence.

Le cultivar '*Wonderful*' a été découvert en Floride et introduit en Californie en 1896 [35]. C'est le principal cultivar commercialisé aux États-Unis. Il est également cultivé en Europe occidentale, en Israël et au Chili [44]. '*Wonderful*' est l'une des grenades les plus colorées, tant dans son épicarpe que dans son jus, avec une saveur riche, un bon rendement en jus, une acidité vive et une légère astringence désaltérante semblables à celles du jus de pamplemousse et des canneberges. De nombreux amateurs de grenade la considèrent comme l'un des cultivars les plus savoureux. '*Wonderful*' est presque idéale pour la production de jus, avec un excellent pourcentage de jus ainsi qu'une très bonne qualité. Il présente

également une résistance utile à la fissuration des fruits après une pluie sur les fruits mûrs. D'autres cultivars commerciaux américains incluent 'Granada' (un sport de 'Wonderful'), 'Early Wonderful' (également une variété 'Wonderful') et 'Early Foothill'. Le site cultivars 'Mollar de Elche' et 'Valenciana', en Espagne, sont parmi les plus commercialisés en Europe occidentale.

Tableau 3: Caractéristiques principales des cultivars de grenadiers

Cultivars	Taille du fruit(g)	Traits	Origine
<i>Agridulce de Ojos</i>	524	Arilles rouges avec des graines dures, amer/sucré, acide moyen	Espagne
<i>Alandi (ou vadki)</i>		Arilles rose foncé et graines très dures, sucré/salé	Inde
<i>Asinar</i>	505	Gros fruit, arilles rouges, sucré/salé, graines tendres	Turquie
<i>Bedana</i>		Ecorce blanche brunâtre de taille moyenne, arilles blanches rosées, graines tendres, sucré	Inde
<i>Borde de Albatara</i>	370	Arilles rouge foncé avec graines dures, amer, acide fort	Espagne
<i>Dholka</i>		Grande, écorce jaune-rouge, arilles blanches et graines dures sucrée	Inde
<i>Early Foothil</i> , quelques semaines plus tôt que 'wonderful'.		Arilles rouge foncé, graines mi-dures, doux/acide	USA
<i>Eksilik</i>		Acide (5% TA), arilles rouges	Turquie
<i>Emar</i>		Peau rouge foncé, arilles rouges, sucré avec faible TA	Turquie
<i>Eversweet</i>		Fruit rose à rouge avec arilles roses, doux, pépins, sucré même immature	USA
<i>Fellahyemez</i>		Gros arilles roses, doux avec TA faible, graines tendres	Turquie
<i>Ganesh</i>		Croûte jaune-rose et arilles rose-rouge, graines très tendres, sucrées/amères	Inde
<i>Golden Glode</i>	Très gros fruit	vert doré, avec des arilles roses à rouges, des graines douces et brillantes, sucrées.	USA
<i>Granada</i> , plus rouge, 1 mois plus tôt sport de 'wonderful'.		Arilles rouge foncé, graines mi-dures, sucré/salé	USA
<i>Hicaznar</i>		Arilles rouge foncé, graines mi-dures, doux/acide	Turquie
<i>Kandhari (Arakta)</i>		Très gros fruit vert doré avec une touche de rose, arilles roses à rouges, graines dures, sucré/amer.	Inde
<i>Katirbasi</i>	517	Gros fruit, gros arilles rouges, doux/amer	Turquie
<i>Mollar de Elche</i>	272	Arilles rouges foncées, doux	Espagne
<i>Mollar de Orihuela</i>	414	Red-pink arils with soft seeds, sweet, low acid	Espagne

<i>Pinon Tierno de Ojos</i>	405	Petite, précoce, mais pas de première qualité	Espagne
<i>Valenciana</i>		Arilles rouges-rosées, pépins tendres, sucrées, peu acides.	Espagne
<i>Wonderful</i>		Arilles rouge foncé, graines moyennement dures (nous qualifierions de moyennement tendres), sucrées/acides.	USA

I.6 Maladies et ravageurs de *Punica granatum L.*

I.6.1 Désordre physiologique

Le grenadier a peu d'ennemis qui affectent la productivité du verger, la qualité des fruits et la rentabilité de la culture. La majorité des ravageurs du grenadier sont répandus dans les pays tropicaux ou les régions côtières et très peu présentes dans les régions continentales. Ces angrais s peuvent attaquer autant la partie aérienne que la partie racinaire de l'arbre [44].

I.6.1.1 Sur le système racinaire

✓ Nématodes (Méloïdogynes)

Ce sont des parasites racinaires et ils se nomment aussi des nématodes des nodosités des racines. L'attaque de ces nématodes aux plantes des grenadiers provoque l'apparition des symptômes caractéristiques sur les arbres attaqués : Il s'agit de la formation de galles sur les racines qui provoquent une hypertrophie et une hyperplasie des cellules racinaires (Figure 8, A), favorisant l'affaiblissement de la plante ainsi qu'à diminution de la qualité et de productivité de l'arbre. La forme, la taille et l'aspect de ces galles peuvent varier selon leur âge, la variété de l'arbre-hôte et l'espèce de Méloïdogyne en cause [45].

I.6.2 Pourriture du tronc (Champignons)

C'est une maladie qui est due aux champignons de genre *Phytophthora*. L'arbre attaqué (Figure 8, B) semble perdre de la sève à travers l'écorce au niveau du tronc et des branches principales, créant des boursouflures sous l'écorce de l'arbre et des plaques transparentes jaune clair d'épaisseur variable sur l'écorce ; c'est le gombose de grenadier [46].

I.6.3 Puceron de grenadier (*Aphis punicae*)

Les pucerons les plus dommageables à l'échelle mondiale sont le puceron de grenadier *Aphis punicae* Passerini (commun dans la région méditerranéenne, l'Asie, l'Afrique et l'Inde) et le puceron de coton *Aphis gossypii* Glover (Figure 8, C) [47]. La plante peut aussi être rarement infestée par le puceron vert des agrumes ou puceron de spirea *Aphis spiraeicola* Patch, le puceron du genévrier (*Aphis craccivora*) Koch, le puceron de l'arachide ou le puceron des légumineuses noires (*Aphis fabae*) Scopoli,

Aphis achyranthi Theobald, et *Toxoptera aurantii* Boyer (puceron noir d'agrumes). *A. punicae* est responsable d'une inhibition de la croissance observé sur jeunes plantations de grenadier [48]. Il contribue à une forte altération qualitative et quantitative de la production [49].

I.6.3.1. Position taxonomique de puceron

D'après Myers (2021) [50], la classification d'un Puceron vert est la suivante :

- Règne : Animalia
- Classe : insecta
- Ordre : Hemiptera
- Famille : Aphididae
- Genre : *Aphis*
- Espèce : *Aphis punicae*

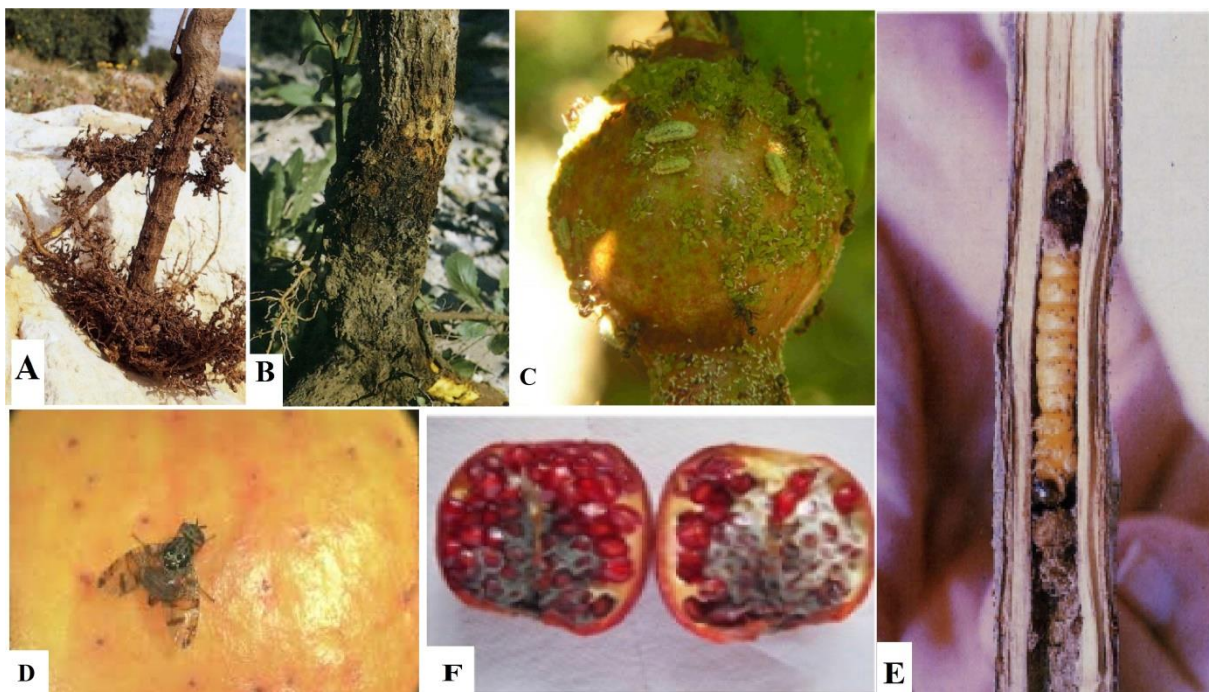


Figure 8: Maladies et ravageurs du grenadier

I.6.3.2. Cycle Biologique

La plupart des espèces de pucerons présentent, au cours de leur cycle évolutif (Figure 9), une génération d'insectes sexués (mâle, femelle) alternant avec une ou plusieurs générations se multipliant par parthénogenèse et constituées uniquement de femelles (parthénogenèse thélytoque). Les femelles fécondées sont toujours ovipares alors que les femelles parthénogénétiques sont le plus souvent vivipares [51]. La plupart des espèces sont caractérisées par une alternance entre une génération d'individus sexués

(mâles et femelles fécondables) et plusieurs générations de femelles parthénogénétiques se reproduisant sans fécondation en présentant le plus souvent une viviparité.

Selon Hulle et ses collègues [52] Au cours du printemps et au début de l'été, les fondatrignes ailées quittent la plante sur la quelle elles se sont développées et vont s'alimenter sur d'autres végétaux de la même espèce ou d'espèce différente, sur les quels elles engendrent plusieurs générations d'aptères et d'ailés parthénogénétiques, les virginogènes, au début de l'automne suivant, apparaissent des femelles parthénogénétiques particulières, les sexupares. Dans le cas de certaines espèces restant sur les arbres, les sexupares donnent naissance à des mâles et des femelles ovipares qui s'accoupleront. Dans le cas des espèces s'étant développées l'été sur d'autres plantes que les arbres, les sexupares sont soit des gynopares ailées soit andropares donnent naissance à des mâles ailés. Les gynopares ailés regagnent les arbres et donnent naissance à des femelles ovipares aptères. Celles-ci seront fécondées par les mâles ailés qui viennent les rejoindre sur les arbres.

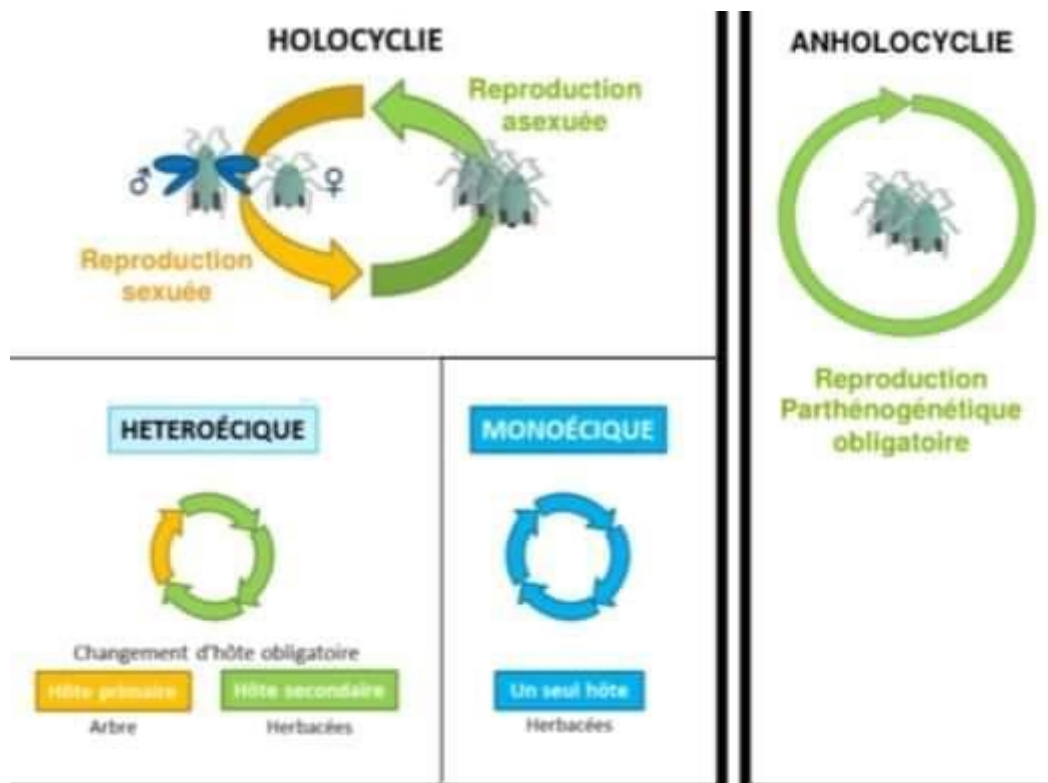


Figure 9: Diversité des cycles de vie chez les pucerons [53].

I.6.3 La mouche méditerranéenne des fruits *Ceratitis capitata* Wiedemann

C'est le ravageur de la grenade le plus dangereux dans la zone méditerranéenne, où les conditions climatiques et nutritionnelles lui sont favorables. Elle apparait dès le mois de juillet et dépose ses œufs dans la grenade même. Les œufs éclosent rapidement et donnent naissance à de petites larves blanchâtres qui s'attaquent à la pulpe du fruit (Figure 8, D). Elle se transforme en une masse grisâtre, décomposée,

alors que la surface reste intacte [15]. Sa grande polyphagie et sa plasticité écologique lui permettent également d'y exprimer au mieux son potentiel biotique, d'exploiter d'une manière optimale son milieu en développant plusieurs générations par an et en s'attaquant à un grand nombre d'espèces fruitières dont la production s'étale sur toute l'année ([54]; [55]) (Figure 8, D).

I.6.3.3. Position taxonomique de la mouche méditerranéenne

- Règne : Animalia
- Embranchement : Arthropoda
- Sous-embr : Hexapoda
- Classe : Insecta
- Sous-classe : Pterygota
- Infra-classe : Neoptera
- Super-ordre : Holometabola
- Ordre : Diptera
- Sous-ordre : Brachycera
- Infra-ordre : Muscomorpha
- Famille : Tephritidae
- Genre : *Ceratitis*
- Sous-genre : *Ceratitis* (*Ceratitis*)
- Espèce : *Ceratitis capitata* [55]

I.6.3.4. Cycle Biologique

Solen Ali Ahmed- Sadoudi [56] les femelles adultes pondent leurs œufs groupés sous l'épiderme des fruits. L'œuf éclot au bout de 3 à 5 jours donnant naissance à un asticot qui se développe en 10 à 20 jours à l'intérieur du fruit qui finit par tomber (Figure 10). Ainsi les asticots se transforment en pupes dans le sol et à partir desquelles sortent les adultes ailés.

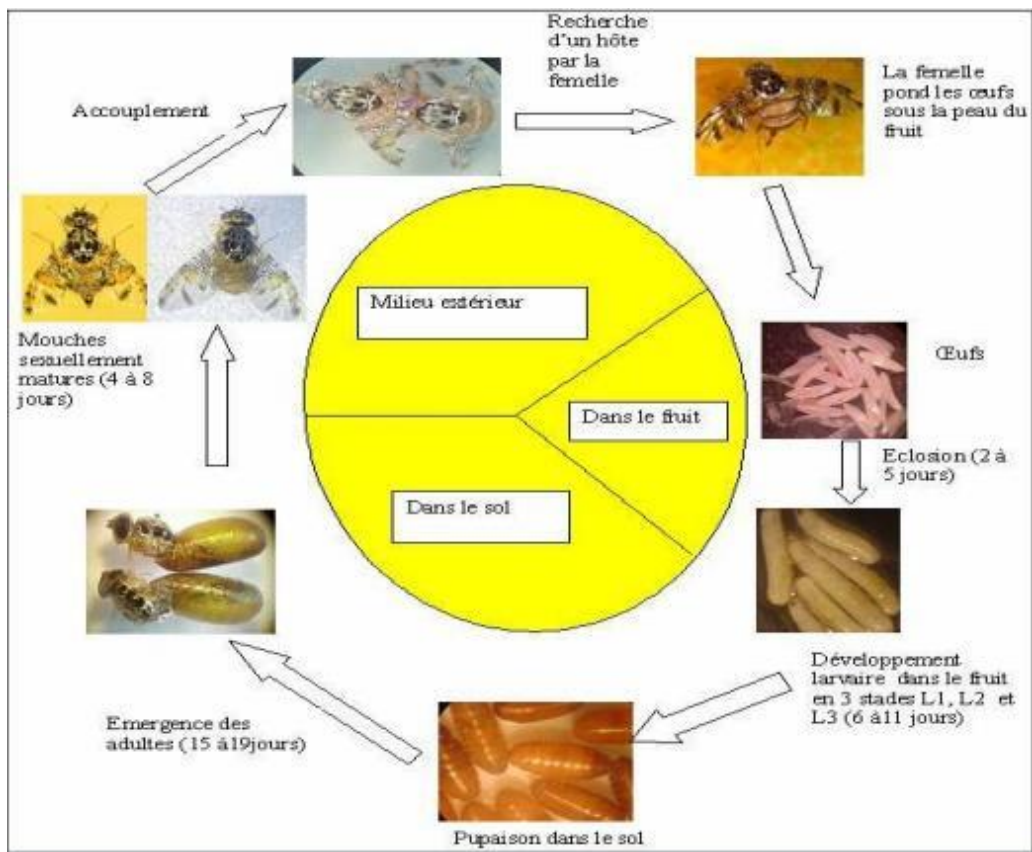


Figure 10: cycle biologique de *Ceratitis capitata* [56].

I.6.4- Zeuzère *Zeuzera pyrina* (Linnaeus, 1761)

Ce sont des lépidoptères, dont les larves, qui creusent des galeries sur le tronc et les grosses branches de grenadier (Figure 8, E), et peuvent provoquer leur cassure. Les dégâts sont plus importants dans les zones côtières du nord [31] (Figure 11). La zeuzère est un lépidoptère nocturne, de la famille des Cossidae, dont la larve se développe dans le bois des arbres fruitiers (xylophage) notamment de pommier, prunier, poirier, olivier et surtout grenadier. Ce redoutable ravageur est à craindre car une seule chenille peut induire le dépérissement de jeunes arbres et l'affaiblissement des arbres âgés [57].



Figure 11: Zeuzère sur grenadier [57]

I.6.5 *Ectomyelois ceratoniae* (Lepidoptera, Pyralidae) (Zeller, 1839)

✓ *Ectomyelois ceratoniae*

C'est un lépidoptère, est classé parmi les ennemis les plus dangereux des fruits du grenadier (Figure 8, F), pouvant causer des dégâts considérables en affectant jusqu'à 90% des grenades d'une récolte [46]. La majorité de ces ravageurs ne peuvent être traités qu'avec des produits phytosanitaires. La lutte biologique, préventive, culturale et l'utilisation de soufre restent alors les meilleurs moyens pour les combattre [46].

C'est un ravageur important au Maghreb, déjà présent en Espagne et en Italie. Sa présence a été signalée en France, mais pas sur grenadier. Ce ravageur présente un risque potentiel pour la culture du grenadier [57]. C'est un lépidoptère, Pyralidae, considéré comme le plus grand ennemi des grenades, pouvant causer des dégâts considérables en affectant 90% des fruits d'une récolte. Les traitements chimiques n'ont pas donné grande satisfaction. L'ensachage localisé des fruits s'est montré assez efficace, mais peu pratique [31] (Figure 12).



Figure 12: *Ectomyelois ceratoniae* [59].

I.6.6 Nématodes (Méloïdogynes)

Les nématodes Meloïdogyne (Root-knot nématodes) sont des vers ronds de la famille des Tylenchida. Les symptômes d'une attaque de Meloïdogyne sont caractéristiques et aisés à remarquer. Le système racinaire est envahi de galles (jusqu'à 1 cm de diamètre) qui perturbent l'assimilation des nutriments et le dysfonctionnement racinaire. Ces nématodes provoquent le dépérissement des parties aériennes (chloroses, flétrissement). La croissance est réduite ce qui donne de petits fruits de mauvaise qualité [60].

I.6.7 *Aspergillus castaros* (La pourriture du fruit)

C'est un champignon capable de décolorer les fruits et les graines du fruit qui en est infesté [31]. Il entraîne un noircissement interne du fruit (Figure 13) qui devient nauséabond et impropre à la consommation. Cette maladie est fréquente dans les zones fortement humides ([5]; [19])



Figure 13: *Aspergillus castaros* sur le grenadier [61].

I.6.8 Acarien de grenadier (*Tenuipalpus punicae*)

Ces acariens sont nuisibles en aspirant le jus dans les feuilles, les pousses et les fruits. Ils apportent des tâches de couleur gris argenté aux sites d'insertion de fruits, arrête le développement des pousses. De plus, les fruits sont susceptibles de rester petits, entraînant la perte de la teneur et de la qualité en sucre des fruits, entraînant la chute des feuilles et des fruits [62]. La peau de fruit perd complètement sa vitalité à la suite d'une nutrition intense et devient dur et a une structure délicate [63].

I.6.8. 1. Cycle biologique

Chez les Tétranyques, on a trois stades larvaires actifs qui alternent avec trois stades de repos (Figure 14) [64]. Les Tétranyques sont ovipares; les œufs sont de très petite taille (0.02mm à 0.03mm), sphériques, transparents à l'état frais, roses ou rouges au bout de quelques jours. L'œuf éclot et donne naissance à une larve hexapode dite de premier stade, laquelle se transforme rapidement par mue en larve octopode, dénommée protonympe [65]. Selon Gutierrez [66], la larve hexapode se nourrit

activement puis entre dans une première phase de repos (R1) ou protochrysalide. Le stade actif suivant est la protonympe (P), puis c'est une deuxième phase de repos (R2) ou deutochrysalide, suivie du dernier stade larvaire ou deutonymphe (D), qui se distingue de la protonympe par la taille. C'est enfin le troisième stade de repos (R3) ou eliochrysalide auquel fait suite l'adulte.

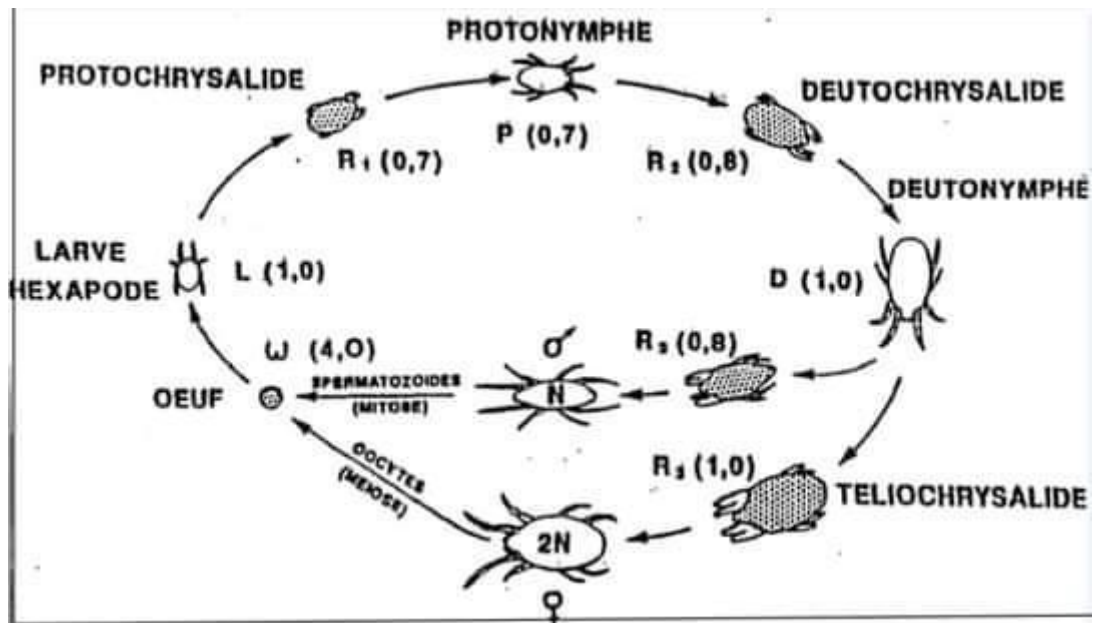


Figure 14: Cycle de développement des Tétranyques [67]

I.6.9 les thrips (*Liothrips oleae*)

Selon Bournier [68], les Thysanoptères, représente un petit d'insectes appelé thrips, sont des insectes minuscules, ils mesurent généralement de millimètre (0,5 à 2 mm) difficiles à observer, à capturer et identifier [68].

A. Classification

Selon PESSON, 1951 Taxonomie De thrips

- Règne : Animal
- Embranchement : Arthropodes
- Sous_ Embranchement : Mandibulates
- Classe : Insectes
- Sous_ classe : pteryogènes
- Section : paranéoptères
- Sous-section : hétérométaboles
- Super ordre : thysanoptéroïdes
- Ordre : thysanoptères appelé communément thrips

B- Cycle de vie

La durée du cycle de reproduction varie suivant les espèces et les conditions Climatiques, le seuil minimal se situe autour de 10°C (Figure 15). Sous des températures optimales situées entre 25°C et 30°C, le développement de l'œuf à l'adulte peut se compléter en aussi peu que 9 à 13 jours [69]. D'après (Morsello [70]). La pénétration dans le sol est facilitée chez les larves de certaines espèces par l'existence d'épines très dures au niveau des 9ème et 10ème segments Abdominaux. La pupaison a lieu dans le sol pour la plupart des espèces en 3 à 6 jours. La pénétration dans le sol est facilitée chez les larves de certaines espèces par l'existence d'épines très dures au niveau du 10ème segment abdominal.

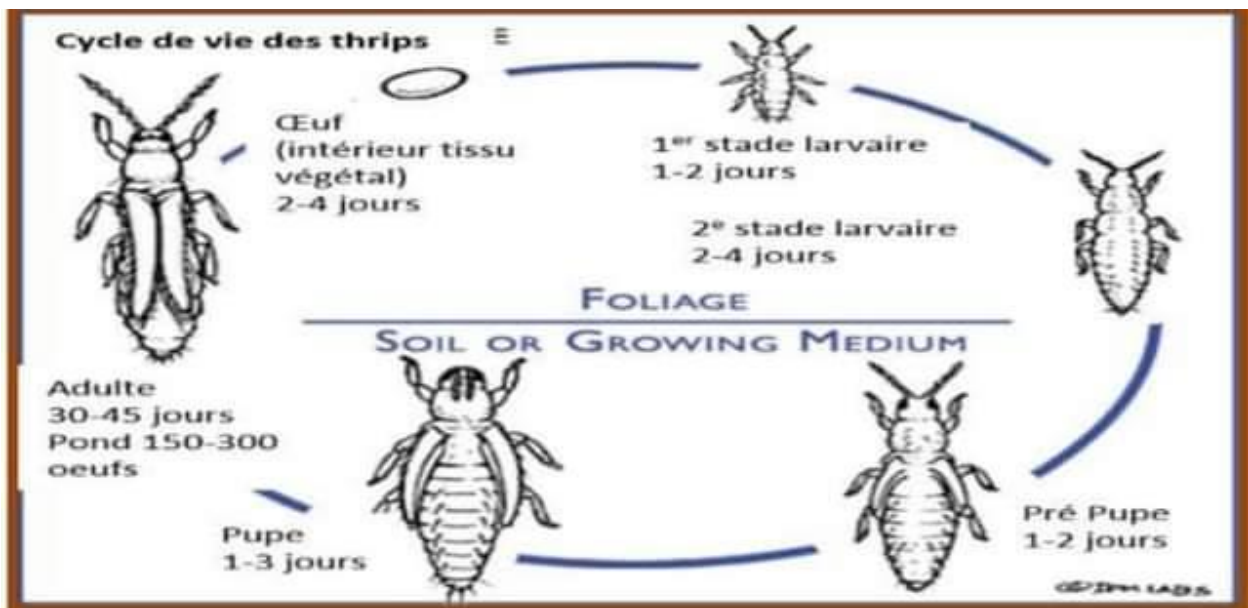


Figure 15: cycle de vie thrips tabaci [71]

✓ *Ectomyelois ceratoniae*

C'est un lépidoptère, est classé parmi les ennemis les plus dangereux des fruits du grenadier (Figure 8, F), pouvant causer des dégâts considérables en affectant jusqu'à 90% des grenades d'une récolte [72]. La majorité de ces ravageurs ne peuvent être traités qu'avec des produits phytosanitaires. La lutte biologique, préventive, culturale et l'utilisation de soufre restent alors les meilleurs moyens pour les combattre [72].

I.6.10 Maladies abiotiques

En plus de ces maladies biotiques que subit le grenadier et qui provoquent des pertes très importantes à la fois sur la qualité et la quantité du rendement que sur l'aspect de l'arbre lui-même, on rencontre aussi des problèmes dus aux accidents physiologiques et nutritionnels, parmi lesquels on peut citer :

✓ **Fissuration des grenades**

La fissuration des grenades est l'une des maladies les plus graves affectant le grenadier, c'est une maladie physiologique qui affecte à la fois les grands et les petits fruits. La cause de la maladie est liée au déséquilibre hydrique dans les fruits, dû à l'humidité élevée de la terre ou de l'air, ainsi qu'à l'évaporation rapide de l'eau de l'écorce du fruit lorsque le vent souffle chaud et sec. La fissuration est en fait due à l'inadéquation entre l'augmentation de la taille moyenne des grains dans le fruit et celle de la croissance de l'écorce, ce qui entraîne une forte pression conduisant à sa fragmentation. Les variétés à épicarpe fine sont d'ailleurs plus vulnérables à cette affection. Les perturbations climatiques et hydriques ne sont pas les seules responsables de l'éclatement des grenades, mais il y a aussi la fissuration qui se produit en raison de l'absence de nutriments tels que le calcium et le bore dans les parois des cellules, ce qui conduit à l'effondrement du tissu de base de l'écorce provoquant des fissures dans les grenades [99], l'apport de grandes quantités d'azote aux vergers du grenadier au cours du développement des grenades peut aussi favoriser l'éclatement des fruits [31].

✓ **Carence des éléments minéraux nutritionnels**

A l'instar de toutes les plantes : Le grenadier a besoin de se développer par apport d'éléments nutritifs. L'alimentation de l'arbre en ces éléments se fait généralement à partir des réserves du sol. De ce fait, lorsque ces éléments sont disponibles en quantité insuffisante, plusieurs problèmes peuvent apparaître à la fois concernant la fois le rendement et la qualité des grenades ainsi que le développement et la croissance de la partie végétative. Parmi les éléments nutritifs dont la carence ou l'absence provoque un effet direct sur le développement du grenadier il y a l'azote, le phosphore, le potassium, le calcium, le magnésium, le soufre, le bore, le fer, le cuivre, le manganèse, le molybdène et le zinc (Figure 16) [100].

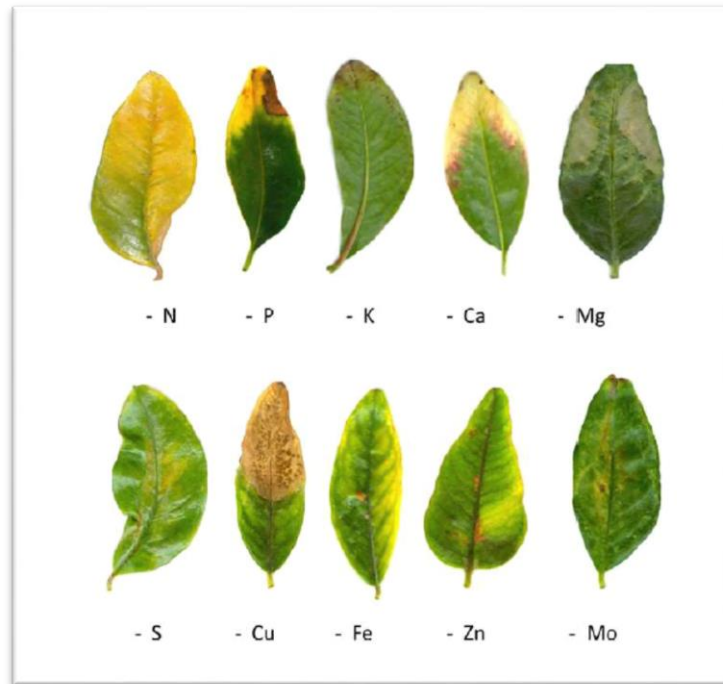


Figure 16 : Symptômes de carence en éléments nutritives chez le grenadier (2018)

II. Propriétés physicochimiques et biochimiques des différents organes du grenadier

II.1. Caractéristiques du fruit

Le fruit du grenadier se compose de 3 parties : les pepins, le jus et l'écorce [2].

II.1.1 Fruit entier

Du point de vue botanique, le fruit du grenadier se compose de 3 parties : l'épiderme (écorce), les arilles et les pépins. La proportion de l'épiderme qui est la partie extérieure du fruit représente 28 à 32% du poids total du fruit, alors que le taux des arilles varie entre 55 à 60 % du poids total du fruit [75]. Les fruits du grenadier mûrissent environ 4 à 7 mois après la floraison [76]. Le poids moyen des fruits du grenadier varie entre 196 g et 315 g. La variation du poids des fruits dépend du génotype et des conditions écologiques. De même, le volume des fruits peut varier entre 204 cm³ et 341,35 cm³. Il existe une relation étroite entre le poids du fruit et son volume. Les valeurs moyennes de longueur des fruits s'étaient entre 69 mm et 82 mm, alors que celles du diamètre se situent entre 64 mm et 86 mm [77]. Cependant, Kahramanoğlu en 2016 indique que le poids des fruits du grenadier varie entre 200 et 1000 grammes et montre aussi qu'il y a des génotypes du grenadier qui ont des fruits qui peuvent atteindre 1800 grammes dans leur poids. L'épaisseur de l'écorce des fruits du grenadier varie entre 3,13 et 5,36 mm tandis que le pourcentage d'écorce, d'arille et de pepins dans ces fruits est respectivement de 32,28–59,82%, 37,59–65% et 9,44–20,55%. Généralement, le pourcentage d'arille était inversement corrélé au pourcentage de l'épicarpe [77]. La teneur en jus d'arilles de grenade est considérée comme l'un des

paramètres les plus importants du point de vue industriel. Le pourcentage de jus dans le fruit entier se situe entre 29,0 % et 48,7%, [78].

II.1.2 Arilles et pépins

Les arilles du grenadier ont un tégument externe rouge, pulpeux, succulent, acidulé, sucré et un tégument interne dur ; elles ne possèdent pas d'albumen mais deux cotylédons foliacés, enroulés l'un sur l'autre [15]. L'huile obtenue à partir des pépins de grenade se compose de 80% d'acides gras insaturés, acides gras présentant au moins une double liaison, essentiellement représentée par l'acide punique, acide cis-9,trans-11,cis-15,octadécatriénoïque, et également par les acides oléiques et linoléiques [79]. Il se compose aussi d'acides gras saturés, qui ne présentent aucune double liaison, comme les acides palmitiques et stéariques [2]. Il a été mis en évidence l'existence d'hormones stéroïdiennes dans les pépins de grenade [80]. De plus, ces pépins contiennent aussi de nombreux stérols, comme le cholestérol ou le stigmastérol. Enfin, elles renferment aussi un glycolipide entrant dans la composition des gaines de myéline des mammifères et le cérébroside [2].

Une étude sur l'effet de la maturité sur le développement des propriétés chimiques des arilles du grenadier a montré que la teneur moyenne en protéines des arilles était de 4,06% sans changement significatif avec la maturation des grenades. Aussi, la valeur moyenne de l'acide ascorbique des arilles est stable en fonction de la maturité et a une valeur de 0,23 mg / 100 g, les mêmes résultats sont obtenus pour la matière grasse qui représente (0,15%). En revanche, lorsque les fruits de la grenade ont atteint leur maturité, les sucres totaux et individuels atteignaient leur valeur maximale. Cependant, le glucose a montré une différence significative en fonction de la maturation du fruit, alors qu'aucune différence n'a été observée dans le fructose. Le pourcentage des sucres réducteurs dans les arilles du grenadier mûr est plus élevé que celle des fruits verts non mûrs [75].

II.1.3 Épicarpe du fruit

L'écorce du fruit du grenadier est très riche en flavonoïdes et en tanins [2]. Il contient environ 26% d'ellagitanins dont les punicalins et les punicalagins, qui sont des spécifiques à la grenade [81] et des flavonoïdes tels que : lutéoline, quercétine et kaempferol [82].

La teneur en composés phénoliques d'écorce des grenades dépend de plusieurs paramètres tels que les conditions édaphoclimatiques, la variété considérée, les procédés d'extraction, les techniques culturales, les facteurs génétiques et les conditions de stockage [83].

L'écorce de la grenade contient deux importants acides hydroxybenzoïques, l'acide gallique et l'acide ellagique. Elle renferme également des acides hydroxycinnamiques, des dérivés de flavones, des molécules de coloration jaune et des anthocyanidines, responsables de la couleur rouge des grenades. [2]. Le pouvoir réducteur des écorces de la grenade est plus élevé que celui de la pulpe et les arilles, qui est dû à la richesse de celle-ci en flavonoïdes, en protocyanidines et en polyphénols totaux [84].

II.2. Compositions biochimiques majeures du jus

Le jus de grenade est considéré parmi les jus les plus riches en sucres (glucose, fructose et saccharose) et en antioxydants flavonoïdiques puissants, qui lui confèrent sa couleur éclatante, augmentant en intensité au cours de la maturation [2]. Aussi il est considéré comme une source importante d'anthocyanines tels que : 3-glucoside, 3,5-diglucoside de delphinidine, cyanidine, et pelargonidine [85]. Il est de même riche en vitamines : vitamine C, vitamine E et β -carotène et en polyphénols : catéchine, acide éllagique, acide gallique et éllagitannins ([86]; [87]) ; En outre, des acides organiques tels que l'acide citrique, l'acide malique et l'acide ascorbique S'y trouvent en quantités non négligeables [88]. Le jus des grenades contient aussi des minéraux tels que le Fer et qui sont relativement fréquents, Ca, Ce, Cl, Co, Cr, Cs, Cu, K, Mg, Mn, Mo, Na, Rb, Sc, Se, Sn, Sr, Zn [2].

II.2.1 Sucres

Au même titre que les polyphénols, les sucres sont considérés comme des composés principaux du jus de grenadier. Leur quantité est varié selon les variétés, les conditions de culture, les types du sol et même en fonction de l'âge de l'arbre. La teneur en sucres dans la grenade oscille entre 4.4% et 22% [14]. Les principaux glucides qui interviennent dans la composition du jus de grenadier sont des monosaccharides comme le fructose et le glucose, avec une concentration importante de ce dernier ; on peut avoir aussi des polysaccharides qui interviennent dans la composition chimique des grenades, comme le saccharose et l'amidon [89]. Le pourcentage de ces composées est variable en fonction de la maturation des fruits. [90]. Une étude [91] a montré que les valeurs des sucres solubles dans le jus de grenadier sont comme suit : Glucose (5,53- 7,80 g /100g) ; Fructose (5,54- 8,24 g /100g) et Saccharose (0,01- 0,07 g /100g).

II.2.2 Protéines

L'analyse du jus de grenadier montre que la richesse de ce dernier en change en fonction du milieu de culture, du genotype conditions climatiques avec des concentrations qui se situent entre 0.29 et 1.23 % [78]. La maturation des fruits n'a qu'un effet très faible sur la quantité des protéines, qui ne dépasse pas 0.06 g/l, entre la nouaison et le stade final de maturation des fruits [93]. L'analyse des compositions biochimiques des arilles de grenadier a montré qu'elles contiennent 13,2% de protéines [93].

II.2.3 Acides organiques

Les principaux acides organiques du jus de grenade sont l'acide citrique et l'acide malique. Le jus de grenade contient également de l'acide ascorbique, de l'acide fumarique, de l'acide oxalique, de l'acide quinique, de l'acide succinique et de l'acide tartrique, dont certains ont également été identifiés dans les tissus de feuilles, de l'épicarpe de fruits et d'arilles [94]. La quantité de ces acides est variable

selon la variété et les conditions du milieu de culture ; le Tableau 4 suivant montre les différentes concentrations de ces composés dans le jus de grenadier.

Tableau 4: Composition du jus de grenades en acides organiques (mg/100 g de la partie comestible du fruit) [91]

Composé	mg/100 g d'arilles
Acide citrique	0,09- 0,32
Acide malique	0,01- 0,07
Acide oxalique	0,10- 0,21
Acide tartrique	0,01- 0,05
Acide fumarique	0,01

II.2.4 Acides phénoliques

L'acide phénolique représente tous les composés organiques possédant au moins une fonction carboxylique et un hydroxyle phénolique. En phytochimie, l'emploi de cette dénomination est réservé aux seuls dérivés d'acide benzoïque (C₆-C₁) et cinnamique (C₆-C₃) [95].

Les acides phénoliques peuvent se présenter dans certaines plantes agricoles et médicinales sous plusieurs formes (acides ρ -coumarique, caféique, férulique, sinapique, acides phydroxybenzoïques, protocatéchiques, vanilliques, galliques, salicyliques et gentsiques). Ils sont principalement présents dans le jus des grenades par l'acide gallique et l'acide ellagique (Figure 17) [96].

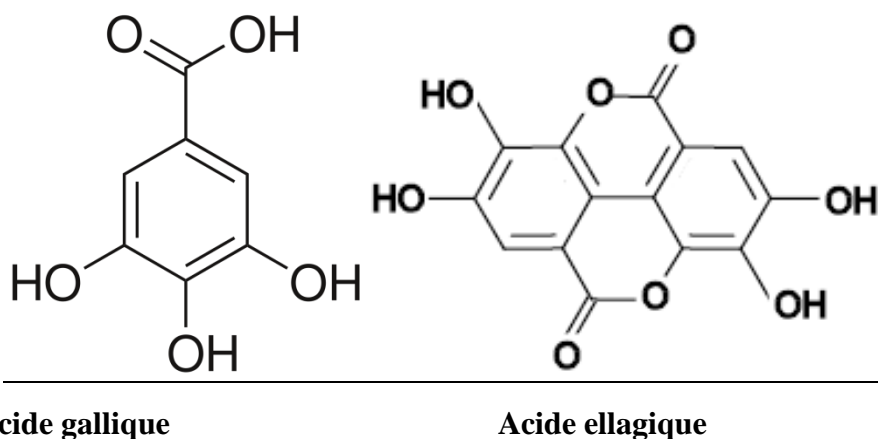


Figure 17: Structure des principaux acides phénoliques des grenades

II.2.5 les flavonoïdes

Les flavonoïdes sont des polyphénols complexes dérivés du noyau flavone ou 2-phenyl chromone portant des fonctions phénols libres, éthers ou glycosides. Ils ont une structure constituée de deux noyaux aromatiques et d'un hétérocycle oxygéné [97].

De nos jours, plus de 4000 flavonoïdes ont été identifiés. Ils ont une origine biosynthétique commune (le précurseur 4,2',4',6'-tétrahydroxychalcone) et par conséquent, possèdent tous un même squelette de base à quinze atomes de carbone, constitué de deux unités aromatiques, deux cycles en C₆ (A et B), reliés par une chaîne en C₃ (cycle C) (Figure 18) [97].

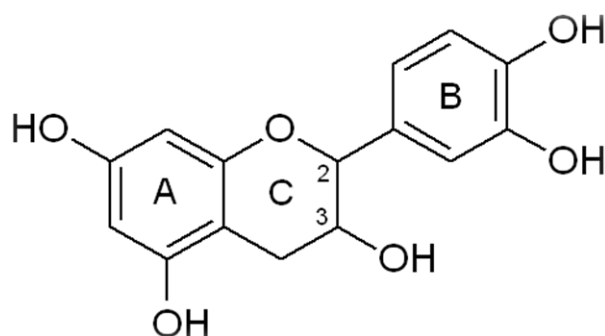


Figure 18: Structure de base des flavonoïdes

Les flavonoïdes sont des substances généralement colorées répandues chez une grande gamme de plantes. Ils sont présents dans différentes parties des végétaux supérieurs selon le type de l'espèce : racines, tiges, feuilles, fleurs, pollen, fruits, arilles, bois...etc. Aussi, ils varient quantitativement et qualitativement selon le stade de développement du végétal. Elles sont trouvées dissoutes dans la vacuole à l'état d'hétérosides ou comme constituants de plastes particuliers, les chromoplastes [98].

Cependant, ils sont des pigments hydrosolubles jouant de nombreux rôles dans les processus vitaux des plantes : défense contre les prédateurs, attraction des pollinisateurs, pigmentation des organes, croissance, protection contre les ultra-violets [73].

Les flavonoïdes sont divisés en plusieurs classes qui diffèrent par leurs structures chimiques : flavones, flavonols, flavanones et anthocyanes (Figure 19). Les propriétés chimiques de ces composés varient selon leur classe, mais également en fonction de leur degré d'hydroxylation, degré de méthylation, degré de glycosylation et le degré de polymérisation autour de la structure commune C₆-C₃-C₆ [74].

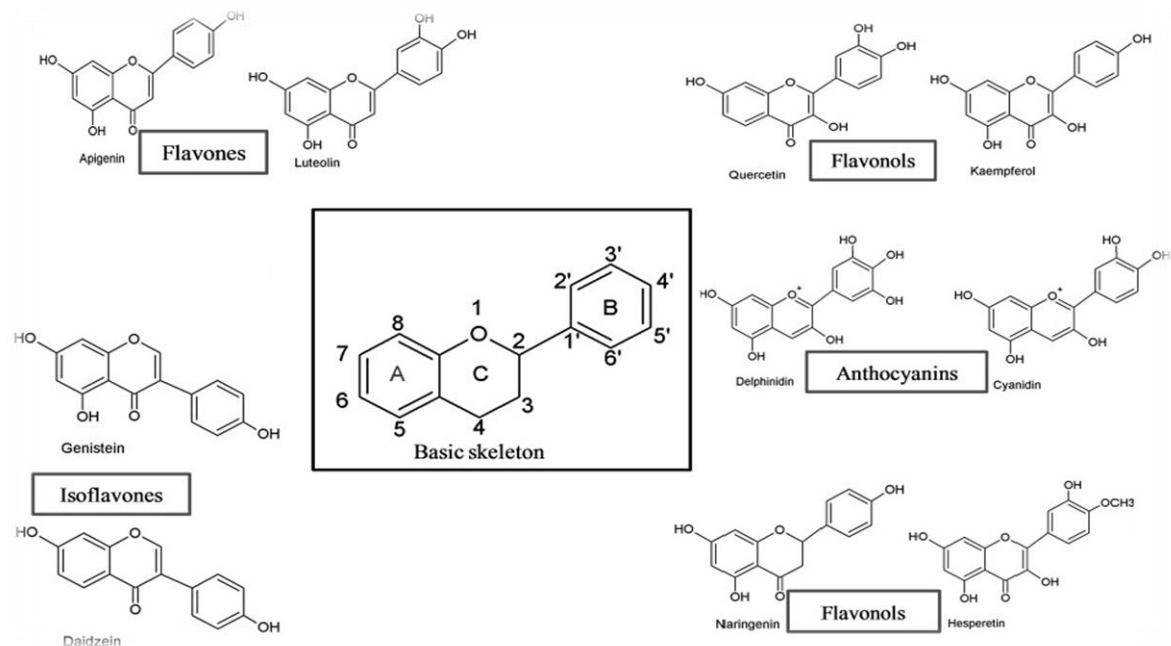


Figure 19: Squelette de base de différentes classes des flavonoïdes

Parmi les nombreux pigments dérivants de cette structure des flavonoïdes, il convient de citer notamment :

- **Flavonols (hydroxy-3 flavone)**

Ce sont des composés largement répandus et incolores, ils sont caractérisés par la présence d'un carbonyle en position 4 et d'un groupement hydroxyle en position 3. Les flavonols qui possèdent en plus des hydroxydes en carbone 6 ou 8 colorent certaines fleurs en jaune primevère [101]. Parmi les flavonols répandus, nous trouvons le kaempférol (OH en 4',5, 7), le quercétol (OH en 3', 4', 5,7), le myricétol, quercitrine, épicatechine, catéchine et l'isorhamétol. Les flavonols les plus trouvés dans les jus de grenades sont la quercétine (0.23- 4.58 g/L) et la catéchine (0.06-8.44 g/L) [102].

- **Flavones**

Ils sont des flavonoïdes basés sur le squelette de la 2-phénylchromène-4-one ou 2-phényl-1-benzopyran-4-one. Ils possèdent une structure formée de 2 cycles benzéniques A et B reliés par un cycle γ -pyrone [103]. Les flavones comme les flavonols sont des pigments dont la couleur varie du blanc au jaune. La différence essentielle entre les flavones et flavonols se traduit par la présence d'un hydroxyle en position 3 dans les flavonols [104]. Les flavones sont découverts dans les feuilles de grenadier sous forme de luteolines et apigenines [105].

- **Flavanones**

Les flavanones sont l'une des principales classes de flavonoïdes, avec 350 aglycones et 100 formes glycosylées identifiées jusqu'à présent. Ils sont dérivés de 2,3-dihydrogénés des flavones. Leur structure est basée sur la structure générique des flavonoïdes, un noyau flavan formé de deux cycles

aromatiques (A et B) liés par un cycle dihydropyrone (C). L'absence de double liaison C₂ - C₃, la présence d'un atome de carbone chiral en position C₂ marquent les différences structurales caractérisant les flavanones comme distinctes des autres classes de flavonoïdes [106].

Ils regroupent l'ensemble des flavonoïdes responsables de la saveur amère de certaines pamplemousses, citron, orange...etc. Parmi ces composés, les flavanones (telles que l'hespéretine, la naringénine, l'ériodictyol, l'isosakuranetine et leurs glycosides respectifs) [132]. La naringénine est la forme principale des flavanones qui se trouve dans le grenadier (*Punica granatum*) [133].

- **Anthocyanes**

Ce sont des molécules faisant partie de la famille des flavonoïdes et capables d'absorber la lumière visible ; ce sont des pigments qui colorent les plantes en bleu, rouge, mauve, rose ou orange [98]. Les anthocyanes ont un squelette de base en 15 carbones formé de deux cycles A et B, et d'un hétérocycle (cycle C) ; mais leur caractéristique principale est que ce dernier est chargé positivement [98].

La présence des anthocyanes dans les plantes est détectable à l'œil nu. Elles donnent de la couleur aux fleurs et aux fruits et elles sont généralement localisées dans les vacuoles des cellules épidermiques, qui sont de véritables poches remplies d'eau [109]. Une étude a montré [110], que les grenades sont considérées parmi les fruits les plus riches en composés anthocyaniques, cette richesse est expliquée par la présence de six pigments anthocyaniques responsables de la couleur rouge du jus de grenade. Ils sont identifiés comme delphinidine-3-glucoside, 3,5-diglucoside, cyanidine-3-glucoside, 3,5-diglucoside, pelargonidine-3-glucoside et 3,5-diglucoside. Le delphinidine-3,5-diglucoside était le pigment principal, suivi du cyanidine-3,5-diglucoside, tandis que celui des dérivés du mono-glucoside, le cyanidine-3-glucoside et la delphinidine-3-glucoside, augmentait considérablement en fonction de la maturation du fruit, alors que les dérivés de pélagonidine ont toujours été présents mais en faibles quantités.

II.2.6 Tanins

Les tanins sont des substances naturelles polyphénoliques, de poids moléculaire élevé, à saveur astringente, ayant la propriété de tanner l'épicarpe, c'est-à-dire de le rendre dur et imputrescible, en se fixant sur les protéines [111].

Les tanins sont des composés que nous trouvons dans de nombreux végétaux tels que les écorces d'arbres et les fruits (raisin, grenade, datte, café, cacao.). Leur structure complexe est formée d'unités répétitives monomériques qui varient par leurs centres asymétriques et leur degré d'oxydation [112].

Habituellement, on distingue chez les végétaux supérieurs deux groupes de tanins différents par leur structure et par leur origine biogénétique : les tanins condensés ou proanthocyanidines (Thé, raisins, gallotanins...) et les tanins hydrosolubles : ellagitanins (Ets) (framboise, fraises, grenades.) et gallotanins (GTs) [113].

- **Tanins condensés (flavan-3-ols) :**

Egalement connus comme proanthocyanidines, ce sont des polymères de polyhydroxyflavan-3-ol). Ils sont formés par des monomères flavan-3-ol (catéchine) et flavan-3,4-diol (leucoanthocyanidine) et sont produits par la plupart des végétaux terrestres [114].

- **Tanins hydrolysables :**

Ce sont des phénols liés à un résidu sucré par un lien ester (donc hydrolysable). Si le phénol est l'acide gallique, ce sont les gallitannins ; s'il s'agit de l'acide hexa-hydroxy-diphénique, ce sont les ellagitannins. L'Oxydations et autres polymérisations engendrent des structures variées.

Les tanins hydrosolubles de structures diverses comprenant les ellagitanins et les gallotanins constituent les composés prédominants dans les diverses parties de la grenade [115].

Les tanins hydrosolubles sont principalement situés dans l'épicarpe et le mésocarpe du fruit de grenade. Ils sont extraits dans le jus lors de la transformation commerciale des fruits entiers, ils sont connus sous le nom de punicalagine et sont responsables d'une portion importante de l'activité antioxydant du jus de grenade [116].

II.3. Propriétés phytochimiques des parties végétatives du grenadier.

Les différents types de substances phytochimiques qui ont été identifiés à partir de diverses parties du grenadier et des fruits et arilles de grenade sont énumérés dans l'Annexe 1. La principale classe de substances phytochimiques de la grenade est constituée par les polyphénols (anneaux phénoliques portant plusieurs groupes hydroxyles) qui prédominent dans le fruit. Les polyphénols de la grenade comprennent les flavonoïdes (flavonols, flavanols et anthocyanines), les tanins condensés (proanthocyanidines) et les tanins hydrolysables (ellagitannins et gallotannins). Les autres substances phytochimiques identifiées dans la grenade sont les acides organiques et phénoliques, les stérols et les triterpénoïdes, les acides gras, les triglycérides et les alcaloïdes. Les grenades sont couramment consommées en tant que fruits frais, en tant que boissons (par exemple, jus et vins), en tant que produits alimentaires (par exemple, confitures et gelées), et en tant qu'extraits, où elles sont utilisées comme ingrédients botaniques dans les médicaments à base de plantes, et les compléments alimentaires. Le jus de grenade commercial (PJ) est obtenu par un procédé de pressage hydrostatique de fruits entiers qui permet d'extraire deux types prédominants de composés polyphénoliques dans le PJ : les flavonoïdes et les tannins hydrolysables (HT). Les flavonoïdes comprennent les flavonols tels que la lutéoline, la quercétine et le kaempférol que l'on trouve dans l'extrait de l'épicarpe (17) et les anthocyanes que l'on trouve dans les arilles. Les anthocyanes sont les pigments hydrosolubles responsables de la couleur rouge

vif du PJ. Les anthocyanes de la grenade comprennent la pélagonidine-3-glucoside, la cyanidine-3-glucoside, la delphinidine-3-glucoside, la pélagonidine 3,5-diglucoside, la cyanidine 3,5-diglucoside et la delphinidine 3,5-diglucoside [14, 15 (Annexe1)]. Les HT se trouvent dans les pelures (écorce, enveloppe ou péricarpe), les membranes et les noyaux du fruit. Les HT sont les polyphénols prédominants dans les PJ et représentent 92 % de l'ensemble des polyphénols.

II.3.1 Feuille

La caractérisation biochimique des feuilles du grenadier a montré que ces derniers sont riches en glycosides d'apigénine, tanins et flavones, ce qui donne aux feuilles des propriétés progestatives et anxiolytiques [148].

La comparaison entre les caractères biochimiques des différents organes du grenadier a montré que les feuilles du grenadier présentent les concentrations les plus faibles à la fois des anthocyanes, des polyphénols totaux, des flavonoïdes, des alcaloïdes et des saponines par rapport aux concentrations de ces composés dans les fleurs et l'écorce des fruits. Cependant, elles contiennent des concentrations élevées en tanins qui leur confèrent un pouvoir réducteur très important [148].

En ce qui concerne les éléments chimiques les plus importants dans les feuilles du grenadier, il y a : l'azote (N) qui est très élevé dans les feuilles à l'âge moyen ; le potassium (K) l'élément majeur dans les feuilles jeunes ; le Calcium (Ca) et le Fer (Fe) dans les vieilles feuilles. Ces éléments sont variables en fonction des conditions climatiques et du stade de développement de l'arbre. En juillet et en août dans l'hémisphère nord, l'azote (N) et le potassium (K) sont tous les deux très faibles pendant la floraison et la fructification, l'azote, le Magnésium (Mg), le Fer (Fe) et le Zinc (Zn) diminuent encore plus pendant la maturité du fruit [2].

II.3.2 Racine et écorce de l'arbre

L'analyse des extraits préparés à partir des racines et écorce de l'arbre du grenadier montre de puissants effets physiologiques. La composition chimique de ces 2 parties de l'arbre se distingue des autres parties par la forte concentration en alcaloïdes. Ils sont très riches aussi en Ellagitanins, y compris la punicaline et la punicalagine [34]. Les principaux alcaloïdes présents dans les racines et le tronc des arbres de grenadier sont les pipéridines et les pyrrolidines [148]. L'analyse par GC-MS a montré que la fraction d'acétate d'éthyle de l'extrait d'écorce du tronc de *Punica granatum* contient le Pyrogallol (41.88%), Le 5-Hydroxyméthylfurfural (14.10%), le D-Allose (9.17%), le 2-Methoxy-1,4-Benzénediol (8.34%) et l'acide 2,3-diméthylfumarique (3.96%) [148].

II.4. Intérêts nutritionnels et diététiques

II.4.1 Intérêt nutritionnel

La partie comestible de la grenade constitue environ 52% du poids du fruit [149]. Les grenades sont consommées de préférence fraîches ou en jus de grenadine rafraîchissant avec une teneur en jus se situant autour de 35 à 50 ml/100 g d'arilles [19]. La grenade est un fruit de valeur nutritionnelle élevée, elle est très proche de la figue fraîche et de la mangue par sa valeur énergétique et sa teneur en glucides. Elle est très juteuse et très sucrée, mais la présence d'acide citrique la rend également acidulée [150].

La grenade est souvent consommée telle quelle ou sous forme de jus. La composition nutritionnelle du jus de grenade dépend des méthodes de culture, des conditions climatiques, des méthodes d'extraction du jus et de la maturité du fruit. Les jus de fruits industriels contiennent souvent du sucre ajouté [15]. C'est un fruit très sucré qui peut être acidulé en fonction de sa présence en acide citrique. La grenade est une bonne source de fibres alimentaires et de folate et une très bonne source de vitamine C. De nombreuses vitamines du groupe B, et plus particulièrement de la vitamine B6 (pyridoxine) sont présentes (Figure 20). D'après l'agence française de sécurité sanitaire des produits de santé de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES), 100 g de grenade fournit 70 kcal, 1g de protéines, 13,6 g de glucides, 0,557 g de lipides, 2,27 g de fibres. Ce fruit est riche en eau. Il apporte principalement des glucides sous forme de sucres (Figure 20). Les données sont susceptibles de varier selon les variétés, la saison, le degré de maturité, les conditions de culture, etc

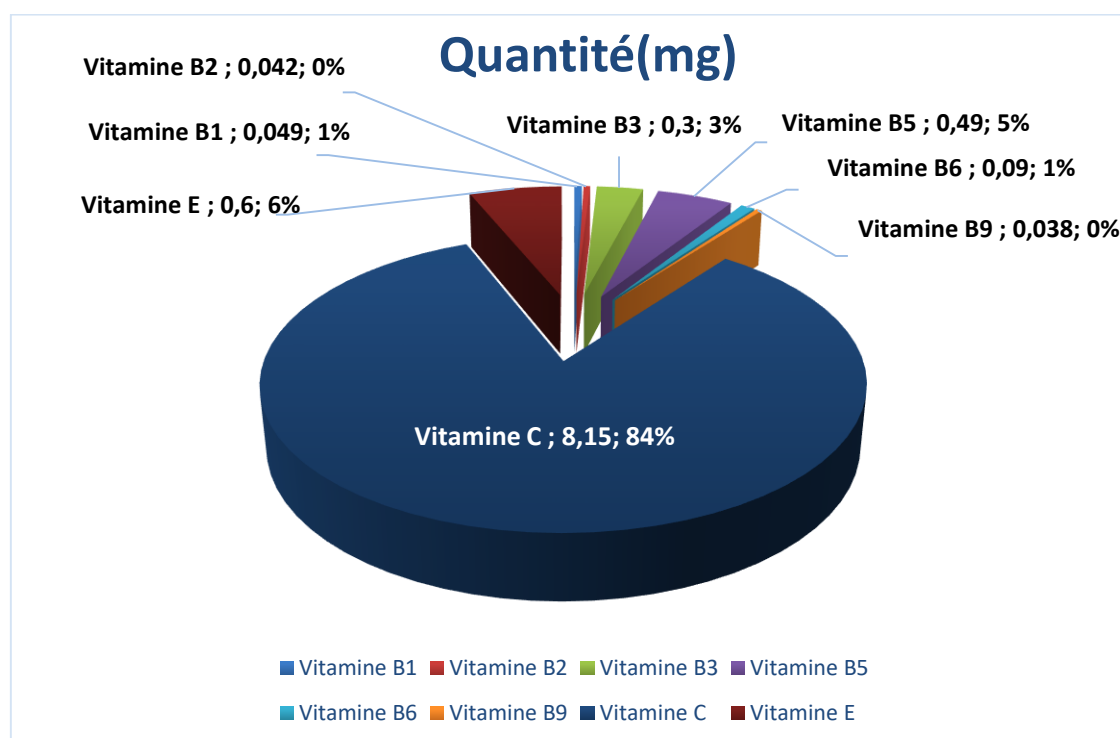


Figure 20: La quantité moyenne de vitamines présentes dans 100 g net de grenade ([151], [152]).

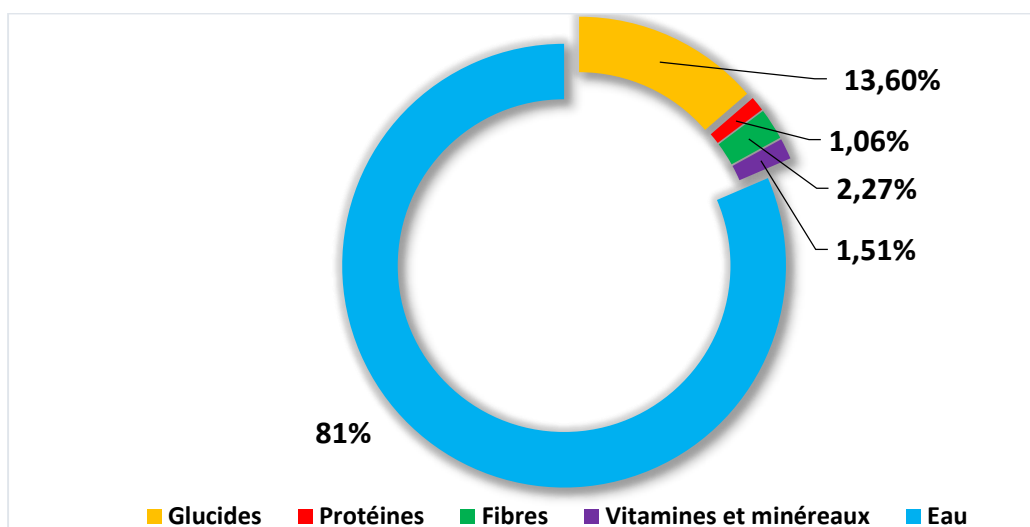


Figure 21: Diagramme interactif des proportions des principaux constituants de jus de grenade

La grenade renferme également de nombreux oligo-éléments et minéraux, tels que le potassium, phosphore, calcium, magnésium, fer, zinc et cuivre (Figure 22).

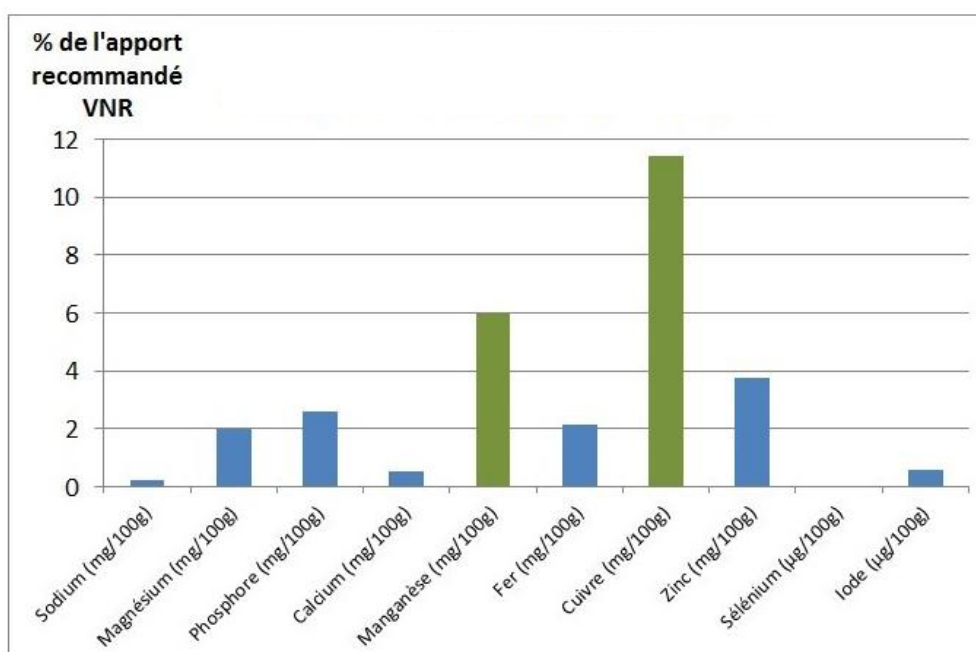


Figure 22: Teneur en éléments minéraux de la grenade fraîche, pulpe et pépins

La grenade, à condition d'en consommer les pépins, est très riche en fibres insolubles contenus dans le tégument de ces pépins [150].

II.4.2 Intérêt thérapeutique

Un rapport de l'OMS, datant de novembre 2003 sur l'alimentation, la nutrition et la prévention des maladies chroniques recommande une consommation journalière d'au moins 400g de fruits et légumes (à l'exclusion des féculents tels que les pommes de terre) pour prévenir les maladies chroniques et notamment les cardiopathies, les cancers, le diabète de type II et l'obésité ([153]; [154]).

Les effets bénéfiques sur la santé qui sont attribués à la consommation de fruits et légumes sont, au moins en partie, liés à leurs activités antioxydantes. En effet, chez les végétaux comestibles, nous comptons plusieurs centaines de molécules antioxydantes.

Partout où elle était cultivée, la grenade fut un des outils de la médecine traditionnelle. Dans la médecine populaire, toutes ses parties, fruits, racines, écorce, pépins sont utilisées pour traiter maladies, infections, blessures et inflammations. Son jus est considéré comme boisson rafraîchissante et comme tonique pour le système circulatoire, il a un effet astringent rafraîchissant et favorise l'irrigation sanguine [155]. L'écorce du fruit est utilisée par de nombreux peuples contre les ulcères, les parodontoses, les stomatites et les pharyngites. L'écorce et les racines de l'arbre et en partie aussi l'écorce du fruit, furent utilisées contre les parasites intestinaux, en particulier contre le ténia et la dysenterie amibienne. Les fleurs de grenade étaient utilisées en Perse pour le traitement du diabète gras [156].

Les substances particulières très actives qui composent la grenade agissent comme régulateurs de la cellule et activent ainsi les systèmes de protection antioxydants du corps [156]. Une autre étude a montré que le jus de grenade réduit de moitié le dépôt de la protéine bêta-amyloïde dans le cerveau. Celle-ci joue un rôle décisif dans l'apparition de la maladie d'Alzheimer [157]. Evidemment, d'autres organes peuvent aussi profiter de l'effet protecteur antioxydant des polyphénols de grenade : ainsi, de forts effets protecteurs antioxydants ont été constatés sur la muqueuse de l'estomac contre les ravages de l'alcool et de l'acide acétylsalicylique [158] ainsi que sur le foie [159].

Les propriétés antimicrobiennes des plantes sont étudiées par un grand nombre de chercheurs à travers le monde. Il a été observé que des extraits ou des composés purifiés, issus de diverses parties du grenadier, possèdent des propriétés antibactériennes, antifongiques, antivirales et antihelminthiques [1].

En effet, les extraits de l'ensemble du fruit de grenadier ont été très actifs contre *Micrococcus pyogens*, *S. aureus*, *E. coli* et *Pseudomonas aeruginosa*. Ils ont été également très efficaces contre les pathogènes intestinaux tels que *Salmonella paradysenteriae*, *Salmonella typhi*, *Salmonella monetevideo*, et *Shigella paradysentriae* et une activité contre *Micrococcus pyogens* [160]. Par ailleurs et grâce à la présence de punicalagin, l'écorce de grenade s'est montrée très efficace contre *Candida albicans*. [161].

II.4.3 Utilisations médicales des cultivars et autres

Selon le papyrus d'Eber (vers 1550 avant J.-C.), les Égyptiens de l'Antiquité utilisaient des extraits de racine de grenade riches en tanin pour se débarrasser du ténia [162]. Hippocrate (400 avant J.-C.) utilisait des extraits de grenade pour une grande variété d'affections, notamment comme emplâtre pour réduire les inflammations de la peau et des yeux, et comme aide à la digestion [163]. Aucune discussion des applications médicales anciennes des plantes n'est complète sans mentionner Dioscorides (40-90 CE), qui indique : "Toutes les sortes de grenades ont un goût agréable et sont bonnes pour l'estomac " et suggère en outre d'utiliser le jus pour les ulcères, pour les douleurs de l'âge et pour les douleurs du nez.

Chagrins dans vos frissons" [164]. D'autres utilisations traditionnelles des produits de la grenade ont été utilisées pour traiter la contraception, les morsures de serpent, le diabète et la lèpre.

Les extraits de tannins (écorce, feuilles et fruits immatures) ont été utilisés pour stopper diarrhée et les hémorragies, tandis que les boutons floraux séchés et écrasés sont transformés en thé comme remède contre la bronchite. Au Mexique, des extraits de fleurs sont utilisés en gargarisme pour soulager la bouche et la fièvre [89]. Il est intéressant de noter que beaucoup de ces utilisations sont au moins quelque peu soutenues par des études scientifiques récentes [165]. Aujourd'hui, il a été démontré que le jus de grenade contient des polyphénols antioxydants (principalement l'acide ellagique et la punicalagine) qui peuvent réduire le risque de maladies cardiaques [166] et ralentir la progression du cancer [167]. En grande partie à cause de l'intérêt pour les bienfaits de la grenade sur la santé, 45 publications ont été produites sur ce fruit en 2020-2022, 40 en 2005, contre 30 au total entre 1945 et 2000 [168].

Il existe un certain nombre d'autres applications utiles pour le produit du grenadier. L'écorce du grenadier produit des tanins qui aident à créer du cuir marocain. Des extraits de fleurs et d'enveloppes de fruits ont été utilisés comme colorants pour les textiles. Les extraits d'écorces de grenade ont constitué une source importante d'encre médiévale en Europe [170-171], et des encres artisanales spécialisées sont encore créées à partir de ces extraits. Il est clair que l'utilisation "non alimentaire" la plus répandue de la grenade est l'esthétique visuelle. Plusieurs formes de plantes ornementales ont déjà été évoquées, et elles sont très répandues dans l'industrie des pépinières où le grenadier est adapté. L'aspect distinctif et la longue durée de vie des fruits de grenade récoltés à maturité font qu'ils sont largement utilisés dans les compositions de table. Aux États-Unis, cette utilisation est particulièrement courante pendant la période de Thanksgiving à Noël. L'ancienneté de cette utilisation se manifeste par la présence fréquente de la grenade dans les peintures et comme élément graphique en architecture, par exemple. Cette utilisation esthétique visuelle est si répandue que la plupart des grenades achetées comme fruits frais aux États-Unis ne sont probablement jamais consommées (Californie) [168-169].

L'intérêt accru pour les phytonutriments semble susceptible de soutenir et d'accroître l'intérêt pour la grenade aux États-Unis. Le jus "Wonderful" est largement disponible dans le rayon des produits réfrigérés des supermarchés et a enregistré une croissance considérable des ventes. Sous forme de produits frais peu transformés, ces produits trouveront bientôt leur place sur le marché et seront probablement consommés comme en-cas et utilisés comme garnitures dans les salades et les plats salés. La préférence de certains consommateurs pour des cultivars moins acides ou aux graines plus molles incite également à envisager des cultivars plus diversifiés, ce qui devrait élargir l'intérêt des consommateurs.

II.4.4 Saveur de la grenade

Malgré les bienfaits de la grenade pour la santé, on sait relativement peu de choses sur sa qualité sensorielle et ses préférences gustatives, ou sur les constituants biochimiques qui déterminent ses caractéristiques sensorielles et des préférences gustatives des fruits de la grenade, y compris la diversité génétique des caractéristiques gustatives entre les différentes variétés. En outre, nous décrirons brièvement les changements dynamiques qui se produisent dans la saveur des fruits pendant leur maturation et leur stockage après récolte.

La saveur du fruit de la grenade est perçue comme une combinaison de sensations gustatives, aromatiques et buccales de base, par le cerveau pendant la consommation de l'aliment [170]. Le goût, qui comprend les attributs sucré, acide, amer, salé et ombragé, est détecté par des récepteurs situés sur la langue et dans la bouche qui fixent les composants solubles de la matrice alimentaire. En revanche, le sens de l'arôme est perçu par des récepteurs présents dans le bulbe olfactif, dans la cavité nasale. Ces récepteurs uniques lient spécifiquement des milliers de substances volatiles différentes. La qualité sensorielle et les constituants biochimiques impliqués dans la création de la saveur unique du fruit et du jus de grenade, avec un accent particulier sur les attributs de la saveur des arilles de grenade, seront discutés ici [170-171].

II.4.4.1 Attributs sensoriels

Le jus de grenade est généralement décrit comme ayant une saveur aigre-douce, une odeur aigre-douce et fruitée, et une sensation astringente en bouche. D'autres saveurs ont été définies : épice brune, fermenté, mélasse, vinaigre, vin, boisé, pomme, baie, canneberge, cerise, raisin, betterave et carotte [172]. Une étude a évalué la satisfaction des consommateurs à l'égard de divers jus riches en nutraceutiques. Les résultats de cette étude ont montré que les attributs sensoriels associés au pur jus de grenade étaient les suivants : betterave, carotte, moisi/terreux, fermenté, cerise acide, autres baies, amer, brûlure de gorge, canneberge, morsure de rickle, morsure de dent, aigre, astringence, peau/graines et saveurs métalliques. De plus, il a été indiqué que les attributs d'astringence et d'amertume étaient classés comme des facteurs négatifs de l'appréciation globale du jus de grenade par les consommateurs [173-174].

Dans une autre étude récente qui a évalué spécifiquement les attributs de la saveur des arilles de grenade fraîches, à l'aide d'un panel sensoriel descriptif formé, il a été rapporté que la saveur globale des arilles de grenade était la conséquence d'une combinaison de diverses sensations gustatives (sucré, acide, amer), aromatiques (vin rouge et notes fruitées de grenade) et buccales (astringence, jutosité et dureté des graines). En outre, il a été constaté que les variétés de grenade les plus appréciées se caractérisaient par un goût sucré élevé, des niveaux d'acidité faibles à modérés, des arômes riches de vin rouge et de fruits de grenade, une faible amertume et astringence et, de préférence, des graines molles. À l'inverse, les variétés ayant obtenu un score faible de préférence gustative étaient trop acides ou amères, avaient une faible odeur de vin rouge et de grenade ou des graines très dures [174].

✓ Composantes du goût

Le goût du fruit de la grenade résulte principalement des sensations des attributs " sucré " et " aigre ". La sensation de " douceur " est déterminée par la présence de sucres, dont les molécules les plus abondantes dans le jus de grenade sont le glucose et le fructose ; on trouve également des quantités mineures d'autres sucres tels que le saccharose, le maltose et l'arabinose [91-175]. La sensation d'aigreur de la grenade dépend de la présence d'acides. Les acides citrique et malique sont les deux principaux constituants acides. Les autres acides présents dans les grenades sont les acides succinique, oxalique, tartrique et ascorbique. Outre le goût sucré et l'acidité, la grenade présente également un goût amer dû à sa forte teneur en polyphénols. L'attribut amer n'est pas très dominant dans les arilles séparées, mais il pourrait poser un problème plus sérieux dans le jus de grenade pressé mécaniquement, car pendant le

processus de fabrication du jus, les substances polyphénoliques, qui sont présentes à des niveaux élevés dans l'écorce et les membranes capillaires, seraient introduites dans le jus pressé et traité et renforceraient son amertume. Au cours du processus de maturation, les fruits de la grenade subissent diverses modifications biochimiques entraînant une augmentation de la teneur en acide. Ces changements associés au mûrissement affectent la perception de la saveur, les fruits en début de saison étant plus acides que ceux en fin de saison [176-177].

Le goût perçu du fruit de la grenade est également influencé par les conditions environnementales et climatiques. Globalement, il a été démontré que dans les climats désertiques chauds et secs, les fruits de grenade accumulent des niveaux d'acidité plus faibles que ceux cultivés dans un climat méditerranéen plus frais. En effet, la plupart des variétés locales de grenade cultivées dans les climats chauds, comme ceux de l'Inde, de la Tunisie et du Maroc, sont considérées comme " douces " et ont des niveaux d'acidité très faibles, entre 1 et 4 g kg⁻¹. En revanche, les variétés de grenade originaires de régions plus froides, comme la Turquie, la Croatie et la Géorgie, sont plus acides et présentent des taux d'acidité plus élevés, de 9 à 43 g kg⁻¹ [178-179].

✓ Arôme

L'arôme des fruits de la grenade est dû à des mélanges de dizaines de composés volatils appartenant à diverses classes chimiques. Ces substances volatiles présentes dans les grenades comprennent trois alcools, six aldéhydes, une cétone et 11 terpènes (six monoterpènes, deux terpènes oxygénés et trois sesquiterpènes) (Tableau 5) [89-167].

L'odeur typique de la grenade n'est pas le fait d'un seul composé à fort impact ; l'arôme des fruits de la grenade provient plutôt d'un mélange de divers composés volatils qui apportent des notes " vertes ", " boisées ", " terreuses ", " fruitées ", " florales ", " sucrées " et " moisies ". Parmi les substances volatiles actives de la grenade, on trouve un ester, trois aldéhydes, cinq terpènes, deux alcools et un furane.

Tableau 5: Consensus des arômes volatils identifiés dans le jus de grenade frais

Compound	RI	Odour description	References
<i>Alcohols</i> (3)			
Hexanol	851	Résine, fleur, vert	179, 162–164, 166–38
(Z)-3-Hexenol	1039	Mousse, fraîche	179, 162–167
2-Ethylhexanol	1510	Floral	179, 164, 166
<i>Aldehydes</i> (6)			
Hexanal	801	Herbe, suif, graisse	179, 162–167
(E)-2-Hexenal	844	Vert, feuille	162–163, 167
Heptanal	903	Gras, agrumes, rance	179, 164–165
Octanal	999	Rance, savonneuse	179, 164–167
Nonanal	1104	Gras, agrumes, vert	179, 162–163, 165–167
(Z)-3-Hexenal	1154	Vert	162–163, 166
<i>Ketones</i> (1)			

6-Methyl-5-heptene-2-one	985	Huile, herbacée, verte	179, 163, 165–167
<i>Monoterpenes (6)</i>			
α -Pinene	939	Pin, térébenthine	179, 162–163, 165
β -Pinene	981	Pin, résine, térébenthine	179, 162–166
α -Terpinene	1012	Citron	162–164
p-Cymene	1027	Solvant, agrumes	163, 166–167
Limonene	10162	Citron, orange	179, 162–163, 165–167
γ -Terpinene	1074	Essence, térébenthine	179, 163, 167
<i>Oxygenated monoterpenes (2)</i>			
4-Terpineol	1179	Térébenthine, moût	179, 162, 165–167
α -Terpineol	1195	Huile, anis, menthe	179, 162–163, 165–167
<i>Sesquiterpenes (3)</i>			
α -Bergamotene	1431	Bois, chaud, thé	179, 165–166
β -Caryophyllene	1467	Bois, épices	179, 163–167

✓ **Astringence**

L'astringence est une sensation de sécheresse et de plissement de la bouche qui peut être provoquée par la consommation de fruits non mûrs contenant des tanins hydrolysables, qui se lient aux protéines salivaires, provoquant leur précipitation ou leur agrégation et entraînant une sensation rugueuse de "ponçage" ou de sécheresse dans la bouche. Le principal tanin hydrolysable présent dans les fruits de grenade, et responsable de la sensation d'astringence en bouche, est la punicaligine, qui est suivie de plus petites quantités d'autres tanins hydrolysables, tels que l'acide gallique, l'acide ellagique et la punicaline. En outre, des composés phénoliques sont également présents dans les graines, à partir desquelles ils peuvent être introduits dans le jus. Ainsi, des niveaux élevés de tannins hydrolysables peuvent nuire à la satisfaction sensorielle globale du consommateur à l'égard du produit [168-169].

✓ **Dureté des pépins**

La dureté des pépins est un attribut sensoriel important des grenades cultivées pour la consommation fraîche : les pépins peuvent être difficiles à mâcher et donc nuire à la satisfaction du consommateur. La dureté des graines est généralement mesurée en fonction de l'indice de partie ligneuse (WPI), qui représente le rapport entre la partie ligneuse de la graine et l'arille entière [180-181].

✓ **Saveurs principales**

Les fruits frais de la grenade sont conservés au froid pendant au moins quelques semaines après la récolte. Certaines variétés de grenades sont souvent stockées sous atmosphère contrôlée ou modifiée pendant 5 mois après la récolte. De longues périodes de stockage peuvent entraîner le développement de mauvaises odeurs et altérer la qualité sensorielle.

Le mauvais goût est attribué à l'accumulation des produits de la fermentation de l'éthanol et d'acétate d'éthyle, ainsi que de divers volatils sesquiterpéniques, d'une part, et à la diminution de la teneur en sucre des fruits, d'autre part. D'après ces évaluations, il semble que pour maintenir la qualité de l'arôme et réduire l'accumulation de mauvaises odeurs, il est encore nécessaire d'optimiser les protocoles de les protocoles de stockage post-récolte utilisés pour le stockage prolongé des fruits de grenade [182].

Avec l'augmentation récente du commerce mondial et de la demande de grenade en tant que fruit riche en nutraceutiques, à la fois pour la consommation fraîche et la fabrication de jus, il est devenu essentiel d'étudier fondamentalement la qualité de la saveur de la grenade, et d'apprendre comment divers facteurs avant et après la récolte peuvent influencer la qualité sensorielle du fruit et l'acceptabilité du consommateur. Le bagage génétique de chaque variété de grenade revêt une grande importance. En général, les fruits de grenade peuvent être classés en trois grandes catégories en fonction de leur acidité totale : les variétés "douces", "douces-amères" et "acides" et "aigre". En conséquence, il est toujours nécessaire d'optimiser les conditions de stockage et de transport post-récolte, afin de maintenir la qualité sensorielle et de réduire l'accumulation de substances volatiles indésirables pendant le stockage et la commercialisation.

III. Potentialités de résilience de l'espèce aux stress hydrique et thermique

La définition du stress chez les plantes apparaît avec des significations différentes en biologie, qui convergent principalement en attribuant le stress à n'importe quel facteur environnemental défavorable pour une plante et qui empêche cette dernière de réaliser l'expression de son potentiel génétique pour la croissance, le développement et la reproduction. En conséquence, la capacité d'une plante à survivre à un facteur défavorable est appelée la résistance ou la tolérance au stress [183].

Les stress environnementaux tels que le stress thermique, le déficit hydrique et d'autres, affectent la croissance et le rendement des plantes. Les plantes réagissent aux variations de température et à la quantité d'eau disponible en ajustant immédiatement leur activité aux nouvelles conditions. Lorsque les changements du climat thermique et hydrique sont persistants, les ajustements nécessaires impliquent des modifications plus ou moins rapides et durables du métabolisme de ces plantes [184].

III.1. Stress thermique

III.1.1 Définition et généralités

Pour effectuer sa croissance et son développement, chaque plante exige une gamme bien particulière de températures. Chaque plante possède une température optimale de croissance et de développement, qui ne peuvent se dérouler qu'entre des limites supérieures et inférieures. Lorsque la température avoisine ces limites, la croissance diminue et au-delà, elle s'annule [183].

Le stress thermique est souvent défini quand les températures sont assez hautes ou basses pendant un temps suffisant pour qu'elles endommagent irréversiblement la fonction ou le développement des plantes. Ces dernières peuvent être endommagées de différentes manières, soit par des températures basses ou élevées de jour ou de nuit, soit par l'air chaud ou froid soit par les températures élevées au sol. La contrainte thermique est une fonction complexe qui varie selon l'intensité (degré de la température), la durée et les taux d'augmentation ou de diminution de la température [183].

Le Maroc est considéré parmi les pays les plus vulnérables au stress thermique, qui s'exprime par une augmentation de la température moyenne de l'atmosphère. Les analyses des tendances actuelles du climat pour le Maroc, montrent un réchauffement global moyen de 1°C. Les prévisions de climat pour le Maroc indiquent que l'augmentation des températures peut dépasser 5°C en 2100 [185]. Vu que les végétaux nécessitent une gamme de température bien limitée, la chaleur reste donc parmi les grands problèmes qui peuvent influencer le secteur agricole marocain.

III.1.2 Effets majeurs de l'augmentation des températures

Un changement de température, au niveau de la plante entraîne certaines modifications dans la structure fondamentale de celle-ci. Toute variation de température provoque deux types de modifications très différentes : le premier est révélé par une modification de la vitesse des réactions biochimiques et métaboliques. Le deuxième est exprimé par une altération de la structure ainsi que la composition de macromolécules cellulaires (protéines et lipides) [186].

1) Effet sur les membranes cellulaires

Selon la conception traditionnelle, la température la plus élevée que la plupart des plantes peuvent supporter est déterminée par la dénaturation irréversible des enzymes. Bien que la fonction des enzymes joue un rôle crucial, l'attention s'est, plus récemment, tournée vers les modifications des propriétés des membranes, qui seraient les causes principales des dommages provoqués par les températures élevées [187]. Les hautes températures provoquent la rupture des liaisons hydrogènes et une augmentation des forces hydrophiles au niveau des membranes, et par conséquent, un état physique fluide ce qui contribuerait à préserver la stabilité des interactions entre lipides et protéines membranaires intrinsèques [188].

2) Effet sur la photosynthèse

L'assimilation photosynthétique du CO₂ chez les plantes supérieures s'annule généralement lorsque la température atteint 45-50°C. Comme pour toutes les activités métaboliques, on observe un effet positif de la température jusque vers 30°C en général, puis une action dépressive avec annulation totale vers 45°C; l'inhibition est plus marquée lorsque la température excessive est appliquée plus longtemps [189]. Parmi les causes possibles expliquant cette inhibition, la destruction des membranes cellulaires a d'abord été examinée : une perte de la compartimentation cellulaire peut en effet inhiber le

déroulement des grandes fonctions métaboliques. De même, il est apparu que l'enveloppe du chloroplaste était plus résistante à la température que les membranes formant les thylacoïdes ce sont donc bien les processus se déroulant à l'intérieur du chloroplaste qui sont endommagés par les températures élevées [190]. La température limite de la photosynthèse est généralement marquée par un accroissement abrupt de la fluorescence de la chlorophylle, qui est le reflet d'un endommagement irréversible du mécanisme de transfert d'énergie de PSII [191].

3) Effet sur la transpiration

Le stress thermique par les hautes températures se trouve fréquemment associé au déficit hydrique, non seulement parce que les périodes chaudes sont souvent sèches, mais aussi à cause de l'augmentation de la transpiration [192]. La température agit sur l'évaporation de l'eau cellulaire. Son augmentation entraîne l'ouverture des stomates et donc une augmentation de la transpiration. L'action de la température rappelle celle de la sécheresse de l'air : jusqu'à 25°-30°C, une élévation de température augmente la transpiration [193].

4) Effet sur la respiration

L'action de la température sur la respiration est analogue à celle que l'on rencontre pour tous les phénomènes métaboliques, avec une montée sensiblement grande de 0 à 40°C ou 50°C puis une brusque baisse qui traduit la dénaturation des protéines [193]. Ainsi cette augmentation se traduit par une consommation accrue de réserve et une réduction de l'accumulation de matière sèche [194].

III.2 Stress hydrique

III.2.1 Définition et généralités sur le stress hydrique

Le stress hydrique se définit comme une insuffisance d'eau de qualité satisfaisante, pour pouvoir répondre aux besoins humains et environnementaux. Si de nombreuses populations vivent déjà dans des régions connaissant un stress hydrique, il est prévu que d'ici 2025, la part de population mondiale vivant dans de telles zones augmentera de 35%, soit environ 2.8 milliards de personnes. En fait, on peut déjà prévoir que dans un futur proche, des conflits pour l'eau prendront la même importance que les conflits actuels autour du pétrole [195]. Du point de vue végétal, le stress hydrique correspond à une situation où la plante subit une diminution plus prononcée de sa teneur en eau qui va affecter son métabolisme d'une manière importante [196]. En plus, la raréfaction des ressources en eau constitue une contrainte majeure à l'échelle mondiale, sous les effets conjugués de l'irrégularité de la pluviométrie, des besoins croissants des pays pour répondre à la pression démographique et de l'appel des secteurs économiques (agriculture, industrie, eau potable, tourisme, etc.). Cette situation est par ailleurs exacerbée par l'impact des changements climatiques. Avec un taux d'utilisation de 69% de l'eau, le secteur agricole est le plus

consommateur en eau et le plus touché par les changements climatiques, est déterminant de l'équilibre ou du déséquilibre en termes d'accès aux ressources hydriques à l'échelle planétaire [197].

Pour la méditerranée, les contraintes climatiques, notamment la rareté des ressources hydrique ont toujours été des caractéristiques structurelles. Les sociétés y ont développé d'ingénieux systèmes de production agricole afin de s'y adapter et d'y faire face. Aujourd'hui, cette résilience est mise à l'épreuve. Les projections sur le stress hydrique des pays riverains sont défavorables, avec des estimations qui prédisent une contraction du PIB (produit intérieur brut) de 6% à l'horizon 2050 uniquement en raison de la rareté de l'eau. L'insécurité hydrique, seuil qui concerne les pays dont la disponibilité en eau par an et par habitant est inférieure à 1700 m³, frappe déjà 10 Etats méditerranéens (Libye, Israël, Egypte, Jordanie, Maroc, Algérie, Tunisie, Malte, Palestine, Syrie). Près de 180 millions d'habitants seraient ainsi « pauvres en eau » dans la région. En raison des évolutions démographiques à la hausse, les écarts entre les ressources en eau par tête vont s'accroître tout comme les problèmes liés à son accès. A ces limites quantitatives et physiques se superposent des signes de dégradation de la qualité de l'eau [197].

III.2.2 Gestion de l'eau en agriculture

L'utilisation de l'eau par l'agriculture a longtemps été caractérisée par une faible efficacité, en raison des importantes pertes [198]. De manière globale, la gestion de l'eau en tant que ressource est un point capital dans la problématique environnementale. Les conséquences du changement climatique qui se traduit par l'augmentation des besoins en eau d'irrigation et une forte pression sur les ressources en eau, impose une méthodologie de gestion de cette ressource. Dans ce contexte, il est important de trouver une méthodologie de gestion raisonnée de l'eau d'irrigation pour préserver cet "or bleu", en agissant de manière cohérente. Cette ressource essentielle est cependant fragile, stratégique mais rare et dans la majorité des cas, offerte en quantité limitée et faisant l'objet d'une demande croissante. Pour cette raison, il est nécessaire de la gérer dans un souci d'efficacité et de durabilité et l'agriculture, plus concrètement l'irrigation, ne peut ignorer cette exigence [199].

L'arboriculture fruitière en irrigué s'est considérablement développée durant les dix dernières années et constitue un des plus gros consommateurs d'eau d'irrigation [200]. Devant cette situation, de nouvelles stratégies d'irrigation doivent s'impliquer pour répondre à cette problématique. L'irrigation en goutte à goutte souterraine IGGS est l'un des éléments de réponse de cette gestion. Cependant, la combinaison de cette technique avec la réduction des apports d'eau à la plante tel que l'irrigation déficitaire, constitue un des leviers majeurs de la gestion de l'eau en agriculture [200].

III.2.3 Stress hydrique au Maroc

Les perspectives du changement climatique prévoient une réduction des précipitations, une augmentation de la température et de la fréquence des événements extrêmes combinés avec le

changement des rythmes saisonniers [201]. Les prévisions pour le Maghreb indiquent que les diminutions des précipitations peuvent atteindre jusqu'à 50% alors que l'augmentation des températures peut dépasser 5°C en 2100[202]. Les analyses des tendances actuelles du climat, pour le Maroc, montrent un réchauffement global moyen de 1°C et une baisse significative des précipitations variant entre 3 à 30% selon les régions. A la fin de ce siècle, on prévoit une augmentation de la température moyenne estivale de 2 à 6 °C et une régression moyenne des précipitations de 20% [203]. Les disponibilités hydriques des sols peuvent en outre diminuer sous l'effet de l'augmentation des phénomènes d'évapotranspiration. Ces nouveaux aléas auront des impacts négatifs sur les écosystèmes forestiers marocains [204], l'évolution du comportement et des interactions entre espèces et la multiplication des facteurs de risque tels que les incendies et les stress biotiques ([205]; [206]).

✓ **Utilisation de l'eau selon les secteurs**

Irrigation est le principal utilisateur de l'eau au Maroc avec près de 90% de la demande globale, alors que le reste est utilisé pour l'approvisionnement des populations en eau potable et pour le secteur industriel [207]. La demande en eau potable mobilise actuellement plus de 700 millions de m³/an. Le taux de desserte est de 80% en milieu urbain et 30% en milieu rural où 70% de la population consomme moins de 20 litres/jour/habit, soit le 1/6 de la consommation journalière d'un citoyen [208].

✓ **Etat du stress hydrique au Maroc**

Le Maroc est un pays semi-aride dont les ressources naturelles en eau sont inégalement réparties entre le nord et le sud. A titre d'illustration, des avancées significatives sont enregistrées en matière de techniques et de pratiques d'économie de l'eau d'irrigation, de sa collecte et de sa mobilisation. En effet, pays méditerranéen à climat essentiellement semi-aride et aride, les ressources hydriques du Maroc sont limitées de par sa situation géographique et son exposition aux aléas climatiques. Ses ressources en eau conventionnelles sont limitées à 29 Milliard de m³/an avec une capacité de retenue des barrages de l'ordre de 17,6 Md m³ [197]. Le Maroc est ainsi confronté à des problèmes de gestion durable des ressources naturelles. Le coût de la dégradation de l'eau est estimé à 1,26% du PIB. L'exploitation des eaux souterraines est estimée à 955 millions de m³/an. En outre, la perte annuelle d'eau qui résulterait du changement climatique est de 94,6 M m³ [197]. Le secteur agricole marocain, pilier de la sécurité alimentaire du pays, est très dépendant des aléas climatiques, notamment la sécheresse et la rareté des ressources hydriques. Ainsi, la stratégie de l'irrigation et de l'économie de l'eau constitue la base de la politique agricole du pays. A cet égard, bien que l'agriculture irriguée ne couvre qu'environ 19% de la superficie agricole utile, elle contribue en moyenne à environ 50% de la valeur agricole [197]. Selon l'institut mondial des ressources qui a établi un rapport sur la situation des ressources hydriques de 167 pays, dont le Maroc est introduit dans cette étude. Le rapport indique que la situation des ressources

risquait de s'aggraver d'ici les 25 prochaines années. Le royaume figure parmi les 33 pays les plus menacés. Pour établir ce classement, le rapport s'appuie sur plusieurs critères spécifiques : le développement socio-économique du pays, notamment en matière d'urbanisation, la croissance démographique, et évidemment les conditions climatiques. La réunion de tous ces critères permet de déterminer ou non un stress hydrique. Ainsi, une disponibilité en eau, inférieur à 1700 mètres cube par an et par habitant, est le premier signe d'un « stress hydrique ». Au Maroc, les ressources en eau, aussi bien souterraine qu'en surface, sont telles, qu'une diminution majeure des ressources en eau par habitant est constatée depuis plusieurs années. Dans les années 60, la ressource par habitant était de 3000 mètres cube par an. Cette dernière est passée en 2012, à 700 mètres cube. Sur les 33 pays les plus menacés, le Maroc se classe à la 19^{ème} place, quand ses proches voisins du Maghreb, l'Algérie et la Tunisie se placent respectivement à la 30^{ème} et 33^{ème} place. En tête des premiers pays les plus menacés, se situent le Bahreïn, le Koweït et la Palestine [209].

III.2.4 Notion du stress hydrique sur le grenadier

1. Stress hydrique et la production de grenadier

Le déficit hydrique est l'un des facteurs les plus importants qui limite la production des cultures dans le monde [210]. En verger, le premier rôle de l'irrigation est d'apporter aux arbres les doses d'irrigation nécessaires à leur développement, durant les différentes périodes de croissance du fruit. La gestion de l'irrigation inclut les objectifs de production en termes du rendement et de qualité, ainsi que le maintien de l'équilibre végétatif des arbres. Cependant, les conditions climatiques, le type du sol, la technique d'entretien du sol, le porte-greffe, la charge des arbres et la fréquence d'irrigation sont des facteurs qui influencent la consommation en eau d'un verger. L'utilisation efficace de l'eau est le défi principal dans les pratiques agricoles mondiales où les problèmes du manque d'eau sont répandus. Dans ce contexte, l'efficacité de l'utilisation de l'eau de l'agriculture doit être optimisée [211]. Le grenadier est une culture dont on attend des performances au travers d'une valorisation des milieux pauvres du point de vue agronomique, tout en affichant des objectifs de productivité et de qualité de la grenade. Tout cela doit se faire dans un contexte de diversification des débouchés et des objectifs assignés au produit final. Toute amélioration de la productivité ne peut s'envisager sans le maintien de ces atouts. Dans ce contexte le grenadier est planté dans des milieux où la ressource en eau est très variable et souvent déficitaire dès la floraison. En dépit de son bon comportement face à cette sécheresse en période estivale et il subsiste souvent une importante variation de la qualité du grenades [213].

III.2.5 Les indicateurs du stress hydrique

Outre son importance en tant que constituant, solvant et réactif au sein des plantes, l'eau a un rôle primordial pour le maintien de la turgescence des cellules, elle-même essentielle à leur croissance, au maintien de la forme des plantes herbacées, à l'ouverture des stomates et aux mouvements des feuilles et des fleurs. La plante en déficit hydrique ne peut plus maintenir une pression de turgescence maximale et cherche alors à réduire sa transpiration. De nombreuses modifications écophysiologiques et morphologiques sont associées à cette diminution. L'étude de ces modifications permet d'apprécier l'état hydrique du végétal [211].

✓ Statut hydrique du sol

Le suivi du statut hydrique du sol se fait en deux manières par des mesures du potentiel hydrique du sol et par des mesures de la teneur en eau du sol.

- La teneur en eau du sol

.Le suivi de la teneur en eau du sol en plein champ a été longtemps utilisé comme outil de suivi du planning des irrigations [214]. Le contrôle de l'irrigation basé sur le statut hydrique du sol est l'une des méthodes pratiques de la programmation des déclenchements des irrigations [215]. C'est une méthode qui ne demande pas beaucoup d'investissements comparativement aux autres techniques [215]. Un des outils de suivi de la teneur en eau du sol est les sondes [216]. Le suivi de la teneur en eau du sol par des sondes pour la programmation des irrigations est important [217], il permet le contrôle de la teneur en eau du sol à différentes profondeurs, exploités par les racines [217]. Différentes sondes sont utilisées pour le suivi du statut hydrique du sol, nous citerons les sondes à neutron [211] et sondes capacitatives ont été utilisées par certains auteurs [218].

- Le potentiel hydrique du sol

Pour la gestion de l'irrigation, différentes sondes qui mesurent le potentiel hydrique du sol ont été utilisées pour suivre la teneur en eau du sol et ainsi identifier le statut hydrique de la plante [219]. Le potentiel hydrique du sol est un des indicateurs du stress hydrique de la plante. Cependant ce paramètre est très compliqué sur le terrain car il dépend de plusieurs facteurs (textures, profondeur, densité racinaire etc.). Le suivi du statut hydrique du sol par le biais de mesure du potentiel hydrique du sol se fait soit par les tensiomètres soit par les sondes Watermark® pour une bonne gestion de l'irrigation sans contrainte d'exploitation, c'est la dernière sonde qui est recommandée sur le terrain [211].

✓ Statut hydrique de la plante

La détection du stress hydrique de la plante se fait par des indicateurs permettant des mesures du potentiel hydrique foliaire de midi et de base (mesuré à l'aube (fin de nuit), par des mesures des échanges

gazeux (la photosynthèse et la transpiration) ainsi que la conductance stomatique et par des mesures de la variation journalière du diamètre du tronc (dendrométrie) et enfin la circulation de la sève.

A. Méthodes directes

- Le potentiel hydrique foliaire

Les indicateurs physiologiques constituent une autre approche qui évalue l'état hydrique de la plante elle-même. Parmi ces indicateurs, la mesure du «potentiel hydrique du feuillage» permet d'estimer la disponibilité en eau pour la plante. Cette opération, effectuée au moyen d'une chambre à pression, permet de mesurer la force avec laquelle l'eau est retenue dans le végétal. Plus les valeurs enregistrées sont basses ou négatives, plus l'eau est retenue fortement à l'intérieur de la plante [220].

Le potentiel hydrique, mesuré le long du tronc de l'arbre, appelé potentiel hydrique du xylème du tronc, a toujours été un indicateur physiologique fondamental du stress hydrique dans les plantes [211]. Le potentiel hydrique du xylème du tronc Ψ_X a été proposé comme un bon indicateur du stress hydrique aux arbres fruitiers tels que le grenadier [221], le pommier [211], le pêcher et le prunier [222]. Cependant plusieurs auteurs suggèrent que le potentiel du xylème du tronc est un indicateur sensible au stress hydrique des arbres fruitiers tels que, le grenadier [221], pommier, les agrumes, la vigne [220] et le prunier [223]. Le suivi du potentiel hydrique en fin de nuit (potentiel hydrique de base) reflète bien l'évolution de la disponibilité de l'eau dans le sol [220].

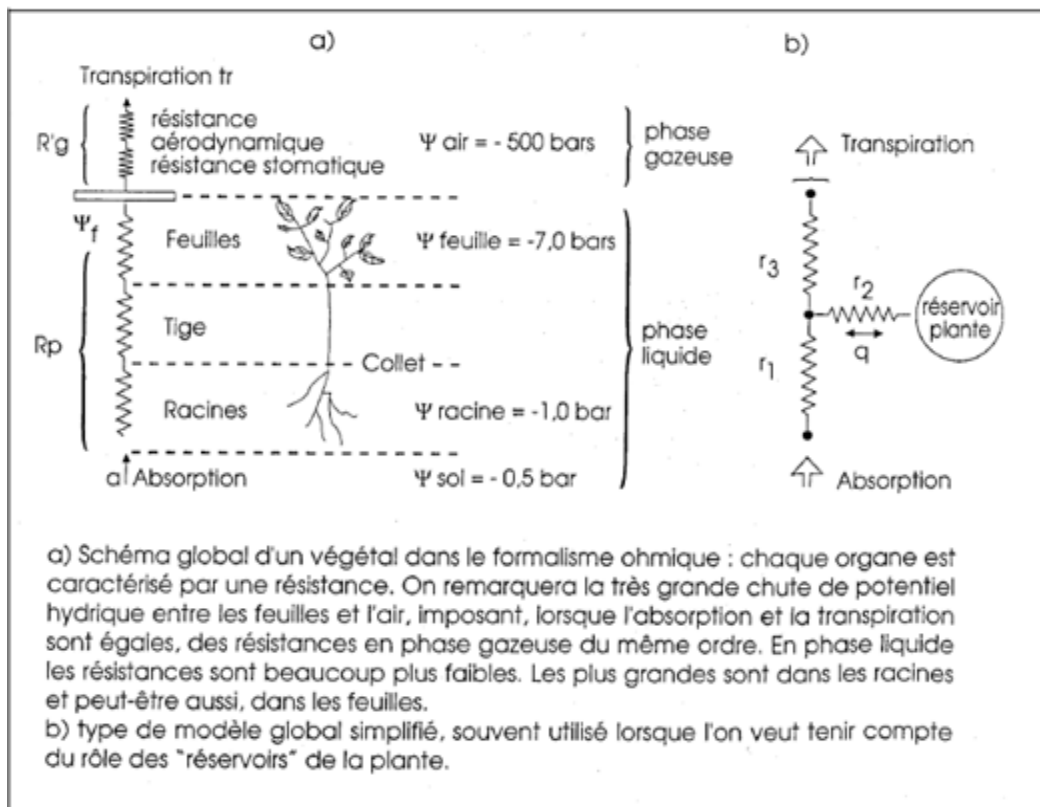


Figure 23: Modèle ohmique de la circulation de l'eau dans la plante.

Quelle que soit l'heure de la mesure, une chute de ces potentiels est révélatrice d'une diminution de la quantité d'eau au sein du végétal [224]. Comme la teneur en eau relative, le potentiel hydrique foliaire est une méthode destructive.

- Les échanges gazeux

Un autre moyen de détection du stress hydrique des arbres fruitiers est l'emploi des indicateurs physiologiques comme la photosynthèse, la transpiration et la conductance stomatique. L'état hydrique, l'environnement extérieur des arbres fruitiers, l'humidité de l'air et le déficit de pression de vapeur DPV conditionnent les échanges gazeux du feuillage. L'assimilation chlorophyllienne est maximale quand la plante est mise dans une situation de confort hydrique. La photosynthèse diminue progressivement quand la contrainte hydrique s'accroît et impose la fermeture progressive des stomates.

La photosynthèse qui est un processus physiologique important pour la plante, est très sensible au stress hydrique et affecte directement la croissance des fruits et le rendement des arbres fruitiers [225]. D'autres études effectuées [211] ont montré que le stress hydrique diminue légèrement la photosynthèse du poirier et de l'olivier. Par contre la transpiration est réduite d'une manière remarquable, ce qui montre que les arbres fruitiers s'adaptent au stress hydrique en maintenant leurs turgescences par la réduction de la transpiration, par le biais du contrôle de l'ouverture des stomates.

- La dendrométrie et la circulation de la sève

La dendrométrie qui est une technique de mesure de la fluctuation du diamètre du tronc (FDT), est l'un des outils de détection du stress hydrique. Plusieurs études ont montré que le diamètre du tronc des arbres fruitiers est sensible au stress hydrique chez l'olivier [226]. L'amélioration récente des capteurs pour la mesure du flux de sève (FS) et la fluctuation du diamètre du tronc (FDT) rend ces derniers des outils intéressants pour l'indication de l'état hydrique des arbres fruitiers tels que le pommier [227] et l'olivier [189], le citronnier.

- Résistance stomatique

La résistance stomatique varie en fonction de très nombreux facteurs externes (lumière, état hydrique de l'air, température...) et interne (acide abscissique, état hydrique de la feuille, historique de la plante...). Lors d'un déficit hydrique, les stomates se ferment en recevant un signal d'origine racinaire ou à cause d'une trop faible pression de turgescence [211]. Lorsque l'absorption en eau est trop faible, l'accroissement de la résistance stomatique est le plus souvent le seul moyen rapide que le végétal possède pour réduire sa transpiration. Cette grandeur pourrait donc apparaître comme un indicateur de stress hydrique de référence si sa mesure était aisée. En pratique, un poromètre compare la diffusion de l'eau à la surface de la feuille à celle obtenue sur une surface dont les caractéristiques sont connues (plaque d'étalonnage). L'utilisation du poromètre à diffusion pose plusieurs problèmes. [228] évoque non seulement des erreurs d'ordre biologique dues à la variabilité dans l'espace et dans le temps

(éclairage du couvert, âge de la feuille) de la résistance stomatique, mais aussi les erreurs d'ordre technique (étalonnage). D'une manière plus originale, [229] arrive à mesurer la conductance stomatique d'une feuille par thermométrie infrarouge.

B. Méthodes indirectes

- Température de surface foliaire

En 1963, Tanner (cité par [230]) estime que la température des plantes peut être un indice qualitatif utile pour différencier les plantes soumises à différents régimes hydriques.

On peut écrire le bilan d'énergie sous forme simplifiée :

$$Rn = \lambda E + H + Gs$$

Le rayonnement (Rn) reçu par la plante est utilisé pour la photosynthèse (partie négligeable), le reste est dissipé sous forme :

- de chaleur latente par la transpiration des plantes (λE)
- de chaleur sensible sous forme convective (H) entre le couvert et l'atmosphère et sous forme conductive (Gs) dans le sol. Ce flux conductif est négligé dans de nombreux cas. La réduction de la transpiration végétale, suite à un accroissement de la résistance stomatique, diminue considérablement la consommation d'énergie (λE). De ce fait, pour atteindre l'équilibre, la température de surface augmente et l'énergie se dissipe sous forme de chaleur sensible (H). Ces changements de température sont associés à des variations du rayonnement thermique de la surface qui peuvent être mesurées par radiothermométrie infrarouge. Il devient alors possible de déterminer le degré de stress hydrique d'une plante [230]. Un indice adimensionnel a été associé à cette méthode, le CWSI (Crop Water Stress Index), basé sur la différence de température entre l'air et le végétal. Le pilotage de l'irrigation par suivi de température de surface a été appliqué par le passé [231]. De nombreuses autres études ont été réalisées [232]. Ces méthodes n'ont par contre pas été appliquées dans le cas de cultures en pots. La température de surface reste néanmoins une donnée complexe variant avec de nombreux facteurs externes (variables climatiques) ou internes (géométrie, orientation, hauteur) à la plante [233], fait par ailleurs remarqué que les mesures radiothermométriques permettent de détecter des stress hydriques, mais de manière peu sensible. Au moment de la détection, le déficit hydrique peut déjà être sévère.

- Variations micrométriques de la dimension d'un organe

L'évolution du diamètre de tige est en relation avec la sollicitation des réserves en eau dans les organes. Des études sur les arbres fruitiers ont mis en évidence l'existence de cycles journaliers de variations de la teneur en eau [234]. Le suivi micrométrique des dimensions de la tige du végétal permet de mesurer l'intensité de ces variations. Au cours de la journée, la plante transpire, les tiges et les branches se contractent en raison de la déshydratation. Par contre, en fin d'après-midi et durant la nuit, la plante ne transpire plus, les organes se réhydratent et se dilatent. Lorsque le végétal est en restriction hydrique, les

organes se contractent de plus en plus, la réhydratation et la dilatation des organes pendant la nuit est de plus en plus limitée. En suivant l'évolution du diamètre de tige, on peut comparer le comportement des cultures soumises à des contraintes plus ou moins élevées [235]. Pour Schoch [236], la contraction observée sur les tiges ne doit pas inciter à conclure trop rapidement à un manque d'eau. Pour eux, il est possible de piloter l'irrigation par le suivi des diamètres de tige en prenant toutefois quelques précautions. Quoiqu'il en soit, cette méthode présente l'avantage de s'appuyer sur des mesures non destructives, automatisables et globales. L'inconvénient majeur est qu'elle nécessite la détermination préalable d'une valeur seuil correspondant au déclenchement de l'irrigation. Cette valeur dépend du végétal suivi, de la nature des substrats, et des objectifs de la culture [211].

C. Méthodes biochimiques

L'acide abscissique (ABA) synthétisé et accumulé par la plante en réponse à différents types de stress semble être impliqué dans certains mécanismes de résistance à la sécheresse. Il a été montré que, lors d'un stress hydrique, la concentration endogène d'acide abscissique augmente, ce qui provoque des changements physiologiques (fermeture stomatique, enroulement foliaire) limitant les pertes en eau [237]. La mesure de la concentration d'acide abscissique est donc un bon indicateur de l'état hydrique de la plante. Cette mesure reste cependant destructive [238].

III.2.6 Les effets du stress hydrique sur le grenadier

✓ Effet du stress hydrique sur la photosynthèse

La photosynthèse est le processus bioénergétique qui permet aux végétaux de synthétiser de la matière organique en utilisant l'énergie lumineuse. La matière organique est synthétisée à partir du gaz carbonique (CO₂), de l'eau et des sels minéraux. En situation de Stress hydrique, le défaut d'alimentation en eau entraîne une chute de photosynthèse, initialement due à la fermeture des stomates qui entraîne une diminution de la concentration de CO₂ intercellulaire [239]. Ainsi que la teneur en amidon diminue et celle des sucres réducteurs augmente [239]. Des études suggèrent qu'une teneur faible en CO₂ intercellulaire peut jouer un rôle essentiel comme médiateur des altérations biochimiques dans la photosynthèse [240].

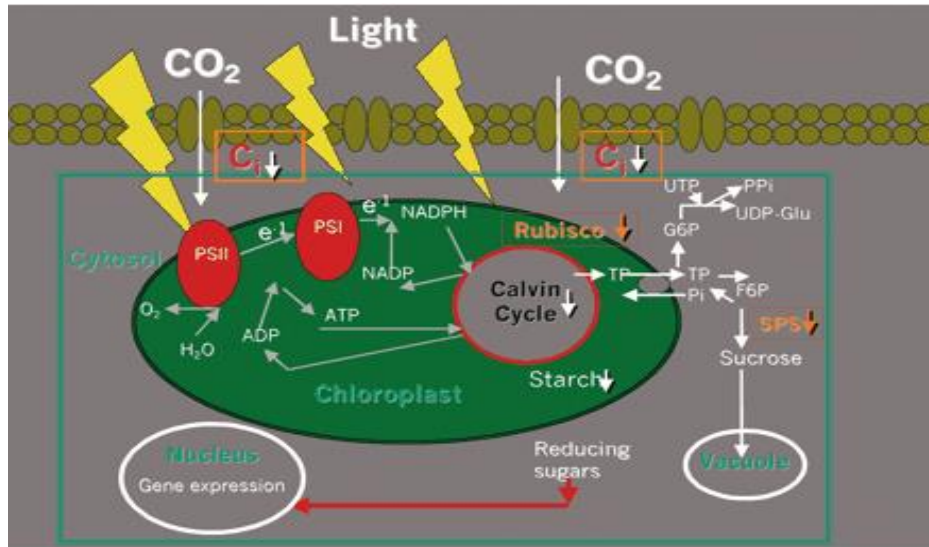


Figure 24: Modèle ohmique de la circulation de l'eau dans la plante.

Cette Figure 24 montre qu'en cas de déficit hydrique modéré, le CO_2 intercellulaire diminue en raison de la fermeture des stomates, tandis que la capacité photosynthétique est maintenue. Cette diminution de CO_2 peut induire une inhibition réversible de certaines enzymes (par exemple, le SPS : Saccharose-Phosphate Synthase). Dans le même temps, la teneur en amidon diminue et les sucres réducteurs sont maintenus, voire augmentent (Journal Experimental Biology, 2004). Horner et al [241] ont remarqué que sous un léger stress hydrique sur le grenadier, l'assimilation du CO_2 pourrait être maintenue et les métabolites secondaires à base de carbone augmenteront probablement lorsque les glucides dépasseront la quantité nécessaire à la croissance. Lorsque le stress hydrique augmente, la régulation stomatique a lieu et l'assimilation du CO_2 est réduite. Dans cette situation, le carbone sera préférentiellement alloué à la synthèse des métabolites primaires au détriment de la synthèse des métabolites secondaires [242]. Selon Pourghayoum [243], la teneur en chlorophylle foliaire a et b des plantes du grenadier soumises à un stress hydrique est diminuée de façon significative chez tous les génotypes par rapport aux plantes témoins. Cette diminution de la concentration de chlorophylle a et b est due à la dégradation rapide de leurs molécules et cette diminution a été envisagée comme symptôme typique du stress oxydatif. Par contre les concentrations de caroténoïdes foliaires ont augmenté chez les plantes stressées comparativement aux plantes témoins bien irriguées.

✓ Effet du stress hydrique sur la nutrition minérale

Un déficit dans l'alimentation hydrique des végétaux affecte leur nutrition minérale. L'eau joue en effet un rôle important dans le transport des éléments nutritifs. En effet la sécheresse altère les besoins en azote des cultures puisque ceux-ci croissent avec la biomasse produite. La conséquence immédiate de la sécheresse est donc de réduire la demande en azote minéral du sol [243]. Selon Alejandro [244], le

stress hydrique sur le grenadier diminue la teneur en certains macronutriments (N, P et K %) et micronutriments (Fe, Zn, Mn et Cu mg/kg) des feuilles. Les valeurs significatives les plus élevées de certains macro et micronutriments ont été trouvées avec un traitement de contrôle (100 % d'irrigation), tandis que les valeurs les plus faibles de ces nutriments ont été trouvées à un stress hydrique sévère (40 % d'irrigation). Junjittakarn et al [245], ont déclaré que la carence en eau avait une incidence négative sur l'absorption et le transport des éléments nutritifs et donc une faible production de matière sèche et un faible rendement agricole comme de nombreux chercheurs l'ont constaté [246].

✓ **Effet du stress hydrique sur la croissance aérienne**

L'impact d'un déficit hydrique se traduit par une diminution de la croissance de la plante. La limitation de la croissance foliaire est un mécanisme adaptatif qui permet de réduire la transpiration. Les réductions de croissance sont l'une des premières manifestations du déficit hydrique [247]. Elles se produisent soit directement au travers d'une réduction de vitesse de croissance, soit indirectement en réduisant le nombre d'organes portant des feuilles. La réduction de vitesse de croissance foliaire met en jeu plusieurs mécanismes. La vitesse de division cellulaire décroît [248], les parois cellulaires, qui doivent se déformer pour permettre la croissance cellulaire, deviennent plus rigides [249], turgescence décroît [250]. La signalétique des modifications de croissance est elle-même complexe, en particulier parce que plusieurs signalétiques se superposent ou s'entrecroisent, en particulier celles de l'acide abscissique, de l'éthylène et des sucres [250]. Il existe cependant un consensus sur le fait que la réduction de la croissance n'est pas une conséquence passive du manque d'eau dans les cellules, elle est contrôlée et programmée par la plante, avec l'intervention de gènes d'inhibition qui s'expriment avant les sécheresses [251].

Selon Galindo [252], ils ont indiqué que le stress hydrique influence la croissance du grenadier puisque les valeurs maximales des paramètres de croissance végétative (longueur des pousses, nombre de pousses germées et surface foliaire) ont été obtenues lorsque les plantes ont été irriguées à 100 % de la capacité, tandis que les valeurs minimales ont été enregistrées à 40 % de l'eau disponible. Ainsi que le degré de succulence des feuilles (humidité des feuilles en mg /cm² de limbe) a augmenté en augmentant la quantité donnée d'eau d'irrigation dans les grenadiers, où le degré de succulence atteint la valeur maximale a été obtenues lorsque les plantes ont été irriguées à 100 %, ce qui indique que les cellules foliaires sont complètement turgescents, alors que les valeurs les plus faibles ont été obtenues à 40 % de l'eau disponible. Les résultats sont en harmonie avec ceux obtenus [253], qui a constaté que le degré de succulence augmentait avec la quantité d'eau disponible. Le caractère des feuilles dures (HLC) du grenadier a été significativement affecté par le stress hydrique puisque ce caractère a augmenté progressivement en réduisant la quantité d'eau d'irrigation donnée. On pourrait conclure que lorsque l'eau d'irrigation donnée diminue, le caractère des feuilles dures (poids sec /cm² de feuille) augmente.

D'autre ont indiqué que le rendement commercialisable des grenades a été considérablement réduit par la rétention d'eau, plus la période sans eau est longue, plus le rendement commercialisable est faible [254].

✓ **Effets du stress hydrique sur la qualité des fruits**

La qualité physico-chimique est un paramètre fondamental des cultures irriguées, la présence d'un stress hydrique au cours de la période de croissance des fruits peut avoir un impact négatif sur la qualité physico-chimique des fruits. Plusieurs auteurs ont étudié cette problématique [246].

A. Effet du déficit en eau sur le développement des fruits et les processus de croissance

Indépendamment de l'espèce, la croissance des fruits peut être divisée en différentes phases de développement, y compris une période de division cellulaire intense suivie par une période d'expansion cellulaire et se termine par la période de maturation [255]. Sous SH intensive, il induit la privation de carbone peut réguler négativement la division cellulaire, [256]. Lorsque la division cellulaire cesse, une augmentation du volume tissulaire est induite par la croissance cellulaire via une augmentation du volume cytoplasmique et une expansion des vacuoles. Le début de la maturation des fruits coïncide avec un ralentissement rapide de l'expansion cellulaire. Sous stress hydrique, le début de la maturation des fruits est accéléré chez le pêcher *Prunus persica* L. [257], pomme *Malus domestica* B. [223] et avocat détaché *Persea americana* [259]. Ces effets ont été attribués à une augmentation d'éthylène endogène, qui joue un rôle important dans la coordination des processus de la maturation des fruits chez de nombreuses espèces de plantes fruitières, y compris les climactères (p. ex. tomate, pomme ou banane) *Musa x paradisiaca* L.) et des fruits non climatériques (par exemple, fraise *Fragaria x ananassa* D., agrumes *Citrus* spp. L. ou baies de raisin) [260]. Mellisho et ses collaborateurs [242] ont conclu que sous un stress hydrique modéré appliqué sur le grenadier, il présentait certains changements de couleur et de caractéristiques chimiques qui reflétaient une maturation plus précoce. Puisque les fruits des plantes irriguées à 100% avaient le diamètre équatorial le plus élevé (86,9 mm), ainsi que le poids moyen des fruits et la longueur des fruits (FL, mm) par rapport les plantes stressées.

B. Effet du stress hydrique sur la texture du fruit

La structure générale et l'organisation spatiale, la morphologie cellulaire des tissus [261], l'état de la turgescence cellulaire et de l'eau fruitière [262], l'accumulation et la distribution de solutés osmotiquement actifs [263], les propriétés chimiques et mécaniques des parois cellulaires et les propriétés de la cuticule et la perte d'eau par transpiration [264] prédominent dans la détermination de la texture. Bien que beaucoup de ces processus et les caractéristiques sont régis par divers facteurs environnementaux [265], dont l'eau est d'une importance primordiale, très peu d'études ont étudié les

mécanismes impliqués dans le contrôle environnemental de la texture/fermeté, et peu d'informations sont disponibles sur les mécanismes affectés [266]. Les hypothèses les plus probables sont que le stress hydrique affecte la texture via son effet sur la taille de la cellule, la turgescence, le transport de solutés et l'accumulation de solutés osmotiquement actifs au niveau cellulaire [255]. Par exemple, le stress hydrique augmente la fermeté des poires [267], cependant, une absence d'effet a été signalée chez les pommes (test de perforation, [268]). En outre, il a été démontré que le stress de sécheresse entraînait des altérations de la composition chimique. Composition et propriétés physiques de la paroi cellulaire [269]. Laribi et ses collaborateurs [254] ont montré que les grenades soumises à un stress hydrique léger pendant la floraison et la nouaison et à un stress hydrique plus grave pendant la phase linéaire de croissance et de maturation des fruits avaient un épicarpe plus rouge et conclu que la restriction de l'eau d'irrigation pendant la croissance et la maturation des fruits de la grenade augmente l'intensité de la couleur rouge de l'écorce et la légèreté de l'épicarpe.

C. Effet du déficit en eau sur la qualité biochimique des fruits

Mena et ses collaborateurs [94] ont indiqué que le jus de grenade provenant d'arbres soumis aux graves niveaux de stress hydrique était de qualité inférieure et moins sain que celui des arbres entièrement irrigués. Ainsi que ce jus est moins attrayant et moins sain (plus jaunâtre, moins d'activité antioxydante et moins de composés phénoliques totaux, punicalagine et anthocyanine totale) que le jus des arbres entièrement irrigués. En revanche, Galindo et ses collaborateurs [252] ont conclu qu'un stress hydrique important provoquait des fruits de qualité bioactive similaire mais de couleur grenat plus foncée et plus intense que les fruits entièrement irrigués, ce qui permettait d'obtenir une récolte optimale de 7-8 jours environ.

Récemment, Laribi et ses collaborateurs [254] ont montré que les grenades provenant d'arbres soumises à un stress hydrique léger pendant la floraison et la nouaison et à un stress hydrique plus grave pendant la phase linéaire de croissance et de maturation des fruits donne une teneur plus élevée en solides solubles totaux dans le jus.

D'autre part, Peña-Estévez [270] ont conclu que les grenades stressées avaient de bonnes qualités sensorielles, une teneur plus élevée en la plupart des composés bioactifs et moins de dommages causés par le froid pendant l'entreposage et la conservation que les fruits entièrement irrigués. Ainsi que la restriction de l'eau d'irrigation pendant la croissance et la maturation des fruits de la grenade augmente l'intensité de la couleur rouge de l'écorce et la teneur totale en solides solubles dans le jus, tandis que la restriction de l'eau d'irrigation pendant la croissance linéaire des fruits augmente la concentration de nombreux composés bioactifs dans le jus, comme les anthocyanines, qui pourraient avoir une incidence sur le goût et la santé.

✓ Réponse génomique au stress hydrique

En réponse à un stress, qu'il soit biotique ou abiotique, de nombreux gènes sont soit surexprimés ou sous-exprimés. Diverses études ont montrées qu'il y avait des voies de signalisation et de régulation communes pour différents types de stress, avec certaines voies plus spécifiques d'un type de stress. Les produits des gènes impliqués dans la résistance au stress peuvent être classés en 2 groupes, les protéines fonctionnelles qui interviennent dans des processus biochimiques et les protéines de régulation qui vont intervenir dans le contrôle de la différenciation, prolifération et survie cellulaire. Les gènes codant pour des protéines fonctionnelles sont impliqués dans la résistance au stress abiotiques en général. Le second groupe contient les gènes codant pour les protéines impliqués dans la transduction du signal et les gènes de réponse au stress [271]. Les gènes codant pour des protéines fonctionnelles sont impliqués dans la résistance au stress abiotiques en général. Le second groupe contient les gènes codant pour les protéines impliqués dans la transduction du signal et les gènes de réponse au stress. Parmi les gènes impliqués dans les voies de régulation, certains sont dits ABA-dépendant, car sur-régulés quand le niveau d'ABA augmente en réponse à un stress. L'expression de ces gènes est activée via les éléments « ABA-responsive » dans les régions promotrices. Certains de ces gènes sont spécifiques de la résistance à la sécheresse tels que les facteurs de transcription ABRE (ABA-responsive element)/ABF (ABRE binding factor). Les autres, tels que NAC, MYB2 et MYC2 sont également impliqués dans la résistance au stress biotiques et mécaniques. D'autres gènes inductibles par un stress hydrique ne répondent pas à un traitement par l'ABA et sont dit ABA-indépendant. Les facteurs de transcription DREB2, DREB1/CBF (Dehydration Response Element Binding protein/C-repeat Binding Factor) sont activés par la réponse au froid et à la sécheresse, tandis que NAC est activé en réponse à la sécheresse [243].

Lors de stress hydrique sévère sur le grenadier, les niveaux de transcription de deux gènes représentatifs sensibles au stress hydrique, GPX et GR cytosolique, ont été détectés par qRT-PCR. Après 14 jours de stress dû à la sécheresse, les niveaux de transcription du GPX et de GR cytosoliques ont nettement augmenté chez tous les génotypes du grenadier stressés, ces deux gènes s'exprime lorsque les enzymes SOD, GPOD et CAT sont en faible quantité dans la plante et permettent la réduction des ROS qui sont produites en grandes quantités lors du stress hydrique, ainsi que l'augmentation de l'expression des GR et GPX cytosoliques pourrait indiquer une production élevée des produits délétères (ROS) [272].

III.2.7 Les différentes stratégies face au déficit hydrique

Le stress abiotique est défini comme une réponse de la plante à des changements environnementaux (lumière, eau, carbone, minéraux) induisant une réduction du développement et de la croissance [273]. Il y a différents niveaux moléculaires de réponses (ADN, chromatine, transcrits, protéines) à différents échelles de la plante (de la cellule à la plante entière). Les réponses des plantes à ces stress sont soit

plastiques et réversibles, soit irréversibles ([274]; [275]). Pour s'adapter au stress hydrique, les plantes peuvent utiliser 3 stratégies: l'échappement, l'évitement ou la tolérance [274]:

- L'échappement nécessite un haut degré de plasticité. La plante est capable de terminer son cycle de vie avant que les effets du déficit hydrique ne se produisent. Cette stratégie est utilisée en zones arides où les plantes natives sont capables d'utiliser au maximum les ressources du sol afin d'avoir des taux de croissance importants tant que l'humidité du sol est maintenue, et un cycle de vie court.
- L'évitement à la sécheresse permet de limiter les pertes en eau et d'optimiser l'utilisation de la ressource en eau disponible. Elle permet d'éviter une perte d'homéostasie. Les plantes utilisent une variété de traits adaptatifs afin d'empêcher la déshydratation tissulaire, soit en maintenant un potentiel hydrique élevé, soit en tolérant un potentiel bas.
- La tolérance se réfère à la capacité de la plante à maintenir ses grandes fonctions physiologiques (nutrition, photosynthèse, reproduction...) pendant des périodes où le potentiel hydrique dans les tissus est bas.
- Ces stratégies ne sont pas exclusives, et en pratique les plantes peuvent combiner différents types de réponse.

IV. Demarche Scientifique

IV. 1. Contexte et problemeatique

Dans plusieurs pays, en particulier ceux qui ont un climat méditerranéen, où l'on peut obtenir des fruits d'excellente qualité. Au Maroc, la culture du grenadier repose sur une gamme variétale réduite bien que le germoplasme local comprend plusieurs cultivars. La collection de l'INRA qui comprend des variétés étrangères et des génotypes locaux, témoigne de l'importance accordée à cette espèce dans les programmes de recherche national qui visent la diversification de la production fruitière et de répondre aux besoins spécifiques des professionnels. Ce matériel génétique constitue une base pour le programme d'amélioration national.

L'organisation de la diversité génétique de grenadier au niveau national est faiblement étudiée. En effet, les travaux antérieurs de caractérisation pomologique et biochimique effectués sur la collection INRA de 19 génotypes au total ont montré une diversité importante. Cependant, ces caractères sont généralement influencés par l'environnement et une étude portée sur plusieurs années s'avère intéressante pour vérifier la stabilité des principaux paramètres agronomiques des génotypes.

De points de vue agronomique et physiologique, les études restent limitées sous les conditions locales. En effet, les programmes optimaux de gestion de l'irrigation déficitaire ainsi que les normes de fertilisation de cette culture sous les conditions marocaines sont à ce jour non déterminés. Ce présent travail de thèse sera une contribution pour atteindre cet objectif. Notons qu'une attention particulière sera accordée aux effets sur la qualité du fruit et du jus.

Le projet de thèse s'inscrit dans la vision nationale de la caractérisation, évaluation, conservation et amélioration des ressources génétiques. Le grenadier (*Punica granatum L.*) comme culture traditionnelle au Maroc, moins développée et faiblement étudiée nécessite de lui consacrer plus d'étude et de recherche. Sommairement, les problématiques de cette filière peuvent être regroupées dans les points suivants :

- ✓ La culture de grenadier au Maroc repose sur un patrimoine génétique faiblement étudié et valorisé,
- ✓ Les études morphologiques et pomologiques récemment effectuées sur les ressources génétiques national restent incomplètes en ignorant les effets des variations d'une année à une autre surtout que ces paramètres sont influencés par l'environnement,
- ✓ La diversité intra-variétale des principaux cultivars nationaux est inconnue et non étudiée. Ainsi, des études d'authentification variétale restent nécessaires.
- ✓ L'itinéraire technique de grenadier sous les conditions marocaines est faiblement étudié, surtout les régimes d'irrigation en relation avec la variété et la qualité de la production en fruit et en jus.

-
- ✓ Méconnaissance de l'effet du changement climatique actuel (stress hydrique) sur les performances pomologiques et biochimiques et sur la stabilité de ces performances dans le temps (effet âge des arbres?)

IV. 2. Hypothèses directrices de la thèse:

- ✓ Le screening pomologique et biochimique des cultivars marocains, va-t-il contribuer à mieux orienter la valorisation du fruit et même à dénicher de nouvelles voies de transformation?
- ✓ Le stress hydrique impacte-t-il les performances pomologiques et biochimiques du grenadier?
- ✓ Qu'en est-il de ces effets dans les conditions de raréfaction de l'eau?
- ✓ Quelle stratégie d'évaluations de la tolérance des variétés cultivées au Maroc?
- ✓ L'âge de l'arbre affecte-t-il ces performances?
- ✓ L'effet variétal est-il un facteur déterminant pour l'ensemble des hypothèses formulées ci-dessus?
- ✓ Quelles sont les variables discriminantes et quelle est la répartition des cultivars en fonction des variables étudiées ?
- ✓ Quels sont les paramètres influencés par ces changements (climat, âge des arbres) et quels cultivars ?

IV. 3. Structure de la thèse:

Pour répondre à ces problématiques, cette thèse est composée de six chapitres:

- ✓ Caractérisation et effet de l'année sur la diversité pomologique, chimique, biochimique des cultivars en collection ex-situ en 2017 et 2018
- ✓ Effet de l'année de récolte (2009, 2017 et 2018) sur la qualité de la grenade
- ✓ Caractérisation des fractions de composés lipo-biochimiques par GC et HPLC (14 génotypes)
- ✓ Changements induits par le stress hydrique sur la qualité du fruit de deux cultivars de grenadier: Sefri et Wonderful
- ✓ l'effet de l'âge et de l'année de récolte sur les paramètres de qualité de Sefri et Wonderful.

CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES

I. Caractérisation pomologique chimique et biochimique et lipidique des cultivars du grenadier de la collection

I.1. Matériel végétal et conditions de culture

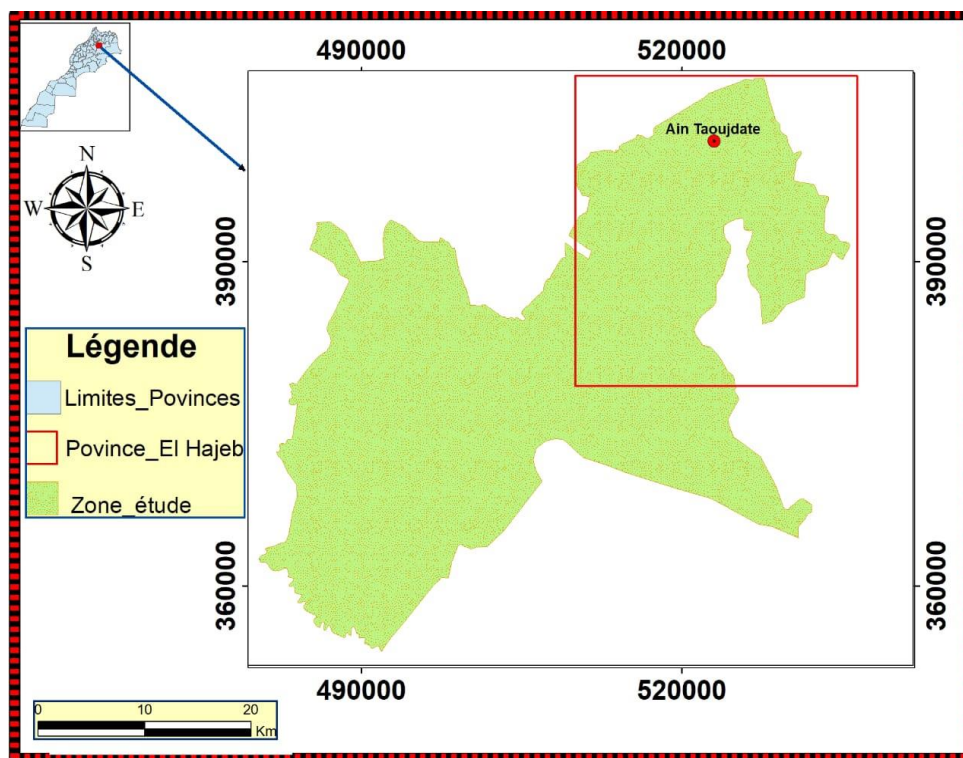


Figure 25: Carte représentant la localisation du domaine expérimental à Ain Taoujdate -Meknès (N 33°55,7 58'W-05°16,414' Altitude 485(m)).

Le matériel végétal est constitué de 19 géotypes de grenadier, dont 8 variétés étrangères et 11 clones locaux issus de prospections dans différentes régions du Maroc, est installés en collection au domaine expérimental de l'INRA à Ain Taoujdate (Figure 25). Ce domaine est situé dans la plaine de Saïs à 550 m d'altitude, sur un sol argilo-limoneux modérément calcaire avec une moyenne de 3,04% de CaCO_3 . Il est riche en matière organique avec une moyenne de 2,51% en surface. La pluviométrie moyenne annuelle est de 460 mm, les températures moyennes sont à leur maximum en août (27; 27,3 °C) et à leur minimum en janvier (8,5; 8,9 °C) en 2017 et 2018 (Tableau 6 et Figure 26).

Tableau 6: Températures et précipitations mensuelles des années de récolte de la station climatique de Ain Taoujdade (donnée de station météorologiques du domaine)

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Somme des précipitations [mm] 2017	<u>29,4</u>	63,4	16	15,4	12,4	3,2	0	26,4	2	4	32	52,4
Somme des précipitations [mm] 2018	98,4	54,8	<u>177,2</u>	76,8	20,8	3,4	0	2,2	31,4	147,2	50,6	<u>3,4</u>
Somme des précipitations [mm] 2009	50	52	41	5	5	3	2	1	40	2	17	47
Température moyenne [°C]2017	<u>8,5</u>	11,7	13,5	18,1	21,6	25,6	26,4	27	23,3	22,2	15	9,2
Température moyenne [°C]2018	8,9	8,9	12,3	14,1	16,4	19,9	23,6	27,3	24,1	17,9	12,6	<u>11,1</u>
Température moyenne [°C]2009	8,5	10,2	13,8	<u>13,3</u>	<u>19,2</u>	<u>24,2</u>	<u>28,2</u>	<u>27,4</u>	<u>21,5</u>	21,6	16,3	12,6

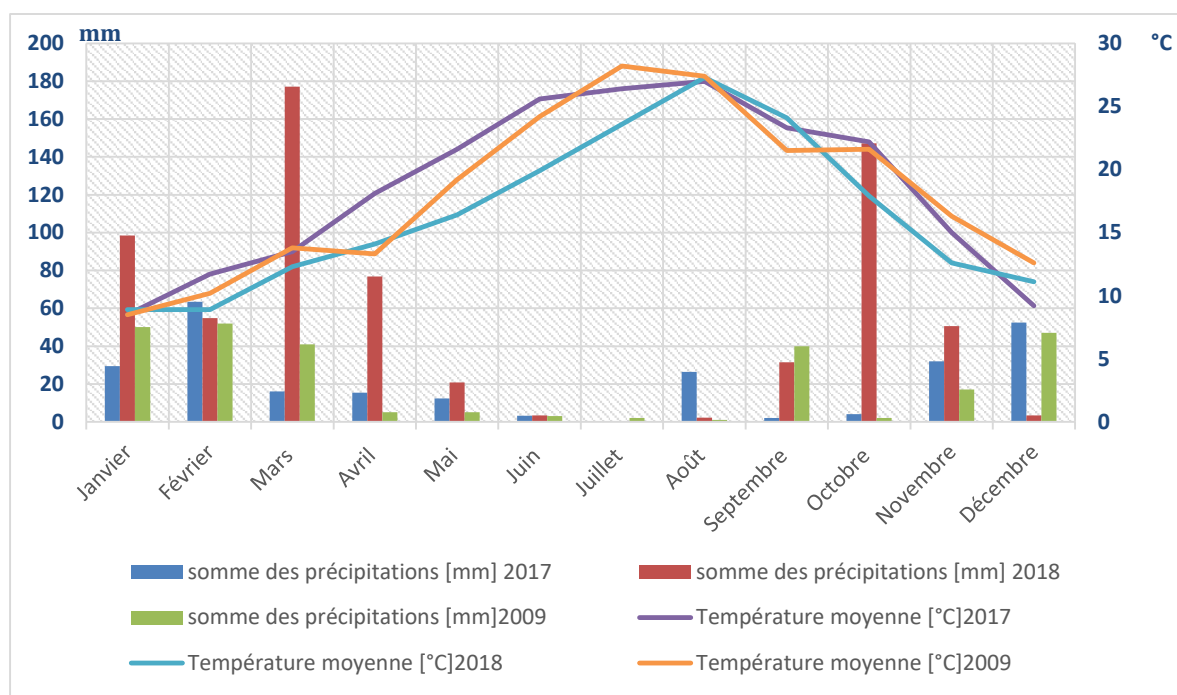


Figure 26: graphique des températures et des précipitations mensuelles des années de récolte de la station climatique à Ain Taoujdade (donnée de station météorologiques du domaine).

La collection a été plantée en 1981, 1996, 2007 et 2012 (Tableau 7) à un écartement de 5 x 3 m, à raison de 3 arbres/ géotype, suivant un dispositif complètement aléatoire (DCA). Le verger est conduit d'en irriguer à raison de 2500 m³/ha, en complément de la pluviométrie, du mois de Mai à mi-Octobre.

Les arbres sont conduits en forme libre (forme gobelet) avec élimination des rejets. Tous les géotypes ont été dans les mêmes conditions géographiques et subissaient les mêmes pratiques horticoles de conduite. Les géotypes étrangers sont parmi les plus cultivés dans le bassin méditerranéen, d'où l'importance de leur considération dans ce travail.

Tableau 7: Origine géographique année de plantation et de récolte des géotypes de grenadier étudié pour la qualité de fruit et de leurs jus

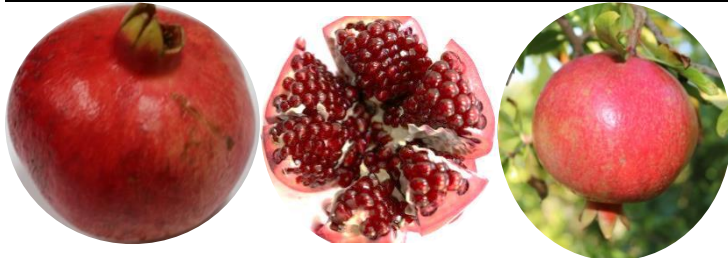
Nom du géotype	Origine géographique	Âge de l'arbre	Âge de l'arbre	Âge de l'arbre	Âge de l'arbre
Année de plantation		2012	2007/1981	1996	1996
<i>Zhérie précoce</i>	Tunisie	–	1981_36 ans	2009_13	1996_22
<i>Zhérie d'Automne</i>	Tunisie	–	1981_36 ans	ans	ans
<i>Negro Monsteriosa</i>	Espagne	–	–		
<i>Gordo de Jativa</i>	Espagne	–	2007_10 ans		
<i>Mollar Osin Hueso</i>	Chine	–	2007_10 ans		
<i>Dwarf semi Evergreen</i>	USA	–	1981_36 ans		
<i>Ruby</i>	USA	–	1981_36 ans		
<i>Wonderful</i>	USA	2012_ 6ans	2007_10 ans		
<i>Sefri</i>	Maroc	2012_ 6ans	2007_10 ans		
<i>Sefri2</i>	Maroc	–	–		
<i>Chelfi</i>	Maroc	–	1981_36 ans		
<i>Ounk Hmam</i>	Maroc	–	2007_10 ans		
<i>Djebali</i>	Maroc	–	2007_10 ans		
<i>Grenade rouge</i>	Maroc	–	1981_36 ans		
<i>Chioukhi</i>	Maroc	–	1981_36 ans		
<i>Djeibi</i>	Maroc	–	2007_10 ans		
<i>Grenade jaune</i>	Maroc	–	1981_36 ans		
<i>Bzou</i>	Maroc	–	2007_10 ans		
<i>Khikho</i>	Maroc	–	2007_10 ans	–	



Chelfi



Chioukhi



Wonderful



Negro Monstiniso



Mollar Osin Hueso



Khikhou



Gjebali



Djeibi



Grenade Rouge



Grenade Jaune

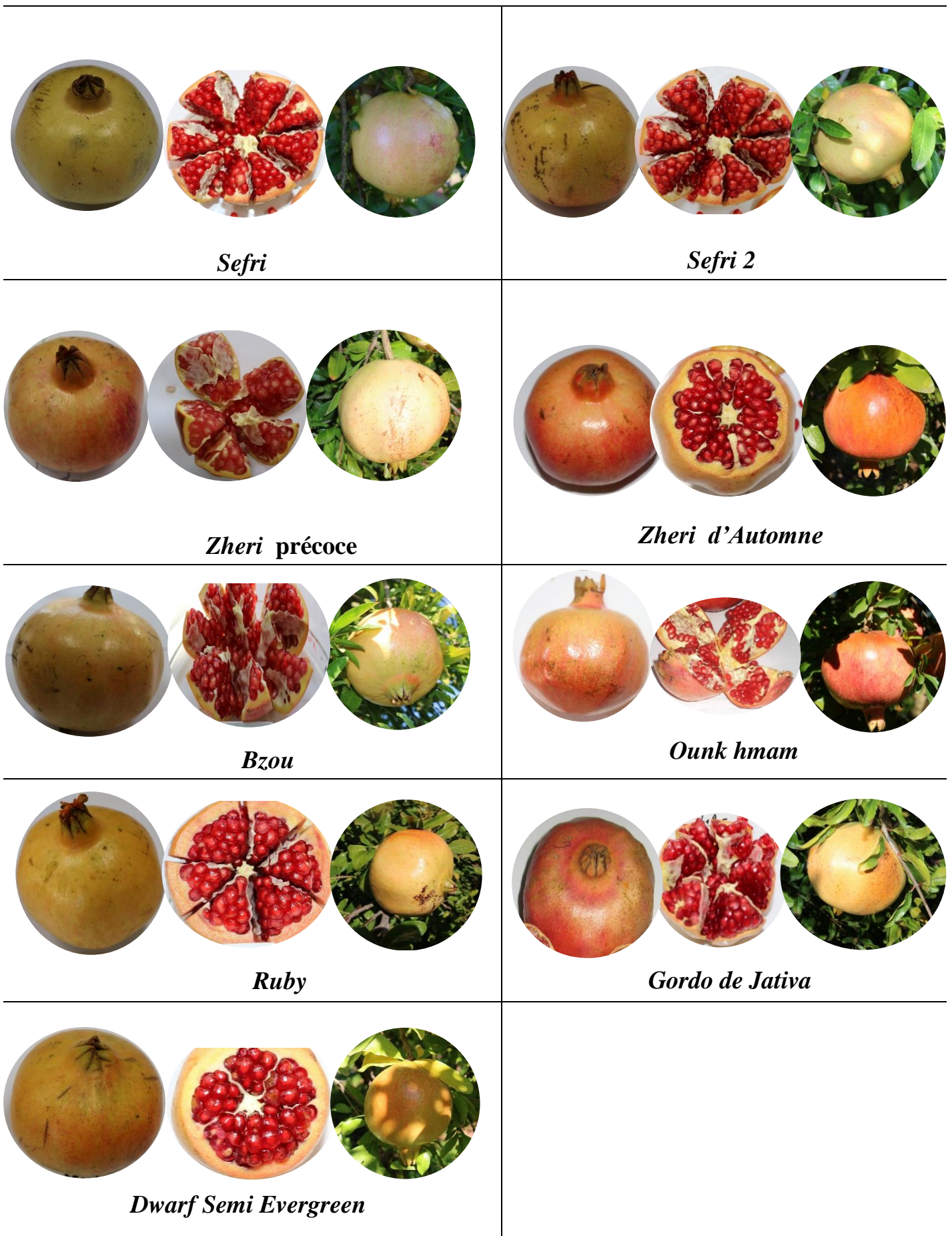


Figure 27: Aspect morphologique des fruits des 19 genotypes de grenadier étudiés pour la qualité de leurs jus (photos des genotypes prises en 2018).

I.2. Echantillonnage des fruits

Quinze fruits de chaque arbre ont été prélevés de manière aléatoire au stade de la maturité commerciale des genotypes, entre la fin du mois de Septembre et le début d'Octobre des années 2017 et 2018, tout en évitant les fruits endommagés (éclatés, brûlés par coup de soleil, etc.) et les plus petits. Une fois récoltés, les fruits sont immédiatement emmenés au laboratoire pour analyse.

I.3. Mesures pomologiques

I.3.1 Paramètres morphologiques

Le poids des fruits, des arilles et des pépins est pesé à l'aide d'une balance de précision, alors que la longueur et le diamètre du fruit sont déterminés à l'aide d'un pied à coulisse digital. Ensuite nous avons procédé à la séparation manuelle des arilles des écorces pour pouvoir déterminer le pourcentage en arilles, en pépins, en écorces et enfin en jus. La mesure de l'épaisseur de l'écorce, de la dimension des arilles et des pépins est prise également à partir d'un pied à coulisse digital, la dureté des pépins quant à elle est mesurée par pénétromètre.

I.3.2 Mesures colorimétriques

La couleur des arilles est évaluée par un colorimètre, le jus est extrait à partir des arilles à l'aide d'une presse mécanique et stocké à -20 °C. La figure 28 présente les colorations des jus des différents genotypes.

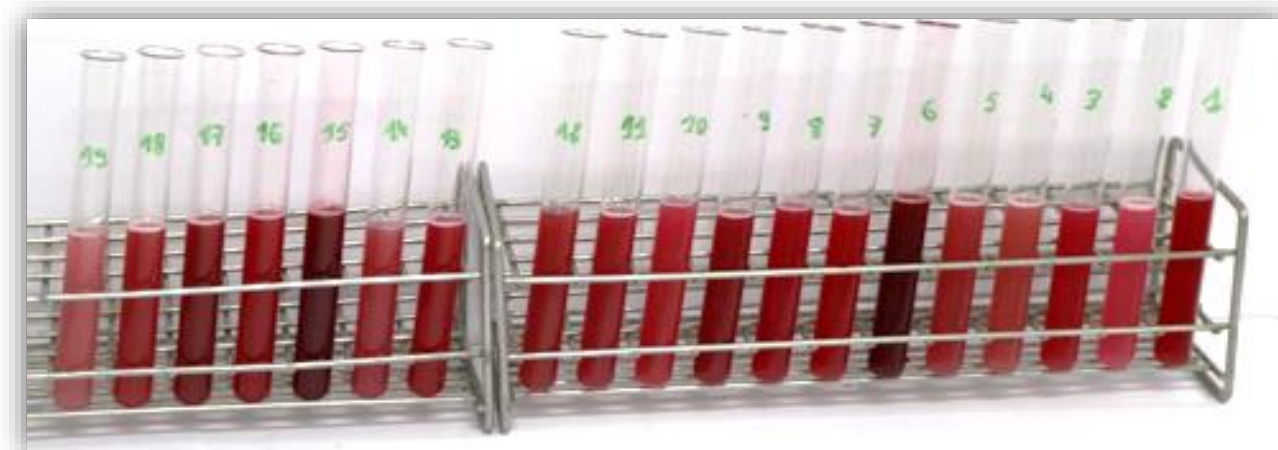


Figure 28: Colorimétrie de jus élaborée à partir des 19 genotypes de grenadier jus (photos du jus des genotypes prises en 2018).

1 : Chelfi ; 2 : Ounk Hmam; 3 : Djebali; 4 : Zhérie précoce; 5 : Zhérie d'automne; 6 : Negro monsteriosa; 7 : Sefri 2; 8 : Sefri 1 ; 9 : Grenade rouge; 10 : Chioukhi; 11 : Djeibi; 12 : Gordo de Jativa; 13 : Dwarf semi evergreen; 14 : Mollar osin hueso; 15 : Wonderful; 16 : Ruby; 17 : Grenade jaune; 18 : Bzou; 19 : Khikhou.

I.4. Analyses chimiques

I.4.1 Degré Brix

Le degré Brix est une valeur qui exprime le pourcentage des solides totaux dont principalement les sucres. Il est déterminé par un réfractomètre digital (**Atago 3850 PAL-RI**) à la température ambiante (20°C) et calibré par de l'eau distillée.

I.4.2 Acidité titrable

L'acidité titrable (AT) est déterminée par un titreur automatique (Titronic 300 SI Analytics) en utilisant la méthode d'AOAC (1984) [141] décrite par Tehranifar [77]. La titration a été réalisée par une solution de NaOH 0.1 M et les résultats sont exprimés en gramme d'acide citrique par 100 ml de jus.

I.4.3 pH

La mesure du pH des jus des grenades de la collection est réalisée par un pH-mètre de paillasse (Eutech pH 700), en introduisant directement l'électrode dans un échantillon de jus.

I.4.4 Indice de maturité

L'indice de maturité est donné par le rapport entre le degré Brix et l'acidité du jus.

I.5. Propriétés biochimiques majeures du jus

Les analyses biochimiques ont été effectuées par spectrophotométrie, à l'aide d'un spectrophotomètre UV-vis (modèle Rayleigh UV1800 V/VIS-Spectrophotomètre), China.

I.5.1 Dosage des polyphénols totaux

Le dosage des polyphénols totaux a été effectué suivant la méthode utilisant le réactif de Folin-Ciocalteu qui est décrite par (Singleton and Rossi., [277]), où 300 µl du jus, dilué à 1/100 avec du méthanol/eau (6/4), est mélangé avec 1,5 ml du réactif Folin Ciocalteu dilué 1/10 et 1,2 ml d'une solution de 7,5% de carbonate de sodium. Le mélange est incubé pendant 90 min à l'obscurité et à température ambiante après l'absorbance est mesurée à 760 nm.

Une courbe d'étalonnage est établie en parallèle dans les mêmes conditions opératoires en utilisant l'acide gallique (phénol simple) à différentes concentrations (0.5 à 2 mg/l) et les résultats sont exprimés en gramme équivalent d'acide gallique (EAG) par litre de jus.

I.5.2 Dosage des protéines totales

La composition en protéines totaux (PT) est déterminée par la méthode de Lowry *et al.* [278]. Ainsi, 1 ml d'échantillon du jus dilué 1/20 avec de l'eau distillée et 1 ml de réactif A sont mélangés et

laissés au repos pendant 10 mn à température ambiante, quatre millilitres de réactif de Folin dilué, préparé par dilution de 0,5 ml de réactif de Folin 1 N avec 4 ml d'eau distillée ont été ajoutés au mélange.

La solution a été incubée pendant 5 min à 55 ± 1 °C et laissée refroidir dans un bain d'eau froide pendant 30 min. L'absorbance est mesurée à 670 nm. La teneur totale en protéines du jus a été calculée à partir d'une courbe d'étalonnage préparée dans les mêmes conditions avec du Sérum Albumine Bovine.

Le réactif A contient 20 g d'hydroxyde de sodium, 100 g de carbonate de sodium, 2 g de Tartrate de Potassium et de Sodium et 0,5 g de sulfate de cuivre II pentahydraté par 1000 ml d'eau distillée.

I.5.3 Dosage des acides aminés totaux

Les acides aminés totaux (AAT) ont été dosés suivant la méthode de Yemm et Cocking [279]. En effet, ont été introduits dans un tube dans l'ordre 0.5 ml d'éthanol 80%, 0.5 ml de tampon citrate (0.2 M, pH= 5), 1 ml de solution acétonée de ninhydrine (1 g de ninhydrine dans 125 ml d'acétone), 50 µl de jus. Le mélange obtenu a été placé au bain marie à 100 °C pendant 15 minutes. Après refroidissement, 8 ml d'eau distillée ont été ajoutées et l'absorbance est lue à 570 nm contre un blanc dans lequel l'extrait est remplacé par l'éthanol. La teneur en acides aminés a été évaluée par référence à une courbe d'étalon réalisée avec une gamme de 6 concentrations de glycine pure (0 à 1 g/l). La teneur des jus en AAT est exprimée en mg équivalent de glycine (EGly) par litre de jus.

I.5.4 Dosage des flavonoïdes totaux

La teneur totale en flavonoïdes des jus est déterminée par spectrophotométrie selon la méthode de Lamaison and Carnat [280]. Cette méthode est basée sur la formation d'un complexe d'aluminium-flavonoïde, ayant une absorption maximale à 430 nm. La rutine est utilisée pour élaborer la courbe d'étalonnage.

Ainsi, 1 ml de l'échantillon est dilué séparément, puis mélangé avec 1 ml d'une solution méthanolique contenant 2% de chlorure d'aluminium. Après incubation à température ambiante pendant 15 minutes, l'absorbance du mélange réactionnel est mesurée à 430 nm avec un spectrophotomètre Safas UV-visible et le contenu des flavonoïdes est exprimé en mg d'équivalents de rutine par litre de jus.

Une courbe d'étalonnage est établie en parallèle dans les mêmes conditions opératoires par l'utilisation de la quercétine à différentes concentrations (50, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 800 µg/ml). Les résultats sont exprimés en milligramme équivalent quercétine (EQ) par litre de jus.

I.5.5 Dosage des anthocyanes totaux

La composition en anthocyanine totaux (CAT) est estimée par la méthode du pH différentielle en utilisant deux tampons : tampon chlorure de potassium à pH 1,0 (25 mM) et le tampon acétate de sodium à pH 4,5 (0.4 M) (Lako et al. [281]). Ensuite, 0,4 ml de jus est mélangé séparément avec 3,6 ml de chacun des deux tampons pour mesurer l'absorbance à 510 nm et 700 nm, enfin l'absorbance Abs est calculée comme suit :

$$\text{Abs} = (\text{Abs } 510 - \text{Abs } 700) \text{ pH } 1,0 - (\text{Abs } 510 - \text{Abs } 700) \text{ pH } 4,5$$

La concentration des anthocyanes totaux dans les jus est exprimée en mg de cyanidine-3-glucoside/100ml de jus, et est calculée selon l'équation suivante :

$$[\text{Anthocyanines Totaux}] = (\text{Abs} * \text{PM} * \text{FD} * 100 / \text{CAM})$$

Avec :

Abs : absorbance ;

PM : Poids moléculaire (449,2) ;

FD : Facteur de dilution (20) ;

CAM : Coefficient d'absorption molaire de Cyanidine-3- glucoside (26 900).

I.5.6 Dosage des tanins hydrosolubles

Les tanins hydrosolubles ont été dosés par la méthode de (Willis et Allen, [282]), avec des modifications minimales. A cet effet, une mixture de 1 ml du jus dilué 1/20 et de 5 ml de 2,5 % de KIO₃ sont mélangées à l'aide d'un vortex pendant dix secondes. Une absorbance maximale est obtenue après 2 min pour le jus et l'optimum de la réaction pour la solution standard de l'acide tannique est de 4 min. L'absorbance est mesurée à 550 nm à l'aide d'un spectrophotomètre. Les résultats sont exprimés en mg d'acide tannique par litre de jus et pour l'élaboration de la courbe d'étalonnage nous avons déterminé l'absorbance de 6 différentes concentrations de l'acide tannique (500-2000 mg/l).

I.5.7 Dosage des tanins condensés (Pro-anthocyanidines)

Le protocole utilisé au dosage des tanins condensés est basé sur celui décrit par **Arnous et al.** [248] avec quelques modifications. En effet, dans des tubes à essai en verre, 400 µl de jus ont été introduits, puis 2 ml de réactif DMACA ont été rajoutés. Le milieu réactionnel est mélangé grâce à un vortex, après 10 minutes d'incubation dans une température ambiante, le mélange est analysé en spectrophotométrie à **640 nm**.

Les valeurs de concentration des TC seront directement lues à partir d'une droite d'étalonnage établie par la catéchine préparée dans le méthanol. La concentration des tanins condensés présente dans chaque échantillon est exprimée en mg d'équivalent de catéchine par litre de jus. La solution DMACA à 1% (w/v) a été préparée à partir d'une solution d'acide chlorhydrique (HCl) méthanolique 1 N, mélangée avec l'HCl à 22%.

I.5.8 Dosage des sucres solubles totaux

Les sucres solubles totaux (saccharose, glucose, fructose, leurs dérivés méthyles et les polysaccharides) ont été dosés par recours à la méthode au phénol de Dubois *et al.* [284 a été évaluée par le test au radical libre 1,1-diphényl-2-picrylhydrazine (DPPH). Cette méthode est proposée par Brand-Williams].

C'est ainsi que dans des tubes à essais, on met 100 µl du jus dilué 1/1000, on ajoute 500 µl de phénol à 5% (le phénol est dilué dans de l'eau distillée), puis rapidement 2,5 ml d'acide sulfurique concentré à 96% tout en évitant de verser de l'acide contre les parois du tube. On obtient une solution jaune orange à la surface et on passe au vortex pour homogénéiser la couleur de la solution. On laisse les tubes pendant 10 min et on les place au bain-marie pendant 20 min à une température de 30°C (La couleur de la réaction se stabilise pendant plusieurs heures). Les mesures d'absorbances sont effectuées à une longueur d'ondes de 485 nm. Afin de déterminer la concentration en sucres solubles totaux, une gamme d'étalonnage a été établie à base de concentrations croissantes du glucose.

I.5.9 Détermination de l'activité antioxydante

La capacité antioxydante des jus de grenade a été évaluée par le test au radical libre 1,1-diphényl-2-picrylhydrazine (DPPH). Cette méthode est proposée par Brand-Williams *et al.* [285]. En bref, 100 µl de jus de grenade dilué 1/100 avec du méthanol/eau (6/4) est mélangé avec 2 ml d'une solution de 0,1 mM DPPH préparée par l'éthanol. L'absorbance de la solution résultante est mesurée à 517 nm par un spectrophotomètre (type Ray leigh) après une incubation à l'obscurité pendant 30 min. Le mélange réactionnel sans DPPH est utilisé pour la correction de fond. Les résultats sont exprimés en pourcentage d'inhibition des radicaux DPPH suivant la formule ci-dessous :

$$\text{Capacité antioxydante (\%)} = [1 - (\text{Abs } 517 \text{ nm d'échantillon} / \text{Abs } 517 \text{ nm du contrôle})] \times 100.$$

I.6 Identification des fractions de composés biochimiques par chromatographie

I.6.1 Sucres du jus par l' HPLC

Les échantillons ont été conservés en surgélation (-20C°) jusqu'au moment de l'analyse. Dans la recherche, les teneurs en glucose et en fructose ont été déterminées. Pour l'extraction du sucre, la méthode développée par (Hernández *et al.* [286]) a été adoptée avec une légère modification. L'extraction a consisté en l'homogénéisation de 1 mL de jus de l'échantillon avec 5 mL de tampon phosphate, suivie d'une filtration et d'une injection. Une colonne (colonne Supelcogel TM C-610H 30 cm × 7,8 mm) et une pré-colonne (Supelguard 5 cm × 4,6 mm. Supelco. Inc. Bellefonte. PA. USA) ont été utilisées pour l'analyse. Les sucres ont été détectés à l'aide d'un détecteur d'indice de réfraction (RID). Des sucres de Sigma (Poole. Dorset. UK) ont été utilisés pour les courbes d'étalonnage et de la

quantification et ont montré une bonne linéarité ($R_2 \geq 0,999$). Les analyses ont été effectuées en triplicata et les résultats ont été exprimés en %.

I.6.2 Identification des acides organiques du jus par l' HPLC

Les échantillons ont été conservés à $-20\text{ }^\circ\text{C}$ jusqu'au moment de l'analyse. Les mesures des teneurs en acides citrique, malique et quinique ont été réalisées selon la méthode précédemment décrite par Hernández et al. [286] avec quelques modifications. En effet, 0,5 g d'échantillons ont été mélangés avec de l'eau Milli-Q (5 mL) et laissés pendant 30 min sous ultra-sonication (UP 400St (400 W, 24 kHz), en utilisant l'ultrasoniseur numérique Hielscher. Le mélange a été soumis à une centrifugation pendant 20 min à 15 000 rpm (Sigma 3-18 K ; Sigma, Osterode am Harz, Allemagne), et le surnageant a été filtré à travers un filtre Millipore de $0,45\text{ }\mu\text{m}$ et utilisé pour l'analyse.

Toutes les extractions ont été réalisées en triplicata. L'analyse chromatographique a été réalisée conformément à Hernández et al. [286]. Ainsi, $10\text{ }\mu\text{L}$ de l'extrait précité ont été injectés dans une colonne Supelcogel (colonne TM C-610H $30\text{ cm} \times 7,8\text{ mm}$) de la même marque HPLC décrite précédemment couplée à un détecteur à barrettes de diodes (DAD) et équipée d'un passeur d'échantillons et d'un détecteur UV, réglé à 210 nm et d'une pré-colonne Supelguard ($5\text{ cm} \times 4,6\text{ mm}$; Supelco, Bellefonte, PA). De l'acide phosphorique à une concentration de 0,1 % et à un débit de $0,5\text{ mL min}^{-1}$ a été utilisé comme tampon d'élution. Les courbes d'étalonnage montrent un niveau de linéarité très satisfaisant ($R_2 \geq 0,999$) sous une longueur d'onde de 210 nm en utilisant. Les concentrations ont été calculées en g kg^{-1} de poids sec.

I.6.3 Acides gras des pépins par le CPG

L'huile de graines de grenade a été extraite à l'aide d'un appareil Soxhlet selon la méthode de référence NF NE ISO 659 (AFNOR, 2009 [287]). Ainsi, vingt-cinq grammes de chaque génotype de poudre de graines ont été mélangés à 250 ml de n-hexane (99%) comme solvant d'extraction de l'huile en utilisant des cartouches d'extraction en cellulose ($123 \times 43\text{ mm}$, Whatman International, Brentford, UK). Le solvant a été évaporé à $40\text{ }^\circ\text{C}$ à l'aide d'un rotavapor. Les échantillons d'huile obtenus ont été conservés dans l'obscurité à $4\text{ }^\circ\text{C}$ jusqu'à l'analyse pour éviter l'oxydation.

Les esters méthyliques de l'huile de pépins de grenade ont été préparés dans du n-heptane ($0,12\text{ g} / 2\text{ mL}$). Avec une solution froide de KOH (2M) selon la norme NF EN ISO 5509. Ces esters d'acides gras obtenus ont été analysés à l'aide d'un chromatographe en phase gazeuse (GC) Agilent Technologies 7890A équipé d'un détecteur à ionisation de flamme ($T = 250\text{ }^\circ\text{C}$).

La colonne utilisée est une colonne capillaire en silice de $60\text{ m} \times 0,25\text{ mm}$. La pression d'entrée du gaz porteur était de 178kPa. Avec un rapport de 1:70. Le programme de température du four était le suivant: 20 min à $210\text{ }^\circ\text{C}$, 210 à $245\text{ }^\circ\text{C}$ à $6\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ puis 10 min à $245\text{ }^\circ\text{C}$. Le volume injecté était de 1mL avec un rapport de fractionnement de 1:50.

Les résultats sont exprimés en pourcentage relatif de chaque acide gras, calculé par normalisation interne de la surface du pic chromatographique. Le mélange standard de référence d'esters méthyliques d'acides gras (C4-C24, FAME Mix 37) a été utilisé pour la calibration et pour l'identification des FAME par leurs temps de rétention et les résultats ont été exprimés selon la formule :

$$\% \text{ acide gras} / \text{PM (acide gras) en moles} = \% \text{ acide gras (1,2,3)} = \text{moles (acide gras} \times 100) / \text{moles (acide gras)}.$$

I.7 Analyses statistiques

L'analyse statistique des données a été réalisée à l'aide du logiciel SPSS v22. L'analyse de la variance a été faite pour vérifier les différences significatives entre les échantillons collectés. Les coefficients de corrélation et les niveaux de signification ont été calculés à l'aide du modèle de Pearson. Une analyse en composantes principales (ACP) a été opérée en utilisant le coefficient de corrélation et la méthode de rotation Varimax avec normalisation de Kaiser. En outre, un nuage de points a été créé selon les deux premières composantes de l'ACP à l'aide du logiciel SPSS v22. Le nuage de points regroupe les lignes similaires et les colonnes similaires. Leur similarité est représentée par un dendrogramme. Les données ont été regroupées par la méthode de Ward avec la distance euclidienne. Cette méthode est importante pour parvenir à une meilleure compréhension des systèmes biologiques complexes où l'on suppose une direction unidirectionnelle.

II. Variation de la qualité du fruit de grenadier sous stress hydrique

II.1 Matériel végétal et conditions expérimentales

L'expérience a été réalisée en 2018, et le matériel végétal évalué était constitué de 2 génotypes de grenadier âgés de 6 ans, Serfi (local) et *Wonderful* (étranger), installés au domaine expérimental de l'Institut National de recherche agricole (INRA) à Ain Taoujdate, situé dans la plaine du Saïs à 550 m d'altitude, où le sol est argileux brun calcaire en légère pente. La pluviométrie moyenne annuelle est de 460 mm. Les températures moyennes présentent un maximum en Aout (27,25°C) et un minimum en Janvier (9,67°C) Tableau 6.

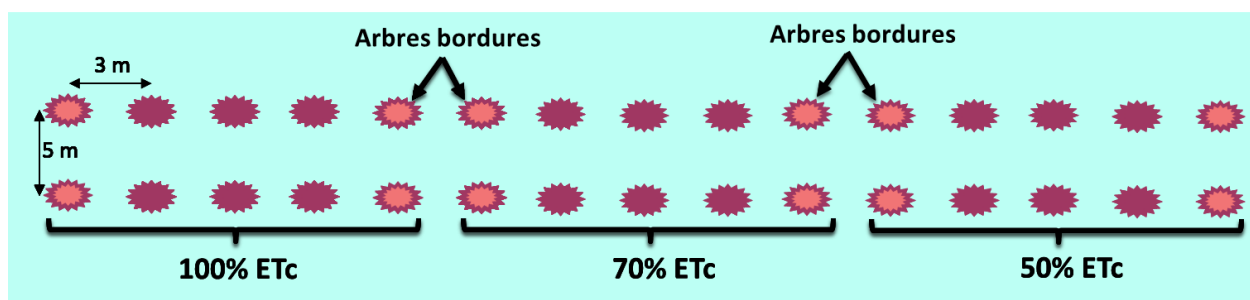


Figure 29: Schéma descriptif de dispositif des arbres des deux cultivars irrigué



Figure 30: Parcelle d'essai de l'irrigation déficitaire sur grenadier au domaine expérimental d'Ain Taoujdate (Wonderful à gauche et Sefri à droite).

Le choix du matériel végétal prend en considération que la variété étrangère, (*Wonderful*), est largement cultivée dans la méditerranée, d'où l'importance de son utilisation dans la présente étude pour comparaison avec le genotype marocain, *Sefri*, très répandu en culture au Maroc.

Les variétés ont été plantées à un écartement de 5 x 3 m, à raison de 15 arbres/variété (Figure 29; 30). Le verger est conduit en irrigation au goutte à goutte, de Mai à mi-October. Les arbres sont conduits en forme goblet avec élimination des rejets. Il est nécessaire de préciser que tous les genotypes étaient dans les mêmes conditions géographiques et subissaient les mêmes pratiques horticoles de conduite.

II.2 Dispositif expérimental

Trois régimes hydriques, correspondant à trois fractions de l'évapotranspiration de la culture (50 % ETc, 70 % ETc et 100 % ETc) ont été testés de la nouaison à la maturité du fruit sur les deux genotypes, *Sefri* et *Wonderful* (Tableau 6). L'essai a été conduit en DCA avec 5 répétitions (5 arbres) (Figure: 29) dont le facteur variable était le régime hydrique pour chacune des deux variétés.

Les observations ont concerné le suivi hebdomadaire de l'allongement des pousses et de l'accroissement du diamètre du fruit pour la détermination des périodes critiques en termes d'utilisation de l'eau ainsi que l'identification de stratégies d'irrigation déficitaire à tester dans les années à venir. En outre, à la maturité des fruits, ont été mesurés les paramètres de production et de qualité du fruit en vue d'évaluer l'effet des régimes hydriques déficitaires appliqués sur toute la période de croissance du fruit.

Ainsi pour mesurer l'ETc, l'irrigation a été pilotée mensuellement, en utilisant les valeurs moyennes de l'évapotranspiration de référence (ET°) sur 25 années passées suivant le modèle de Penman-Monteith (Tableau 8), les coefficients culturaux (Kc) développés en Espagne (Murcie) pour le grenadier irrigué au goutte à goutte, le coefficient de réduction (Kr) exprimant le pourcentage de couverture du sol ainsi que l'efficacité du système d'irrigation (Esys) et ce suivant l'équation : $ETc = Kr \times Kc \times ET^\circ / E_{sys}$. Les doses totales d'irrigation sous les différents traitements ont été calculées en tenant compte des jours pluvieux, pendant lesquels l'irrigation a été suspendue.

Tableau 8: Valeurs mensuelles d'évapotranspiration, coefficient cultural et doses d'irrigation testées

	ET° (mm)	ETc (mm)	Coefficient cultural (kc)	Irrigation 100% (m ³ /ha)	Irrigation 70% (m ³ /ha)	Irrigation 50% (m ³ /ha)
Avril	104	7,8	0,17	40	28	20
Mai	124	11,0	0,19	89	62	45
Juin	145	33,2	0,49	322	225	161
Juillet	162	48,4	0,64	435	305	218
Aout	158	39,1	0,53	391	274	195
Septembre	134	24,4	0,39	171	120	85
Octobre	116	11,9	0,22	75	53	38
Total	943	175,7		1522	1066	761

II.3 Evolution des rameaux annuels et du diamètre du fruit de la nouaison à la maturité des deux variétés, *Sefri et Wonderful*

Le suivi hebdomadaire de l'évolution des rameaux annuels et du diamètre du fruit de la nouaison à la maturité des deux variétés, *Sefri* et *Wonderful*, pour localiser les périodes de ralentissement de la croissance des rameaux annuels et du fruit, qui correspondraient à des périodes non critiques. L'essai a été conduit avec 5 répétitions (5 arbres) dont le facteur variable était le régime hydrique. Les observations ont concerné le suivi hebdomadaire de l'allongement des pousses et de l'accroissement du diamètre du fruit pour la détermination des périodes critiques en termes d'utilisation de l'eau ainsi que l'identification de stratégies d'irrigation déficitaire à tester dans les années à venir. En outre, à la maturité

des fruits, ont été mesurés les paramètres de production et de qualité du fruit en vue d'évaluer l'effet des régimes hydriques déficitaires appliqués sur toute la période de croissance du fruit.

II.3 Echantillonnage

Les analyses ont été réalisées sur les fruits de grenades récoltés en Octobre 2018.

Au stade de maturité, l'ensemble des fruits ont été récoltés simultanément. Des échantillons homogènes ont fait l'objet d'une caractérisation pomologique. Notons que parmi les 5 arbres de chaque cultivar pris pour chaque traitement hydrique, seuls les 3 arbres du milieu ont fait l'objet d'analyses et ce pour éviter d'éventuelles interactions entre les traitements. Pour la caractérisation physico-chimique et biochimique des arilles, tel objet du présent travail, des fruits de taille moyenne et de couleur d'écorce homogène, ont été choisis de chaque échantillon (arbre), décortiqués et mélangés pour produire un seul échantillon composite par arbre, soit 3 échantillons composites par traitement et par genotype (18 échantillons d'arille au total pour les deux genotypes). L'ensemble de ces échantillons ont été mis au congélateur à -20 °C en attente d'analyses.

II.4 Mesures de la qualité physique du fruit

II.4.1 Poids moyen du fruit

Le poids moyen du fruit a été déterminé à la récolte, en octobre 2018, par pesée de 15 fruits représentatifs récoltés par arbre. Notons que seuls les fruits des 3 arbres du milieu de chaque traitement et genotype ont été analysés. Les deux autres arbres en bordure n'ont pas été considérés afin d'éviter d'éventuelles interactions entre les différents traitements hydriques.

II.4.2 Matière sèche des arilles

La matière sèche des arilles a été déterminée par étuvage de trois échantillons d'arilles, préalablement pesés, pendant 48 heures à une température de 80°C. Le taux de matière sèche est ainsi calculé suivant l'équation :

Matière sèche (%) = Poids sec x 100/poids frais, ce paramètre est mesuré seulement pour l'effet d'irrigation.

II.4.3 Poids moyen d'un arille et d'un pépin

Le poids moyen d'un arille, sous chaque traitement, a été déterminé par pesée de trois échantillons de 10 arilles chacun, prélevés aléatoirement des fruits, issus de 3 arbres différents et ce moyennant une balance de précision.

II.4.4 Teneur en jus des arilles

Le jus a été extrait des arilles à l'aide d'une presse mécanique puis congelé à -20°C en attente d'analyse. La teneur en jus est déterminée par la formule suivante :

(Poids des arilles – poids du résidu) *100/ Poids des arilles.

II.4.5 Densité du jus

La masse volumique du jus a été obtenue par le rapport entre le poids d'un échantillon du jus en gramme et son volume en ml, mesuré par éprouvette graduée.

II.4.6 Couleur du jus

La couleur des échantillons de jus a été déterminée à l'aide d'un colorimètre NH310 (technologie 3NH de Shenzhen, Chine) selon l'échelle du laboratoire de la CIE (système de la Commission internationale de l'éclairage de 1976.)

Le système fournit les valeurs de trois composantes de la couleur L^* , et les coordonnées de chromaticité, a^* et b^* (Hunter., 2009). L^* définit la luminosité où les valeurs inférieures indiquent une couleur plus sombre (0 = noir) et les valeurs supérieures une couleur plus claire (100 = blanc). Les valeurs négatives a^* indiquent une couleur verte et les valeurs positives une couleur rouge, tandis que les valeurs négatives b^* impliquent une couleur bleue et les valeurs positives une couleur jaune. La couleur objective a été calculée en tant que chromaticité ou chroma ($C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$) et angle de teinte ($h^\circ = \arctan (b^* / a^*)$). L'instrument a été calibré en utilisant une plaque réfléchissante blanche standard et une plaque réfléchissante noire standard. Chaque valeur de couleur rapportée est la moyenne de trois déterminations à 18-23 °C.

L'instrument a été calibré en utilisant une plaque réfléchissante blanche standard et une plaque réfléchissante noire standard. Chaque valeur de couleur rapportée est la moyenne de trois déterminations à 18-23°C, ces paramètres ne sont pas mesurés pour les génotypes d'un âge supérieur à 5 ans.

II.5 Paramètres chimiques et biochimiques du jus

Les paramètres chimiques mesurés dans ces analyses sont l'acidité titrable, le pH et le Degré Brix. Les analyses biochimiques effectuées sont la teneur en polyphénols totaux, la composition en protéines, les tanins condensés, les tanins hydrosolubles, les Anthocyanes totales, la teneur totale en flavonoïdes, l'activité antioxydante du jus déterminé comme énoncé précédemment.

III. Variation de la qualité du jus de grenade en fonction de l'âge de l'arbre

III.1 Matériel végétal

Dans le but d'étudier l'effet de l'année de la récolte et l'effet de l'âge sur les mêmes génotypes plantés dans le même verger en 1996, 1981 et 2003 et 2012 (Tableau 6) le protocole expérimental vise à comparer trois arbres de chaque génotype (Sefri et Wonderful), âgés de 5 ans, avec la même stratégie d'irrigation, en particulier l'irrigation à la demande (100% d'évaporation de la culture).

III. 2 Mesures physico-chimiques et biochimiques

L'analyse physico-chimique et biochimique, a été effectuée sur les fruits de quatre arbres, de différents âges 10,13, 22, et 36 ans (Tableau 6). Ces analyses ont porté sur les récoltes d'octobre 2009,2017 et 2018 en utilisant les mêmes méthodes expérimentales précédemment citées (sauf que pour ces fruits deux paramètres n'ont pas été déterminés à savoir la matière sèche des arilles, et la couleur du jus) afin d'élaborer une comparaison avec les deux variétés *Sefri* et *Wonderful* âgées de 6 ans qui ont suivi le même mode d'irrigation 100% Etc.

III.4 Analyses statistiques

Toutes les données représentent la moyenne de six mesures par échantillon. Les résultats obtenus sont traités par le logiciel SPSS (Statistical Package for the Social Sciences), en utilisant l'analyse de la variance (ANOVA), le test de comparaison des moyennes de Student-Newman et Keuls (SNK) et la corrélation de Person. Les différences entre les moyennes sont déterminées pour un niveau de probabilité de 5%. Ensuite, les données relatives aux différents géotypes et aux différents paramètres ont été soumises à une analyse en composantes principales (ACP) dans l'objectif de distinguer les groupes de géotypes homogènes en termes de qualité du fruit ainsi que les traits de qualité les plus discriminants.

CHAPITRE III: RÉSULTATS ET DISCUSSION

Première partie:Caractérisation et effet de l'année sur la diversité pomologique, chimique, biochimique des cultivars en collection ex-situ en 2017 et 2018

I. Analyse descriptive

I.1 Variation des traits pomologiques

Les caractéristiques pomologiques des différentes variétés récoltées en octobre 2017 à Ain Taoujdate, sont présentées dans le Tableau 9. L'analyse a montré des différences significatives entre les variétés étudiées. Le poids moyen des fruits varie de 557,59 g pour le génotype 'Sefr' à 245,97 g pour le génotype 'ZhPr' (Tableau 9). Le diamètre et la longueur du fruit variaient respectivement entre 104,66 mm 'Sefr' à 105,63 mm 'Sefr' et entre 80,46 mm 'ZhPr', à 80,11 mm 'Gjeb'. Quant au diamètre et la hauteur du calice, ils sont compris respectivement entre 39,52 mm 'OunH' et 19,55 mm 'Khik' et entre 19,63 mm 'OunH' et 10,50 mm 'Gjeb'. Concernant le paramètre physique, nombre de sépales, la gamme de variation moyenne est de 7,48 marqué chez le génotype 'Gjeb' à 6,05 pour le génotype 'Chkh'. En ce qui concerne le poids et l'épaisseur de l'écorce du fruit des variétés étudiées, ils varient respectivement entre 246,00 g pour le génotype 'Khik' à 96,89 g; pour 'Chel' et de 5,76 pour le génotype 'Sefr' à 2,66 pour 'Chel'.

Les travaux menés [19] sur la même collection ont trouvé un des poids moyens allant de 262 'Ruby' à 520,7 g 'Sefri 2', tandis que le génotype de poids le plus faible 'Zehri Précoce' dans nos résultats avait un poids moyen de 245,97 g. Petites différences observées entre nos travaux et d'autre [19] peut s'expliquer par la variabilité des conditions climatiques. Encore une fois, nos résultats sont globalement cohérents avec les travaux effectués par [82] cinq variétés marocaines (Sefri, Ounk Hmam, Rouge Marrakech, Bouaâdime et Jaune Marrakech) et une variété étrangère (Ruby), toutes cultivées dans différentes régions du Maroc. Les valeurs obtenues pour le nombre de sépales étaient comprises entre 6,05 'Chioukhi' et 7,48 'Gjebali'. [82] a également trouvé une variation du carpelle entre 5,9 et 7,1.

Quant à l'épaisseur de l'écorce des variétés étudiées, 'Chel' était de 2,66 et 'Sefr' de 5,76 ; ces valeurs étaient similaires à celles obtenues chez six espèces de grenades marocaines dont l'épaisseur d'écorce était comprise entre 2,6 et 5,46 mm [288].

Tableau 9: caractérisation morphologique des dix-sept genotypes de grenadier collectionnés à Ain Taoujdate de INRA-Meknès en 2017.

Genotypes	Poids du fruit(g)	Diamètre du fruit(mm)	Longueur du fruit(mm)	Hauteur du calice(mm)	Diamètre du calice (mm)	Nombre de sépales	Poids d'écorce + l'endocarpe (g)	Epaisseur d'écorce (mm)
Bzou	425,63 ^{bcd}	98,57 ^{bcd}	95,30 ^{bcd}	13,02 ^{fg}	23,51 ^{cdef}	6,36 ^{def}	153,63 ^{abcd}	5,23 ^{ab}
Chel	284,08 ^{hi}	84,67 ^{efg}	85,83 ^{fgh}	15,05 ^{cdef}	20,95 ^{fg}	6,45 ^{cdef}	96,89 ^d	2,66 ^d
Chkh	339,58 ^{efg}	90,35 ^{def}	91,13 ^{cdef}	16,99 ^{abcd}	25,56 ^{bc}	6,05 ^f	209,39 ^{abc}	4,39 ^{abcd}
Djei	402,27 ^{bcd}	98,57 ^{bcd}	94,36 ^{bcd}	13,18 ^{fg}	21,79 ^{defg}	6,78 ^{bcd}	189,06 ^{abcd}	4,00 ^{abcd}
Dwar	285,79 ^{ghi}	84,32 ^{efg}	90,45 ^{def}	17,51 ^{abc}	25,78 ^{bc}	7,30 ^{ab}	133,34 ^{bcd}	4,72 ^{abc}
Gjeb	325,98 ^{efgh}	87,75 ^{def}	80,11 ^h	10,50 ^g	24,9 ^{bcd}	7,48 ^a	98,84 ^d	4,01 ^{abcd}
Gord	452,81 ^{bc}	99,45 ^{bc}	94,61 ^{bcd}	13,90 ^{ef}	22,33 ^{cdefg}	6,82 ^{abcde}	142,02 ^{abcd}	4,07 ^{abcd}
GJau	391,20 ^{cde}	91,96 ^{def}	91,84 ^{cdef}	15,04 ^{cdef}	21,58 ^{efg}	6,50 ^{cdef}	153,34 ^{abcd}	3,81 ^{abcd}
GRou	258,21 ^{def}	92,40 ^{def}	89,87 ^{efg}	14,85 ^{cdef}	20,52 ^{fg}	6,7 ^{bcd}	139,79 ^{abcd}	3,25 ^{bc}
Khik	470,55 ^b	99,84 ^b	98,33 ^b	14,08 ^{ef}	19,55 ^g	6,86 ^{abcde}	246 ^a	5,81 ^a
Mola	420,96 ^{bcd}	95,62 ^{cde}	97,12 ^{bc}	18,47 ^{ab}	28,15 ^b	7,20 ^{ab}	118,09 ^{cd}	4,11 ^{abcd}
OunH	475,83 ^b	89,88 ^{defg}	97,42 ^{bc}	19,63 ^a	39,52 ^a	7,00 ^{abcd}	239,79 ^{ab}	4,86 ^{abc}
Ruby	251,39 ^{hi}	82,03 ^{gh}	81,59 ^h	15,01 ^{cdef}	20,04 ^{fg}	6,2 ^{ef}	113,39 ^{cd}	4,13 ^{abcd}
Sefr	557,59 ^a	104,66 ^a	105,63 ^a	16,38 ^{bcd}	25,44 ^{bcd}	7,08 ^{abc}	226,97 ^{ab}	5,76 ^a
Wond	311,83 ^{fghi}	88,00 ^{def}	96,21 ^{bcd}	18,81 ^{ab}	21,15 ^{efg}	6,2 ^{ef}	135,60 ^{bcd}	3,61 ^{bcd}
ZhAu	285,54 ^{ghi}	85,71 ^{efg}	84,00 ^{gh}	14,48 ^{def}	21,15 ^{fg}	6,67 ^{bcd}	113,39 ^{cd}	4,08 ^{abcd}
ZhPr	245,97 ⁱ	80,46 ^h	83,29 ^h	15,14 ^{cdef}	20,61 ^{fg}	6,73 ^{bcd}	106,77 ^{cd}	2,95 ^d

Chel:Chelfi, Chkh:Chioukhi, Djei:Djebi, Dwar: Dwarf semi evergreen, Gjeb:Gjbali, Gord: Gorde de jativa, GJau:Gr jaune, GRou:Gr Rouge, Khik:Khikho, Mola: Mollar Osin Hueso, Negr: Negro montinoso, OunH: Ounk hмам, Ruby:Ruby, Sefr: Sefri, Sef2: Sefri 2, Wond:Wonderful, ZhAu: Zheri d'automne, ZhPr: Zheri precoce

L'analyse des données relatives aux caractères pomologiques, ont montré des différences significatives entre les différentes variétés récoltées en octobre 2018 dans la station expérimentale à Ain Taoujdate (Tableau 10). Le poids moyen des fruits s'est situé entre 461,40 g 'Khik' et 191,64 g 'Chelf' (Tableau 10). Le diamètre et la longueur du fruit varient respectivement entre 99,12 mm pour le génotype 'Khik' et 71,51 mm pour le génotype 'Chelfi', et entre 108,08 mm 'Khik' et 76,86 mm 'Chelfi'. Quant au diamètre et la hauteur du calice on voit d'après le Tableau 10 qu'ils varient respectivement entre 31,76 mm 'Khik' et 16,75 mm 'Moul' et entre 22,49 mm 'OunH' et 11,09 mm 'Moula'. En ce qui concerne le nombre de sépales et le nombre de loges, l'analyse des données ont montré que ces paramètres physiques diffèrent de 7,11 'Chel' à 5,87 ('Negr' et 'Wond'), et de 7,53: 'Djeb' à 6,33 ('GRou'; 'GJau'), respectivement. De plus, le poids et l'épaisseur de l'écorce du fruit des génotypes étudiés, ils varient respectivement entre 252,35g 'Khik' et 76,6g 'Gord' et de 4,4 mm 'Dwar' et 1,87mm 'Gord'.

L'analyse de la variance révèle un effet significatif de la variété sur la majorité des paramètres étudiés durant les années 2017 (Tableau 9) et 2018 (Tableau 10). Cette variabilité observée entre les variétés est probablement le résultat de l'expression des gènes présents chez chaque individu.

Dans une étude menée par (Cicek et al. [289]), dans le but de déterminer les caractéristiques pomologiques et morphologiques des génotypes de grenade cultivés en Turquie. Le résultat de l'étude pour le poids des fruits se situait entre 198,8 et 366,0 g, un poids relativement faible par rapport au poids moyen de notre collection étudiée en 2017 et 2018, qui se balançaient entre 191,64 et 557,59 g. D'autre part, dans une étude menée dans la région méditerranéenne, le poids des fruits variait de 213 à 806 g chez les génotypes [290], et le poids des fruits des grenades de la région égéenne de la Turquie variait entre 186 et 499 g [291]. Dans une autre étude sur l'adaptation de la grenade dans la région méditerranéenne, il a été constaté que le poids des fruits variait de 411 à 566 g [292]. Il était de 260 et 308 g chez les grenadiers dans la région de la mer Égée [293]. De plus, des études ont trouvé que le poids moyen des fruits de grenade mûrs varie entre 250 et 300 g [78].

Un certain nombre d'études ont été menées pour caractériser les génotypes locaux de grenadiers turcs. Des variations morphologiques considérables ont été déterminées pour presque toutes les caractéristiques des fruits. Pour le poids des fruits variait de 213 à 610 g/fruit. La variété 'Katırbası' avait le fruit le plus lourd. La largeur et la longueur des fruits étaient également élevées chez 'Katırbası'. Cela n'est pas surprenant car 'Katırbası' est connue comme la grenade la plus grosse de la région. Les génotypes présentaient également

une largeur d'écorce variable, allant de 2,59 à 3,71 mm [293]. Les valeurs obtenues dans notre étude pour l'épaisseur de l'écorce montrent une similitude avec un intervalle plus large en termes de caractéristiques pomologiques avec des études précédentes. Dans notre étude, l'épaisseur de l'écorce prélevée tout au long de l'étude a fluctué entre 5,76 et 1,87 mm. Alors que dans d'autres études, l'épaisseur de l'écorce était de 2,2 à 3,0 mm dans deux des dix génotypes (20 %) et de 3,0 à 4,5 mm dans huit génotypes (80 %) [289]. (Cicek et ses collègues. [289]) ont montré aussi que le nombre de loges des fruits était de 7 dans neuf génotypes et de 8 dans un génotype. Dans une autre étude réalisée dans le district de Hizan, il a été constaté que l'épaisseur de l'écorce variait entre 1,3 et 2,8 mm [294].

Localement, dans les travaux réalisés par Hmid [296] sur la même collection et dans la même station d'étude, ont trouvé un poids moyen des fruits entre 206,6 g marqué pour le génotype 'Chel' et 506,67 g pour le génotype 'Sef2'. En plus la longueur du fruit varie entre 58,93 'Chel' et 86,07 mm 'Sef2' et son diamètre entre 72,13 'Chel' 96,33 mm 'Sef2'. Le génotype 'Khik' (2018) et 'Sefr' (2017) ayant le poids, la hauteur et le diamètre du fruit le plus haut dans nos résultats, à un poids moyen de 440,40 g suivis de Wonderful 330,28 g (2018) et en (2017) le Sefri 557,59 g suivie de 'OunH' 475,83 g et a une longueur et un diamètre de fruit de 99,19 mm et 108,08 mm observés chez 'Khik' en 2018 et de 104.66 mm et 105,63 mm en 2017. Bien que, Hmid [295] n'a pas inclus le génotype *Khikho* dans son étude, le calibre de génotype *Wonderful* et pas le calibre de *Ounk Hmam* après Sefri dans nos résultats de 2017 peut être expliqué par la résistance de ce génotype ('Wonderful') face aux conditions environnementales qu'on va confirmer dans le chapitre de stress hydrique.

Les grenadiers cultivés en Turquie, la valeur moyenne de la longueur des fruits était de 58,7 mm et la plus élevée de 79,7 mm. La largeur de fruit la plus faible était de 68,1 mm et la plus élevée de 86,9 mm [289]. Elle était de 80-94 mm chez des fruits de grenade de Hatay [296]. Dans une autre étude réalisée dans la région méditerranéenne en 1998, la largeur de fruit la plus large a été déterminée comme étant de 96,83 mm pour la variété 01 N 06 Evci [297].

La longueur du calice dans les résultats de Hmid s'est situé entre 12,40 'Wond' à 21,93 mm 'OunH', tandis que le diamètre varie entre 16,81 chez 'Negr' et 26,33 mm chez 'OunH'. Dans nos résultats, les moyennes sont approximatives mais chez des génotypes différents 'Khiko' et 'Moular'. Dans les génotypes de grenade turque, le rayon du calice était de 9,5 mm et la valeur la plus élevée était de 13,8 mm. La longueur du calice était de 17,5 mm et la valeur la plus élevée était de 25,0 mm [289]. Dans une autre étude menée en Tunisie, ils ont constaté que la longueur du calice variait entre 12,00 et 21,00 mm [302].

Le nombre de sépales obtenu par Hmid [295] est compris entre 5,87 ‘Negr’ et 7,5 ‘GRou’. De même, des variations dans les sépales ont également été observées dans notre collection entre 7,48 ‘Gjeb’ et 6,05 ‘ChKh’ en 2017, et entre 5,87 ‘Negr’ et 7,11 ‘Chel’ de 2018. Quant à l'épaisseur de l'écorce des fruits des variétés étudiées par Hmid [295], il varie entre 1,24 mm ‘Gordo’ et 2,79 mm ‘Ruby’. Cependant, il fluctue entre 5,76 ‘Sefr’ et 2,66 ‘Chel’ dans nos résultats de 2017, et entre 4,4 mm ‘Dwar’ et 1,87 ‘Gord’ en 2018. Les conditions climatiques de 2018 ou l'âge ont probablement amélioré la division cellulaire au niveau de l'écorce de ‘Dwarf’ car cette valeur est bien supérieure à celle avant 9 ans 2,29mm.

On peut remarquer que chez le genotype Chelfi, le poids, le diamètre, la longueur du fruit et le nombre de sépales du fruit sont des traits stables durant neuf ans, où les arbres ont devenu plus âgés (de 13 ans à 22 ans). Ces traits sont contrôlés génétiquement. Par contre chez le genotype ‘Negr’, le poids, le diamètre et la longueur du fruit sont influencés par l'environnement ou l'âge de la plante.

Aussi bien l'âge des arbres joue un rôle dans la variation du poids et la taille des fruits.

Dans une étude menée par (Cicek et al. [289]) sur les grenadiers, le nombre de sépales était de 7 à 8. L'aspect extérieur du sépale était variable : important, modérément proéminent et non proéminent chez les génotypes étudiés. Selon une autre étude, le nombre de sépales était de 6 chez huit génotypes, de 7 chez huit génotypes et de 8 chez six génotypes. L'aspect du sépale était négligeable chez 17 génotypes et moins important chez huit génotypes.

Tableau 10: Caractérisation physique des dix-neuf genotypes de grenadier collectionnés à Ain Taoujdate de l'INRA-Meknès en 2018.

Genotypes	Poids du fruit(g)	Diamètre du fruit(mm)	Longueur du fruit(mm)	Hauteur du calice(mm)	Diamètre du calice (mm)	Nombre de sépales	Nombre Loges/fruit	Poids d'écorce + l'endocarpe	Epaisseur d'écorce (mm)
<i>Bzou</i>	303,14 ^{bcd}	85,58 ^{bcd}	88,68 ^{def}	17,1 ^{def}	18,84 ^{hi}	6,33 ^{efgh}	7 ^{abc}	120,29 ^{def}	3,06 ^{cde}
<i>Chel</i>	191,64 ^h	71,51 ⁱ	76,86 ⁱ	17,88 ^{de}	22,45 ^{cde}	7,11 ^a	6,4 ^{bc}	86,66 ^{ij}	2,72 ^{def}
<i>Chkh</i>	318,19 ^{bc}	87,53 ^{bcd}	96,16 ^b	18,56 ^{cd}	26,50 ^b	6,67 ^{bcd}	7 ^{abc}	156,50 ^{bc}	3,22 ^{cd}
<i>Djei</i>	306,60 ^{bcd}	86,11 ^{bcd}	89,15 ^{cdef}	13,24 ^{bcd}	19,21 ^{gh}	7,03 ^{ab}	7,53 ^a	103,01 ^{ij}	2,42 ^{efg}
<i>Dwar</i>	298,19 ^{bcd}	84,76 ^{cde}	93,58 ^{bc}	18,9 ⁱ	21,65 ^{ef}	7,03 ^{ab}	6,6 ^{bc}	151,04 ^{bc}	4,40 ^a
<i>Gjeb</i>	325,25 ^{bc}	90,09 ^b	90,53 ^{cdef}	17,20 ^{def}	24,63 ^{bc}	6,8 ^{abcd}	6,53 ^{bc}	161,67 ^b	3,9 ^{ab}
<i>Gord</i>	288,92 ^{bcd}	82,86 ^{defgh}	85,33 ^{gf}	16,4 ^{efg}	18,22 ^{hi}	6,8 ^{abcd}	6,8 ^{abc}	76,6 ^j	1,87 ^g
<i>GJau</i>	264,65 ^{def}	80,47 ^{efgh}	85,82 ^{gf}	16,45 ^{efg}	19,76 ^{fgh}	6,2 ^{fghi}	6,33 ^{bc}	119,85 ^{def}	3,00 ^{cde}
<i>GRou</i>	258,21 ^{def}	83,10 ^{def}	87,7 ^{ef}	13,92 ^{hi}	24,05 ^{cd}	6,17 ^{fghi}	6,33 ^{bc}	119,19 ^{def}	3,09 ^{cd}
<i>Khik</i>	461,40 ^a	99,12 ^a	108,08 ^a	20,86 ^{ab}	31,76 ^a	6,53 ^{cdefg}	6,6 ^b	252,35 ^a	4,11 ^{ab}
<i>Mola</i>	210,15 ^{gh}	76,41 ^h	77,22 ⁱ	11,09 ^j	16,75 ⁱ	6,13 ^{ghi}	7,07 ^{abc}	94,29 ^{ij}	2,59 ^{def}
<i>Negr</i>	321,75 ^{bc}	88,55 ^{bc}	92,24 ^{bcd}	13,96 ^{hi}	22,13 ^{de}	5,87 ⁱ	6,53 ^{bc}	140,22 ^{bcd}	3,06 ^{cde}
<i>OunH</i>	286,02 ^{bcd}	83,12 ^{def}	89,74 ^{cdef}	22,49 ^a	23,25 ^{cde}	7,03 ^{ab}	7,15 ^{ab}	88,55 ^{ij}	2,19 ^{fg}
<i>Ruby</i>	263,67 ^{def}	79,73 ^{fgh}	89,35 ^{cdef}	17,25 ^{def}	22,42 ^{cde}	6,97 ^{abc}	6,6 ^{bc}	128,57 ^{cde}	4,20 ^a
<i>Sefr</i>	280,77 ⁶	83,18 ^{def}	92,13 ^{bcd}	20,1 ^{bc}	21,43 ^{efg}	6,61 ^{bcd}	7,14 ^{ab}	148,20 ^{bcd}	3,86 ^{ab}
<i>sef2</i>	242,81 ^{efg}	77,91 ^{gh}	82,51 ^{gh}	15,59 ^{fgh}	18,03 ^{hi}	6 ^{hi}	6,9 ^{abc}	90,47 ^{ij}	2,56 ^{def}
<i>Wond</i>	330,28 ^b	86,80 ^{bcd}	92,93 ^{bcd}	15,89 ^{fg}	19,43 ^{fgh}	5,87 ⁱ	6,64 ^{bc}	165,06 ^b	4,18 ^{ab}
<i>ZhAu</i>	267,98 ^{def}	79,56 ^{fgh}	78,67 ^{hi}	13,94 ^{hi}	22,13 ^{de}	6,2 ^{fghi}	6,6 ^{bc}	107,80 ^{efi}	3,54 ^{bc}
<i>ZhPr</i>	235,92 ^{fg}	79,49 ^{fgh}	80,15 ^{hi}	14,79 ^{ghi}	18,61 ^{hi}	6,52 ^{cdefg}	6,27 ^c	75,31 ^j	2,65 ^{def}

Chel: Chelfi, Chkh:Chioukhi, Djei:Djeibi, Dwar: Dwarf semi evergreen, Gjeb:Gjbali, Gord: Gordo de jativa, GJau:Gr jaune, GRou:Gr Rouge, Khik:Khikho, Mola: Mollar Osin Hueso, Negr: Negro montinoso, OunH: Ounk hmam, Ruby:Ruby, Sefr: Sefri, Sef2: Sefri 2, Wond:Wonderful, ZhAu: Zheri d'automne, ZhPr: Zheri precoce

I.1.1 Traits agronomiques du fruit

Le pourcentage de jus avec la teneur en jus le plus élevé déterminé à partir de 100 grammes de fruits récolté en 2017 (Tableau 11) a été observé chez les genotypes 'Djeibi' suivie de 'Zheri d'Automne', 'Dwarf semi evergreen', 'Zheri Precoce' et 'Gordo de Jativa' avec un intervalle de 46,97 à 27,34% (Tableau 11). Ces genotypes peuvent être intéressants pour la transformation de grenade en produisant du jus.

La teneur en jus la plus élevée pour 100 grammes de fruits de 2018 (Tableau 12) a été observée chez les genotypes 'Gordo de Jativa' suivie de 'Zheri precoce', 'Djeibi' et 'Bzou' avec un intervalle de 55,76 à 34,72 % (Tableau 10). Ces genotypes de grande teneur en jus peuvent être intéressants pour la production du jus. Les variétés caractérisées par un

taux élevé en jus pendant les deux années de récolte 2017 et 2018 comme '*Zheri précoce*', '*Djeibi*', '*Gordo de Jativa*' peuvent être utilisées en industrie.

Hmid et al. [295] ont trouvé des valeurs de rendement en jus approximatives entre 54,42 et 29,73%, et même distribution pour le premier et le troisième genotype '*Gordo de Jativa*', '*Mollar Osin Hueso*', '*Djeibi*' et '*Sefri 2*'. Nos résultats du rendement en jus obtenus sont comparables à ceux trouvés par (Tehranifar et al. [77]) qui ont estimé une valeur de 26,95 à 46,55%).

Dans le même contexte, (Cemeroglu et al. [298]) ont montré que le rendement en jus de la production industrielle des grenadiers est estimé à 30-70%. En raison de leur rendement élevé en jus. Les variétés à haute teneur en jus que nous avons étudiées peuvent être utilisées pour produire du jus. Les travaux de (Borochoy-Neori et al. [299]) ont rapporté que ce rendement augmente avec la maturation des fruits. (Martínez et al. [300]) ont confirmé que les variétés de grenade douce ont un meilleur rendement en jus.

Le rendement en pépins (Tableau 11) est compris entre 16,50% '*Gordo de Jativa*' suivie de ('*Gr Rouge*' et '*Gjbali*') et 8,75% '*Chioukhi*'. Le plus grand pourcentage d'arilles pour 100 grammes de fruits, a été observé pour les genotypes '*Gordo de Jativa*' suivie par '*Zheri d'Automne*', '*Dwarf semi evergreen*' et '*Zheri Précoce*' d'un intervalle de 69,89 à 42,65 % (Tableau 11). Ces valeurs sont supérieures à celles obtenues dans d'autres études dans lesquelles la variété '*Sefri1*' (rendement en graines = 36,95%) et ses fruits plus gros peuvent impliquer le développement de genotypes à potentiel agronomique plus élevé [288]. Les variétés ayant un contenu élevé en graines pourraient être valorisées pour l'extraction d'huile qui peut être utilisée dans les formulations de nouveaux aliments et cosmétiques [303].

Quant au pourcentage d'épicarpe des variétés étudiées, ils variaient 32,59 % '*Chelfi*' et 53,35 % '*Chioukhi*'. Ces valeurs sont inférieures à celles obtenues dans une caractérisation des grenades commercial marocain d'autres variétés pourraient être également prometteuses Cependant, d'autres variétés pourraient être également prometteuses pour leur teneur élevée en écorce (43%, 44% et 45%), qui peut être utile, notamment dans les processus environnementaux [288].

Tableau 11: Rendement en arilles, en pépins et en jus pour les 17 genotypes récoltés en 2017.

Genotypes	Rendement en arille (%)	Rendement en jus /fruit	Rendement en pépins/fruit(%)
<i>Bzou</i>	60,78 ^{ab}	39,07 ^{ab}	12,27 ^{bcd}
<i>Chel</i>	67,41 ^{ab}	41,23 ^a	14,32 ^{ab}
<i>Chkh</i>	42,65 ^c	27,34 ^c	8,75 ^e
<i>Djei</i>	65,71 ^{ab}	46,97 ^a	10,54 ^{cde}
<i>Dwar</i>	61,18 ^{ab}	42,22 ^a	10,57 ^{cde}
<i>Gjeb</i>	65,08 ^{ab}	38,13 ^{ab}	14,45 ^{ab}
<i>Gord</i>	69,89 ^a	41,43 ^a	16,50 ^a
<i>GJau</i>	63,22 ^{ab}	39,76 ^{ab}	12,72 ^{bcd}
<i>GRou</i>	63,28 ^{ab}	39,85 ^{ab}	14,46 ^{ab}
<i>Khik</i>	54,44 ^{bc}	31,48 ^{bc}	13,12 ^{abc}
<i>Mola</i>	57,89 ^{ab}	40,92 ^{ab}	11,50 ^{bcd}
<i>OunH</i>	58,29 ^{ab}	37,93 ^{ab}	9,31 ^{de}
<i>Ruby</i>	63,27 ^{ab}	38,32 ^{ab}	12,50 ^{bcd}
<i>Sefr</i>	58,29 ^{ab}	38,61 ^{ab}	12,38 ^{bcd}
<i>Wond</i>	59,52 ^{ab}	39,79 ^{ab}	10,34 ^{cde}
<i>ZhAu</i>	65,99 ^{ab}	43,01 ^a	11,31 ^{bcd}
<i>ZhPr</i>	58,96 ^{ab}	41,78 ^a	11,31 ^{bcd}

Chel: Chelfi, Chkh:Chioukhi, Djei:Djeibi, Dwar: Dwarf semi evergreen, Gjeb:Gjbali, Gord: Gordo de jativa, GJau:Gr jaune, GRou:Gr Rouge, Khik:Khikho, Mola: Mollar Osin Hueso, Negr: Negro montinoso, OunH: Ounk hmam, Ruby:Ruby, Sefr: Sefri, Sef2: Sefri 2, Wond:Wonderful, ZhAu: Zheri d'automne, ZhPr: Zheri precoce

Le rendement en pépins est compris entre 12,0% ‘Ounk hmam’ et 7,29% ‘Khikou’ (Tableau 12), ces valeurs sont faibles et proches. Chez les genotypes (‘Gordo, ZhPr, Djeibi, Sefri2’), le plus grand pourcentage d'arilles pour 100 grammes de fruits a été observé, avec ‘un intervalle entre 72.83 ‘Gord’ et 50,40 ‘Khikou’. Tandis que Hmid et al [295] ont trouvé d’autres genotypes caractérisés par des pourcentages importants d’arilles : ‘Bzou’ suivie de ‘Chioukhi’, ‘Sefri2’ et ‘Mollar Osin Hueso’ avec des valeurs 69,41%, 68,65%, 67,57% et 67,04%. Les genotypes avec des rendements en arilles plus élevés et des rendements en pépins les plus faibles peuvent convenir à la consommation fraîche. Les résultats laissent supposer que l'augmentation du rendement en jus est due à l'augmentation du rendement en arilles, car nous avons observé la même série de genotypes dans nos résultats. Les volumes de jus mesurés pour les grenades cultivées en Turquie [289] variaient de 63,9 à 135,7 ml. Le goût du fruit est décrit comme aigre-doux. L'étude a également déterminé la facilité de séparation des arilles, qui était considérée comme facile parmi les huit génotypes et moyenne parmi les deux génotypes. Le poids des arilles et le rendement des arilles se situent respectivement entre 40,3-47,3 g et 58,1-70,0%. Une caractérisation pomologique a été réalisée sur cinq genotypes de fruits de grenade en Tunisie [301]. Les résultats montrent une différence statistiquement significative entre les variétés. La masse des arilles frais (MFA)

varie significativement d'un genotype à l'autre. La variété Kalai occupe la première place avec 256,06 g, soit 73% (rendement en arilles) de la MFA. Chez la plupart des genotypes étudiés, les proportions (pourcentages) d'écorce fraîche par rapport au MFA sont plus faibles que celles de la pulpe (arilles) et varient de 27% à 42%. A l'exception du cas de Tounsi où l'épicarpe représente presque la moitié de poids du fruit avec 51%. Les pourcentages des arilles par rapport à l'épicarpe présenté par l'étude de (Mekni et al. [301]) sont plus élevés que ceux trouvés par (Martinez et al. [304]) qui ont rapporté des taux des arilles compris entre 53,4 % et 61,2 % dans cinq variétés de grenades marocaines. Parallèlement, (Zaouay et Mars, [305]) ont rapporté des différences entre les caractéristiques pomologiques de certains genotypes tunisiens (masse totale et masse des arilles) En effet, ils ont enregistré des masses totales de arilles variant entre 590,80 et 434,75 g pour les variétés Chelfi et Tounsi, et entre 253,00 g et 87,14 g pour les variétés Zahri et Garsi. D'après les résultats de (Cicek et al. [289]), Le volume du jus de fruit déterminé varie entre 63,9 et 135,7 ml.

Tableau 12: Rendement en arilles, en pépins et en jus pour les 19 genotypes récoltés en 2018.

Genotypes	% arilles	% jus/fruit	% pépins/fruit
<i>Bzou</i>	64,33 ^{def}	47,49 ^{ab}	9,69 ^{cde}
<i>Chelfi</i>	65,63 ^{cde}	38,61 ^c	10,36 ^{bcd}
<i>Chioukhi</i>	58,53 ^{ghi}	39,58 ^c	8,75 ^{efg}
<i>Djebi</i>	68,67 ^{abc}	48,66 ^{ab}	11,18 ^{ab}
<i>Dwarf semi evergreen</i>	55,34 ^{ijk}	46,97 ^{ab}	8,80 ^{efg}
<i>Gjbali</i>	53,88 ^{jkl}	34,72 ^c	10,44 ^{bcd}
<i>Gorde de jativa</i>	72,83 ^a	55,76 ^a	9,69 ^{cde}
<i>Gr jaune</i>	60,47 ^{fgh}	45,74 ^{bc}	9,40 ^{def}
<i>Gr Rouge</i>	59,99 ^{gh}	41,11 ^{bc}	9,42 ^{def}
<i>Khikho</i>	50,40 ^l	38,34 ^c	7,29 ^h
<i>Mollar Osin Hueso</i>	59,92 ^{gh}	45,19 ^{bc}	7,62 ^{gh}
<i>Negro montinoso</i>	61,75 ^{efg}	41,78 ^{bc}	10,37 ^{bcd}
<i>Ounk hman</i>	64,14 ^{def}	41,78 ^{bc}	12,01 ^a
<i>Ruby</i>	56,94 ^{hij}	42,81 ^{bc}	9,39 ^{def}
<i>Sefri</i>	52,28 ^{kl}	34,93 ^c	8,90 ^{efg}
<i>Sefri 2</i>	66,68 ^{bcd}	46,60 ^{ab}	10,60 ^{bcd}
<i>Wonderful</i>	54,93 ^{ijk}	38,56 ^c	10,80 ^{abc}
<i>Zheri d'automne</i>	66,02 ^{cd}	44,86 ^{bc}	8,28 ^{fgh}
<i>Zhéri précoce</i>	70,58 ^{ab}	51,45 ^a	7,75 ^{gh}

Chel:Chelfi, *Chkh*:Chioukhi, *Djei*:Djebi, *Dwar*: Dwarf semi evergreen, *Gjeb*:Gjbali, *Gord*: Gorde de jativa, *GJau*:Gr jaune, *GRou*:Gr Rouge, *Khik*:Khikho, *Mola*: Mollar Osin Hueso, *Negr*: Negro montinoso, *OunH*: Ounk hman, *Ruby*:Ruby, *Sefr*: Sefri, *Sef2*: Sefri 2, *Wond*:Wonderful, *ZhAu*: Zheri d'automne, *ZhPr*: Zheri precoce

I.1.2 Traits morphologiques des arilles

Le Tableau 13 résume les propriétés physiques des arilles et des arilles de différentes variétés récoltées en 2017. Une variabilité significative a été révélée entre les géotypes de grenade pour tous les paramètres étudiés. La valeur de couleur de l'arille va de '6' rose foncé à '1' rose clair. Les variétés d'arille les plus foncées ou rose foncées fluctuent de 6_5,5 ('Djeb' et 'Chel', 'Dwar', 'GJau') à rose clair 1,5_1,3 ('Zhpr', 'Gord'). De même [293] ont montré que la couleur du jus des géotypes turcs allait du saumon/crème au rouge foncé.

La dureté des pépins a été également évaluée, les pépins durs sont écrasés en appliquant une pression pénétrométrique supérieure à 4,5 kg/cm², des arilles semi-dures avec des valeurs comprises entre 4,5 et 3,5 kg/cm², et les valeurs inférieures à 3,5 correspondent aux pépins semi-tendres à tendre. Cette évaluation de dureté des pépins n'a jamais été testée par pénétromètre auparavant. Il a l'avantage de les comparer avec l'intervalle de classification sensorielle de ces variétés. Nous estimons que la valeur du pépin dure dépasse 4,5 kg/cm², etc.. Car la morsure maximale de l'homme est d'une force moyenne égale à 80,75 kg/cm², et 13429,60 kg/cm² est la force de morsure du crocodile [306]. Nous avons constaté que le poids d'un arille est de l'ordre de 731,80 mg pour 'Khik' et 311,70 mg pour 'Gjeb', la longueur de l'arille varie de 14,26 'Khik' à 10,80 mm 'Sefr', la largeur de l'arille varie de 8,47 'Khik' à 6,04 mm 'Gjeb'.

Dans une étude réalisée sur 10 géotypes de grenade cultivés en province de Diyarbakır de la Turquie, la dureté des pépins des fruits était moyennement dure pour huit géotypes, dure pour deux géotypes, La couleur de l'arille a été déterminée comme pourpre foncé chez trois géotypes, pourpre chez deux géotypes, rouge moyen chez deux géotypes et rose-rouge chez trois géotypes [289].

Tableau 13: Coloration, poids, longueur et largeur des arilles et dureté des pépins pour les 17 géotypes récoltés en 2017.

Genotypes	Couleur d'arille	Poids d'arille (mg)	Longueur d'arille(mm)	Largeur d'arille(mm)	Dureté des pépins (Kg/cm ²)	Analyse sensorielles de dureté des pépins
<i>Bzou</i>	2,9 ^{fg}	396,00 ^{bcd}	12,29 ^{bcd}	6,85 ^{ab}	5,2 ^a	Dur
<i>Chel</i>	5,9 ^a	334,35 ^{cd}	11,35 ^{cd}	6,21 ^b	3,32 ^d	Semi Tendre
<i>Chkh</i>	2,3 ^h	457,70 ^{bcd}	12,04 ^{bcd}	7,3 ^{ab}	3 ^{de}	Tendre
<i>Djei</i>	6 ^a	504,15 ^b	12,80 ^{abc}	7,60 ^{ab}	4,85 ^{ab}	Dur
<i>Dwar</i>	5,7 ^{ab}	330,90 ^{cd}	11,52 ^{bcd}	6,55 ^b	4,86 ^{ab}	Dur
<i>Gjeb</i>	4 ^d	311,70 ^d	11,31 ^{cd}	6,04 ^b	3,30 ^{de}	Semi Tendre
<i>Gord</i>	1,5 ^j	493,70 ^{ab}	12,57 ^{abcd}	7,23 ^{ab}	4,94 ^{ab}	Dur
<i>GJau</i>	5,5 ^{bc}	359,26 ^{bcd}	11,28 ^{cd}	6,27 ^b	2,98 ^{de}	Tendre
<i>GRou</i>	3,2 ^{ef}	379,87 ^{bcd}	11,30 ^{cd}	6,64 ^{ab}	2,88 ^{de}	Tendre
<i>Khik</i>	2,1 ^{hi}	731,80 ^a	14,26 ^a	8,47 ^a	4,68 ^{abc}	Dur

Mola	3,7 ^{de}	353,90 ^{bcd}	11,87 ^{bcd}	6,47 ^b	4,4 ^c	Semi dur
OunH	4,1 ^d	398,60 ^{bcd}	11,53 ^{bcd}	6,99 ^{ab}	4,99 ^{ab}	Dur
Ruby	2,3 ^h	344,80 ^{bcd}	11,23 ^{cd}	6,52 ^b	3,62 ^{cd}	Semi dur
Sefr	3,9 ^d	488,82 ^{ab}	10,80 ^d	6,34 ^b	3,58 ^{cd}	Semi Tendre
Wond	3,5 ^e	444,20 ^{bcd}	12,38 ^{bcd}	7,68 ^{ab}	4,24 ^c	Semi dur
ZhAu	2,13 ^{hi}	509,93 ^b	13,24 ^{ab}	7,28 ^{ab}	2,68 ^e	Tendre
ZhPr	1,3 ^j	407,46 ^{bcd}	12,60 ^{abcd}	6,99 ^{ab}	3,76 ^{cd}	Semi dur

Chel:Chelfi, Chkh:Chioukhi, Djei:Djebi, Dwar: Dwarf semi evergreen, Gjeb:Gjbalı, Gord: Gorde de jativa, GJau:Gr jaune, GRou:Gr Rouge, Khik:Khikho, Mola: Mollar Osin Hueso, Negr: Negro montinoso, OunH: Ounk hnam, Ruby:Ruby, Sefr: Sefri, Sef2: Sefri 2, Wond:Wonderful, ZhAu: Zheri d'automne, ZhPr: Zheri precoce.

Le Tableau 14 présente les résultats des caractéristiques physiques des arilles et des pepins de différentes variétés récoltées en 2018. Il existe des différences significatives entre toutes les variétés de grenade étudiées. Les valeurs de couleur des arilles sont différentes, de 8: rose foncé (rouge) à 1 rose clair. Les variétés d'arilles les plus foncées sont (8) observées chez 'Negr' et 'Wond' et les plus claires (2) observées chez 'Gjba', 'Zhpr', 'ChKh' et 'Dwar'. D'autre part les pépins ont été répartis selon leur dureté en se basant sur la pression pénétrométrique. Les pepins des variétés ont été catégorisées de pépins durs, dont la pression pénétrométrique exercée est supérieure à 3,5 kg/cm², des pepins semi-durs, avec une valeur comprise entre 2,5 et 3,5kg/cm². Cette classification est différente. Sensoriellement, 'Bzou' est classée comme un génotype a pépins semi-dure, et une valeur inférieure à 3,5 indique que les pépins sont semi-mous à mous. Nous avons remarqué que les arilles roses claires sont à caractère de pepins dures, à savoir 'Gjeb' (5,28kg/cm²; 1,93) et 'Dwar' (4,83kg/cm², 2) et des pepins roses plus dures. 'Ruby' (4,24kg/cm²; 3,87) et pepins dures 'Wond' (3,72 kg/cm²; 8) avec des arilles rose foncé à rouge.

Dans une étude menée par (Cicek et al. [289]), la couleur de l'arille du fruit a été déterminée comme étant violet foncé, violet, rouge moyen et rose-rouge chez génotypes de grenadier. En ce qui concerne la dureté des pepins, elle a été déterminée comme moyennement dure dans huit génotypes (80%) et dure dans deux génotypes (20%). Dans une autre étude menée dans le district de Pervari de Siirt, la dureté des fruits a été trouvée comme étant dure pour 12 génotypes, moyennement dure pour 11 génotypes et molle pour deux génotypes [273]. Dans le district de Çukurca de Hakkâri en 2008, 20 génotypes ont été examinés. Selon cette étude, les couleurs des arilles ont été trouvées comme étant blanches dans trois génotypes, rose pâle dans 10 génotypes, rose dans cinq génotypes et rouge dans deux génotypes [308].

En ce qui concerne la couleur des arilles qui caractérise les géotypes de grenadiers turcs locaux [293], elle variait entre 21,0 et 36,1 (de l'obscurité à la clarté). Des variations encore plus importantes ont été détectées de 3,1 à 18,6 (vert à rouge). Bien que dans une moindre mesure, les géotypes avaient des valeurs différentes de 5,9 à 8,8.

Le poids (Tableau 14), la longueur et la largeur de l'arille sont de l'ordre de (664,28 'Khik' et 272,81 'OunH'), (12,72 'Gord' et 9,70 'OunH') et (9,42 'Khik' et 6,55 'OunH') respectivement. Par rapport aux résultats de (Hmid. [295]), ils ont montré que la longueur de l'arille varie de 12,42 mm 'ZhPr' à 9,46 mm 'Gjba', la largeur de l'arille fluctue de 8,26 mm 'ZhPr' à 5,91 mm 'OunH' et la couleur des arilles sont différentes, de 8: rose foncé 'Negr' 'Wond' à 1 : rose clair 'Gjeb'. Leurs résultats de 2012 étaient comparables avec nos résultats concernant les géotypes à arilles rouges (*Ounk Hmam, Gjebali, Bzou, Gordo de Jativa, Ruby et Mollar Osin Hueso*) après 9 ans de décalage temporel sauf pour la couleur de Gjebai en 2018. Donc ce caractère est stable à travers les années. Les fruits des géotypes à pépins durs et de colorations intenses doivent être destinés à la transformation.

Chez les géotypes de la Turquie, le poids le plus faible des 100 arilles était de 40,3 g et 47,4 donc le poids d'un arille était de (403 mg et 474 mg) à Hatay et le poids des 100 arilles était mesuré entre 29,0 et 50,0 g donc le poids d'un arille était de (290mg et 500mg) [296]. Dans une autre étude, le poids des 100 arilles a été trouvé entre 26,50 et 45,90 g (265-459 mg/arille) [307]. Les caractéristiques de l'arille des géotypes des grenadiers cultivés en Turquie [293]. Comme pour les caractéristiques de taille des fruits, le nombre d'arilles par fruit était de 118 à 335. Le poids le plus léger des arilles mesurés était de l'ordre de 23,4 g/100 arilles, tandis que les arilles les plus lourdes avaient un poids de 62,7 g/100 arilles. Le rapport arilles/fruits était généralement similaire entre les géotypes (53,4 à 59,4 %).

Tableau 14: Coloration, poids, longueur et largeur des arilles et dureté des pépins pour les 19 géotypes récoltés en 2018.

Genotypes	Couleur d'arille	Poids d'arille (mg)	Longueur d'arille (mm)	Largeur d'arille (mm)	Dureté des pépins (Kg/cm ²)	Dureté des pépins
<i>Chel</i>	3,53 ^{fgh}	300,00 ^{jk}	10,85 ^{ij}	7,75 ^{fgh}	2,96 ^{bc}	Semi dur
<i>OunH</i>	6 ^{bc}	272,81 ^k	9,7 ^k	6,55 ⁱ	2,18 ^d	Tendre
<i>Gjeb</i>	1,93 ⁱ	309,39 ^{jk}	10,15 ^k	7,53 ^h	5,28 ^a	Dur
<i>ZhPr</i>	2 ⁱ	481,71 ^{bc}	11,84 ^{bcde}	8,1 ^{bcdef}	2,25 ^d	Tendre
<i>ZhAu</i>	3,33 ^{gh}	424,39 ^{def}	11,92 ^{bcd}	8,1 ^{bcdef}	2,49 ^{cd}	Tendre
<i>Negr</i>	8 ^a	335,91 ^{hij}	10,82 ^{ij}	7,64 ^{gh}	3,32 ^{bc}	Semi dur
<i>Sef2</i>	6 ^{bc}	322,26 ^{ijk}	11,14 ^{ghij}	8,1 ^{bcdef}	3,15 ^{bc}	Semi dur
<i>Sefr</i>	5,93 ^{bc}	432,1 ^{cde}	11,49 ^{defg}	8,39 ^{bcd}	2,40 ^{cd}	Tendre
<i>GRou</i>	4,93 ^{de}	365,79 ^{hi}	10,76 ^j	7,82 ^{efgh}	2,66 ^{cd}	Semi Tendre
<i>Chkh</i>	2 ⁱ	468,26 ^{cd}	12,1 ^{bc}	8,52 ^b	2,35 ^{cd}	Tendre
<i>Djei</i>	5,73 ^{bcd}	41742 ^{efg}	11,36 ^{efgh}	8,04 ^{defg}	2,36 ^{cd}	Tendre

Gord	5,2 ^{cde}	527,88 ^b	12,72 ^a	8,49 ^{bc}	2,68 ^{cd}	Semi Tendre
Dwar	2 ⁱ	421,23 ^{def}	11,11 ^{ghij}	8,24 ^{bcd}	4,83 ^a	Dur
Mola	3 ^{gh}	439,72 ^{cde}	12,31 ^{ab}	8,39 ^{bcd}	2,17 ^d	Tendre
Wond	8 ^a	287,65 ^{jk}	10,04 ^k	7,38 ^h	3,72 ^{ab}	Dur
Ruby	3,87 ^{fg}	380,35 ^{fgh}	11,3 ^{fghi}	8,05 ^{cdefg}	4,24 ^{ab}	Dur
GJau	6 ^{bc}	370,62 ^{ghi}	10,88 ^{hij}	7,72 ^{fgh}	2,31 ^{cd}	Tendre
Bzou	2,8 ⁱ	442,33 ^{cde}	11,77 ^{cdef}	8,2 ^{bcde}	2,72 ^{bc}	Semi dur
Khik	4,4 ^{ef}	664,28 ^a	12,31 ^{ab}	9,42 ^a	3,49 ^{bc}	Semi dur

Chel:Chelfi, Chkh:Chioukhi, Djei:Djebi, Dwar: Dwarf semi evergreen, Gjeb:Gjbali, Gord: Gorde de jativa, GJau:Gr jaune, GRou:Gr Rouge, Khik:Khikho, Mola: Mollar Osin Hueso, Negr: Negro montinoso, OunH: Ounk hmam, Ruby:Ruby, Sefr: Sefri, Sef2: Sefri 2, Wond:Wonderful, ZhAu: Zheri d'automne, ZhPr: Zheri precoce.

I.2 Variation des propriétés chimiques du jus

Le Tableau 15 présente les caractéristiques chimiques : le pH, le taux des sucres solubles, l'acidité titrable, et l'indice de maturité des jus élaborés des 17 genotypes. A noter que ces derniers sont en variation significative entre les genotypes pour ces paramètres respectivement, (3,79 'Gordo' et 3,31 'Chel'), (19,80 'Houk' et 16,30 'Gord'), (0,32-0,31 'Chel-ChKh' et 0,16 'Dwar'), (93,75 'Dwar' et 55,43 'ChKh'), variation significative entre les genotypes pour tous les paramètres étudiés.

Tableau 15: caractérisation chimique de la récolte de 2017.

Genotypes	Brix %	PH	AT (g) acide citrique/100ml	IM
Bzou	17,70 ^{abcd}	3,68 ^{ab}	0,24 ^b	71,23 ^{bcd}
Chel	19,25 ^{abc}	3,31 ^c	0,32 ^a	61,07 ^d
Chkh	17,35 ^{abcd}	3,48 ^{abc}	0,31 ^a	55,43 ^d
Djeb	18,93 ^{abc}	3,74 ^{ab}	0,25 ^b	76,04 ^{abcd}
Dwar	15,00 ^d	3,57 ^{abc}	0,16 ^c	93,75 ^a
Gjeb	19,07 ^{abc}	3,54 ^{abc}	0,22 ^{bc}	86,59 ^{abc}
Gord	16,30 ^d	3,79 ^a	0,25 ^b	
GJau	18,40 ^{abc}	3,67 ^{ab}	0,21 ^{bc}	86,16 ^{abc}
GRou	18,00 ^{abcd}	3,59 ^{abc}	0,24 ^b	74,57 ^{abcd}
Khik	16,95 ^{abcd}	3,58 ^{abc}	0,19 ^{bc}	89,27 ^{abc}
Mola	16,55 ^{bcd}	3,76 ^{ab}	0,23 ^b	73,89 ^{abcd}
OunH	19,80 ^a	3,43 ^{bc}	0,22 ^{bc}	91,51 ^{ab}
Ruby	19,30 ^{abc}	3,52 ^{abc}	0,34 ^a	55,98 ^d
Sefr	18,64 ^{abc}	3,53 ^{abc}	0,22 ^b	85,31 ^{abc}
Wond	19,67 ^{ab}	3,62 ^{abc}	0,23 ^b	84,53 ^{abc}
ZhAu	18,30 ^{abc}	3,66 ^{abc}	0,22 ^{bc}	84,41 ^{abc}
ZhPr	17,63 ^{abcd}	3,59 ^{abc}	0,24 ^b	74,71 ^{abcd}

Chel:Chelfi, Chkh:Chioukhi, Djei:Djebi, Dwar: Dwarf semi evergreen, Gjeb:Gjbali, Gord: Gorde de jativa, GJau:Gr jaune, GRou:Gr Rouge, Khik:Khikho, Mola: Mollar Osin Hueso, Negr: Negro montinoso, OunH: Ounk hmam, Ruby:Ruby, Sefr: Sefri, Sef2: Sefri 2, Wond:Wonderful, ZhAu: Zheri d'automne, ZhPr: Zheri precoce.

Le Tableau 16 illustre les caractéristiques chimiques qui sont : le pH, le taux des sucres solubles, l'acidité titrable, et l'indice de maturité des jus élaborés chez les 19 genotypes. Nous remarquons que ces derniers varient respectivement entre (3,76 'Molar' et 2,76 'OunH'), (17,17 'Wond' et 13,53 'Gord'), (5,03 'Negr' et 0,76 'Gjeb, Djeb'), (21,64 'GRou' et 3,3 'Negr'). Une variabilité significative a été révélée entre les genotypes de grenade pour tous ces paramètres étudiés. Donc, Le patrimoine génétique est influencé par l'environnement, et les paramètres chimiques sont influencés par la diversité génétique. L'étude menée en Espagne [276] a rapporté des résultats similaires, où les valeurs de pH variaient de 2,56 ('Wonderful' 2) à 4,31 (Valenciana). L'US Food and Drug Administration a également rapporté une fourchette de pH comprise entre 2,93 et 3,20 pour les parties comestibles (arilles) de la grenade à l'état naturel. Aussi bien des plages de pH similaires ont été rapportées dans la littérature scientifique [309] ont trouvé des valeurs de pH entre 2,81 et 3,90. Aussi bien des plages de pH similaires ont été rapportées dans la littérature scientifique comprise entre 2.81 à 5.14. Ainsi Raduníc et al. [309] ont trouvé des valeurs de pH entre 2,81 et 3,90. [310] de 3,49 et 5,14 ; [1] de 2,93 et 3,59 ; [77] de 3,16 à 4,09 ; [312] de 3,94 à 4,07; [313] de 2,9 et 4,0 ; et [314] de 2,98 et 3,68. Cependant, il est important de souligner que plusieurs facteurs liés au genotype, au climat et aux pratiques agricoles peuvent expliquer les différences susmentionnées en termes de pH du jus.

Les résultats sur le pH [295], le degré Brix, l'acidité titrable (AT) et l'indice de maturité des différentes variétés sont respectivement de 4,22 'Bzou' à 2,85 'Ounk Hmam', 17,07 'Sefri2' 12,33 Brix 'Grenade rouge', 2,31 g/100 ml 'Negro Monstrioso' à 0,19 'Ounk Hmam'. Nos résultats sont comparatifs aux valeurs obtenues par (Hmid et al. [295]) sauf pour AT du genotype 'Negro' qui est doté toujours par la plus grande valeur par rapport aux 18 autres genotypes mais d'une valeur inférieure de 2,31 g/100ml. Dans la classification actuelle des genotypes espagnols établis par Melgarejo [20], les variétés douces (MI = 31 à 98), aigre-doux genotypes (MI = 17 à 24) et des genotypes acides (MI = 5 à 7). L'indice de maturité (TSS / TA) des genotypes évalués présenté dans le Tableau 15, montre que tous les genotypes appartiennent à la troisième catégorie, mais pour les genotypes récoltés en 2018 (Tableau 16) tous les genotypes appartiennent à la deuxième catégorie, à l'exception de 'Negr' et 'Wond' qui appartient à la troisième catégorie.

L'acidité chez les génotypes de grenadier turcs se situait entre 0,65 et 1,21% et la quantité de sucres solubles totaux (TSS) variait entre 15,0 et 21,0%. Il a été conclu que les 10 génotypes étaient prometteurs et que ces génotypes présentaient des caractéristiques supérieures [289]. En déterminant l'indice d'acidité "AI", l'acide citrique s'est avéré être l'acide organique le plus prédominant dans les variétés tunisiennes de grenades acides comme Kalai et Garsi. En revanche, les variétés Tounsi et Ahri sont les plus douces et présentent donc les plus faibles quantités d'acide citrique et les niveaux d'IA les plus élevés (Mekni et al. [301]). Dans les résultats de (Cicek et al. [289]), les valeurs de pH étaient comprises entre 3,3 et 4,0 chez les génotypes évalués. (Gündoğdu, [307]) a révélé que les valeurs de pH du jus de fruit étaient comprises entre 3,30 et 3,56 dans 14 génotypes et entre 3,56 et 3,90 dans 11 génotypes des échantillons. Les mesures ont été répétées dans la même étude pour l'année suivante. Le pH du jus de fruit a été trouvé 3,6-4,0 dans 8 génotypes, 4,00-4,40 dans 17 génotypes [307]. Les valeurs de pH obtenues dans notre étude étaient en parallèle pendant les deux années de notre études (pH=2,76-3,79) avec les valeurs de différentes études.

Comme autre caractéristique importante, nous avons vérifié les niveaux de l'acide citrique dans notre étude. Les niveaux de l'acide dans les échantillons de fruits étaient entre 0,31 et 5,03 mg/100 g.

Des examens antérieurs effectués chez les génotypes de grenadier ont montré un niveau de vitamine C de 18-78 mg/100 g [315] et encore entre 62 et 100 mg/100 g [289].

Selon les résultats de Cicek et al. en 2019 [289] les valeurs de la vitamine C ont été déterminées entre 62 et 110 mg/100 g. Le total des sucres solubles (TSS) était compris entre 15,0 et 21,0%. La valeur du pH des fruits a été déterminée entre 3,42 et 3,83 %. L'acidité titrable du jus de fruit variait entre 0,65 et 1,21%. Dans l'étude menée par (Cicek et al. [289]), l'acidité se situait entre 0,5 et 0,9% dans sept génotypes (70%) et 0,9-1,3 dans trois génotypes (30%). Dans une étude réalisée dans la région méditerranéenne, l'acidité des jus de fruits variait entre 0,13 et 1,63 [292]. Dans une autre étude menée dans la région méditerranéenne, la teneur minimale en acide a été déterminée comme étant de 0,20 %; la quantité la plus élevée d'acide a été déterminée comme étant de 2,5 % [331]. Les résultats de SST sont comparables à ceux trouvés par Akbarpour et al. [316] dans des grenades cultivées (15,17 à 22,03 °Brix). Hasnaoui et al. [175] ont également rapporté des résultats similaires pour les sucres solubles dans les fruits de grenadiers sauvages et cultivés, allant de 17,57 à 19,99 mg / 100 g et de 13,13 à 16,55 mg / 100 g de fruits. La gamme de variation des SST obtenue dans notre collection est comparable à celle rapportée dans plusieurs études

antérieures réalisées en Espagne, où le climat est assez similaire à celui du nord du Maroc. Ainsi, le SST a été rapporté dans la gamme de 14,31 et 15,81 °Brix [317], 14,79 - 15,81 °Brix [311], 11,94 - 14,84 °Brix [317], 13,73 - 17,60 °Brix [94] et 12,36 - 16,32 °Brix [300]. En outre, dans d'autres études, les SST ont été signalés dans les fourchettes suivantes, 15,40-16,50 °Brix (Thakur et al. [318]) et 15,50 - 16,40 °Brix (Singh et Kingsley [319]). Il convient de noter que la teneur élevée en SST est un trait hautement souhaitable pour la consommation fraîche ainsi que dans l'industrie alimentaire, en particulier dans la transformation du jus de grenade, car elle combine la douceur et la saveur (Khadivi et al. [327]). Les niveaux rapportés de nos résultats pour l'AT étaient généralement similaires à ceux rapportés par (Nuncio-Jáuregui et al. [320]); (Calín-Sánchez et al. [321]) et (Dandachi et al. [322]). Le fait que les résultats obtenus semblent avoir des intervalles de variation plus grands que ceux trouvés dans les études précédentes peut être attribué aux différences génétiques, en plus du facteur environnemental et des pratiques agricoles. Fernandes et al [276] ont indiqué que lorsque le MI varie entre 11 et 16, les grenades sont considérées comme assez savoureuses. Ainsi, en prenant en compte nos résultats, les génotypes locaux récoltés en 2018 ('OunH', 'Sef2', 'Sefr', 'Gjba', 'Chkh') sont considérés comme savoureux. Nos résultats de 2018 sont en accord avec ceux de (Chandra et al. [323]) pour l'indice de maturité qui varie de 4,31 à 38,62. Les solides totaux solubles (Brix) et l'acidité sont des indices généralement satisfaisants pour de nombreux fruits. La variation de cet indice fait référence à l'équilibre entre l'augmentation de la concentration en sucre et la diminution de l'acidité titrable au cours des processus de maturation [324].

Les résultats obtenus sont en concordance avec les résultats de Cicek et al. [289] qui ont mentionné que les sucres solubles totaux(TSS) variaient de 15,0 à 21,0 %. 21.0%.

Tableau 16: caractérisation chimique de la récolte de 2018.

Genotypes	°Brix	PH	AT (g) acide citrique/100ml	IM
Bzou	15,7 ^{abcde}	3,69 ^{abc}	0,91 ^b	17,25 ^{abc}
Chel	14,6 ^{cdef}	3,48 ^{abcde}	0,87 ^b	18,88 ^{abc}
Chkh	16 ^{abcde}	3,3 ^{cde}	1,11 ^b	14,38 ^{bcd}
Djeb	15,23 ^{bcdef}	3,62 ^{abc}	0,76 ^b	20,11 ^{ab}
Dwar	16,2 ^{abcde}	3,48 ^{abcde}	1,32 ^b	12,96 ^{bcd}
Gjba	15,23 ^{bcdef}	3,13 ^e	1,2 ^b	14,05 ^{bcd}
Gord	13,53 ^f	3,41 ^{abcde}	1,01 ^b	13,37 ^{bcd}
GJau	17,03 ^{ab}	3,63 ^{abc}	0,96 ^b	18,51 ^{abc}

GRou	16,17 ^{abcde}	3,71 ^{ab}	0,76 ^b	21,64 ^a
Khik	15,6 ^{abcde}	3,5 ^{abcde}	0,99 ^b	15,73 ^{abc}
Mola	16,43 ^{abc}	3,76 ^a	1,11 ^b	14,84 ^{abcd}
Negr	16,4 ^{abcd}	3,43 ^{abcde}	5,03 ^a	3,33 ^e
OunH	14,57 ^{ef}	2,76 ^f	1,23 ^b	11,93 ^{cd}
Ruby	16,47 ^{abc}	3,42 ^{abcde}	1,21 ^b	13,66 ^{bcd}
Sefr	16,07 ^{abcde}	3,33 ^{bcde}	1,17 ^b	13,79 ^{bcd}
Sef2	15,2 ^{abc}	3,21 ^{de}	1,17 ^b	12,96 ^{bcd}
Wond	17,17 ^a	3,56 ^{abcd}	4,23 ^a	8,53 ^d
ZhAu	14,83 ^{bc}	3,7 ^{abc}	0,89 ^b	17,02 ^{abc}
ZhPr	15,93 ^{abcde}	3,74 ^a	0,89 ^b	17,81 ^{abc}

Chel:Chelfi, Chkh:Chioukhi, Djei:Djebi, Dwar: Dwarf semi evergreen, Gjeb:Gjbali, Gord: Gorde de jativa, GJau:Gr jaune, GRou:Gr Rouge, Khik:Khikho, Mola: Mollar Osin Hueso, Negr: Negro montinoso, OunH: Ounk hnam, Ruby:Ruby, Sefr: Sefri, Sef2: Sefri 2, Wond:Wonderful, ZhAu: Zheri d'automme, ZhPr: Zheri precoce

Par rapport à nos résultats, les différences constatées peuvent être attribuées à la diversité qui se produit dans les ressources génétiques de grenade provenant de l'hybridation associée à la propagation végétative et sexuelle [35] qui ont donné lieu à une grande variété de génotypes.

Le fruit est consommé comme un fruit de table ; en outre, il peut être transformé en jus, sirop, confitures et vin [102]. Bien que la composition chimique du fruit soit affectée par le génotype, la région de culture, le climat, la maturité, les pratiques culturales et le stockage ([325]; [91]), on sait que la grenade est riche en acides organiques, en composés phénoliques, en sucre, en vitamines hydrosolubles et en minéraux. Ces dernières années, on s'est intéressé de plus en plus à la détermination des propriétés antioxydantes des fruits rouges, en raison de leurs riches sources alimentaires de composés phénoliques antioxydants et d'anthocyanes [314].

I.3 Variation des composés biochimiques majeurs du jus

Dans ce Tableau 17, Les paramètres analysés sur 19 génotypes ont concerné l'activité antioxydante, les polyphénols totaux, les flavonoïdes totaux, les anthocyanes totales les tanins hydrosolubles et condensés, les protéines et les sucres, Une gamme très importante de diversité a été observée, les résultats ont montré que les valeurs du potentiel de piégeage

des antioxydants s'oscillaient de 80,3 1% 'OnkH' à 61,36 % 'Bzou' pour les genotypes locaux et de 76,03 % 'Moll' à 50,91 % 'Negr' pour les variétés étrangères, De même, les génotypes étudiés ont montré une variabilité très significative pour la concentration en polyphénol allant de 10,61 g GAE/l à 1,08 g GAE/l pour les genotypes locaux 'Ounk' et 'Djebi' et de 9,29 à 2,36g GAE/l pour les genotypes étrangers 'Negr' et 'Gord', La teneur en anthocyanes totales a varié de 42,08 mg C-3-G/l 'Chiou' à 176,70 mg C-3-G/l 'GRou' pour les genotypes locaux et de 66,24 mg C-3-G/l 'ZhPr' à 433,39 mg C-3-G/l 'Negr', Pour les genotypes étrangers, Les valeurs des tanins hydrosolubles ont fluctué entre 827,15 mg AT/l 'Chel' et 223,61 mg AT/l 'Gjba' pour les genotypes locaux et de 560,01 à 238,45 mg AT/l 'Gord' pour les genotypes étrangers 'Negr' et 'Gord', En ce qui concerne les teneurs des tanins condensés, elles varient entre 682,77 'OnkH' et 298,1'Djei' mg/l du jus pour les genotypes locaux et de 676,93 'Dwar' à 439,77mg/l 'Moll' pour les genotypes étrangers, Les résultats ont montré que les valeurs des Flavonoïdes se oscillaient de 412,66 'Gjbal' à 230,41 mg/l 'Khik' pour les genotypes locaux et de 573,17 'Negr' à 262,31 mg/l 'ZhPr' pour les variétés étrangères, La teneur en sucre soluble total variait de 75,98 g glucose /l 'Khik' à 133,85 g glucose/l 'GRou' pour les genotypes locaux et de 76,98 g glucose /l 'Gord' à 133,16 g glucose /l 'Wond', La teneur en protéines totaux a varié de 4,73 g/l 'Khik' à 8,26 g/L 'Chiou, Chel' pour les genotypes locaux et de 4,53 g/l 'Ruby' à 11,29 g/l 'Wond', La variabilité relevée en termes de composition biochimique étudiée est importante, indiquant l'existence d'une grande diversité génétique au sein de la collection, Ce travail constitue une base de grand intérêt pour le programme de développement de la culture de grenadier au Maroc, Les résultats trouvés ici sont comparables à ceux de Fernandes et al [276] concernant la teneur en flavonoïdes totaux allant de 388 à 455 mg/l sur neuf genotypes de grenadiers cultivés en Espagne, Des intervalles similaires ont également été rapportés par (Thakur et al. [326]), (Sharma et Thakur [328]) et (Sharma [329]), Singh et Sethi [330] ont enregistré une grande variation dans les anthocyanes de sept genotypes de grenade allant de 103,0 à 178,5 mg /kg de fruit, Nos résultats des teneurs en polyphénol sont en accord avec ceux de (Thakur et al. [326]; [352]) et (Sharma & Thakur [328]), (Bar-Ya'akov et al. [331]) ont montré que les anthocyanines sont des métabolites secondaires, La teneur en tanin est un facteur de qualité du fruit de la grenade [332].

Tableau 17: caractérisation biochimique de la recolte de 2018.

Variétés	Polyphénols (g EAG/l)	Anthocyanins (mg C3G/100ml)	Tanins Hydrosolubles (mg EAT/l)	Tanins condensés (mg EAT/l)	Falvonoids (mg EQ/l)	Sucres g glucose /l	Proteins g ESAB/l	Antioxydant A. DPPH (%)
<i>Bzou</i>	1,35 ^{efg}	90,37 ^{cde}	292,87 ^b	554,6 ^c	318,86 ^{defg}	128,92 ^{ab}	6,64 ^{bcd}	61,36 ^b
<i>Chel</i>	10,55 ^a	84,83 ^{de}	827,15 ^a	637,6 ^b	300,24 ^{defg}	88,07 ^e	8,26 ^b	80,02 ^b
<i>Chkh</i>	3,93 ^{de}	42,08	426,44 ^b	465,27 ^{de}	259,9 ^g	131,2 ^{ab}	8,26 ^b	67,64 ^b
<i>Djeb</i>	1,08 ^{fg}	125,85 ^{cde}	431,38 ^b	298,1	312,14 ^{defg}	96,67 ^{de}	6,72 ^{bcd}	70,55 ^b
<i>Dwar</i>	4,13 ^{de}	141,16 ^{cde}	411,6 ^b	676,93 ^a	346,97 ^{bcd}	136,95 ^a	8,59 ^b	72,82 ^b
<i>Gjba</i>	10,45 ^a	156,08 ^{cde}	223,61	329,93	412,66 ^b	101,27 ^{de}	5,44 ^{cd}	69,97 ^b
<i>Gord</i>	2,36 ^{ef}	117,34 ^{cde}	238,45 ^b	463,43 ^{de}	375,59 ^{bc}	76,98	6,87 ^{bcd}	65,61 ^b
<i>GJau</i>	2,59 ^{def}	173,36 ^{cd}	258,24 ^b	443,77 ^{de}	341,1 ^{bcd}	99,38 ^{de}	6,75 ^{bcd}	65,91 ^b
<i>GRou</i>	1,15 ^{fg}	176,7 ^c	282,97 ^b	577,6 ^c	332,48 ^{defg}	133,85 ^a	5,85 ^{cd}	75,07 ^b
<i>Khik</i>	1,83 ^{def}	45	381,91 ^b	439,27 ^e	230,41	75,98	4,73 ^d	73,83 ^b
<i>Mola</i>	3,28 ^{def}	112,8 ^{cde}	268,13 ^b	439,77 ^e	275,76 ^{efg}	113,27 ^{bcd}	5,79 ^{cd}	76,03 ^b
<i>Negr</i>	9,29 ^{ab}	433,39 ^a	560,01 ^{ab}	586,1 ^c	573,17 ^a	127,78 ^{ab}	6,47 ^{bcd}	50,91
<i>OunH</i>	10,61 ^a	76,26 ^e	332,44 ^b	682,77 ^a	289,03 ^{defg}	88,71 ^e	6,99 ^{bc}	80,02 ^b
<i>Ruby</i>	4,08 ^{de}	141,22 ^{cde}	367,07 ^b	452,1 ^{de}	361,45 ^{bcd}	122,86 ^{abc}	4,53	75,81 ^b
<i>Sefr</i>	2,06 ^{ef}	111,08 ^{cde}	579,8 ^{ab}	476,6 ^{de}	314,03 ^{defg}	95,48 ^{de}	6,55 ^{bcd}	72,6 ^b
<i>Sef2</i>	1,42 ^{efg}	94,85 ^{cde}	569,9 ^{ab}	653,85 ^{ab}	330,41 ^{defg}	96,1 ^{de}	6,01 ^{cd}	80,31 ^b
<i>Wond</i>	5,6 ^{cd}	311,91 ^b	550,11 ^{ab}	638,93 ^b	543,69 ^a	133,16 ^a	11,29 ^a	64,66 ^b
<i>ZhAu</i>	8.30 ^{bc}	84,39 ^{de}	287,92 ^b	586,77 ^c	308,34 ^{defg}	103,74 ^{de}	6,68 ^{bcd}	66,73 ^b
<i>ZhPr</i>	9,08 ^{ab}	66,24 ^e	322,55 ^b	478,93 ^d	262,31 ^{fg}	109,88 ^{cd}	6,47 ^{bcd}	73,65 ^b

Chel:Chelfi, Chkh:Chioukhi, Djei:Djebi, Dwar: Dwarf semi evergreen, Gjeb:Gjbali, Gord: Gorde de jativa, GJau:Gr jaune, GRou:Gr Rouge, Khik:Khikho, Mola: Mollar Osin Hueso, Negr: Negro montinoso, OunH: Ounk hmam, Ruby:Ruby, Sefr: Sefri, Sef2: Sefri 2, Wond:Wonderful, ZhAu: Zheri d'automme, ZhPr: Zheri precoce.

Deuxième partie: Effet de l'année de récolte (2009, 2017 et 2018) sur la qualité de la grenade

II. Variation de la qualité de grenade en fonction de l'année de récolte.

II.1 Analyses de l'effet variétal, de l'année (2009, 2017 et 2018) et l'interaction des deux effets sur les paramètres de qualité des fruits.

Nous avons étudié l'effet de trois facteurs, qui sont l'année, la variété et l'interaction de l'année avec la variété du fruit, sur les paramètres physiques et chimiques du grenadier, comme représenté au niveau du Tableau 18 :

Tableau 18: Analyse de la variance de l'effet de la variété et de l'année de récolte sur les paramètres de qualité des fruits de grenade.

	D	WFr	DFr	HFr	Dca	Hca	NbrSp	Wen	Tec	WPe	YAr	YSe	Yju	WAr	LAr	WdAr	PH	TSS	AT	IM
Année	2	661040,4	1432,	1193,79	444,5	145,9	4,83**	43851,	57,6	11377,	3728,	653,4	3336,	92085,9	30,25	94,17**	2,53	155,6	12,80	44638,
		8***	77***	305***	0***	5***	*	42***	1***	42***	01***	6***	28***	0***	****	**	****	2****	****	89****
Variété	1	174478,9	3560,	2094,39	269,7	269,7	4,45**	15363,	6,16	661,02	454,8	43,19	4121,	207718,	38,49	16,16**	0,39	4,26*	0,67*	1234,9
	8	9****	72***	105***	5****	5***		33****	****	****	6****	****	35NS	45****	****	**	****	***	***	5****
			*	*																
Année*	3	59084,38	683,2	465,516	129,9	63,17	2,03**	4573,8	1,80	339,96	113,8	20,52	944,7	39354,3	3,50*	2,15****	0,25	3,05*	1,05*	669,25
Variété	3	****	1****	29****	3****	****	**	3****	****	****	4****	****	6NS	4****	***	*	****	***	***	****

NS : non significatif ; ** ; * ; **** indiquent une différence significative au niveau de 0,01 et 0,001 ; 0,0001 respectivement.**

WFr: Fruit weight (g); **DFr:** Fruit diameter (mm); **Dca:** Calyx diameter (mm); **HFr:** Fruit height (mm); **Hca:** Calyx height (mm); **NbrSp:** Number of sepals; **Wen:** Skin weight + endocarp; **Tec:** Skin thickness (mm); **WPe:** Seed weight (g); **YAr:** Aril yield (%); **YSe:** Seed/fruit yield (%); **YJu:** Juice/fruit yield; **WAr:** Aril weight (mg); **LAr:** Aril length (mm); **WdAr:** Aril width (mm); **AT:** Titratable acidity; **TSS:** Total soluble-sugar %; **IM:** Maturity index.

Le Tableau 18 montre l'influence des trois facteurs précités : l'année, la variété et l'interaction de l'année avec la variété, sur les paramètres physiques et chimiques du grenadier.

D'après les résultats obtenus, nous remarquons d'une part, que l'année a un effet très hautement significatif sur le poids, le diamètre de fruit, la longueur du fruit, le diamètre du calice, la hauteur du calice, le nombre de sépales, le poids d'écorce + l'endocarpe, l'épaisseur de l'écorce, le poids des pépins, le rendement en arille/fruit, le rendement en pépins/fruit, le rendement du jus/fruit, le poids d'arille, la longueur d'arille, la largeur d'arille, le pH, le taux des sucres solubles, l'acidité titrable, et l'indice de maturité.

D'autre part, au premier lieu le changement de la variété, a un effet très hautement significatif sur la plupart des paramètres à savoir : le poids du fruit, le diamètre du fruit, la longueur du fruit, le diamètre de calice, la hauteur du calice, le poids d'écorce et l'endocarpe, l'épaisseur de l'écorce, le poids des pépins, le rendement en arille, et en pépins, le poids d'arille, la longueur d'arille, la largeur d'arille, le pH, le taux des sucres solubles, et l'acidité titrable et l'indice de maturité. En deuxième lieu, la diversité variétale a un effet très significatif sur le nombre de sépales. Néanmoins, elle n'a pas d'effet significatif sur le rendement en jus / fruits.

Quant au facteur d'interaction de l'année avec la variété, il a un effet très hautement significatif sur la quasi-totalité des paramètres, en particulier, le poids du fruit, le diamètre du fruit, la longueur du fruit, le diamètre de calice, la hauteur du calice, le nombre de sépales, le poids d'écorce et l'endocarpe, l'épaisseur de l'écorce, le poids des pépins, le rendement en arille, et en pépins, le poids d'arille, la longueur d'arille, la largeur d'arille, le pH, le taux des sucres solubles, l'acidité titrable et l'indice de maturité. Cependant le facteur d'interaction de l'année avec la variété ne présente aucun effet significatif sur le rendement de jus/ fruit.

II.2 Analyse de la variance pour l'effet de l'année de récolte sur les paramètres étudiés.

L'année 2018 présente un effet très hautement significatif sur la totalité des paramètres physiques et chimiques étudiés à l'exception du rendement en pépins et le taux des sucres solubles où l'effet est respectivement non significatif et significatif Tableau 19.

L'année de récolte 2009 a un effet très hautement significatif sur tous les paramètres des géotypes étudiés. À l'exception de nombre de sépales dont l'effet est non significatif.

Quant aux points de différences au niveau de l'année 2017, il y'a d'une part, un effet très hautement significatif sur le poids, le diamètre, et la longueur du fruit, le diamètre et la hauteur du calice, le nombre de sépales, l'épaisseur de l'écorce et l'acidité titrable.

D'autre part, elle présente un effet hautement significatif sur le rendement en pépins et sur l'indice de maturité et le rendement en arille et un effet non significatif sur le poids des pépins, le rendement de jus/fruit, le poids, la longueur et la largeur des arilles, le pH et le taux des sucres solubles.

Ceci dit, nous pouvons conclure que la différenciation de l'année de récolte agit différemment sur les paramètres de qualité du fruit, étant donné que nous avons noté que les résultats de l'année de récolte 2018 étaient plus contigus à ceux de l'année 2009 qu'à ceux de l'année 2017.

Tableau 19: Analyse de la variance de l'effet de l'année de récolte sur les paramètres de qualité du fruit de la grenade.

	2009	2017	2018
DF	18	18	18
WFr	86467,107*****	160832,36*****	108947,33*****
DFr	608,11*****	686,82*****	1324,73*****
HFr	1052,47*****	959,26*****	1828,35*****
Dca	102,71*****	215,36*****	385,61*****
Hca	74,48*****	82,56*****	241,54*****
NbrSp	0,80NS	2,75*****	5,63*****
Wen	6916,52*****	5700,61*	23583,74*****
Tec	0,94***	2,79***	6,24*****
WPe	423,80*****	636,65NS	402,21*****
YAr	139,25***	81,17*	483,42*****
YSe	39,50*****	9,68**	316195,94NS
Yju	121,16***	34,11NS	5730,21*****
WAr	197009,61*****	16501,40NS	100779,74*****
LAr	22,56*****	2,43NS	17,47*****
WdAr	12,34*****	0,74NS	6,82*****
PH	0,62*****	0,03NS	0,18***
TSS	68,15*****	3,10NS	2,34*
AT	0,68*****	0,003***	3,81*****
IM	1415,55*****	99210,17*	51,02***

WFr : Poids du fruit (g) ; DFr : Diamètre du fruit (mm) ; Dca : Diamètre du calice (mm) ; HFr : Longueur du fruit (mm) ; HCa : Hauteur du calice (mm) ; NbrSp : Nombre de sépales ; WEn : Poids de l' + endocarpe ; Tec : Epaisseur de l' épicarpe (mm) ; WPe : Poids de la graine (g) ; YAr : Rendement en arilles (%) ; YSe : Rendement graine/fruit (%) ; YJu : Rendement jus/fruit ; WAr : Poids de l'arille (mg) ; LAr : Longueur de l'arille (mm) ; WdAr : Largeur de l'arille (mm) ; AT : Acidité titrable ; TSS : Solides solubles totaux (%) ; IM : Indice de maturité.

II.3 Moyenne des caractères physiques et chimiques du fruit des différentes années de récolte.

Il ressort du Tableau, 20 que l'année de récolte 2017 a enregistré la valeur moyenne la plus élevée de la plupart des paramètres physiques du fruit, à savoir :

- Par rapport à 2018 et 2009, le poids du fruit présente des différences significatives de 22,8% et 9,15%, et le diamètre et la hauteur du fruit sont d'une différence de 13,5% et 4% par rapport à 2018 et 2009.
- Le diamètre du calice des fruits récoltés en 2017 est le plus élevé, suivi de 2018, et enfin celui des fruits récoltés en 2009, avec un écart respectivement de 11% et 6.5%
- Le poids de l'écorce des fruits récoltés en 2017 se classe en premier lieu avec une différence de 34%, 18% par rapport aux 2009 et 2018
- L'épaisseur de l'écorce la plus importante provient de l'année de récolte 2017 avec un écart de 44%, 20% par rapport 2009 et 2018 notons que le poids de l'écorce de fruit peut être affecté par le dessèchement de fruit avant l'analyse
- Le poids d'arille des grenades qui présentent le poids d'arille le plus grand sont ceux récoltés en 2017, suivi de l'année de récolte 2009, puis de l'année de récolte 2018, avec un écart de 3% et de 12%.

Tableau 20: Moyenne des caractères physiques et chimiques du fruit du grenadier des différentes années de récolte.

	2009	2017	2018
DF	18	18	18
WFr	321,33 ^b	353,68 ^a	273,02 ^c
DFr	83,42 ^b	94,80 ^a	81,99 ^b
HFr	87,46 ^b	90,02 ^a	86,61 ^b
Dca	20,31 ^c	22,76 ^a	21,29 ^b
Hca	15,60 ^b	15,17 ^b	16,67 ^a
NbrSp	6,91 ^a	6,69 ^b	6,59 ^b
Wen	97,16 ^c	146,8 ^a	120,92 ^b
Tec	2,23 ^c	3,98 ^a	3,2 ^b
WPe	47,03 ^a	48,16 ^a	29,66 ^b
YAr	71,05 ^a	61,70 ^b	61,15 ^b
YSe	14,47 ^a	12,50 ^b	9,54 ^c
Yju	41,71 ^{ab}	39,95 ^b	49,84 ^a

WAr	359,16 ^c	401,71 ^a	388,76 ^b
LAr	11,27 ^c	11,62 ^a	10,84 ^b
WdAr	7,15 ^b	6,66 ^c	7,94 ^a
PH	3,17 ^c	3,6 ^a	3,49 ^b
TSS	14,95 ^c	18,23 ^a	15,67 ^b
AT	0,58 ^b	0,24 ^c	1,23 ^a
IM	42,18 ^b	78,50 ^a	15,66 ^c

WFr : Poids du fruit (g) ; DFr : Diamètre du fruit (mm) ; Dca : Diamètre du calice (mm) ; HFr : Longueur du fruit (mm) ; HCa : Hauteur du calice (mm) ; NbrSp : Nombre de sépales ; WEn : Poids de l' épicarpe + endocarpe ; Tec : Epaisseur de l' épicarpe (mm) ; WPe : Poids de la graine (g) ; YAr : Rendement en arilles (%) ; YSe : Rendement graine/fruit (%) ; YJu : Rendement jus/fruit ; WAr : Poids de l'arille (mg) ; LAr : Longueur de l'arille (mm) ; WdAr : Largeur de l'arille (mm) ; AT : Acidité titrable ; TSS : Solides solubles totaux (%) ; IM : Indice de maturité.

La longueur d'arille la plus élevée selon le tableau 20 correspond à celle observée chez les fruits récoltés en 2017, suivi de l'année de récolte 2009, puis de l'année de récolte 2018, avec un écart de 7% et de 3%.

En 2018, seuls trois paramètres physiques ont été affectés, à savoir la hauteur du calice, la largeur de l'arille, et le rendement de jus/ fruit, donc, nous avons remarqué que les fruits récoltés durant cette année ont les calices les plus longs et les arilles les plus larges avec un rendement en jus important par rapport aux autres années avec un écart de 9%, 16% et 20% respectivement par rapport 2017 et d'un écart de 7%, 10% et 10.31% par rapport 2009.

L'année 2009 a directement affecté le nombre de sépales, le rendement des arilles et des pépins. Comme le Tableau 20 montre, il y a un grand nombre de sépales dans les fruits récoltés en 2009, suivis des fruits de 2017 et 2018. D'après le Tableau 18 on remarque que les grenades récoltées en 2009 avaient le nombre de sépales, le rendement en arille et en pépins les plus élevés avec un écart varie respectivement entre 5%, 14% et 52% en 2017 et de 3%, 13%, 14% en 2009.

D'après le Tableau on constate que les années de récoltes 2017 et 2009 n'ont aucun effet sur le poids des pépins, leurs résultats, différent de 38 % des fruits récoltés en 2018.

Selon les résultats des analyses chimiques, il est constaté que les fruits les plus sucrés et qui ont le taux d'acidité le plus faible sont ceux qui possèdent des valeurs élevées en Brix et en pH. En 2017, presque tous les paramètres chimiques ont été affectés, y compris le pH, le TSS et l'indice de maturité, dont les fruits récoltés en 2017 ont le pH, le Brix et l'indice de maturité le plus élevé avec une différence significative de 12%, 18% et 46% respectivement par rapport 2009 et d'un écart de 3, 14, 80% par rapport 2018. Concernant

l'acidité titrable le Tableau 20 montre que les grenades qui ont une acidité importante sont ceux récoltés en 2018 avec un écart de 80% et 53% par rapport aux autres années respectivement 2009 et 2017.

Ces différences dans les résultats pourraient être attribuées à la fois aux variétés testées et aux conditions agroclimatiques.

Les contraintes climatiques en début de cycle, pendant les phases de division cellulaire, entraînent une réduction du calibre des fruits à la récolte, par exemple, chez les citrus (clémentinier), la phase la plus critique est la période floraison fécondation (Gonzales-Altozano et Castel. [333]) ont enregistré une chute de rendement de 30 à plus de 60%, mais avec une taille de fruit relativement constante. Cette période pourrait être critique aussi par un déficit de fécondation, notamment chez des fruits comme le kiwi et la baie du raisin, où le nombre des arilles ou des pépins est relié directement à la taille du fruit. En revanche, chez la vigne, la période suivante, de la floraison – à la véraison (division cellulaire) et élargissement rapide des baies et pépins (Ojeda et al. [334]; Deloire et al. [335]; Huglin. [336]). Chez l'abricot, une croissance réduite pendant cette phase est récupérable pendant la phase de croissance rapide, si les conditions climatiques sont favorables [337]. Des contraintes climatiques plus tardives modifient les teneurs en sucres, acides et composés antioxydants. En revanche, dans nos résultats basés sur les données climatiques de la figure 26, par rapport à 2017 et 2018, la période critique (floraison, maturité) de la grenade de l'année de récolte 2009 a des températures plus basses. Selon (Coutanceau et al. [338]), la maturité gustative est atteinte lorsque la qualité maximale du fruit est obtenue ; avant cette période l'acidité est souvent excessive et la teneur en sucre et l'arôme sont insuffisants. L'acidité des fruits de l'abricot peut atteindre jusqu'à plus de 3% de la matière fraîche [339].

II.4 Caractérisation physique des fruits des géotypes des 3 années de récoltes.

Les caractères pomologiques des différentes variétés récoltées pendant 3 années, présentées au niveau du Tableau 21, ont montré une significative différenciation. Le poids moyen des fruits s'est situé entre (463,13g_436.20g ; 'Khik'_'Sefri') et (214.94g 'Chelfi') (Tableau 21). Shulman et al. [340] a montré que la variation du poids de fruit dépend du géotype et du climat. Le diamètre et la longueur du fruit varient respectivement entre (99,26_94.39; 'Khik'_'Sefri') et (74,57; 'Chelfi'), et entre (106,24_99.58; 'Khik'_'Sefri') et (78,35 ; 'Chelfi').

Quant au diamètre et à la hauteur du calice on voit d'après le Tableau qu'ils varient respectivement entre (29,39_25,11 ; 'Khik'_'OunH') et (18,97 ; 'Gord') et entre (22,04_18,29 ; 'OunH'_'Sefri') et (13,19 ; 'Mola').

En ce qui concerne le nombre de sépales et le poids de l'écorce on retient du Tableau ci-dessous que ces paramètres physiques diffèrent de (7,11_7,08 ; ' OunH ' ; 'Dwar') à (5.87 ;' Negr '), et de (251,96 ; ' Khik ') et (78,28 ; ' ZhPr ') respectivement.

Pour l'épaisseur du calice et le rendement des fruits en jus, varient entre (4,21 ; ' Khik ') et (1,92 ; ' Gord'), et entre (51,77 ; ' Dwar ') et (36,55 ; ' Sefri') respectivement.

Tableau 21: Caractérisation physique des fruits des dix-neuf genotypes étudiés.

Genotypes	Fruit								
	WFr	DFr	HFr	Dca	Hca	NbrSp	Wen	Tec	Yju
<i>Sefr</i>	436,20 ^a	94,39 ^b	99,58 ^b	23,99 ^{cd}	18,29 ^{bc}	6,85 ^{abcdef}	173,98 ^b	3,95 ^{ab}	36,55 ^c
<i>GJau</i>	356,47 ^b	87,75 ^{de}	89,91 ^{defg}	20,71 ^{fgh}	15,23 ^{fgh}	6,40 ^{gh}	130,41 ^{cde}	3,18 ^{def}	42,29 ^{bc}
<i>Bzou</i>	3512,92 ^b	89,09 ^{bcd}	91,39 ^{cdef}	19,76 ^{ghi}	15,72 ^{efg}	6,41 ^{gh}	122,98 ^{def}	3,03 ^{efg}	44,71 ^{bc}
<i>OunH</i>	351,22 ^{bc}	85,33 ^{def}	92,67 ^{cd}	25,78 ^b	22,04 ^a	7,11 ^a	104,00 ^{fgh}	2,42 ^{ij}	40,66 ^{bc}
<i>Chkh</i>	334,19 ^{bcd}	87,91 ^{de}	93,55 ^c	25,11 ^{bc}	17,78 ^{cd}	6,52 ^{fgh}	148,32 ^c	2,94 ^{efgh}	39,01 ^{bc}
<i>Djei</i>	332,52 ^{bcd}	84,87 ^{ef}	89,70 ^{efg}	19,65 ^{ghi}	13,26 ^e	6,91 ^{abcde}	99,51 ^{gh}	2,40 ^{ij}	47,75 ^{bc}
<i>GRou</i>	325,61 ^{bcde}	88,11 ^{cd}	89,22 ^{fg}	21,49 ^{ef}	14,83 ^{gh}	6,57 ^{efgh}	121,66 ^{ef}	2,85 ^{fghi}	39,17 ^{bc}
<i>Wond</i>	320,84 ^{cde}	86,49 ^{def}	92,68 ^{cd}	19,52 ^{ghi}	16,36 ^{ef}	6,02 ^{ig}	142,48 ^{cd}	3,63 ^{bcd}	39,04 ^{bc}
<i>Gord</i>	306,51 ^{def}	83,89 ^{ef}	85,08 ^h	18,97 ⁱ	15,48 ^{efgh}	6,57 ^{defgh}	83,62 ^{hi}	1,92 ^k	51,77 ^a
<i>Gjeb</i>	305,42 ^{def}	86,11 ^{def}	84,08 ^{hi}	23,50 ^{cd}	14,52 ^{ghe}	7,03 ^{abc}	126,86 ^{de}	3,38 ^{cde}	37,97 ^c
<i>Dwar</i>	299,52 ^{efg}	83,84 ^{ef}	92,12 ^{cde}	22,60 ^{de}	18,04 ^{cd}	7,08 ^{ab}	129,74 ^{cde}	3,77 ^{abc}	41,43 ^{bc}
<i>Ruby</i>	277,60 ^{fgh}	81,59 ^{fg}	87,97 ^g	21,44 ^{ef}	16,28 ^{ef}	6,74 ^{bcdefg}	124,07 ^{def}	3,35 ^{cde}	42,99 ^{bc}
<i>Mola</i>	275,35 ^{fgh}	81,93 ^{fg}	83,14 ^{hij}	19,17 ^{hi}	13,19 ^e	6,50 ^{fgh}	97,52 ^{ghi}	2,56 ^{hij}	45,14 ^{bc}
<i>ZhAu</i>	273,19 ^{gh}	75,87 ^h	81,17 ^j	21,10 ^{efg}	14,47 ^{ghe}	6,45 ^{gh}	96,09 ^{hi}	3,25 ^{def}	44,35 ^{bc}
<i>ZhPr</i>	250,33 ^h	80,72 ^{gh}	81,94 ^{ij}	19,89 ^{fghi}	14,68 ^{gh}	6,72 ^{cdefg}	78,28 ⁱ	2,58 ^{hij}	47,70 ^{bc}
<i>Khik</i>	463,13 ^a	99,26 ^a	106,24 ^a	29,39 ^a	19,58 ^b	6,59 ^{defgh}	251,96 ^a	4,21 ^a	37,91 ^c
<i>Negr</i>	317,50 ^{de}	85,97 ^{def}	89,94 ^{defg}	20,35 ^{fghi}	14,19 ^{he}	5,87 ^g	124,40 ^{def}	2,97 ^{efgh}	42,04 ^{bc}
<i>Sef2</i>	353,51 ^b	85,70 ^{def}	89,73 ^{efg}	19,07 ⁱ	14,80 ^{gh}	6,27 ^{hi}	118,11 ^{efg}	2,37 ^j	46,09 ^{bc}
<i>Chel</i>	214,94 ⁱ	74,57 ^h	78,35 ^k	21,50 ^{ef}	16,73 ^{de}	6,92 ^{abcd}	84,11 ^{hi}	2,71 ^{ghig}	38,71 ^{bc}
CV%	25,53	28,90	8,29	19,47	23,58	13,57	25,24	23,91	16,10

Chel:Chelfi, Chkh:Chioukhi, Djei:Djebi, Dwar: Dwarf semi evergreen, Gjeb:Gjbali, Gord: Gorde de javata, GJau:Gr jaune, GRou:Gr Rouge, Khik:Khikho, Mola: Mollar Osin Hueso, Negr: Negro montinoso, OunH: Ounk hmam, Ruby:Ruby, Sefr: Sefri, Sef2: Sefri 2, Wond:Wonderful, ZhAu: Zheri d'automne, ZhPr: Zheri precoce.

WFr : Poids du fruit (g) ; DFr : Diamètre du fruit (mm) ; Dca : Diamètre du calice (mm) ; HFr : Longueur du fruit (mm) ; HCa : Hauteur du calice (mm) ; NbrSp : Nombre de sépales ; WEn : Poids de l'épicarpe + endocarpe ; Tec : Epaisseur de l'épicarpe (mm) ; WPe : Poids de la graine (g) ; YJu : Rendement jus/fruit.

II.5 Caractérisation physique des arilles et des pépins de dix-neuf genotypes des 3 années de récoltes.

Les résultats obtenus pour les caractéristiques physiques des arilles et des pépins de différents genotypes sont présentés dans le Tableau 22. Une variabilité significative a été révélée entre les genotypes de grenade pour tous les paramètres étudiés, dont on remarque

que le poids, la longueur, la largeur et le rendement des arilles varient respectivement entre (670,42 ‘ Khik ’ et 266,98 ‘ OunH ’), (12,70 ‘ Khik ’ et 9,71 ‘ OunH ’), (9,23 ‘ Khik ’ et 6,24 ‘ OunH ’), (73,34 ‘ Gord ’ et 50,65 ‘ Khik ’).

Quant au poids et le rendement des pépins on constate d’après le Tableau que ces deux paramètres diffèrent respectivement de (51,02 ‘ Gord ’ à 28,62 ‘ ZhPr ’), de (16,08 ‘ Gord ’ à 7,87 ‘ Khik ’).

Tableau 22: Caractérisation physique des arilles et des pépins de genotypes étudiés.

Genotypes	Arilles				Pépins	
	WAr	LAr	WdAr	YAr	WPe	YSe
<i>Sefr</i>	484,59 ^b	11,67 ^c	8,15 ^b	55,70 ^j	45,03 ^{ab}	10,16 ^f
<i>GJau</i>	354,13 ^h	10,96 ^{ef}	7,04 ^g	63,27 ^{fghi}	44,66 ^{abc}	11,52 ^{bcd}
<i>Bzou</i>	389,83 ^{ef}	11,22 ^e	7,59 ^{de}	65,84 ^{def}	43,12 ^{bc}	11,39 ^{cde}
<i>OunH</i>	266,98 ^l	9,71 ⁱ	6,24 ^h	65,66 ^{defg}	38,18 ^{cde}	11,99 ^{bc}
<i>Chkh</i>	473,67 ^{bc}	11,81 ^{cd}	8,01 ^{bc}	59,81 ⁱ	38,99 ^{bcde}	10,10 ^{fg}
<i>Djei</i>	403,06 ^e	11,13 ^e	7,44 ^{ef}	71,28 ^{ab}	43,92 ^{bc}	12,44 ^{bc}
<i>GRou</i>	377,98 ^{fgh}	10,69 ^f	7,45 ^{ef}	62,29 ^{ghi}	41,87 ^{bcd}	12,05 ^{bc}
<i>Wond</i>	306,01 ^{ij}	10,15 ^{gh}	7,04 ^{fg}	59,97 ⁱ	41,76 ^{bcd}	11,88 ^{bcd}
<i>Gord</i>	387,35 ^{efg}	12,03 ^{bc}	7,77 ^{cde}	73,34 ^a	51,02 ^a	16,08 ^a
<i>Gjeb</i>	293,99 ^{jk}	9,88 ^{hi}	6,99 ^g	60,90 ^{hi}	39,13 ^{bcde}	12,68 ^b
<i>Dwar</i>	363,09 ^{gh}	10,76 ^f	7,64 ^{de}	61,44 ^{hi}	31,24 ^{fg}	8,98 ^{gh}
<i>Ruby</i>	371,88 ^{fgh}	11,11 ^{de}	7,80 ^{cd}	60,56 ^{hi}	33,59 ^{efg}	9,78 ^{fg}
<i>Mola</i>	442,40 ^d	12,03 ^{bc}	8,16 ^b	62,04 ^{hi}	30,20 ^{fg}	9,78 ^{fg}
<i>ZhAu</i>	456,09 ^{cd}	12,00 ^{bcd}	7,84 ^{bcd}	68,12 ^{bcd}	31,26 ^{fg}	10,30 ^{ef}
<i>ZhPr</i>	311,12 ^{ij}	12,17 ^b	8,01 ^{bc}	70,29 ^{abc}	28,62 ^g	10,05 ^{fg}
<i>Khik</i>	670,42 ^a	12,70 ^a	9,23 ^a	50,65 ^k	41,81 ^{bcd}	7,87 ^h
<i>Negr</i>	321,07 ⁱ	10,71 ^f	7,15 ^{fg}	63,90 ^{efgh}	41,43 ^{bcd}	12,06 ^{bc}
<i>Sef2</i>	380,49 ^{efg}	11,18 ^e	7,44 ^{ef}	67,21 ^{cde}	36,08 ^{def}	10,16 ^f
<i>Chel</i>	280,82 ^{kl}	10,24 ^g	7,00 ^g	66,51 ^{def}	30,66 ^{fg}	12,22 ^{bc}
CV%	15.21	7.26	9.94	9.44	25.42	16.10

Chel:Chelfi, Chkh:Chioukhi, Djei:Djebi, Dwar: Dwarf semi evergreen, Gjeb:Gjbali, Gord: Gorde de jativa, GJau:Gr jaune, GRou:Gr Rouge, Khik:Khikho, Mola: Mollar Osin Hueso, Negr: Negro montinoso, OunH: Ounk hmam, Ruby:Ruby, Sefr: Sefri, Sef2: Sefri 2, Wond:Wonderful, ZhAu: Zheri d’automne, ZhPr: Zheri precoce.

WPe : Poids de la graine (g) ; YAr : Rendement en arilles (%) ; YSe : Rendement graine/fruit (%) ; WAr : Poids de l'arille (mg) ; LAr : Longueur de l'arille (mm) ; WdAr : Largeur de l'arille (mm).

II.6 Caractérisation chimique des jus élaborés des genotypes des 3 années de récoltes.

Le Tableau 23 présente les caractéristiques chimiques à savoir le pH, le taux des sucres solubles, l'acidité titrable, et l'indice de maturité des jus élaborés des 19 genotypes, on remarque que ces derniers varient respectivement entre (3,78 'Bzou' et 2,79 'OunH'), (17,63 'Wond' et 14,52 'Sef2'), (2,87 'Negr' et 0,37 'GRou'), (63,75 'GJau' et 8,87 'Sef2').

Tableau 23: Caractérisation chimique des jus élaborés des genotypes

Genotypes	PH	TSS	AT	IM
<i>Sefr</i>	3,44 ^{cd}	16,98 ^{ab}	0,53 ^{cde}	53,32 ^{bc}
<i>GJau</i>	3,66 ^{ab}	17,81 ^a	0,40 ^{de}	63,75 ^a
<i>Bzou</i>	3,78 ^a	16,04 ^{bc}	0,87 ^c	28,84 ^{hi}
<i>OunH</i>	2,79 ^f	15,67 ^{cd}	0,64 ^{cde}	52,48 ^{bcd}
<i>Chkh</i>	3,30 ^{de}	16,34 ^{bc}	0,60 ^{cde}	41,54 ^{fg}
<i>Djei</i>	3,37 ^{cd}	16,39 ^{bc}	0,84 ^c	35,48 ^{gh}
<i>GRou</i>	3,52 ^{bc}	16,27 ^{bc}	0,37 ^e	55,72 ^{bc}
<i>Wond</i>	3,41 ^{cd}	17,63 ^a	1,61 ^b	45,78 ^{def}
<i>Gord</i>	3,67 ^{ab}	14,55 ^{de}	0,51 ^{cde}	50,63 ^{bcd}
<i>Gjeb</i>	3,43 ^{cd}	16,44 ^{bc}	0,58 ^{cde}	49,19 ^{cde}
<i>Dwar</i>	3,28 ^{de}	15,54 ^{cde}	0,70 ^{cde}	45,51 ^{def}
<i>Ruby</i>	3,56 ^{bc}	16,27 ^{bc}	0,70 ^{cde}	35,23 ^{gh}
<i>Mola</i>	3,51 ^{bc}	16,32 ^{bc}	0,60 ^{cde}	41,63 ^{fg}
<i>ZhAu</i>	3,38 ^{cd}	16,05 ^{bc}	0,82 ^{cd}	41,68 ^{fg}
<i>ZhPr</i>	3,37 ^{cd}	16,17 ^{bc}	0,39 ^{de}	56,75 ^{ab}
<i>Khik</i>	3,53 ^{bc}	16,14 ^{bc}	0,67 ^{cde}	45,14 ^{ef}
<i>Negr</i>	3,30 ^{de}	15,95 ^{bc}	2,87 ^a	12,72 ^j
<i>Sef2</i>	3,16 ^e	14,52 ^e	1,86 ^b	8,87 ^j
<i>Chel</i>	3,12 ^e	16,36 ^{bc}	0,87 ^c	27,45 ⁱ
<i>CV%</i>	5.66	5.96	48.84	13.94

Chel:Chelfi, Chkh:Chioukhi, Djei:Djebi, Dwar: Dwarf semi evergreen, Gjeb:Gjbali, Gord: Gorde de jativa, GJau:Gr jaune, GRou:Gr Rouge, Khik:Khikho, Mola: Mollar Osin Hueso, Negr: Negro montinoso, OunH: Ounk hnam, Ruby:Ruby, Sefr: Sefri, Sef2: Sefri 2, Wond:Wonderful, ZhAu: Zheri d'automne, ZhPr: Zheri precoce.

AT : Acidité titrable ; TSS : Solides solubles totaux (%) ; IM : Indice de maturité.

Des différences significatives ($P \leq 0,05$) ont été détectées entre les genotypes pour toutes les caractéristiques notées par analyse de variance (Tableau 20, 21, 22). Les valeurs moyennes des caractéristiques morphologiques étudiées ont montré de grandes variations entre les génotypes pour tous les traits mesurés. Les caractéristiques montrant une plus

grande gamme quantitative avaient des coefficients de variation (CV) plus élevés, ce qui signifie des possibilités accrues de sélection pour ces caractéristiques.

En effet la majorité des paramètres mesurés : Poids de fruit (g), Diamètre du fruit (mm), Diamètre du calice (mm hauteur du calice (mm), Nombre de sépales, Poids d'écorce + l'endocarpe, Epaisseur de l'écorce (mm), Poids des pepins (g), Rendement en pépins/fruit (%), rendement en jus /fruit, Poids d'arille (mg), acidité titrable et indice de maturité, ont présenté de grandes variations indiquant une très large gamme génotypique.

II.7 La corrélation entre les caractères physiques et chimiques des géotypes de grenade des genotypes des 3 années de récoltes.

Afin d'identifier les relations entre les caractéristiques agro-morphologiques et physico-chimiques, toutes les années de récolte et les genotypes ont été impliqués dans une corrélation bivariée utilisant le modèle de Pearson.

La corrélation entre chaque paire de caractères a été calculée (Tableau 24). Il a été constaté que plusieurs caractéristiques chimiques étaient en corrélation significative avec les caractéristiques morphologiques des fruits.

Les caractéristiques du fruit telles que le poids du fruit "WFr" est positivement corrélé avec le diamètre du calice DCa ($r = 0,34^{****}$), au HFr ($r = 0,79^{****}$), au NbrSp ($r = 0,14^{****}$), au WEn ($r = 0,82^{****}$), au Tec ($r = 0,39^{****}$), au WPe ($r = 0,67^{****}$), WAr ($r = 0,28^{****}$), au IM ($r = 0,21^{**}$), et qui est corrélé négativement avec YAr ($r = -0,17^{***}$) et WdAr ($r = -0,07^*$).

Le diamètre du fruit "DFr" est corrélé positivement avec WEn ($r = 0,79^{****}$), TEc ($r = 0,43^{****}$), WPe ($r = 0,54^{****}$), WAr ($r = 0,30^{****}$), TSS ($r = 0,2^{**}$), et IM ($r = 0,26^{***}$) et il est négativement corrélés avec YAr ($r = -0,26^{****}$), YSe ($r = -0,12^*$).

Le diamètre du calice "DCa" est corrélé positivement avec HFr ($r = 0,39^{****}$), HCa ($r = 0,22^{****}$), NbrSp ($r = 0,26^{****}$), WEn ($r = 0,47^{****}$), au TEc ($r = 0,33^{****}$), WAr ($r = 0,12^{**}$), et négativement avec YAr ($r = -0,40^{****}$), YSe ($r = -0,25^{****}$), YJu ($r = -0,12^*$) et LAr ($r = -0,08^*$).

La longueur de fruit "HFr" est corrélé positivement avec HCa ($r = 0,43^{****}$), NbrSp ($r = 0,08^*$), WEn ($r = 0,73^{****}$), TEc ($r = 0,33^{****}$), WPe ($r = 0,41^{****}$), et négativement avec YAr ($r = -0,34^{****}$), YSe ($r = -0,17^{***}$) et WAr ($r = -0,3^{****}$).

La hauteur du calice “HCa” est corrélé positivement avec NbrSp ($r = 0,1^{**}$), WEn ($r = 0,15^{**}$), mais elle est corrélée négativement avec YAr($r = -0,21^{****}$), LAr ($r = -0,1^{**}$) et pH ($r = -0,1^{**}$).

Le nombre de sépale “ NbrSp ” est corrélé positivement avec WEn ($r = 0,11^*$), Tec ($r = 0,11^{**}$), et il est négativement corrélé avec YAr($r = -0,21^{****}$), LAr($r = -0,1^{**}$) et pH($r = -0,1^{**}$).

Le poids de l'écorce + endocarpe “ WEn ” est corrélé positivement avec Tec ($r = 0,64^{****}$), au WPe ($r = 0,36^{****}$), WAr ($r = 0,36^{****}$), WdAr($r = 0,10^*$) au pH($r = 0,27^{**}$) IM ($r = 0,21^*$), cependant il est négativement corrélé avec YAr($r = -0,68^{****}$) et YSe($r = -0,30^{****}$).

L'épaisseur de l'écorce “ TEc ” est corrélé positivement avec WAr ($r = 0,16^{***}$), pH ($r = 0,32^{***}$), TSS ($0,36^{****}$), IM ($r = 0,21^*$), est négativement corrélé avec YAr ($r = -0,63^{****}$) et YSe ($r = -0,30^{****}$).

Le poids des pépins “ WPe” est corrélé positivement avec YAr ($r = 0,19^{***}$) et YSe ($r = 0,61^{****}$), et il est négativement corrélé avec WdAr ($r = -0,27^{****}$), IM ($r = 0,33^{****}$).

Le rendement en pépins “ YSe” est corrélé positivement avec IM ($r = 0,28^{**}$), et négativement corrélé avec WAr ($r = -0,32^{****}$), LAr ($r = -0,22^{****}$), WdAr ($r = -0,38^{****}$), AT ($r = -0,18^{****}$).

Le rendement en arilles “YAr” est Corrélié positivement avec YSe ($r = -0,47^{****}$), mais négativement corrélé avec WAr ($r = -0,21^{***}$), WdAr ($r = -0,17^{***}$), pH ($r = -0,35^{****}$), TSS ($r = -0,31^{***}$).

Le rendement en jus “ YJu” est corrélée positivement avec WdAr ($r = -0,11^{***}$). Le poids de l'arille “ WAr” est corrélé positivement avec LAr ($r = 0,52^{****}$), WdAr ($r = 0,41^{****}$) et pH ($r = 0,30$).

La longueur de l'arille “LAr” est positivement corrélée avec WdAr ($r = 0,46^{****}$), pH ($r = 0,19^*$), IM ($r = 0,17^*$), est corrélée négativement avec AT ($r = -0,23^{**}$).

Le poids de l'arille “ WdAr” est Corrélée négativement avec pH ($r = -0,38^{****}$), TSS ($r = -0,31^{****}$).

Les résultats ont également montré que le Potentielle hydrique “ pH” est Corrélée positivement avec TSS ($r = 0,33^{****}$) et IM ($r = 0,22^{**}$).

L'indice de brix "TSS" est corrélé positivement avec IM ($r= 0.55^{****}$). Aussi bien corrélé négativement avec AT($r= -0.16^*$).

L'acidité titrable "AT" est corrélée négativement avec IM ($r=- 0.62^{****}$).

L'estimation de la corrélation entre les caractères morphologiques pourrait fournir des informations qui aideront les sélectionneurs à déterminer la conception la plus efficace pour les évaluations de génotypes [341]. Les estimations de la corrélation permettent également de comparer la sélection indirecte à la sélection directe, de calculer une réponse corrélée dans un second caractère si une pression de sélection est appliquée au premier, et d'établir une stratégie de sélection pour les caractères difficiles à sélectionner [342]. À cet égard, les coefficients de corrélation pour certains paramètres du fruit de la grenade ont été rapportés, comme l'épaisseur de l'épicarpe en corrélation positive avec le diamètre du calice et le poids du fruit avec le poids de l'arille frais et sec [12]. Dans notre étude, le poids du fruit "WFr" est positivement corrélé avec le diamètre du calice DCa ($r = 0,34^{****}$), la longueur du fruit (mm) HFr ($r = 0,79^{****}$), poids d'écorce + l'endocarpe WEn ($r = 0,82^{****}$), l'épaisseur de l'écorce Tec ($r= 0.39^{****}$) et l'indice de maturité IM ($r= 0.21^{**}$), et est corrélé négativement avec le rendement en arille YAr ($r= -0.17^{***}$). Sarkhos et al. [12] ont rapporté que la teneur en anthocyanine des arilles était négativement corrélée avec la taille des fruits chez certains génotypes de grenadiers iraniens. Karimi et Mirdehghan ([343]) ont également postulé que les caractéristiques du jus de fruit, des arilles et des pepins sont les principaux facteurs qui séparent les génotypes de grenade étudiés. (Karimi et al. [343]) ont montré que le nombre de pepins dans le fruit était corrélé avec la longueur du fruit ($r = +0,74$). Le diamètre du calice est en corrélation positive avec le poids du fruit ($r = +0,74$).

Les résultats ont montré que le Potentielle hydrique "pH" est Corrélée positivement avec les sucres solubles totaux TSS ($r= 0.33^{****}$) et l'indice de maturité IM ($r= 0.22^{**}$). Karimi et al. [343] ont montré que Les caractéristiques du fruit telles que l'acidité titrable ($r = +0,89$) étaient positivement corrélées avec l'indice de chlorophylle. La vitamine C ($-0,78$) et le pH du jus ($r = -0,72$).

Tableau 24: la corrélation entre les caractères agro-morphologiques et physico-chimiques des génotypes de grenade évalués.

Coefficients de corrélation de Pearson Proba > r sous H0: Rho=0 Nombre d'observations																			
	WFr	DFr	Dca	HFr	HCa	NbrSp	WEn	Tec	WSe	YAr	YSe	YJu	WAr	LAr	WdAr	PH	TSS	AT	IM
WFr	1.00000																		
DFr	0.03802 0.1934	1.00000																	
Dca	0.34528 <.0001	0.01232 0.6703	1.00000																
HFr	0.79471 <.0001	0.03229 0.2638	0.38838 <.0001	1.00000															
HCa	0.02228 0.4463	-0.00662 0.8189	0.22064 <.0001	0.42678 <.0001	1.00000														
NbrSp	0.14276 <.0001	-0.01513 0.6308	0.26060 <.0001	0.08250 0.0087	0.10192 0.0012	1.00000													
Wen	0.81871 <.0001	0.78596 <.0001	0.47157 <.0001	0.73022 <.0001	0.14827 0.0019	0.10676 0.0279	1.00000												
Tec	0.38927 <.0001	0.43303 <.0001	0.32683 <.0001	0.32911 <.0001	0.02827 0.5597	0.10724 0.0287	0.63868 <.0001	1.00000											
WSe	0.66837 <.0001	0.54446 <.0001	0.00620 0.9104	0.40668 <.0001	-0.08901 0.1055	0.10344 0.0654	0.36499 <.0001	0.10996 0.0516	1.00000										
YAr	-0.17256 0.0003	-0.26363 <.0001	-0.39820 <.0001	-0.34078 <.0001	-0.20936 <.0001	-0.01202 0.8054	-0.67881 <.0001	-0.63411 <.0001	0.19477 0.0004	1.00000									
YSe	-0.08455 0.0994	-0.12254 0.0166	-0.24571 <.0001	-0.17001 0.0008	-0.09441 0.0653	0.01724 0.7416	-0.30311 <.0001	-0.29316 <.0001	0.61284 <.0001	0.46889 <.0001	1.00000								
YJu	-0.07745 0.1134	-0.05583 0.2542	-0.12479 0.0106	0.01109 0.8210	0.05534 0.2583	-0.05222 0.2938	-0.09516 0.0533	-0.03083 0.5392	-0.07007 0.2063	0.07435 0.1319	-0.01029 0.8432	1.00000							
WAr	0.28344 <.0001	0.29866 <.0001	0.11674 0.0048	0.29194 <.0001	0.03538 0.3939	0.06094 0.2115	0.35829 <.0001	0.16439 0.0008	0.00572 0.9181	-0.20640 <.0001	-0.31617 <.0001	0.05326 0.2796	1.00000						
LAr	0.01391 0.6881	0.04191 0.2209	-0.08006 0.0193	-0.02515 0.4626	-0.09689 0.0046	0.02612 0.4955	0.01424 0.7711	0.02785 0.5735	-0.09789 0.0804	0.03674 0.4538	-0.21672 <.0001	0.02378 0.6340	0.52004 <.0001	1.00000					
WdAr	-0.07056 0.0415	-0.01783 0.6024	-0.02347 0.4932	0.02330 0.4960	0.01119 0.7436	-0.04737 0.2163	0.10385 0.0334	0.05378 0.2767	-0.26762 <.0001	-0.16820 0.0006	-0.37950 <.0001	0.11442 0.0216	0.41445 <.0001	0.45964 <.0001	1.00000				
PH	0.08677 0.2663	0.11918 0.1262	-0.02145 0.7838	-0.02004 0.7977	-0.20724 0.0074	-0.15394 0.0583	0.26875 0.0023	0.32132 0.0002	0.06354 0.5037	-0.35454 <.0001	-0.10277 0.2766	0.10919 0.2312	0.29629 0.0004	0.19441 0.0154	-0.00177 0.9825	1.00000			
TSS	0.08655 0.2646	0.20515 0.0076	0.02656 0.7326	0.06640 0.3925	-0.09862 0.2034	-0.11671 0.1494	0.21344 0.0156	0.35927 <.0001	-0.00203 0.9829	-0.31373 0.0003	-0.05865 0.5335	-0.09991 0.2715	0.08076 0.3446	0.08912 0.2686	-0.30674 <.0001	0.33177 <.0001	1.00000		
AT	-0.08895 0.2530	-0.08572 0.2707	-0.01149 0.8829	0.00243 0.9751	-0.02254 0.7725	-0.12813 0.1145	0.03131 0.7268	-0.02512 0.7801	-0.15525 0.1006	-0.09156 0.3060	-0.17623 0.0607	0.06866 0.4524	-0.12760 0.1358	-0.23144 0.0038	0.06727 0.4056	-0.10157 0.1929	-0.16320 0.0351	1.00000	
IM	0.20779 0.0070	0.25591 0.0008	0.02159 0.7818	0.07616 0.3279	-0.14981 0.0533	0.01463 0.8576	0.09001 0.3143	0.21284 0.0167	0.33513 0.0003	0.04564 0.6104	0.28538 0.0021	-0.11674 0.2003	0.02847 0.7403	0.17034 0.0341	-0.38538 <.0001	0.22217 0.0040	0.55069 <.0001	-0.62302 <.0001	1.00000

WFr : Poids du fruit (g) ; DFr : Diamètre du fruit (mm) ; Dca : Diamètre du calice (mm) ; HFr : Longueur du fruit (mm) ; HCa : Hauteur du calice (mm) ; NbrSp : Nombre de sépales ; WEn : Poids de l' épicarpe + endocarpe ; Tec : Epaisseur de l' épicarpe (mm) ; WPe : Poids de la graine (g) ; YAr : Rendement en arilles (%) ; YSe : Rendement graine/fruit (%) ; YJu : Rendement jus/fruit ; WAr : Poids de l'arille (mg) ; LAr : Longueur de l'arille (mm) ; WdAr : Largeur de l'arille (mm) ; AT : Acidité titrable ; TSS : Solides solubles totaux (%) ; IM : Indice de maturité.

II.8 L'ACP pour la collection de grenadiers étudiés, basés sur les paramètres les plus discriminants

Tableau 25: Vecteurs propres des axes de l'analyse en composantes principales des génotypes de grenade étudiés.

Parameters	Components		
	1	2	3
War	0.29959	0.02059	0.39922
DCa	0.27908	0.33574	-0.50401
NbrSp	-0.26212	0.28590	-0.37070
PH	0.36601	0.00918	0.42096
TSS	0.38244	0.19970	0.12814
WFr	0.16994	0.56670	0.02920
WSe	-0.13137	0.56492	0.30828
YAr	-0.49336	0.01561	0.24201
YJu	0.01983	-0.23895	0.13361
YSe	-0.43987	0.25987	0.28851

Les variables dont la valeur propre est supérieure à **|0,45|** de chaque composante ont été marquées en gras.

Une analyse en composantes (ACP) a été réalisée sur les génotypes de différentes années de récolte et catégories d'âge (Figure 31). Toutes les données quantitatives ont été incluses dans l'ACP et seront discutées dans cette section pour éviter la duplication de l'information (Tableaux 16, 17, 18). La première composante principale (F1) représente 27,24 % des données et la deuxième composante principale (F2) représente 23,66 % de la variance.

L'analyse du graphique montre des regroupements de génotypes en fonction de l'âge des arbres. Cette structure confirme l'effet de l'âge de l'arbre sur la qualité physico-chimique des fruits de grenade. Cependant, le niveau de variation diffère selon les génotypes. Par exemple, Ruby, Dwarf semi-vergreen et Wonderful ont des caractéristiques assez stables entre les années. Alors que les génotypes Ounk Hmam et Gordo de Jativa ont des caractéristiques plus variables. Dans ce contexte, on peut déduire que les paramètres des fruits récoltés en 2017 (10 et 36 ans) sont plus proches de ceux récoltés en 2009 (13 ans) et que les fruits de l'année de récolte 2018 (22 ans) sont plus proches de 2009 que de 2017. Le plus faible niveau de variance qui a été estimé entre les fruits récoltés en 2009 et 2017, est probablement dû à la similitude de climat entre ces deux années. Les températures moyennes (Tableau 6 et Figure 26) des mois critiques des fruits (période de floraison) sont respectivement de 22,3°C et 23,7°C, par rapport à 2018 où la température moyenne est de 20°C. Selon une étude d'Oukabli en 2004 [19] sur la même collection la période de floraison à la maturité des fruits

(avril à fin septembre) correspondant au stade de forte division cellulaire est très sensible aux changements environnementaux. Il est à noter que la pluviométrie n'a pas été mentionnée car les parcelles ont subi une irrigation contrôlée à 100% des besoins de l'arbre.

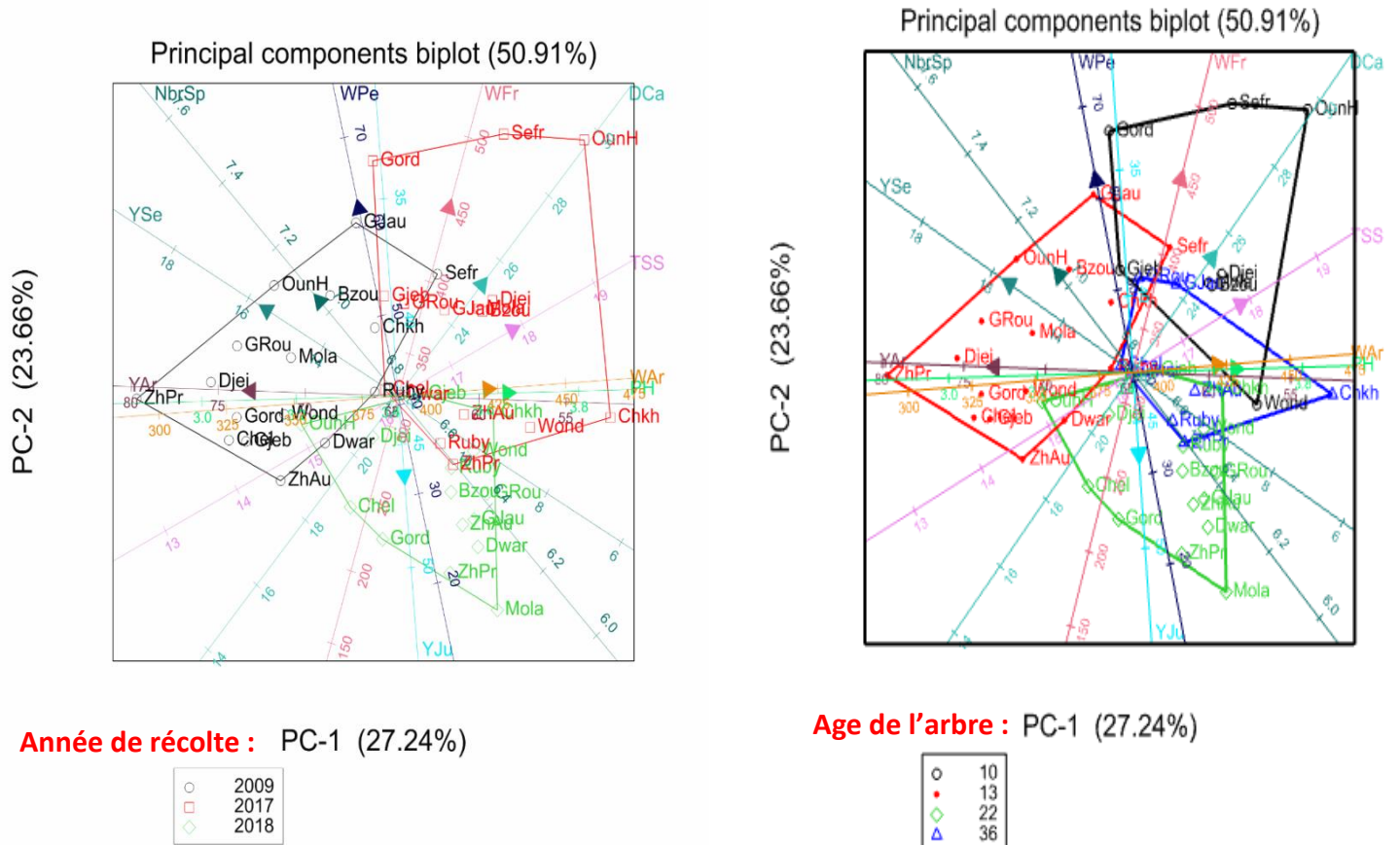


Figure 31: Diagramme de dispersion des deux premières composantes principales (PC1/PC2, 50,91% de la variance totale) pour la collection de grenades étudiées, en fonction des paramètres les plus discriminants.

II.9 clusters des géotypes de grenadiers étudiés, basée sur les paramètres les plus discriminants des 3 années de récoltes.

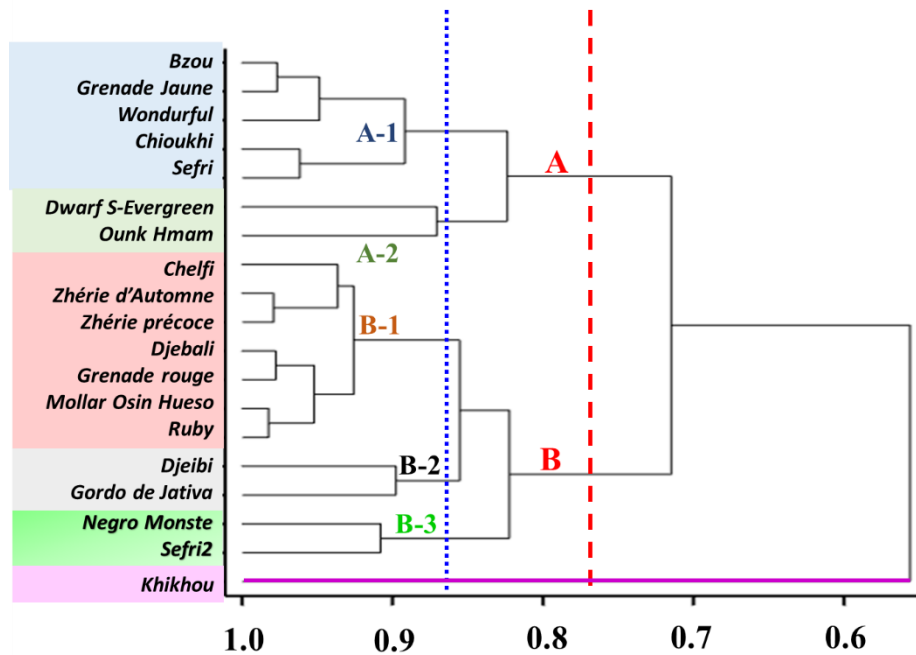


Figure 32: Dendrogramme des géotypes de grenadiers étudiés, basée sur les paramètres pomologique et physico-chimiques les plus discriminants des 3 années de récolte.

L'analyse hiérarchique de cluster basée sur les 10 paramètres les plus discriminants des variétés marocaines et étrangères à partir d'un mélange de traits chimiques et morpho-agronomiques, illustre parfaitement la grande diversité génétique entre les accessions de grenadiers de la collection. Le dendrogramme permet de regrouper les accessions en deux groupes principaux (A et B) qui sont également subdivisés en plusieurs sous-groupes (Figure 32). Le géotype local ' Khikhou ' a été classé dans un groupe distinct, avec un profil typique. Ce géotype se distingue par le diamètre, le poids, la longueur du fruit, le diamètre du calice, le poids de l'écorce, la longueur et la largeur de l'arille.

L'analyse de cluster hiérarchique basée sur les caractères physico-chimiques illustre parfaitement la grande diversité génétique entre les accessions de grenadiers de la collection. Le dendrogramme permet de regrouper les accessions en deux groupes principaux (A et B) qui sont également subdivisés en plusieurs sous-groupes (Figure 32). Le géotype local '

Khikhou ' a été classé dans un groupe distinct, avec un profil typique. Ce genotype se distingue par le diamètre, le poids, la longueur du fruit, le diamètre du calice, le poids de l'écorce, la longueur et la largeur de l'arille.

Le groupe A se distingue en deux sous-groupes. Le premier A-1 est constitué de 4 genotypes marocains (Bzou, Grenade jaune, Chioukhi et Sefri) et de la variété américaine Wonderful. Ces génotypes sont caractérisés par une teneur en sucre plus élevée et un rendement en graines similaire. Le sous-groupe A-2 est constitué d'un genotype marocain et de la variété américaine Dwarf semi Evergreen qui sont caractérisés par un rendement en graines plus faible et une teneur en sucre et un rendement en jus similaires.

Le groupe B se distingue en 3 sous-groupes. Le premier (B-1), caractérisé par un poids et une longueur de fruit plus faibles, comprend 3 genotypes marocains, 4 variétés étrangères (2 tunisiennes, 1 chinoise et 1 américaine). Le sous-groupe B-2 comprend un genotype marocain (Djeibi) et une variété espagnole (Gordo de Jativa) qui se caractérise par un rendement en jus plus élevé pour une épaisseur d'écorce plus faible. Le dernier sous-groupe (B-3) comprend la variété espagnole Negro Monsteriosa et le génotype marocain Sefri 2 caractérisé par l'acidité de ces fruits et des diamètres de fruits similaires.

Il existe 6 groupes de génotypes des genotypes étudiés :

- Groupe A-1 : Bzou, Grenade Jaune, Sefri, Wonderful, Chioukhi (genotypes marocains et étrangers Tableau 4).
- Groupe A-2 : Ounk Hmame, Dwarf semi evergreen (genotypes marocains et étrangers Tableau 4).
- Groupe B-1 : Gjebali, Grenade Rouge, Chelfi, Mollar Osin Hueso, Ruby, Zheri d'automne, Zheri precoce, (genotypes marocains et étrangers Tableau 4).
- Groupe B-2 : Gordo de jativa, Djeibi (genotypes marocains et étrangers Tableau 4).
- Groupe B-3 : Negro montinoso, Sefri2 (genotypes marocains et étrangers Tableau 4).
- Groupe 6 : Khikhou (genotypes marocains Tableau 4).

La grande divergence entre les deux accessions marocaines Sefri et Sefri 2 montre qu'elles sont très éloignées génétiquement et que cette similitude de dénomination peut être due à des problèmes de confusion variétale, des problèmes d'homonymie ou des problèmes d'étiquetage lors de la prospection.

Le dendrogramme montre l'absence d'une structure génétique géographique et que les genotypes marocains et les variétés étrangères se mélangent dans les différents pools

génétiques. Ce constat confirme les résultats de [37] utilisant les marqueurs AFLP et ISSR pour caractériser les ressources génétiques de la grenade au Maroc. Comme interprétation, nous pouvons déduire que les accessions de la collection de grenadiers de l'INRA-Maroc appartenant aux différents pays proviennent des mêmes pools génétiques.

Le premier groupe (Tableau 26) est caractérisé par une teneur en sucre plus élevée et un rendement en pepins similaire, le deuxième groupe a un rendement en pepins plus faible avec une teneur en sucre et un rendement en jus similaires, le troisième groupe est caractérisé par un poids et une longueur de fruit plus faibles, le quatrième groupe est caractérisé par un rendement en jus plus élevé pour une épaisseur d'écorce plus faible, le cinquième groupe est caractérisé par l'acidité de ces fruits et des diamètres de fruits similaires et pour le sixième groupe Khikhou individual, les caractéristiques pomologiques qui distinguent cette variété sont le diamètre, le poids, la hauteur, le diamètre du calice du fruit, le poids de l'écorce, la longueur et la largeur de l'arille.

Les variables qui ont été utilisées sont les caractères les plus efficaces pour discriminer et identifier les groupes de génotypes étudiés. En outre, ces caractères sont économiquement importants et peuvent également être utilisés comme un outil utile pour sélectionner des génotypes pour les programmes de sélection ou pour recommander de nouveaux génotypes avec des caractères supérieurs.

Conclusion

Ce chapitre est le premier travail sur l'effet des années de récolte sur un large germoplasme de grenadiers d'origine marocaine et étrangère cultivés au Maroc en utilisant un mélange de traits morpho-agronomiques et chimiques. Ces génotypes ont été différenciés et triés par analyse en grappes en fonction de leurs phénotypes et de certains paramètres physico-chimiques des fruits. Les caractéristiques morphologiques étudiées dans cette étude sont des traits normalement sélectionnés pour les études de sélection de grenadiers. Cette étude a montré une grande variabilité entre les années de récolte (3 ans) et au sein des génotypes de la collection (19 génotypes). De plus, la collection comprenait plusieurs variétés de différentes origines dans le monde. Ce qui montre que la collection pourrait être une base pour un programme de sélection. La caractérisation a montré une grande diversité entre les génotypes pour tous les caractères étudiés. Les résultats ont confirmé l'utilité et l'importance des caractéristiques pomologiques et chimiques et de leurs informations complémentaires pour étudier la diversité au sein de la grenade. La variation est de hautement significative à très hautement significative pour le facteur variétal, le facteur année et leurs interactions pour la plupart des caractères étudiés. Ce travail est une

contribution significative à la sélection de variables hautement discriminantes afin d'optimiser les ressources pour la caractérisation multivariée du germoplasme de grenade dans laquelle un grand nombre de variables sont utilisées. En comparant les accessions marocaines avec les variétés étrangères, nous n'avons pas remarqué l'existence d'une structuration génétique géographique ce qui montre probablement que les pedigrees sont très proches génétiquement. Le climat ainsi que la génétique des fruits jouent un rôle direct mais aussi indirect en influençant de nombreuses autres caractéristiques des génotypes et même des espèces. Les données montrent que la stabilité des caractères physico-chimiques entre les années diffère entre les génotypes ce qui donne la possibilité de sélectionner des variétés plus adaptées aux changements climatiques. La médiatisation de ces effets et d'autres étudiés sur un plus grand nombre de génotypes a le mérite de les remettre au goût du jour. Une étude génétique plus large sera importante pour les futurs programmes de sélection de génotypes et la connaissance des génomes qui s'adaptent au réchauffement climatique.

Tableau 26: Le min, le max et la moyenne des groupes de clusters.

Genotypes	Groupes1			Groupes2			Groupes3			Groupes4			Groupes5			Groupes6
	min	Max	Moyenne	min	Max	Moyenne	min	max	Moyenne	min	Max	moyenne	min	max	moyenne	Khikho
WFr	320,84 ^{cd}	436,20 ^a	360,124	299,52 ^{efg}	351,22 ^{bc}	325,37	214,94 ⁱ	306,51 ^{def}	268,7267	306,51 ^{def}	332,52 ^{bcd}	319,515	317,50 ^{de}	353,51 ^b	335,505	463,13 ^a
DFr	86,49 ^{def}	94,39 ^b	89,126	83,84 ^{ef}	85,33 ^{def}	84,585	74,57 ^h	86,11 ^{def}	65,985	83,89 ^{ef}	84,87 ^{ef}	84,38	85,97 ^{def}	85,70 ^{def}	85,835	99,26 ^a
HFr	89,91 ^{defg}	99,58 ^b	93,422	92,12 ^{cd}	92,67 ^{cd}	92,395	78,35 ^k	87,97 ^g	71,39595	85,08 ^h	89,70 ^{efg}	87,39	89,94 ^{defg}	89,73 ^{efg}	89,835	106,24 ^a
Dca	19,52 ^{ghi}	25,11 ^{bc}	21,818	22,60 ^{de}	25,78 ^b	24,19	18,97 ⁱ	23,50 ^{cd}	17,21833	18,97 ⁱ	19,65 ^{ghi}	19,31	20,35 ^{fghi}	19,07 ⁱ	19,71	29,39 ^a
Hca	15,23 ^{fgh}	18,29 ^{bc}	16,676	18,04 ^{cd}	22,04 ^a	20,04	13,19 ^e	16,73 ^{de}	26,515	13,26 ^e	15,48 ^{efgh}	14,37	14,19 ^{he}	14,80 ^{gh}	14,495	19,58 ^b
NbrSp	6,02 ^{ig}	6,85 ^{abcdef}	6,44	7,08 ^{ab}	7,11 ^a	7,095	6,50 ^{fgh}	7,03 ^{abc}	5,605	6,57 ^{defgh}	6,91 ^{abcde}	6,74	5,87 ^g	6,27 ^{hi}	6,07	6,59 ^{defgh}
Wen	122,98 ^{def}	173,98 ^b	143,634	104,00 ^{fgh}	129,74 ^{cde}	116,87	78,28 ⁱ	126,86 ^{de}	142,9317	83,62 ^{hi}	99,51 ^{gh}	91,565	124,40 ^{def}	118,11 ^{efg}	121,255	251,96 ^a
Tec	2,94 ^{efgh}	3,95 ^{ab}	3,346	2,42 ^{ij}	3,77 ^{abc}	3,095	1,92 ^k	3,38 ^{cde}	2,345	1,92 ^k	2,40 ^{ij}	2,16	2,97 ^{efgh}	2,37 ^j	2,67	4,21 ^a
Yju	36,55 ^c	44,71 ^{bc}	40,32	40,66 ^{bc}	41,43 ^{bc}	40,66	37,97 ^c	47,70 ^{bc}	49,785	47,75 ^{bc}	51,77 ^a	49,76	42,04 ^{bc}	46,09 ^{bc}	44,065	37,91 ^c
WAr	306,01 ^{ij}	484,59 ^b	401,646	266,981	363,09 ^{gh}	315,035	280,82 ^{kl}	456,09 ^{cd}	300,3819	387,35 ^{efg}	403,06 ^g	395,205	321,07 ⁱ	380,49 ^{efg}	350,78	670,42 ^a
LAr	10,15 ^{gh}	11,81 ^{cd}	11,162	9,71 ⁱ	10,76 ^f	10,235	9,88 ^{hi}	12,17 ^b	10,18	11,13 ^g	12,03 ^{bc}	11,58	10,71 ^f	11,18 ^e	10,945	12,70 ^a
WdAr	7,04 ^{fg}	8,15 ^b	7,566	6,24 ^h	7,64 ^{de}	6,94	6,99 ^g	8,16 ^b	6,408333	7,44 ^{ef}	7,77 ^{cde}	7,605	7,15 ^{fg}	7,44 ^{ef}	7,295	9,23 ^a
YAr	55,70 ^j	65,84 ^{def}	60,918	61,44 ^{hi}	65,66 ^{defg}	63,55	60,56 ^{hi}	73,34 ^a	64,02667	71,28 ^{ab}	73,34 ^a	72,31	63,90 ^{efgh}	67,21 ^{cde}	65,555	50,65 ^k
WPe	38,99 ^{bcd}	45,03 ^{ab}	42,712	31,24 ^{fg}	38,18 ^{cde}	34,71	28,62 ^g	51,02 ^a	34,47333	43,92 ^{bc}	51,02 ^a	47,47	41,43 ^{bcd}	36,08 ^{def}	38,755	41,81 ^{bcd}
YSe	10,10 ^{fg}	11,88 ^{bcd}	11,01	8,98 ^{gh}	11,99 ^{bc}	10,485	9,78 ^{fg}	16,08 ^a	11,665	12,44 ^{bc}	16,08 ^a	14,26	12,06 ^{bc}	10,16 ^f	11,11	7,87 ^h
PH	3,30 ^{de}	3,78 ^a	3,518	2,79 ^f	3,28 ^{de}	3,035	3,12 ^e	3,67 ^{ab}	3,415	3,37 ^{cd}	3,67 ^{ab}	3,52	3,30 ^{de}	3,16 ^e		3,53 ^{bc}
TSS	16,04 ^{bc}	17,81 ^a	16,96	15,54 ^{cde}	15,67 ^{cd}	15,605	14,55 ^{de}	16,32 ^{bc}	16,04833	14,55 ^{de}	16,39 ^{bc}	15,47	15,95 ^{bc}	14,52 ^e	15,235	16,14 ^{bc}
AT	0,40 ^{de}	1,61 ^b	0,802		0,70 ^{cde}		0,39 ^{de}	0,87 ^c	0,675	0,51 ^{cde}	0,84 ^c	0,675	2,87 ^a	1,86 ^b	2,365	0,67 ^{cde}
IM	28,84 ^{hi}	63,75 ^a	46,646	45,51 ^{def}	52,48 ^{bcd}	48,995	27,45 ⁱ	56,75 ^{ab}	42,13167	35,48 ^{gh}	50,63 ^{bcd}	43,055	12,72 ^j	8,87 ^j	10,795	45,14 ^{ef}

Troisième partie:Caractérisation des fractions de composés lipo-biochimiques par chromatographie (14 génotypes)

I. Analyse descriptive

I.1. Caractéristiques des sucres du jus

Les résultats concernant la caractérisation biochimique sont résumés dans le Tableau 27. Toutes les variables ont montré des différences hautement significatives ($p < 0,001$) entre les échantillons étudiés. Ainsi, les grenades sont généralement appréciées pour leur goût et leur douceur qui peuvent être influencés par leur teneur en sucres principalement le glucose et le fructose. En effet, les concentrations en glucose et fructose ont varié successivement de 29,43 (g L⁻¹) à 96,96 et de 33,38 à 102,75 (g L⁻¹) avec une moyenne générale de 70,77 et 75,86 (g L⁻¹). Les valeurs moyennes les plus élevées de glucose et de fructose ont été enregistrées respectivement par deux génotypes locaux '*Djeibi*' (95,48 ; 102,64 (g L⁻¹)) et '*Bzou*' (91,44 ; 97,37 (g L⁻¹)) et un étranger '*Ruby*' (91,79 ; 96,23 (g L⁻¹)). Le génotype '*Wonderful*' des Etats-Unis se caractérise par une très faible concentration de glucose (29,44 g L⁻¹) et de fructose (33,38 g L⁻¹). En général, les niveaux de glucose et de fructose dans la collection de grenades sont en accord avec les travaux précédents ([91]; [344]; [280]; [345]; [346]; [331]). En outre, étant donné que le goût sucré est un facteur important qui contribue particulièrement à la qualité des grenades et est l'un des critères de sélection les plus importants dans les programmes de sélection de cette espèce des génotypes avec entre autres des valeurs de sucre plus élevées.

I.2. Profils des acides organiques

La concentration d'acide citrique a été trouvée entre 0,59 et 11,6 (g L⁻¹) avec une valeur moyenne de 2,67 (g L⁻¹). Les génotypes '*Negro Monstrioso*' et '*Sefri2*' ont montré les valeurs les plus élevées avec respectivement 10,46 et 4,20 (g L⁻¹). Les concentrations les plus faibles ont été enregistrées par les génotypes '*Sefri*' (0,60 g L⁻¹), '*Wonderful*' (0,82 g L⁻¹) et '*Chelfi*' (0,99 g L⁻¹) (Tableau 27). Ces résultats sont similaires à ceux rapportés par Fernandes [276]. L'acide malique a également montré une fluctuation très remarquable entre les génotypes, allant de 1,45 g/l à 7,54 g/l avec une moyenne d'environ 4,6 g/l. Les génotypes suivants sont ceux marqués par des concentrations élevées en acide malique '*Ruby*' (7,27 g/l). '*Djeibi*' (6,83 g/l) et '*Dwarf Semi Evergreen*' (6,72 (g L⁻¹)). En outre, nos résultats ont montré que les deux génotypes locaux '*Sefri2*'

(16,28 (g L⁻¹)) et 'Djeibi' (14,10 (g L⁻¹)) ont été identifiés par leur concentration élevée en acide quinique.

L'intervalle de variation était de 2,33 g/l à 16,65 g/l avec une moyenne de 9,65 (g L⁻¹). Les résultats obtenus semblent présenter des intervalles de variation plus importants que ceux rapportés dans les études précédentes ([91]; [345]; [346]). De grandes différences ont été trouvées pour les teneurs en acides citrique et malique par rapport à celles rapportées par [91]. Des études antérieures ont noté que les acides ascorbique, quinique, succinique, acétique, lactique et fumarique ont été détectés dans le jus d'arille en quantités mineures ou à l'état de traces [347]. Rajasekar et al., [348] ont rapporté que l'acide citrique et l'acide malique ont été identifiés comme les principaux acides organiques dans le jus de grenade. Habituellement, l'acide citrique est le principal acide connu dans les génotypes de grenade [347], fournissant le goût aigre [332]. En outre, [352] ont indiqué que les acides citrique, oxalique, acétique, fumarique et tartrique figurent parmi les principaux acides organiques présents dans le jus de grenade.

I.3. Profils d'acides gras

Les pepins de grenade sont riches en lipides, qui varient entre 140-270 (g/kg) de MS ([349]; [350]). Les paramètres de qualité pour le consommateur d'aujourd'hui sont la teneur en matières grasses et la composition en acides gras et en particulier, le rapport entre les acides gras saturés et insaturés et notamment l'équilibre entre les acides gras à longue chaîne n-6 et n-3. La composition des graisses des fruits et de leurs pepins, en particulier, a récemment suscité un grand intérêt, notamment en raison des effets bénéfiques pour la santé de leurs acides gras essentiels, dont l'acide linoléique, l'acide linoléique et l'acide arachidonique, et plus particulièrement des acides gras polyinsaturés. Ceci est principalement dû à leur rôle dans la prévention des maladies cardiovasculaires et autres problèmes cardiaques, car les acides gras polyinsaturés réduisent le taux de cholestérol HDL ([351]; [352]).

L'analyse des résultats a révélé de grandes différences dans les concentrations d'acides gras entre les échantillons d'huile de pepins étudiés. Les moyennes les plus élevées ont été enregistrées pour l'acide érucique (5,51%), l'acide palmitoléique (1,03%), l'acide oléique (4,39%), l'acide palmitique (4,18%), l'acide linoléique (2,7%) et l'acide gadoléique (0,33%). Les génotypes 'Mollar Osin Hueso' et 'Djeibi' se sont caractérisés par les plus fortes concentrations d'acide érucique, dont les concentrations moyennes étaient respectivement de 10,83 et 11,06%. En

revanche, 'Negro Monstrioso' et 'Chelfi' ont été marqués par les concentrations les plus faibles, inférieures à 0,90%. De même, pour l'acide oléique, les génotypes espagnols 'Gordo de Jativa' et 'Negro, Monstrioso' ont été caractérisés par une concentration élevée d'acide oléique, avec des valeurs moyennes respectives de 8,67 et 8,44%. Quant à l'acide palmitoléique, il a été trouvé en forte concentration dans les deux génotypes étrangers 'Ruby' (2,59%) et 'Negro Monstrioso' (1,55%). En revanche, les génotypes locaux présentent des concentrations généralement significatives de certains acides gras, comme l'acide palmitique assez présent chez 'Sefri2' (3,82%), l'acide béhénique chez 'Chioukhi' (1,56%) et les acides éruciques chez 'Grenade Jaune' (1,41%).

Tableau 27: Analyse descriptive et analyse de la variance des traits lipobiochimiques des accessions de grenadiers étudiées.

	Minimum	Maximum	Moyenne	Std, Deviation	Carré moyen	ANOVA p-value
<u>Sucre</u>						
Glucose g/L	29,43	96,96	70,77	24,21	1841,94	< ,0001
Fructose g/L	33,38	102,75	75,86	24,29	1854,43	< ,0001
<u>Acides Organiques</u>						
Acide Citrique g/L	0,59	11,6	2,67	2,49	19,25	< ,0001
Acide Malique g/L	1,45	7,54	4,59	1,92	11,31	< ,0001
acide Quinique g/L	2,33	16,65	9,65	4,34	59,04	< ,0001
<u>Acides Gras</u>						
Acide Caprique	0,34	0,35	0,35	0,01	0	Nd
Acide Caproïque	0,06	0,06	0,06		0	Nd
Acide Laurique	0,35	0,35	0,35		0	Nd
Acide Palmitique	1,77	7,64	4,18	2,19	4,8	Nd
Acide Palmitoléique	0,21	2,59	1,03	0,9	0,8	Nd
Acide Margarique	0,01	0,01	0,01	0	0	Nd
Acide Stearique	1,02	4,87	2,51	1,43	2,04	Nd
Acide Oleique	0,01	8,67	4,39	3,14	9,89	Nd
Acide Vaccénique	0,01	0,01	0,01	0	0	Nd
Acide Linoléique	0	4,49	2,7	1,39	1,92	Nd
Acide Alpha-linoléique	0,27	1,4	0,8	0,38	0,14	Nd
Acide Gadoléique	0,01	0,96	0,33	0,31	0,09	Nd
Acide Behénique	1,23	2,57	1,92	0,63	0,4	Nd
Acide Erucique	0,56	11,06	5,51	4,47	20,01	Nd
Acide Lignocérique	0,01	0,21	0,13	0,06	0	Nd

TAE : équivalent d'acide tannique; GAE : équivalent acide gallique; QE : équivalent quercétine; Nd: not determined

I.4. Analyse en composantes principales des traits morphométriques, lipochimiques et biochimiques.

L'analyse en composantes principales (ACP) a été utilisée pour déterminer les descripteurs les plus significatifs de l'ensemble des données. Seule une variance supérieure à $|0,5|$ a été considérée comme significative pour chaque facteur. Ainsi, une variance totale de 96,97% a été expliquée par les 11 premières composantes principales (CP). Les 4 premières PC comprenaient 37 variables représentant plus de 74% de l'ensemble des variables, et expliquaient 59,72% de la variance totale (Tableau 28), ce qui signifie que ces attributs présentaient la plus grande variation entre les génotypes et avaient le plus grand impact sur leur discrimination. La première composante explique 22,47% de la variance totale, qui est fortement influencée par 17 paramètres dont 13 sont des paramètres morphométriques et 4 des paramètres biochimiques. Ainsi, pour les paramètres morphométriques, on trouve : le poids du fruit ($r = 0,86^{**}$), le diamètre du fruit ($r = 0,94^{**}$), le diamètre du calice ($r=0,63^{**}$), la longueur du fruit sans calice ($r=0,97^{**}$), le poids de l'écorce avec endocarpe ($r=0,64^{**}$), rendement en arilles ($r=0,5^{**}$), rendement en jus ($r= 0,93^{**}$), % en pepins par arilles ($r= -0,75^{**}$), poids de l'arille ($r= 0,59$), poids des pepins ($r=0,68^{**}$), longueur des pepins ($r=0,6^{**}$) et diamètre des pepins ($r=0,61^{**}$). Pour les paramètres biochimiques du premier composant, nous avons, les anthocyanes totaux (mg/l de jus) ($r=0,54^{**}$), l'acide margarique ($r=-0,55$), l'acide vaccénique ($r= -0,72^{**}$) et l'acide alpha-linolénique ($r=-0,65^{**}$). Compte tenu du nombre d'accessions évaluées, on estime que ces corrélations sont très fortes et significatives, ce qui indique que le PC1 discrimine les génotypes selon la majorité des paramètres pomologiques (13 traits) et 4 paramètres biochimiques. La deuxième composante représente 15,86% de la variance totale et est principalement expliquée par les paramètres biochimiques : tanins hydrosolubles ($r=0,65^{**}$), citriques ($r=0,82^{**}$), acide palmitique ($r=0,89^{**}$), acide palmitoléique ($0,74^{**}$), acide stéarique ($r=0,89^{**}$), acide oléique ($r= 0,86^{**}$), acide linoléique ($r= 0,76^{**}$) et acide béhénique ($r= -0,63^{**}$). La troisième composante représente 11,58% de la variation totale qui est liée principalement à la longueur de l'arille ($r= -0,64$), le diamètre de l'arille ($r=-0,72$), les sucres solubles totaux($r=0,57$), l'acidité titrable ($r=0,59$), l'indice de maturité ($r=-0,57$), la matière sèche ($r=-0,64$) et l'acide lignocérique ($r=-0,56$) (Tableau 28). Enfin, la dernière composante représente 9,88% de la variation totale qui est associée au nombre de carpelles ($r= -0,51^{**}$), au malique ($r=-0,76$), au quinique ($r= -0,56$), au glucose et au fructose ($-0,72$).

En général, ces résultats étaient cohérents avec ceux rapportés dans des rapports morphologiques précédents sur des accessions différentes de celles étudiées dans ce travail, indiquant ainsi que les relations mises en évidence sont souvent rencontrées dans l'espèce grenade. Ces références soulignent l'importance de la caractérisation morphométrique comme facteur clé dans la discrimination et l'évaluation des génotypes de grenadiers. (Khadivi et al. [294]) ont également signalé que les caractéristiques pomologiques sont importantes pour évaluer les caractères de variation des accessions de grenadiers. En outre, ils ont signalé que la sélection de variables hautement discriminantes est d'une grande importance pour optimiser les ressources pour la caractérisation morphologique de la grenade comestible.

Tableau 28: Coefficients de corrélation entre les principales composantes de l'ACP et les variables observées.

Variables	Composantes principales (PC)								
	PC 1	PC 2	PC 3	PC 4	PC 5	PC 6	PC 7	PC 8	PC 9
Poids du fruit	0,86	-0,03	0,33	0,08	0,19	0,14	0,24	0	0,01
Diamètre du fruit	0,94	0,04	0,15	0,02	0,11	0,01	0,13	0,12	0,14
Diamètre du calice	0,63	-0,28	-0,18	-0,16	-0,37	0,25	0,23	0,43	-0,04
Longueur du fruit	0,97	0,08	0,18	-0,02	0,05	0,10	-0,01	0	0,07
Longueur du fruit sans calice	0,97	0,01	0,16	0,02	-0,08	0,14	-0,01	0,03	0,02
Hauteur du calice	0,45	-0,27	0,01	0,21	-0,66	0,26	-0,05	0,15	-0,24
Nombre de sépales	0,28	-0,35	-0,29	-0,51	0,25	-0,30	0,15	0,36	0,23
Poids de l'écorce et de l'endocarpe	0,64	0,16	0,11	0,25	0,11	0,21	0,26	0,53	-0,07
Épaisseur de l'écorce	0,25	0,27	0,37	0,13	-0,61	-0,15	-0,18	0,26	0,24
Rendement en arilles	0,50	-0,17	0,37	-0,29	-0,12	-0,29	0,09	-0,45	0,20
Rendement en jus	0,93	0	0,24	0,09	0,05	-0,05	0,16	-0,07	-0,02
Poids des arilles	0,42	-0,25	0,37	0,49	0,45	-0,07	-0,17	-0,02	-0,07
% du poids des pepins par arille	-0,75	-0,13	-0,06	0,4	0,38	-0,14	-0,05	-0,17	-0,2
Poids d'un seul arille	0,59	-0,29	-0,01	0,42	0,08	0,13	-0,05	0,11	-0,18
Longueur de l'arille	0,36	-0,10	-0,64	0,23	0,26	-0,14	0,49	-0,02	0,11
Diamètre de l'arille	0,46	-0,18	-0,72	0,26	-0,07	-0,15	0,19	0,16	0,14
Poids des pepins	0,68	0,16	0,05	0,37	-0,17	0,50	-0,21	0,08	-0,04
Longueur de la pepin	0,6	-0,07	-0,23	0,28	0,36	-0,04	0,31	-0,15	0,38
Diamètre de la pepin	0,61	0,17	-0,36	0,41	-0,31	0,05	-0,29	-0,10	0,03
Ph	0,06	0,02	0,02	0,43	0,45	0,55	-0,08	0,14	-0,27
Sucres solubles totaux	-0,12	-0,32	0,57	0,15	0,06	0,21	-0,5	0,04	0,45
Acidité titrable	0,26	0,37	0,59	-0,27	0,09	-0,48	0	-0,05	-0,29
Indice de maturité	-0,33	-0,39	-0,57	0,05	0,10	0,52	0,26	-0,06	0,19

Matière sèche	-0,03	0,29	-0,64	0,2	-0,29	-0,30	0,12	-0,12	-0,46
Tanins hydrolysables	-0,11	0,65	0,43	0,17	-0,5	0,19	-0,02	-0,15	0,07
Tanins condensés	-0,14	0,17	0,41	-0,32	-0,49	-0,33	0,38	0,13	0,10
Anthocyanes totaux	0,54	0,08	0,39	0,1	0,48	-0,3	-0,06	0,05	-0,12
Polyphénols totaux	-0,26	-0,10	0,37	0,29	0,55	0,54	0,15	0,17	0,02
Flavonoïdes totaux	-0,1	-0,24	0,06	0,03	0,84	-0,25	0,03	-0,05	0
Protéines	-0,3	0,18	0,29	0,15	0,02	-0,08	-0,47	0,38	-0,04
Glucose	0,29	0,29	-0,12	-0,72	0,38	0,25	-0,2	-0,01	-0,03
Fructose	0,36	0,25	-0,11	-0,72	0,36	0,22	-0,21	-0,05	0
Acide citrique	-0,11	0,82	0,14	0,15	-0,1	0,19	0,10	-0,32	0,21
Acide malique	0,28	0,28	-0,19	-0,76	0,24	0,23	-0,33	0,01	-0,05
Acide quinique	0,44	0,46	0,29	-0,56	0,14	0,28	-0,24	-0,18	0,05
Acide caproïque	0,07	-0,28	-0,24	0,39	0,05	-0,47	-0,23	-0,13	0,47
Acide caprique	0,18	-0,15	-0,05	0,32	0,21	-0,47	-0,46	-0,06	0,07
Acide laurique	0,39	0,34	0,36	-0,25	0,10	-0,22	0,50	-0,08	-0,02
Acide palmitique	-0,01	0,89	-0,36	0,21	0,08	0,08	0	0,07	0,08
Acide palmitoléique	-0,07	0,74	-0,24	0,12	0	0,36	-0,2	0,04	0,17
Acide margarique	-0,55	-0,04	0,22	-0,14	0,29	0,16	0,05	0,59	0,18
Acide stéarique	-0,04	0,89	-0,35	0,22	0,06	0,1	0,01	0,06	0,09
Acide oléique	-0,04	0,86	-0,44	0,12	0,15	-0,01	0,06	0,09	0,08
Acide vaccénique	-0,72	0,09	0,11	-0,13	-0,01	-0,10	0,02	0,59	-0,06
Acide linoléique	0,13	0,76	-0,43	-0,26	0,2	-0,11	0,16	0,12	-0,23
Acide alpha-linolénique	-0,65	0,09	0,37	0,23	0,28	0,3	0,32	-0,08	0,16
Acide gadoléique	-0,11	0,90	-0,23	0,09	0,16	-0,11	0,02	-0,2	0,18
Acide béhénique	-0,12	-0,63	0,06	-0,10	-0,16	0,53	0,24	-0,42	-0,08
Acide érucique	0,49	0,01	-0,30	0,22	0,19	-0,49	-0,52	0,10	-0,21
Acide lignocérique	0,05	-0,29	-0,56	-0,35	-0,22	-0,06	-0,25	0,27	0,38
% of variance	22,47	15,86	11,58	9,88	8,85	8,02	5,89	4,94	3,50
Cumulative variance %	22,47	33,33	49,91	59,79	68,64	76,66	82,55	87,49	90,99

Les coefficients de corrélation significatifs sont indiqués en gras.

I.5. Diagramme de dispersion

Le nuage de points a été préparé en fonction des trois premières composantes principales, PC1, PC2 et PC3 dont la variance était respectivement de 22,47 ; 15,86 et 11,58% et qui distinguent les génotypes selon leurs caractéristiques phénotypiques (Figure 33). La forte variation phénotypique révélée au sein du matériel génétique de grenadier concerné par cette étude peut être attribuée au facteur génétique dans la mesure où les accessions étudiées appartiennent à une collection ex-situ conduite dans les mêmes conditions édaphoclimatiques.

Ainsi, les génotypes sont généralement séparés en trois groupes. Le premier groupe rassemble cinq génotypes marocains 'Sefri' ; 'Bzou' ; 'Grenade jaune' ; 'Grenade Jaune' ;

'Chioukhi' et 'Djeibi' indiquant l'authenticité des géotypes locaux à l'exception des géotypes 'Chelfi' et 'Sefri2' qui ont été regroupés dans différents sous-groupes et largement distingués du groupe. Le deuxième groupe comprenait quatre géotypes ('Dwarf Semi Evergreen', 'Wonderful', 'Mollar Osin Hueso' et 'Chelfi'). Deux d'entre eux sont originaires des Etats-Unis, un du Maroc et le dernier de Chine. Le troisième groupe comprend quatre géotypes, dont deux sont originaires d'Espagne ('Ruby' et 'Gordo de Jativa'), un de Tunisie ('Zheri Precoce') et le dernier d'Espagne ('Negro Monstrioso'). Ces études suggèrent une grande diversité dans les caractères agromorphologiques et physico-chimiques et pourraient être utilisées comme une première approche efficace pour la discrimination des géotypes de grenadiers.

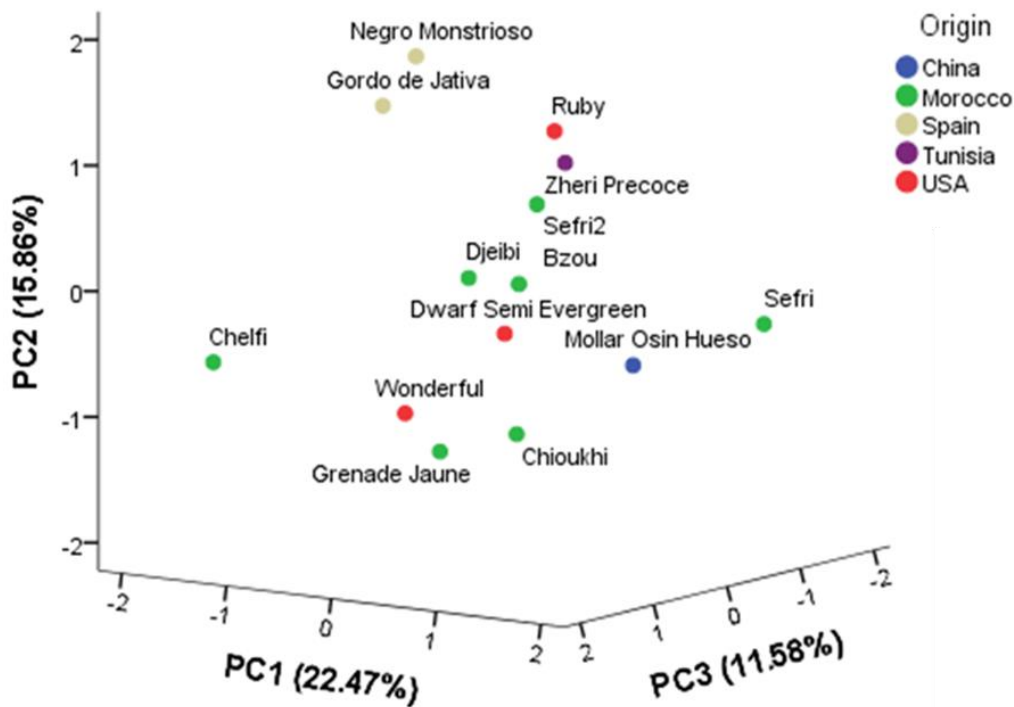


Figure 33: Diagramme de dispersion des trois premières composantes principales pour la collection de grenades étudiée, sur la base de tous les descripteurs.

I.6. Corrélation entre les variables

Afin d'identifier les relations entre les caractères morphométriques, biochimiques et lipochimiques étudiés, tous les descripteurs utilisés ont été impliqués dans la corrélation bivariée divisée en carte de chaleur en utilisant le modèle de Pearson (Figure 34). Les corrélations les plus potentielles et les plus significatives sont résumées dans le Tableau 29. En effet, les corrélations positives les plus potentielles et les plus significatives sont marquées en rouge. D'autre part, les corrélations négatives les plus importantes sont celles marquées en bleu.

Les résultats montrent des corrélations positives et significatives très fortes entre le poids et le diamètre total, la longueur du fruit, la longueur du fruit sans calice, le poids de l'écorce, le rendement en jus, le poids des pepins et la longueur des pepins. Ces résultats sont similaires à ceux rapportés dans des études précédentes ([353]; [354]). De même, d'autres corrélations entre la longueur du fruit sans calice avec le poids, le diamètre, le diamètre du calice et la longueur du fruit ont été observées. En outre, de fortes corrélations positives relient le rendement en jus au poids, au diamètre, à la longueur du fruit et à la longueur du fruit sans calice. Des rapports précédents ont montré des résultats similaires (Khadivi et al. [327]). Ceci indique que les génotypes marqués par un haut rendement en jus sont ceux caractérisés par un grand diamètre total et un grand poids du fruit. De même, la longueur du fruit sans calice, le poids de l'écorce et la longueur des pepins sont fortement liés au poids, au diamètre et à la longueur du fruit. Des résultats similaires ont été montrés dans des travaux précédents ([311]; [353]). D'autre part, des corrélations négatives et significatives sont également enregistrées entre le pourcentage en pepins et le poids diamètre du fruit, diamètre du calice, longueur du fruit, et rendement en jus. D'autres corrélations négatives et hautement significatives sont également enregistrées entre l'acide vaccinique et le poids, le diamètre, la longueur du fruit, le rendement en arilles et en jus et la longueur, l'arceure et le poids des arilles. Pour les propriétés biochimiques, les relations entre les attributs biochimiques ont été étudiées, afin d'évaluer les corrélations possibles entre ce groupe de données. Cette analyse a particulièrement porté sur les relations entre les acides gras et d'autres paramètres d'intérêt agronomique. En outre, D'autres corrélations jugées importantes entre l'acide palmitélaïdique et l'acide stéarique, l'acide oléique et l'acide gadoléique. Des corrélations importantes relient l'acide stéarique à l'acide oléique, l'acide linoléique, l'acide gadoléique et l'acide citrique g/l. Des corrélations positives entre l'acide oléique et l'acide linoléique, l'acide gadoléique et l'acide citrique ont été enregistrées. L'acide malique a également été corrélé avec l'acide quinique, avec le glucose

et le fructose. Ces deux sucres sont également fortement corrélés avec l'acide quinique, le glucose et le fructose. Le fructose est très fortement corrélé au glucose. Des corrélations négatives et hautement significatives sont également enregistrées entre l'acide béhénique et l'acide palmitique, l'acide stéarique, l'acide oléique, l'acide linoléique et avec l'acide gadoléique. Le diamètre des arilles est négativement lié à l'acide margarique et à l'acide alpha-linolénique. Les coefficients de corrélation peuvent fournir des informations sur des descripteurs potentiellement importants pour l'évaluation des génotypes. Les corrélations significatives et fortes peuvent être étudiées de manière plus approfondie pour une prédiction préliminaire et rapide d'autres caractères et pourraient donc être recommandées dans de futurs travaux de criblage, en particulier avec une longueur d'échantillon plus importante.

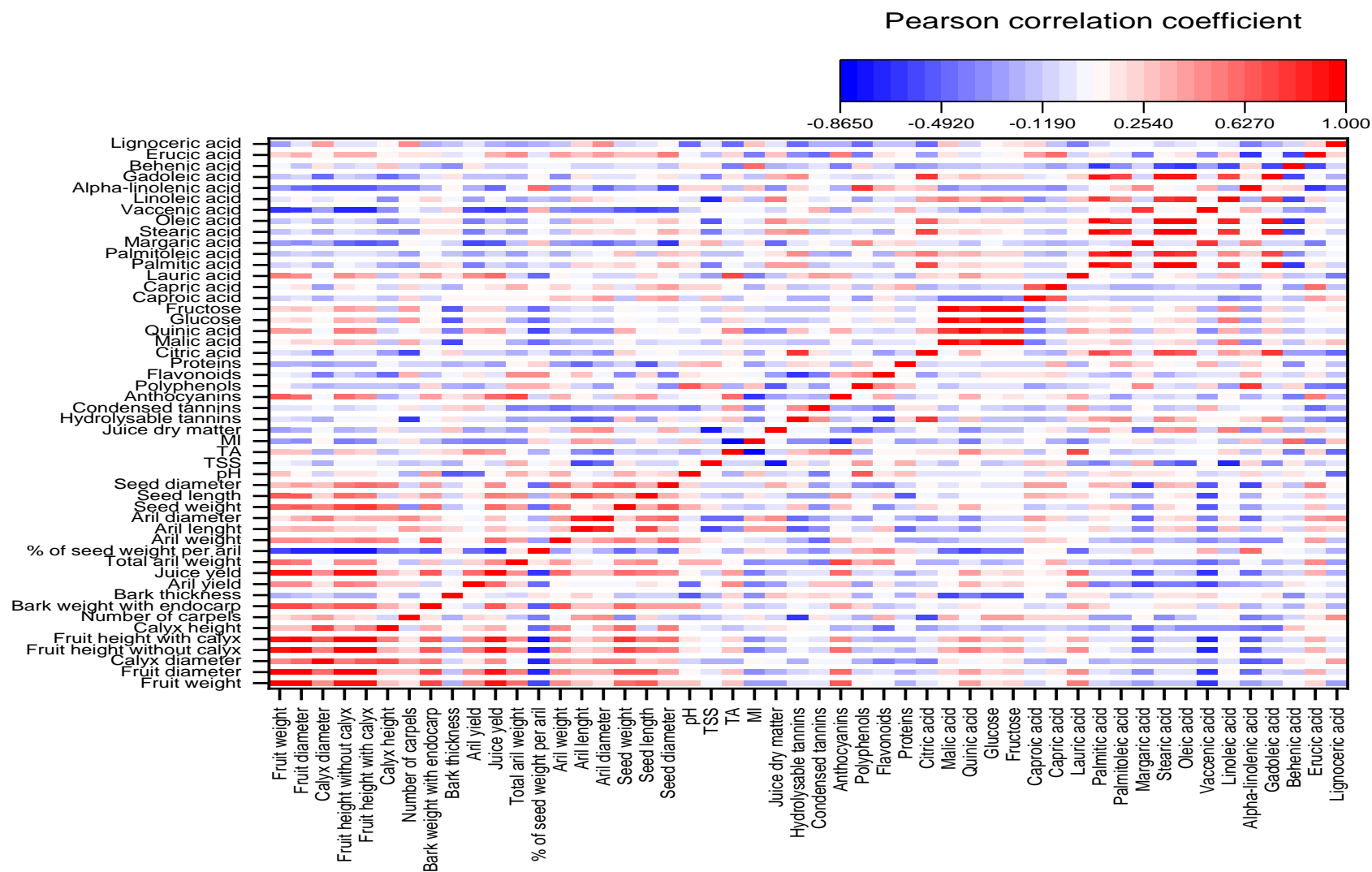


Figure 34: Corrélations bivariées (split heatmap) entre les caractères morphométriques et lipo-biochimiques des 14 génotypes de grenade étudiés.

I.7. Carte de chaleur bidimensionnelle en cluster

Afin d'obtenir une classification simplifiée des génotypes étudiés en utilisant tous les paramètres phénotypiques (Figure 35) et les caractères lipo-biochimiques (Figure 36), une carte thermique à deux dimensions a été générée ; l'une est orientée vers l'échantillon tandis que l'autre est orientée vers la variable. Chaque petit carré représente les caractéristiques phénotypiques ou lipo-biochimiques des génotypes de grenadiers. Les figures affichent une matrice de données colorée, qui donne un aperçu des différences numériques entre les échantillons étudiés. Un effet faible sur l'ensemble des données est affiché avec une intensité de couleur faible, tandis qu'un effet plus fort est affiché avec une intensité de couleur élevée. La couleur représente la valeur normalisée, où la couleur rouge fait référence à des valeurs élevées, tandis que la couleur bleue décrit des valeurs plus faibles. En outre, pour les deux couleurs, l'intensité représente la force de l'effet. Chaque carré représente le contenu normalisé de différentes caractéristiques phénotypiques d'un génotype. La carte thermique basée sur les caractères morphométriques, présentée dans la (Figure 35), a mis en évidence que le diamètre du fruit et le rendement en jus avaient des scores plus élevés dans l'ensemble de données, ce qui signifie qu'ils ont un effet plus important sur la distribution des génotypes. Cependant, le poids des pépins, le poids des arilles, le diamètre des arilles et l'épaisseur de l'écorce ont eu un faible impact sur l'ensemble des données. Le dendrogramme obtenu a clairement différencié cinq groupes principaux, où la variété étrangère, 'Gordo de Jativa' constitue à elle seule un groupe distinct, qui se caractérise notamment par le poids du fruit et le rendement en jus les plus faibles. D'autre part, la carte thermique basée sur les données lipo-biochimiques (Figure 36) a montré sept groupes distincts, où les teneurs en polyphénols, flavonoïdes, anthocyanines et tanins (hydrolysables et condensés) ont eu le plus grand impact sur la discrimination entre les génotypes étudiés. Parmi les groupes obtenus, le génotype 'Dwarf Semi Evergreen' a été distingué comme un groupe distinct, car il présentait les teneurs les plus faibles en polyphénols et en flavonoïdes.

Des résultats comparables ont été rapportés par Loukhamas et al. [337] dans une étude de criblage sur dix génotypes de grenadiers d'intérêt commercial largement connus au Maroc. Enfin, l'ACP et l'analyse des cartes thermiques ont permis de mieux comprendre la relation entre les variables et les clusters obtenus.

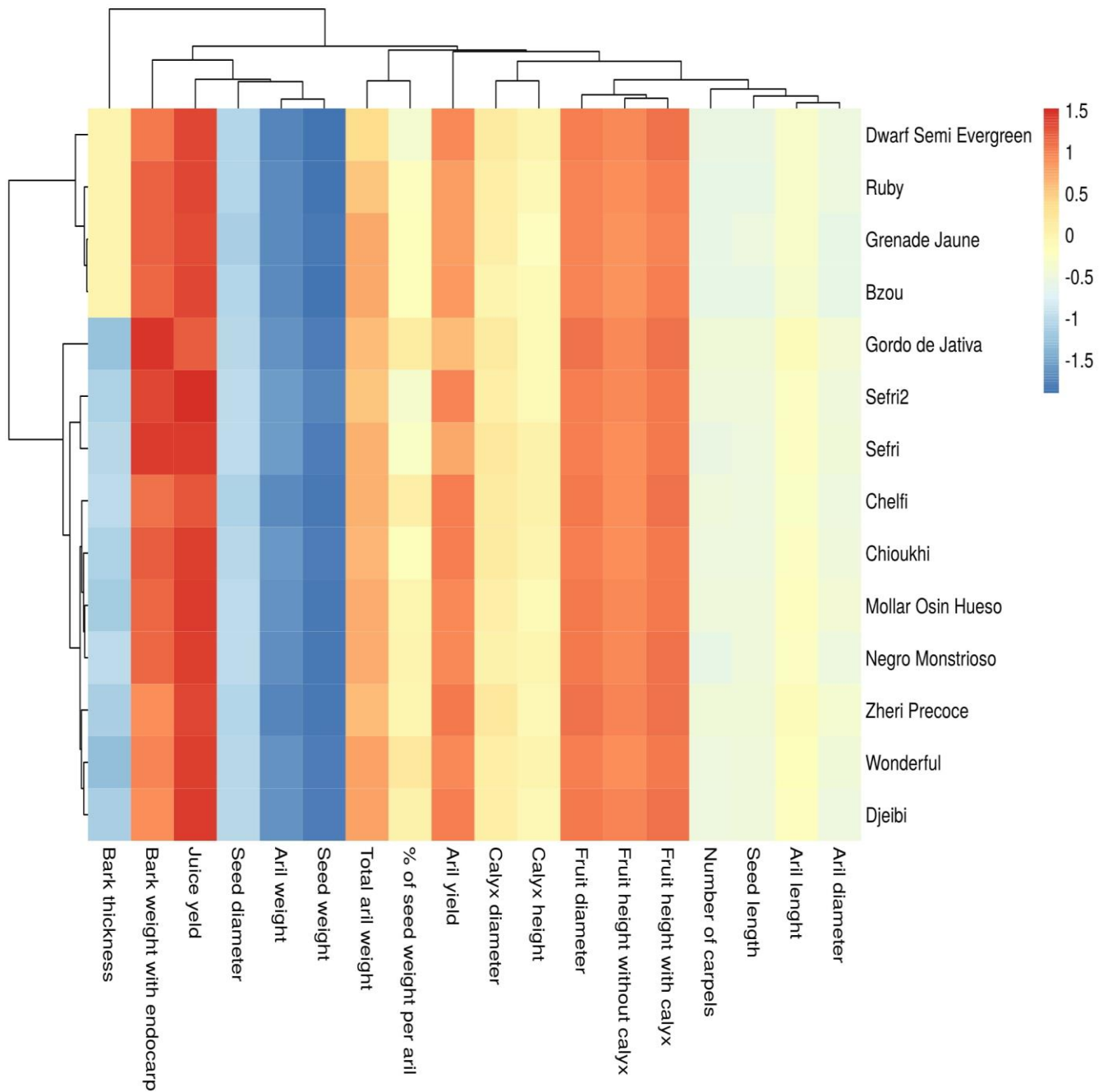


Figure 35: Analyse des clusters des génotypes de grenade étudiés, basée sur les traits morphométriques.

Chaque petit carré reflète les caractéristiques phénotypiques des génotypes de grenadier. La couleur représente la valeur normalisée, le rouge représentant la valeur la plus élevée et le bleu la valeur la plus faible. Chaque ligne représente le contenu normalisé de différentes caractéristiques phénotypiques d'un génotype. Chaque colonne représente la différence entre les résultats normalisés de différents génotypes pour un seul phénotype spécifique.

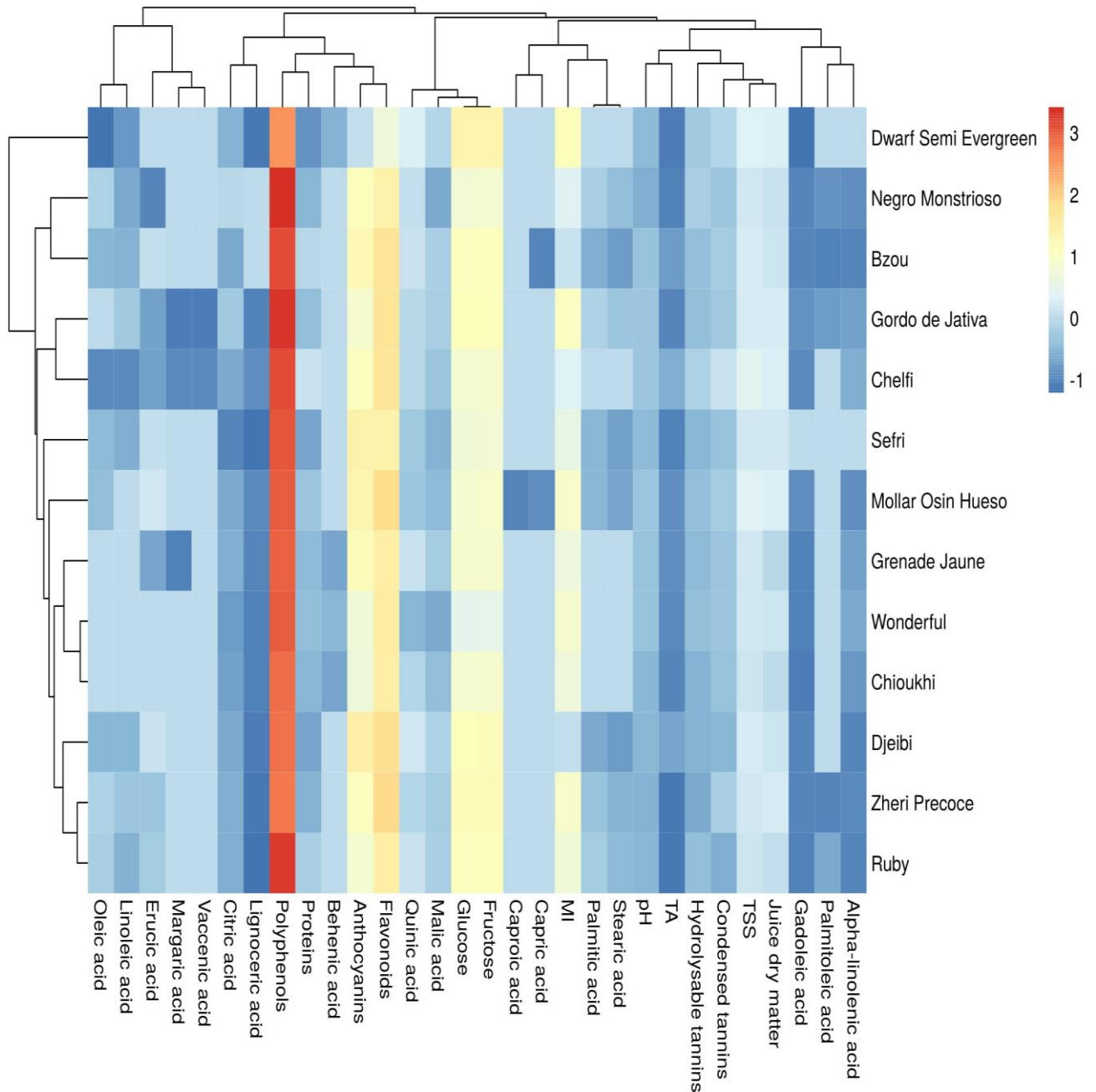


Figure 36: Analyse des clusters des génotypes de grenade étudiés, basée sur les caractéristiques lipo-biochimiques.

Chaque petit carré reflète les caractéristiques phénotypiques des génotypes de grenade. La couleur représente la valeur normalisée, le rouge représentant la valeur la plus élevée et le bleu la valeur la plus faible. Chaque ligne représente le contenu normalisé de différentes caractéristiques phénotypiques d'un génotype. Chaque colonne représente la différence entre les résultats normalisés de différents génotypes dans un seul phénotype spécifique.

I.8. Mise en commun des génotypes

Les génotypes examinés ici ont été classés en fonction des paramètres de performance par rapport aux génotypes étrangers. Les pools ou groupes homogènes ainsi obtenus pourraient être considérés comme des pools de sélection à utiliser dans le programme de sélection des grenadiers. En effet, le comportement pomologique, biochimique et lipochimique des génotypes étudiés a montré un gradient de performance assez important. L'analyse des résultats montre qu'il existe des génotypes présentant des niveaux intéressants pour la plupart des caractères d'intérêt (Tableau 29).

Tableau 29: Génotypes performants marocains sélectionnés en fonction de chaque paramètre souhaité (gradient de performance)

	<i>Sefri2</i>	<i>Grenade Jaune</i>	<i>Chioukhi</i>	<i>Dejebi</i>	<i>Chelfi</i>	<i>Bzou</i>	<i>Sefri</i>
Acide érucique				11,057			
Poids du fruit	491,88	466,06					
Diamètre du fruit	95,4						95,2
Diamètre du calice			21,7				
Longueur du fruit avec calice	84,94						82,8
Longueur du fruit sans calice	98,75						101,4
Hauteur du calice			17,27				18,6
Nombre de sépales	7,17						
Poids de l'écorce avec endocarpe	164,2						190
Épaisseur de l'écorce					2,71		
Rendement en pépin	92,6		88,7				
Rendement en jus	216,4						191,17
Poids des arilles		63				60	
Poids d' un arille			0,48				0,51
Longueur de l'arille							11,95
Diamètre de l'arille							8,26
Longueur de la pepin		7,54					
Diamètre de la pepin							2,87
Ph						3,93	
TSS			17		16,2		
TA	2,32			1,50			
DM							14,20

HT	4,84		
CT	7,39		8,06
Anto Tas		161,58	174,28
Polyphénol		9476,33	8804,93
Flav		386,45	367,96
Protéines			8,18 8,29
Citrique	4,66		
Malique			6,84
Quinique	16,28		14,10
Glucose			95,48
Fructose			102,65 97,37

TSS : sucres solubles totaux ; TA : acidité titrable ; DM : matière sèche ; HT : tanins hydrosolubles ; CT : tanins condensés.

Conclusion

Ce chapitre a montré une grande variabilité au sein des accessions de grenadiers étudiées, en particulier parmi les géotypes locaux, indiquant que le Maroc est un important réservoir de diversité génétique de grenadiers. Le criblage morphométrique et biochimique de la collection de grenadiers évaluée dans cette étude a révélé une large gamme de variation pour tous les paramètres. Les résultats ont également montré des corrélations intéressantes reliant certains paramètres d'intérêt à d'autres, rendant ainsi plus efficaces les futures études de criblage de cette collection. Les variables les plus discriminantes dans la classification des géotypes étaient le poids du fruit et ses dimensions, ainsi que le contenu en jus et certains acides organiques, principalement les acides citrique, palmitique, stéarique et oléique. Ce criblage multivarié a permis d'identifier les similitudes et les dissimilitudes entre certaines variétés étrangères et les géotypes locaux. La base de données obtenue a montré que les géotypes locaux présentaient un grand potentiel et pouvaient être préconisés comme parents dans les programmes de sélection ainsi que dans les filières de valorisation prometteuses en raison de la qualité de leurs fruits. Cependant, l'une des limites de ce travail est qu'une plus grande longueur d'échantillon est nécessaire et qu'une validation plus poussée doit être effectuée en utilisant des échantillons d'autres variétés et origines et en réalisant d'autres tests dans des lieux contrastés, afin que la stabilité des performances mises en évidence ici puisse être vérifiée. Néanmoins, cette étude fournit de nombreuses données de grand intérêt concernant les attributs lipo-biochimiques des pépins de grenade qui peuvent être exploitées à des fins nutritionnelles, pharmaceutiques et cosmétiques.

Quatrième partie : Changements induits par le stress hydrique, l'âge et de l'année sur la qualité du fruit de deux cultivars de grenadier: Sefri et Wonderful

Ce travail constitue une contribution à la rationalisation de l'utilisation de l'eau en agriculture, étant un défi national à nos jours et pour les années à venir dont les prévisions en termes de disponibilités hydriques sont alarmantes. Il avait pour objectif global d'évaluer la tolérance du grenadier au déficit hydrique. Dans une première partie, a été situés les périodes moins critiques pour l'expérimentation de l'irrigation déficitaire régulée et évalué l'effet de l'irrigation déficitaire contrôlée à la goutte à goutte sur la qualité du fruit de deux variétés de grenadier (Sefri et Wonderful), à travers l'analyse de ses propriétés physiques, chimiques et biochimiques. La seconde partie a consisté en la détermination de l'effet de l'âge, de l'année de récolte sur des paramètres de qualité des fruits ces de deux variétés de grenadier : *Sefri et Wonderful*.

1. Effet sur le niveau de rendement

Tableau 30: effet de différents régimes d'eau sur les paramètres physiques du fruit de la grenade

Variété	Régime hydrique	Nombre de fruits par arbre	Rendement (kg/arbre)	Taux d'éclatement (%)
Sefri	100% ETc	18 ^a	4.95 ^a	29.16 ^b
	70% ETc	19 ^a	4.85 ^a	14.44 ^b
	50% ETc	4 ^b	0.56 ^b	83.33 ^a
Wonderful	100% ETc	17	3.27	47.22
	70% ETc	20	4.00	49.82
	50% ETc	22	4.59	51.42

Les valeurs suivies d'une même lettre ou non marquées sont statistiquement égales au seuil de 95%

Effet sur charge de l'arbre en fruit :

L'effet était insignifiant sur wonderful, alors qu'il était significatif sur Sefri. Les différences pour Sefri sont liées principalement à la chute des fruits au cours du grossissement, et aussi à la réduction du poids du fruit.

Effet sur niveau de rendement :

Aucun effet sur Wonderful. L'effet était significatif sur Sefri. Les différences pour celle-ci sont expliquées par la faible charge des arbres du fait des chutes de fruits. Aussi, expliquées par la réduction du poids du fruit.

Taux d'éclatement :

Le déficit hydrique semble accentuer le taux d'éclatement du grenadier, en se basant sur les observations sur Sefri. Sur Wonderful, l'effet sur le taux d'éclatement était insignifiant. A noter que les mesures de ce paramètre ne sont pas concluantes pour cette année à cause de la survenue de jours très pluvieux à l'approche de la récolte.

La variété Sefri était plus sensible au déficit hydrique que la variété Wonderful. Chez cette dernière, le niveau de rendement en fruits n'a pas été affecté par les deux régimes de l'IDC testés. La stabilité du rendement pour cette variété, sous les restrictions hydriques, provient d'un maintien de la charge des arbres ainsi que du poids moyen du fruit. Toutefois, cette variété a produit un nombre relativement important de petits fruits sous les deux restrictions hydriques, comparativement au régime de control (100% de l'ETc), tout en maintenant un poids moyen stable du fait d'une augmentation du nombre de gros fruits produits. Les niveaux d'irrigation déficitaire appliqués semblent donc induire une hétérogénéité du calibre du fruit, sans changer sa valeur moyenne à l'échelle de l'arbre.

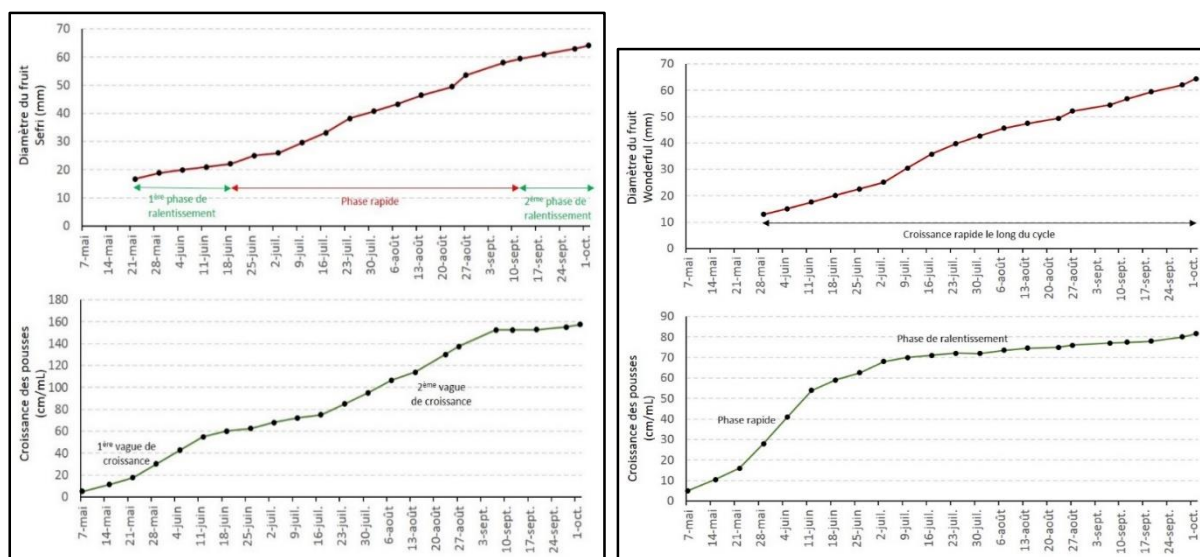


Figure 37: Cinétique de croissance du fruit et des pousses de l'année chez les variétés de grenadier : Sefri (à gauche) et Wonderful (à droite) sous irrigation à la demande

2. Périodes non-critiques pour l'irrigation déficitaire

Le suivi hebdomadaire de l'évolution du diamètre du fruit de la nouaison à la maturité des deux variétés, Sefri et Wonderful, sous irrigation complète (100% ETc), a permis de localiser les périodes de ralentissement de la croissance du fruit, qui correspondraient à des périodes non-critiques pour l'application d'une irrigation déficitaire (Figure 37). Les courbes de croissance

Obtenues, aussi bien pour le diamètre du fruit que pour l'allongement des pousses de l'année, étaient différentes entre les deux variétés testées.

Chez la variété Sefri, la croissance du fruit a commencé dès la nouaison par une phase relativement ralentie ayant duré 5 semaines, suivie par une phase rapide sur une période de 10 semaines avant de ralentir à nouveau en fin de grossissement du fruit sur une période de 3 semaines. La première phase de ralentissement s'est achevée lorsque le fruit a atteint 34% de sa taille finale, avec un taux moyen de croissance du diamètre du fruit de 1,2 mm/semaine. La deuxième phase de ralentissement a commencé à 90% de la taille du fruit, avec un taux de croissance de 2,3 mm/jour. En phase rapide, ce taux était de 3,6 mm/semaine. Cependant, chez la variété Wonderful, la croissance du fruit était relativement linéaire le long du cycle de développement du fruit, sans passer par phase de ralentissement, avec un taux de croissance moyen de 2,8 mm/semaine.

3. Chevauchement avec le rythme de croissance végétative

La croissance des pousses était importante chez la variété Sefri comparativement à Wonderful, avec une différence en termes de longueur finale des pousses de 95%. La variété Sefri a présenté 2 vagues de croissance rapides. La première s'est déroulée sur 5 semaines depuis le début de végétation et a coïncidé avec une croissance ralentie du fruit. La deuxième vague s'est déroulée sur 7 semaines (16 juillet – 10 Septembre) et a coïncidé avec une croissance rapide du fruit. Cependant, chez la variété Wonderful, la croissance des pousses a été caractérisée par une phase rapide au cours des 8 premières semaines, suivie d'une longue phase de ralentissement jusqu'à la fin du cycle. La croissance rapide du fruit chez cette dernière variété a donc coïncidé globalement avec une croissance ralentie des pousses.

Cependant, pour les rendements en fruits, les différences entre les stratégies d'irrigation étaient élevées et statistiquement significatives chez Sefri. Cette variance élevée était attendue puisque les résultats précédents (Parvizi et al. [355]), ont montré que le rendement en fruits était plus influencé par le nombre de fruits sur l'arbre que par la taille finale des fruits. Sur la base de résultats antérieurs (Parvizi et al. [355]), une autre étude a montré que la stratégie ID75 réduisait le rendement en fruits de 8,3 % et 5,6 % en 2011 et 2012, respectivement, par rapport au témoin, avec une économie de 25 % en eau d'irrigation. De plus, la stratégie ID75 a entraîné des rendements en fruits inférieurs de 22,8 % et 16,9 % à ceux de DI75 la première et la deuxième année, respectivement. La stratégie ID50 a montré des rendements en fruits inférieurs de 17,8 % (2011) et 21,2 % (2012) sous des traitements d'irrigation à stress hydrique sévère (réduction de 50 % de l'eau d'irrigation). 21,2% (en 2012) à au témoin. Volschenk, T [356].

Le suivi hebdomadaire de la croissance du fruit et des pousses de l'année chez les deux variétés de grenadier, Sefri et Wonderful, a été réalisé dans l'objectif de situer les périodes moins-critiques pour l'expérimentation de l'irrigation déficitaire régulée. En cette première année de suivi, les résultats montrent l'existence de deux périodes potentielles pour la variété Sefri (de la nouaison au 18 juin et du 12 septembre à la maturité du fruit). Cependant, pour la variété Wonderful, aucune période potentielle n'a été relevée du fait de la croissance relativement linéaire de son fruit. Notons que les résultats concernant l'expérimentation de différents régimes hydriques, le long du cycle de croissance du fruit, sont en cours d'acquisition.

I. Effet de l'irrigation sur les paramètres physiques chimiques et biochimiques étudiés.

Le Tableau 31 montre que la variété Sefri a des pépins 15 % plus lourds que la variété Wonderful. C'est pourquoi Sefri a une teneur en jus plus faible, tandis que la variété *Wonderful* est plus riche en anthocyanes et plus acide que *Sefri* respectivement 59% et 13%, en revanche *Sefri* est plus riche en d'autres paramètres biochimiques, notamment les tanins condensés, les tanins hydrosolubles et les polyphénols de 42, 19 et 26% respectivement, lors de l'analyse il a été noté qu'il y avait une différence remarquable dans la coloration du jus de ces deux variétés : le jus de la variété *Wonderful* est apparut rouge bleuté qui attire l'a goûté pour trouver un goût très acidulé, tandis que *Sefri* est un rose jaunâtre et moins acide ce qui est expliqué par ces résultats, si elle vise à la transformation de *Wonderful*, la portion doit être déterminée en tenant compte de l'acceptation du consommateur. Cependant, la capacité antioxydante du jus de fruit était corrélée négativement (Annexe 2) avec les tanins hydrosolubles, les tanins concentrés et la couleur rouge intense.

Les effets des différents régimes hydriques sur les variétés du Tableau 32 montrent des déficiences hautement significatives sur les paramètres de jus : Djus, pH et de couleur a* et c*, avec des différences significatives de degré brix. Pour les deux variétés (*Sefri et Wonderful*) le déficit hydrique sévère de 50% (Tableau 33) a réduit la densité du jus de 0,8 %, l'acidité (pH) de 8,6 %, la douceur (Brix) de 9 %, et le paramètre de couleur a* qui indique la coloration rouge 6%, par rapport à une irrigation à la demande de 100 %. En revanche, le paramètre de couleur c *, qui détermine l'intensité de la couleur, a augmenté de 7%.

Tableau 31: Analyse de la variance de l'effet variétal et des différents régimes hydriques sur les paramètres de qualité des fruits.
(les valeurs sont présentés sous forme de moyenne quadratique et degrés de signification de la déviance)

	jus	DJus	Tarilsp	Paril	Ppep	AT	PH	Brix	Cant	Antho	Flav	Phén	ProG	TanC	TanH	L*	a*	b*	c*	h°
CUL	13,78NS	0,00 002NS	15,20NS	406, 12NS	11526, 68**	0,0 49NS	1,38***	0, 36NS	355, 55NS	18369, 72***	321,18NS	3,20NS	3,51NS	158578, 35***	188152,02*	0,71NS	34, 92***	22, 96***	41,5 6***	61, 91***
Régime	44,15NS	0,000 45***	0,26NS	8555, 37NS	1557, 51NS	0,08 8NS	0,29***	3,75*	186, 11NS	480 ,39NS	2070,58NS	3,57NS	2,16NS	2296,06NS	11832,92NS	0,29NS	10,01***	0,35NS	10,4 3***	0,20NS
CUL*Reg	25,55NS	0,000 06NS	6,53NS	4606, 54NS	2574, 01NS	0,1 2NS	0,23**	0,60NS	506, 69NS	391, 48NS	2362,50NS	0,04NS	2,04NS	2259,06NS	29086,72NS	1,20NS	10,45***	0,81*	11,1 7***	0,20NS

CUL : géotypes ; Reg : régime hydrique ; * Significatif à 0,05 ; ** Significatif à 0,01 ; *** Significatif à 0,001 ; NS : non significatif

Tjus: Teneur en jus des arilles (%); **Tarilsp:** Matière sèche des arilles (%); **Djus:** Densité du jus g/ml; **Paril:** Poids arille (mg); **Ppep:** Poids de pépin (mg); **AT :** Acidité titrable; **TSS :** Sucres solubles totaux(%); **phén:** la teneur en polyphénols totaux (**g EAG/l**); **proG:** la composition protéique(**g ESBA/l**); **TanC:** les tanins condensés (**mg EAT/D**); **TanH:** les tanins hydrosolubles (**mg EAT/I**); **Antho:** Les Anthocyanes totaux (**mg C3G/100ml**); **falav:** La teneur en flavonoïdes totaux (**mg EQ/l**); **Cant:** La capacité antioxydante (DPPH %).

Tableau 32: Analyse de la variance de l'effet variétal sur les paramètres de qualité des fruits.

	Jus	DJus	Tarilsp	Paril	Ppep	AT	PH	Brix	Cant	Antho	Flav	phén	proG	tanC	TanH	L*	a*	b*	c*	h°
<i>Sefri</i>	60,52	1,06	24,09	593,67 ^a	334,67 ^a	1,22	4,22 ^a	16,82	70,56	44,25 ^b	358,40	3,31	8,79	447,82 ^a	1010,19 ^a	17,01	30,52 ^a	4,46 ^a	30,88 ^a	8,14 ^a
<i>Wonderful</i>	66,40	1,05	22,25	584,7 ^b	284,06 ^b	1,32	3,66 ^b	16,53	61,67	108,14 ^a	366,81	2,46	7,90	260,10 ^b	809,71 ^b	16,61	27,74 ^b	2,20 ^b	27,84 ^b	4,43 ^b

Tableau 33: Analyse de la variance de l'effet des différents régimes hydriques sur les paramètres de qualité des fruits.

	Jus	DJus	Tarilsp	Paril	Ppep	AT	PH	Brix	Cant	Antho	Flav	Phén	proG	tanC	TanH	L*	a*	b*	c*	h°
T100	63,46	1,055 ^b	23,04	611,83	290,83	1,13	3,83 ^b	17,50 ^a	72,54	69,56	382,91	3,69	8,70	331,85	874,15	16,90	28,49 ^b	3,29	28,74 ^b	6,50
T70	64,38	1,063 ^a	23,41	545,33	317,17	1,36	3,80 ^b	16,60 ^{ab}	62,83	72,65	346,45	2,81	8,68	361,02	891,46	16,55	28,27 ^b	3,11	28,48 ^b	6,17
T50	68,55	1,046 ^c	23,06	609,58	320,08	1,32	4,19 ^a	15,92 ^b	62,96	86,37	358,52	2,15	7,66	369,02	958,25	16,96	30,62 ^a	3,59	30,88 ^a	6,19

I.1. Effet de l'irrigation sur les propriétés physiques des fruits

Les propriétés physiques mesurées concernaient le poids du fruit, le poids d'un arille, la teneur en jus des arilles et la densité du jus. Le Tableau 34 montre la variation de ces paramètres en fonction du niveau de déficit d'irrigation.

D'après ce Tableau, l'irrigation déficiente a influencé le poids des fruits de la variété *Sefri*, en particulier sous le régime d'eau de 50% ETc, entraînant une réduction significative du poids des fruits de 41% en moyenne. Cependant, sous le régime modéré de 70% ETc, le poids des fruits de *Sefri* est resté inchangé par rapport à l'irrigation à la demande (100% ETc). Alors que sur la variété *Wonderful*, l'effet était insignifiant, ce résultat semble contredire celui trouvé sur la même espèce [277], sur les résultats de laquelle une augmentation du poids des fruits sous déficit hydrique a été observée, en effet nos résultats sont confirmés par (Basile Noitsakis. [3]) sur *Wonderful* le poids moyen est réduit seulement sous l'influence d'un régime inférieur à 50%, tandis que les mêmes résultats de (Semaoui et al. 2020) sur *Sefri*, qui a trouvé que le traitement 50% ETc, a indiqué le poids du fruit le plus faible par rapport aux autres. Pour les agrumes, une irrigation déficiente (75% et 50%) réduit le poids et le diamètre des fruits. De même, sur les pommiers, elle diminue le rendement et augmente le poids des fruits [360].

Ces différences pourraient être attribuées aux types de génotypes ainsi qu'à la charge fruitière de l'arbre, qui ont des impacts importants sur le développement des propriétés physiques du fruit. Le poids moyen d'un arille et d'un pépin n'a pas diminué suite au déficit hydrique même en présence d'une variation significative du poids des fruits de la variété *Sefri* sous le régime hydrique 50% ETc. Ce résultat indique que les petits fruits de grenade, produits sous stress hydrique, contiennent des arilles de la même taille que les gros fruits bien que leur nombre varie. De même, l'effet est non significatif sur le poids moyen d'un arille de la variété *Wonderful*. Ce résultat ne corrobore pas avec celui trouvé par [277] qui ont plutôt observé une augmentation du poids moyen d'un arille sous déficit hydrique.

Le déficit d'irrigation n'a pas réduit la teneur en jus des arilles et la teneur en pépins des arilles, associée à une augmentation de leur teneur en matière sèche. En effet, la restriction hydrique de 70% ETc a entraîné une augmentation de 25% de la teneur en matière sèche des arilles sans affecter leur teneur en jus confirmée par (Semaoui et al. 2020) chez la variété *Sefri*. De même, chez la variété *Wonderful*, ce même niveau de restriction hydrique a entraîné à la fois une augmentation de la teneur en matière sèche des arilles (7%) sans diminution de leur teneur en jus. Les mêmes résultats ont été trouvés par (Lairibi et al. [361]), sans effet significatif du stress hydrique détecté sur le rendement en jus.

Avec une restriction hydrique de 50% ETc, l'effet sur ces deux paramètres a été significatif et plus marqué pour les deux variétés. La densité du jus a également été influencée par le déficit d'irrigation puisque les jus sont devenus plus légers indiquant que l'augmentation de la matière sèche des arilles se situait plutôt au niveau de leurs pepins.

Tableau 34: Effet de différents régimes d'eau sur les paramètres physiques du fruit de la grenade

Variété	Régime hydrique	Poids du fruit* (g)	Poids de l'arille (mg)	Poids de la pepin (mg)	Teneur en jus des arilles (%)	Matière sèche des arilles (%)	Densité du jus g/ml	Teneur en pepins (ml/100g d'arilles)
<i>Sefri</i>	100% ETc	281,39 ^a	644,33	318,33	60,52	7,02 ^b	1,059 ^b	25,05
	70% ETc	246,91 ^a	550	362	63,51	8,79 ^a	1,065 ^a	24,23
	50% ETc	164,66 ^b	586,67	323,67	69,74	9,12 ^a	1,043 ^c	22,99
<i>Wonderful</i>	100% ETc	209,40	579,33	263,333	66,40	7,75 ^b	1,052 ^b	21,03
	70% ETc	208,01	540,67	272,333	65,26	8,38 ^a	1,061 ^a	22,60
	50% ETc	198,25	632,50	316,5	67,36	8,43 ^a	1,048 ^c	23,13

I.2. Effet sur les propriétés chimiques du jus

L'évaluation de l'effet d'une irrigation déficiente sur les paramètres chimiques du jus de grenade a été réalisée par la mesure du pH, de l'indice réfractométrique (°Brix) et de l'acidité titrable. L'analyse de la variance de ces paramètres est présentée dans le Tableau 35. La couleur du jus de *Wonderful* était similaire pour tous les traitements, à l'exception du traitement 50% ETc de l'ID a*, qui (couleur rouge) nettement plus claire que les autres traitements (Tableau 35). Alors que des changements significatifs ont été détectés dans le jus des fruits de *Sefri* a*, b*, c* et h° ont indiqué une évolution vers des valeurs plus élevées de saturation rouge jaunâtre, ces résultats reflètent l'augmentation de l'anthocyane observée dans le Tableau 35 et les résultats observés par Hernández et al. [357], qui ont montré une augmentation de la pigmentation du jus pendant la maturation des fruits de grenade et ont identifié six pigments anthocyanes responsables de la couleur rouge du jus. Les résultats rapportés par (Tiziana et al. [358]) de l'effet du déficit hydrique sur les valeurs de couleur des fruits ont montré une diminution des valeurs de a* (rouge-vert) et b bleu-jaune dans cette étude et une augmentation de l'intensité de la couleur (L*), intensité de la couleur (C*) comparable à nos résultats. L'importance de la copigmentation dans le jus de grenade est due à l'importance de la couleur dans la détermination de l'acceptation par les consommateurs des grenades et des produits à base de grenade. La copigmentation est la réaction entre les anthocyanes (ACN, responsables de la couleur du jus

de grenade) et les copigments (par exemple, les acides phénoliques), produisant un effet hyperchromique dans le spectre d'absorption.

Tableau 35: Effet de différents régimes d'eau sur les paramètres chimiques du jus de grenade

Variété	Régime Hydrique	Sucres solubles totaux(°Brix)	Acidité titrable (g d'acide citrique/l de jus)	pH	L*	a*	b*	c*	h°
<i>Wonderful</i>	100% ETc	17,3	1,34	3,65 ^a	16,28	27,64 ^a	2,30	27,75 ^a	4,61
	70% ETc	16,8	1,37	3,66 ^a	16,36	27,85 ^a	2,27	27,97 ^a	4,52
	50% ETc	16,35	1,26	3,69 ^a	17,19	27,72 ^a	2,05	27,75 ^a	4,17
<i>Sefri</i>	100% ETc	17,70 ^a	0,92	4,01 ^a	16,62	29,53 ^b	4,29 ^{ab}	29,72 ^b	8,39
	70% ETc	16,40 ^{ab}	1,35	3,95 ^a	16,83	28,70 ^b	3,95 ^a	28,98 ^b	7,83
	50% ETc	15,50 ^b	1,38	4,70 ^b	17,56	33,51 ^a	5,14 ^a	33,95 ^a	8,20

I.3. Effet sur les propriétés biochimiques du jus

Les paramètres biochimiques mesurés sur le jus de grenade n'ont pas été affectés par la variété et le niveau de régime hydrique. Le Tableau 36 présente la comparaison des moyennes suivantes au seuil de 5%.

L'effet du déficit hydrique sur les composés biochimiques analysés n'était pas significatif dans les deux variétés. Cependant, les changements enregistrés ont montré que le déficit hydrique a induit des diminutions et des augmentations des niveaux de composés bioactifs. En effet, la teneur en polyphénols et la capacité antioxydante ont diminué dans les deux variétés, les protéines contenues dans le jus de *Sefri* ont eu tendance à diminuer et la teneur en flavonoïdes hydrosolubles et en tanins a diminué dans le *Wonderful* et augmenté dans le *Sefri*. Cependant, les anthocyanes ont augmenté dans les deux variétés et les tanins condensés ont augmenté dans le *Sefri*.

Tableau 36: Effet de différents régimes d'eau sur les paramètres biochimiques du jus de grenade

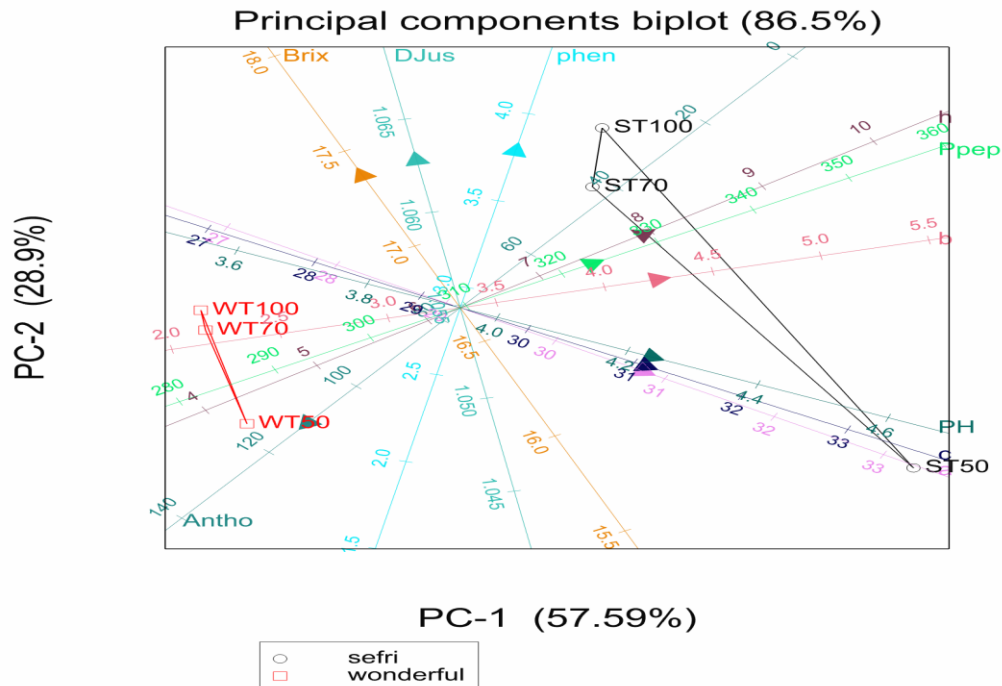
Variété	Régime Hydrique	Cant	Antho	Flav	Phén	ProG	TanC	TanH
<i>Wonderful</i>	100% ETc	62,75	106,98	402,14	3,18	7,89	259,10	837,04
	70% ETc	69,00	108,40	358,17	2,40	7,94	263,10	797,47
	50% ETc	53,25	109,04	340,24	1,80	7,89	258,10	782,63
<i>Sefri</i>	100% ETc	82,33	32,15	363,69	4,19	9,52	404,60	911,25
	70% ETc	56,67	36,90	334,72	3,22	9,42	458,93	985,46
	50% ETc	72,67	63,71	376,79	2,50	7,42	479,93	1133,87

Cant: La capacité antioxydante (DPPH %) ; **Phén:** la teneur en polyphénols totaux (**g EAG/l**); **ProG:** la composition protéique(**g ESBA/l**); **TanC:** les tanins condensés (**mg EAT/l**); **TanH:** les tanins hydrosolubles (**mg EAT/l**); **Antho:** Les Anthocyanes totaux (**mg C3G/100ml**); **Flav:** La teneur en flavonoïdes totaux (**mg EQ/l**).

Par conséquent, la qualité du jus de la variété *Sefri* est plus détériorée par le déficit hydrique, en termes de richesse en composés nutritionnels. Ce résultat semble similaire à celui trouvé par (Tiziana et al. [324]) sur la même espèce qui n'a pas trouvé d'effet significatif du stress hydrique.

Ce résultat est similaire à ceux trouvés par (Tiziana et al. [324]) qui ont trouvé que le déficit hydrique n'a pas d'effet sur les caractéristiques nutritionnelles des fruits de grenade, [277] a rapporté que les grenades traitées avec un déficit hydrique plus prononcé (75%) pendant la deuxième moitié de la phase de croissance du fruit n'ont pas montré de changements dans les caractéristiques chimiques du fruit mais seulement sur la taille du fruit. Dans une étude sur l'effet de l'irrigation déficitaire soutenue (SDI) sur les composés bioactifs des grenades, (Pena et al. 2013) ont montré qu'après un stockage à long terme, les fruits cultivés sous SDI avaient une qualité sensorielle et nutritionnelle supérieure et une durée de conservation plus longue que les fruits irrigués à 100% ET₀. De même, (Mena et al. [94]) ont étudié l'effet de stratégies d'irrigation déficientes sur la qualité nutritionnelle des grenades et ont conclu que les traitements de stress hydrique modéré (43%) et sévère (12%) sur les grenades ont induit une couleur de fruit plus jaunâtre, une activité antioxydante plus faible, et un contenu phénolique total,

punicagine, et anthocyanine plus faible que les fruits des arbres témoins. Ces différences dans les résultats pourraient être attribuées à la fois aux variétés testées et aux conditions agroclimatiques.



WT100 : Wonderful T100% ETc ; ST100 : Sefri T100%ETc

Figure 38: ACP de tous les paramètres de Sefri et Wonderful

Une analyse en composantes (ACP) a été effectuée pour les géotypes *Wonderful* et *Sefri* (Figure 38). Toutes les données sensorielles ont été incluses dans l'ACP et seront discutées dans cette section afin d'éviter la duplication des informations (Tableaux 31, 32, 33). La première composante principale (F1) a représenté 57,59 % de la variance totale des données pour *Wonderful* et *Sefri* et la deuxième composante principale (F2) a représenté 28,09 % de la variance totale.

Pour une vision globale on peut conclure que l'ID 50% a dégradé la qualité des fruits pour les deux variétés mais une plus frappante dans la variété marocaine *Sefri* bien que cette variété soit plus riche en éléments nutritionnels elle est apparue plus sensible.

II. Effet de l'âge de l'année de récolte sur les paramètres de qualité des grenades.

Au niveau du genotype, des différences significatives dans l'effet de l'année de récolte sur tous les paramètres de qualité des fruits (Tableau 37), à l'exception de la teneur en pepins des arilles et de la teneur en polyphénols des fruits, au niveau du genotype pour la teneur en pepins des arilles, le pH, le Brix, n'étaient pas significativement différents ainsi que la capacité antioxydante et le tanin hydrosoluble pour chaque variété.

Les effets des différents âges sur les variétés ont montré des différences hautement significatives dans tous les paramètres de qualité, sauf pour les paramètres biochimiques de qualité des jus, la capacité antioxydante et les phénols, pour le genotype en interaction avec l'année de récolte des déficiences non significatives de la teneur en jus d'arilles, de la teneur en pepins d'arilles, du poids des pepins, du pH du jus ainsi que des paramètres biochimiques sur les anthocyanes, les phénols, les protéines et l'activité antioxydante.

Les genotypes interagissant avec l'âge pour la teneur en jus et en arilles, le pH, les sucres solubles totaux, les tanins solubles dans l'eau et la capacité antioxydante n'étaient pas significativement différents des autres paramètres.

Pour les deux variétés (Tableau 38), le poids des fruits, le poids des arilles et le poids des pepins ont augmenté en 2017 et diminué en 2018, l'acidité a diminué mais le brix a augmenté, tous les paramètres biochimiques augmentent en 2018 par rapport à 2009, sauf les tanins condensés qui diminuent.

Un rendement en jus plus élevé chez *Wonderful* même si le poids de fruit et le poids d'arille les plus élevés sont chez Sefri indique que ce genotype a un résidu de jus plus élevé que *Wonderful*, qui est plus acide que Sefri. Pour des arbres de différents âges et un report à Sefri de 5 ans cette fois, il est moins riche en paramètres biochimiques que *Wonderful* notamment en flavonoïdes, protéines, tanins condensés et tanins hydrosolubles et les fruits de *Wonderful* sont toujours plus rouges en teneur plus élevée en anthocyanes.

Les âges des arbres sont similaires (Tableau 39) sauf l'âge de 10 ans ajouté au sefri pour l'absence de l'âge de 36 ans dans cette variété.

A Sefri le poids des fruits, l'AT, le brix et les anthocyanes augmentent pour les jeunes arbres à 10 ans pour diminuer à 22 ans, Selon Coutanceau [338], la maturité gustative est atteinte lorsque la qualité maximale du fruit est obtenue ; avant cette période l'acidité est souvent excessive et la teneur en sucre et l'arôme sont insuffisants. L'acidité des fruits de l'abricot peut atteindre jusqu'à plus de 3% de la matière fraîche [339]. L'acidité la plus élevée de Sefri est de

0,29% enregistrée à 13 ans, mais le fruit a la plus faible teneur en sucre d'environ 14%, ce qui peut s'expliquer par la maturité tardive de cette variété plutôt que par l'effet de l'âge des jeunes arbres de cette variété, alors que le fruit de la variété *Wonderful* à cet âge 13 ans un pourcentage d'acidité le plus élevé 0.44% par rapport aux autres âges ; dans une autre recherche, il a été noté que les hydrates de carbone stockés en automne après la défoliation sont les principaux sources de carbone qui peuvent être utilisés pendant l'acclimatation au froid, le développement et la préservation de la résistance au froid et la respiration cellulaire pendant la saison froide (Wong et al., [359]). Une autre explication à nos résultats a montré qu'à cet âge de 13 ans les fruits ont été récoltés en 2009 qui, à l'exception des autres années, a connu en Mars 18 une température extrême de 5° C dans cette région résultant dans les niveaux les plus élevés d'amidon à la fin de la saison de croissance les arbres *Sefri* plus sensibles, ce qui a augmenté la résistance au froid et est apparu à la qualité des fruits. Un stockage suffisant de la principale source de carbone est important pour la résistance au froid pendant la période de la saison froide (Wong et al., [325]).

La teneur en jus augmente en l'absence d'arille, de poids d'arille et de poids de pépin. Pour les autres paramètres biochimiques, les flavonoïdes, les protéines et les tanins hydrosolubles diminuent avec l'âge, sauf les tanins condensés qui augmentent à l'âge de 22 ans.

La majorité des paramètres de qualité augmente avec l'âge de la *Wonderful* à 36 ans (poids du fruit) et certains paramètres augmentent jusqu'à 22 ans pour diminuer à 36 ans comme l'acidité titrable, les flavonoïdes, les protéines et les tanins condensés mais les tanins hydrosolubles diminuent, les autres paramètres restent intacts.

On peut conclure que les paramètres de qualité des *Sefri* qui changent principalement en diminuant avec l'augmentation de l'âge par rapport aux *Wonderful* qui changent en augmentant pour certains paramètres pour les autres paramètres reste comme les petits arbres.

Tableau 37: Analyse de la variance de l'effet de l'âge et de l'année de récolte sur les paramètres de qualité des fruits pour les fruits *Sefri* et *Wonderful*.

	Pfr	Jus	Tarilsp	Paril	Ppep	AT	PH	Brix	Cant	Antho	Flav	Phén	ProG	tanC	TanH
Année	***	***	NS	*	***	***	***	***	**	***	***	NS	***	***	***
VARIÉTÉ	***	***	NS	***	***	***	NS	NS	NS	***	***	*	***	**	NS
Année *VARIÉTÉ	***	NS	NS	**	NS	***	NS	*	NS	NS	***	NS	NS	**	*
AGE	***	***	***	***	***	***	***	**	NS	**	***	NS	***	***	***
AGE*VARIÉTÉ	***	NS	NS	***	***	***	**	NS	NS	*	***	*	***	***	NS

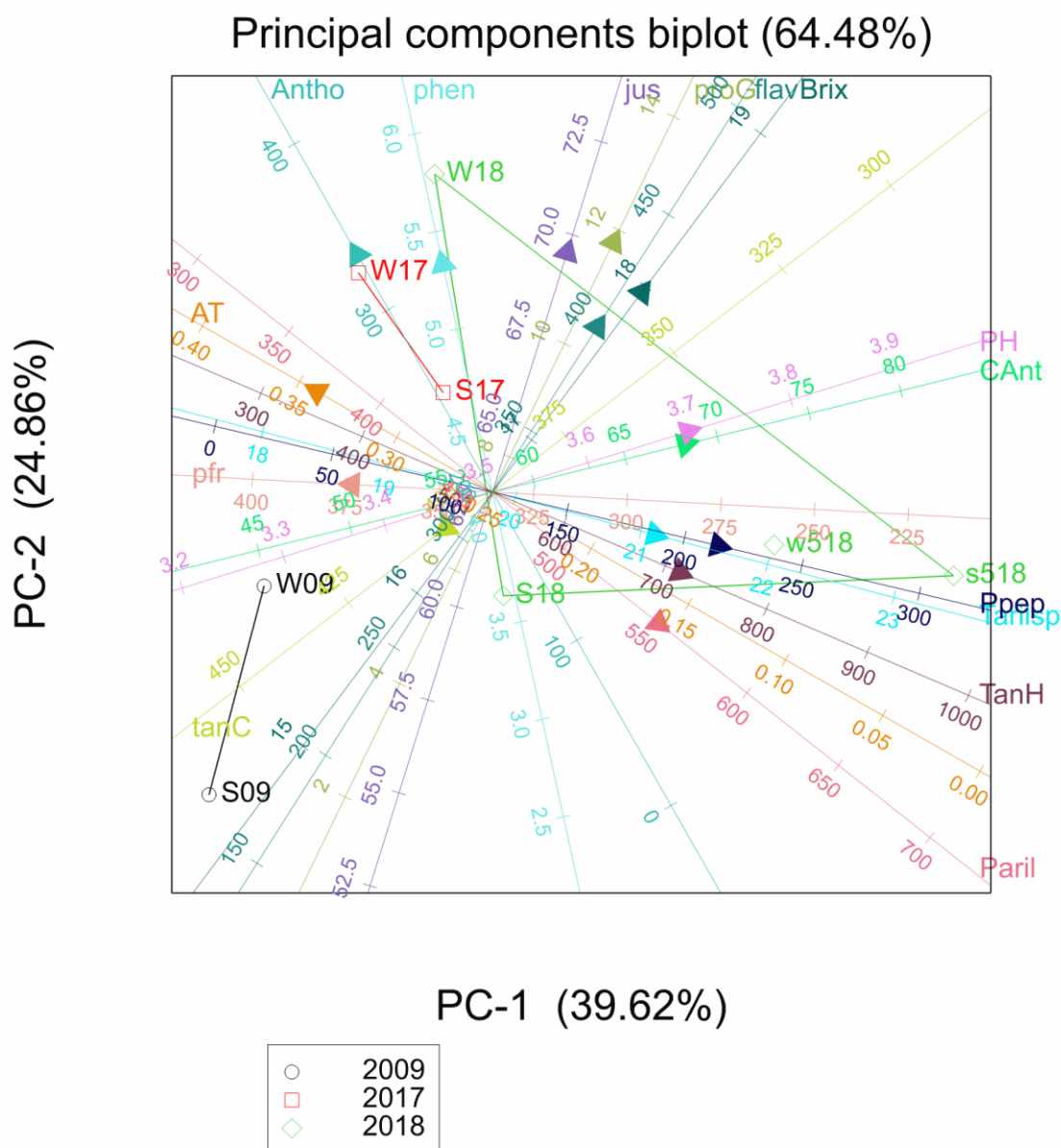
Tableau 38: Analyse de la variance de l'effet de l'année de récolte sur les paramètres de qualité de la grenade.

	Pfr	Jus	Tarilsp	Paril	Ppep	AT	PH	Brix	Cant	Antho	Flav	Phén	ProG	tanC	TanH
2009	380 ^b	64,14 ^a	19,39 ^a	407,18 ^b	45,45 ^b	0,365 ^a	3,21 ^b	15,03 ^b	42,08 ^b	160,13	233,50 ^b	3,94 ^a	2,26 ^b	522,64 ^a	454,6 ^b
2017	448,36 ^a	66,39 ^a	20,31 ^a	474,98 ^a	76,94 ^{ab}	0,246 ^b	3,53 ^{ab}	17,68 ^a	47,87 ^b	305,01	240,77 ^b	4,85 ^a	9,78 ^a	145,57 ^c	264,2 ^b
2018	303,99 ^c	67,54 ^a	19,70 ^a	401,01 ^b	98,88 ^a	0,192 ^c	3,63 ^a	17,06 ^a	70,59 ^a	140,53	405,89 ^a	3,76 ^a	8,81 ^a	444,81 ^b	719,6 ^a
LSD	2,9518	58,922	3,04	58,922	39,528	0,0245	0,3435	1,13	13,82	65,27	22,125	1,73	1,86	52,55	252,27
Sefri	426,73 ^a	63,26 ^b	19,00 ^a	493,66 ^a	75,93 ^a	0,191 ^b	3,55 ^a	16,64 ^a	64,08 ^a	135,36 ^b	262,24 ^b	3,62 ^a	6,30 ^b	346,35 ^b	555,25 ^a
Wonderful	315,74 ^b	65,99 ^a	19,26 ^a	322,41 ^b	55,56 ^a	0,322 ^a	3,44 ^a	16,88 ^a	58,86 ^a	231,62 ^a	378,99 ^a	4,74 ^a	7,79 ^a	469,88 ^a	604,73 ^a
LSD	27,141	1,9394	2,14	32,957	22,109	0,0193	0,2727	0,89	13,82	49,75	28,284	1,36	1,3	40,36	176,75

Tableau 39: Analyse de la variance de l'effet de l'âge sur les paramètres de qualité du fruit chez *Sefri* et *Wonderful*,

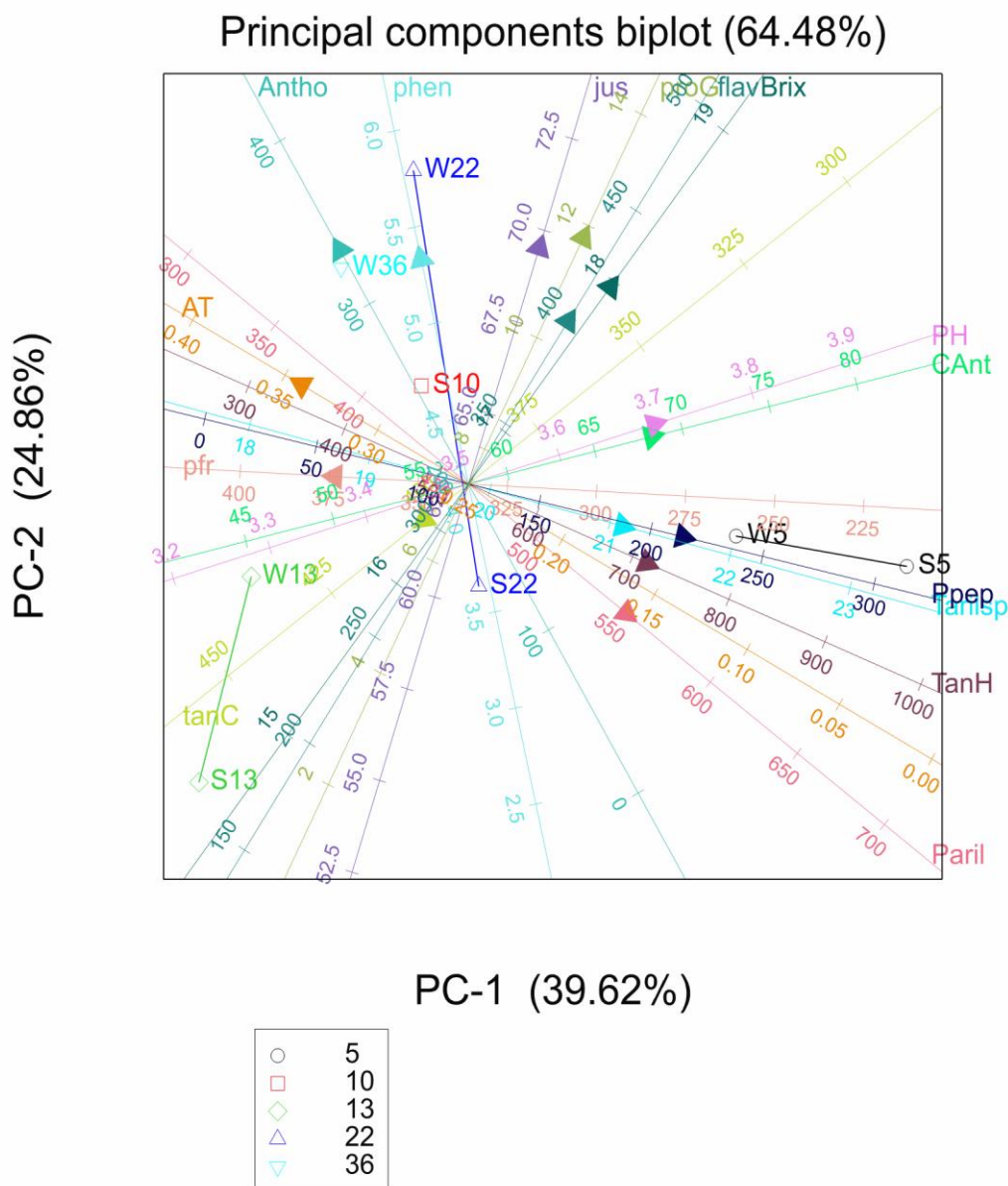
<i>Sefri</i>															
Age	Pfr	Jus	Tarilsp	Paril	Ppep	AT	PH	Brix	Cant	Antho	Flav	phén	proG	tanC	TanH
5	230,99 ^c	60,52 ^b	25,05 ^a	644,33 ^a	318,33 ^a	0,09 ^c	4,01 ^a	17,70 ^{ab}	82,33 ^a	32,15 ^c	363,69 ^a	4,19 ^a	9,52 ^a	404,60 ^b	911,3 ^a
10	557,59 ^a	66,22 ^a	21,48 ^{ab}	487,29 ^b	76,81 ^b	0,24 ^b	3,53 ^b	17,93 ^a	48,29 ^a	256,75 ^a	236,53 ^c	4,40 ^a	9,19 ^a	139,34 ^c	347,3 ^b
13	446,00 ^b	63,08 ^a	18,28 ^{bc}	508,38 ^b	55,20 ^c	0,29 ^a	3,38 ^b	14,00 ^c	31,16 ^a	141,46 ^b	143,28 ^d	3,30 ^a	1,86 ^b	433,87 ^{ab}	313,3 ^b
22	291,58 ^c	66,43 ^a	16,39 ^c	432,10 ^b	68,09 ^{bc}	0,117 ^c	3,33 ^b	16,07 ^b	72,60 ^a	111,07 ^b	314,03 ^b	2,06 ^a	6,55 ^b	476,60 ^a	579,8 ^{ab}
LSD	70,75	4,76	4,26	102,52	19,69	0,049	0,25	1,73	64,86	33,66	33,17	3,24	1,66	64,25	375,47
<i>Wonderful</i>															
Age	Pfr	Jus	Tarilsp	Paril	Ppep	AT	PH	Brix	Cant	Antho	Flav	Phén	proG	tanC	TanH
5	205,22 ^b	66,40 ^a	21,04 ^a	579,33 ^a	263,33 ^a	0,13 ^c	3,655 ^a	17,30 ^a	62,75 ^a	106,98 ^a	402,14 ^b	3,19 ^b	7,89 ^b	259,10 ^b	837,04 ^a
13	314,00 ^a	65,01 ^a	20,49 ^a	305,98 ^c	35,70 ^d	0,44 ^a	3,04 ^a	16,07 ^a	53,00 ^a	178,79 ^a	323,71 ^c	4,59 ^{ab}	2,67 ^c	611,41 ^a	595,94 ^b
22	330,28 ^a	70,20 ^a	18,43 ^a	287,65 ^c	50,84 ^c	0,43 ^a	3,56 ^a	17,17 ^a	64,66 ^a	311,91 ^a	543,69 ^a	5,60 ^a	11,29 ^a	638,93 ^a	550,12 ^b
36	311,83 ^a	66,80 ^a	17,41 ^a	444,20 ^b	77,27 ^b	0,27 ^b	3,54 ^a	17,05 ^a	47,42 ^a	377,40 ^a	246,43 ^d	5,99 ^a	10,07 ^{ab}	170,50 ^b	97,95 ^c
LSD	48,83	5,08	4,23	40,35	12,29	0,055	0,7	3,44	13,82	281,7	14,17	1,44	2,43	153,59	235,01

Pfr: Poids du fruit (g); **Tjus:** Teneur en jus des arilles (%); **Tarilsp:** Matière sèche des arilles (%); **Djus:** Densité du jus g/ml; **Paril:** Poids arille (mg); **Ppep:** Poids de pepin (mg); **AT :** Acidité titrable; **TSS :** Sucres solubles totaux(%); **phén:** la teneur en polyphénols totaux; **proG:** la composition protéique; **tanC:** les tanins condensés; **TanH:** les tanins hydrosolubles; **Antho:** Les Anthocyanes totaux; **falav:** La teneur en flavonoïdes totaux; **Cant:** La capacité antioxydante (DPPH),



W17 : Wonderful récolté en 2017 ; S17 Sefri récolté en 2017.

Figure 39: ACP des différentes années de récolte sur les paramètres de qualité de Sefri et Wonderful.



W5: Wonderful 5 ans; S5 Sefri 5 ans

Figure 40: ACP des différents âges sur les paramètres qualitatifs de *Sefri* et *Wonderful*.

Une analyse en composantes (ACP) a été réalisée pour les géotypes *Wonderful* et *Sefri* de différentes années de récolte et catégories d'âge (Figure 39,40). Toutes les données qualitatives ont été incluses dans l'ACP et seront discutées dans cette section pour éviter la duplication des informations (Tableaux 38, 39). La première composante principale (F1) représentait 39,62 % du total des données. La variance de *Wonderful* et *Sefri* et la deuxième composante principale (F2) représentaient 24,86 % de la variance totale.

D'après ces analyses, les fruits des mêmes années de récolte sont plus proches des paramètres de qualité que les fruits des mêmes âges. L'effet de l'année regroupe les variétés plus que l'âge, donc le climat influence les paramètres de qualité des fruits plus que l'âge de l'arbre, qui n'est pas très important pour le *Wonderful*.

Conclusion

Le suivi hebdomadaire de la croissance du fruit et des pousses de l'année chez les deux variétés de grenadier, *Sefri* et *Wonderful*, a été réalisé dans l'objectif de situer les périodes moins-critiques pour l'expérimentation de l'irrigation déficitaire régulée. En cette année de suivi (2018), les résultats montrent l'existence de deux périodes potentielles pour la variété *Sefri* (de la nouaison au 18 juin et du 12 septembre à la maturité du fruit). Cependant, pour la variété *Wonderful*, aucune période potentielle n'a été relevée du fait de la croissance relativement linéaire de son fruit.

Le suivi hebdomadaire de l'évolution du diamètre du fruit de la nouaison à la maturité des deux variétés, *Sefri* et *Wonderful*, sous irrigation complète (100% ETc), a permis de localiser les périodes de ralentissement de la croissance du fruit, qui correspondraient à des périodes non-critiques pour l'application d'une irrigation déficitaire. Les courbes de croissance obtenues, aussi bien pour le diamètre du fruit que pour l'allongement des pousses de l'année, étaient différentes entre les deux variétés testées.

Les résultats montrent l'existence de deux périodes potentielles pour la variété *Sefri* (de la nouaison au 18 juin et du 12 septembre à la maturité du fruit). Cependant, pour la variété *Wonderful*, aucune période potentielle n'a été relevée du fait de la croissance relativement linéaire de son fruit. Chez la variété *Sefri*, la croissance du fruit a commencé dès la nouaison par une phase relativement ralentie ayant duré 5 semaines, suivie par une phase rapide sur une période de 10 semaines avant de ralentir à nouveau en fin de grossissement du fruit sur une période de 3 semaines. La première phase de ralentissement s'est achevée lorsque le fruit a atteint 34% de sa taille finale, avec un taux moyen de croissance du diamètre du fruit de 1,2 mm/semaine. La deuxième phase de ralentissement a commencé à 90% de la taille du fruit, avec un taux de croissance de 2,3 mm/jour. En phase rapide, ce taux était de 3,6 mm/semaine. Cependant, chez la variété *Wonderful*, la croissance du fruit était relativement linéaire le long du cycle de développement du fruit, sans passer par phase de ralentissement, avec un taux de croissance moyen de 2,8 mm/semaine.

La variété Sefri était plus sensible au déficit hydrique que la variété Wonderful. Chez cette dernière, le niveau de rendement en fruits n'a pas été affecté par les deux régimes de l'IDC testés. La stabilité du rendement pour cette variété, sous les restrictions hydriques, provient d'un maintien de la charge des arbres ainsi que du poids moyen du fruit. Toutefois, cette variété a produit un nombre relativement important de petits fruits sous les deux restrictions hydriques, comparativement au régime de control (100% de l'ETc), tout en maintenant un poids moyen stable du fait d'une augmentation du nombre de gros fruits produits. Les niveaux d'irrigation déficitaire appliqués semblent donc induire une hétérogénéité du calibre du fruit, sans changer sa valeur moyenne à l'échelle de l'arbre.

Cependant, chez la variété *Sefri*, le niveau de rendement a été sévèrement affecté par le régime hydrique 50% de l'ETc, alors qu'il est resté stable sous irrigation à 70% de l'ETc. La réduction du rendement sous irrigation à 50% de l'ETc est liée principalement à l'induction de chutes importantes de fruits. Le poids moyen du fruit a été également affecté sous ce régime hydrique, alors qu'il est resté stable sous le régime de 70% ETc. Cependant, on note que la variété *Wonderful* qui est donc moins sensible au déficit hydrique, le déficit hydrique au seuil de 50% ETc n'affecte pas la taille de son fruit ni la douceur de son jus. Toutefois, une détérioration modérée de la qualité des fruits des deux variétés concernant la teneur en pépins par jus ainsi que la densité du jus, sous les deux restrictions hydriques appliquées. L'année de récolte ou le climat influencent la qualité du fruit plus que l'âge car les géotypes de la même année se regroupent même en présence d'un effet variétal, ainsi l'âge du fruit est idéal pour une variété et pas pour l'autre. Ceci suggère des études supplémentaires dans ce sens pour plus de catégories d'âge et plus de microclimats et sur les interactions probables entre l'amidon et les hydrates de carbone solubles avec d'autres substances biochimiques comme la proline, les composés phénoliques qui se produisent pendant l'acclimatation au froid de la grenade.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Ce travail de thèse porte sur la valorisation des ressources génétiques du grenadier à travers un criblage multivarié basé sur des descripteurs pomologiques, chimiques et biochimiques et étude de leur évolution en fonction de l'âge de l'arbre et le niveau de déficit hydrique. Les analyses ont mis en exergue une grande variabilité au sein des accessions de grenadiers étudiées, en particulier parmi les génotypes locaux, indiquant que le Maroc est un important réservoir de diversité génétique de grenadier. Le criblage morphométrique et biochimique de la collection de grenadiers évaluée dans cette étude a révélé une large gamme de variation pour tous les paramètres. Les résultats ont également montré des corrélations intéressantes reliant certains paramètres d'intérêt à d'autres, orientant davantage les futures études de criblage de cette collection. Les variables les plus discriminantes dans la classification des génotypes étaient le poids du fruit et ses dimensions, ainsi que la teneur en jus et son contenu en certains acides organiques, principalement les acides citrique, palmitique, stéarique et oléique. Ce criblage multivarié a permis d'identifier les similitudes et les dissimilitudes entre certaines variétés étrangères et les génotypes locaux. La base de données obtenue a montré que les génotypes locaux présentaient un grand potentiel et pouvaient être préconisés comme parents dans les programmes de sélection ainsi que dans les filières de valorisation prometteuses en raison de la qualité de leurs fruits.

Les phénotypes étudiés pour l'effet de l'année de récolte (âge de l'arbre) ont été différenciés et triés par analyse en grappes en fonction des paramètres physiques et biochimiques des fruits. Globalement, les résultats ont montré que les fruits récoltés en 2017 présentaient une meilleure qualité que ceux récoltés en 2009 et 2018. En effet, le poids, le diamètre et la longueur des fruits étaient relativement plus élevés en 2017, dépassant les valeurs enregistrées en 2018 de 22,8%, 13,5% et 4% respectivement. En outre, le poids et la longueur de l'arille et certaines propriétés chimiques, le pH, les degrés brix et l'indice de maturité, ont présenté des valeurs plus élevées en 2017, dépassant celles enregistrées en 2018 par des taux de 3%, 7% et 3%, 14% et 80%, respectivement. L'analyse en composantes principales (ACP) basée sur l'ensemble des paramètres mesurés a montré une forte variabilité en fonction du génotype et de l'année de récolte. Cependant, un niveau de variance plus faible a été estimé entre les fruits récoltés en 2009 et 2017, probablement en raison de la similarité du climat entre ces deux années. L'analyse de regroupement a mis en évidence une grande diversité au sein de la collection étudiée, en distinguant cinq principaux groupes de génotypes. Le génotype local 'Ounk Hmam' et le génotype étranger 'Gordo de Jativa' ont été classés comme un groupe distinct, avec des profils typiques, ayant des fruits avec des caractères différentiels. Pour Hmam', la hauteur du calice (22,04 mm) et le nombre de sépales (7,11) sont les plus élevés parmi les accessions étudiées. Cependant, elle a enregistré le plus faible poids d'arille (266 'Ounk' ,98 mg) avec une valeur de pH acide (2,79). La deuxième variété 'Gordo de Jativa' a le rendement et le poids de l'arille et le rendement en arilles les plus élevés (73,34%, 51,02g, 16,08% respectivement). Elle se distingue également par un plus petit diamètre

du calice (18,97 mm). Les paramètres qui ont le plus d'impact sur la discrimination entre les géotypes sont le poids du fruit, le poids des pépins, le diamètre du calice et le rendement en arilles. Les résultats de ce travail sont d'un grand intérêt pour le développement de la filière grenade au Maroc, qui prévoit certains potentiels qualitatifs des géotypes locaux et leur stabilité en fonction de l'année de récolte, par rapport à certaines variétés étrangères.

Le suivi hebdomadaire de l'évolution du diamètre du fruit de la nouaison à la maturité des deux variétés, *Sefri* et *Wonderful*, sous irrigation complète (100% ETc), a permis de localiser les périodes de ralentissement de la croissance du fruit, qui correspondraient à des périodes non-critiques pour l'application d'une irrigation déficitaire. Les courbes de croissance obtenues, aussi bien pour le diamètre du fruit que pour l'allongement des pousses de l'année, étaient différentes entre les deux variétés testées.

Les résultats montrent l'existence de deux périodes potentielles pour la variété *Sefri* (de la nouaison au 18 juin et du 12 septembre à la maturité du fruit). Cependant, pour la variété *Wonderful*, aucune période potentielle n'a été relevée du fait de la croissance relativement linéaire de son fruit. Chez la variété *Sefri*, la croissance du fruit a commencé dès la nouaison par une phase relativement ralentie ayant duré 5 semaines, suivie par une phase rapide sur une période de 10 semaines avant de ralentir à nouveau en fin de grossissement du fruit sur une période de 3 semaines. La première phase de ralentissement s'est achevée lorsque le fruit a atteint 34% de sa taille finale, avec un taux moyen de croissance du diamètre du fruit de 1,2 mm/semaine. La deuxième phase de ralentissement a commencé à 90% de la taille du fruit, avec un taux de croissance de 2,3 mm/jour. En phase rapide, ce taux était de 3,6 mm/semaine. Cependant, chez la variété *Wonderful*, la croissance du fruit était relativement linéaire le long du cycle de développement du fruit, sans passer par phase de ralentissement, avec un taux de croissance moyen de 2,8 mm/semaine.

La qualité du jus de deux variétés de grenadiers, *Sefri* et *Wonderful*, a été évaluée sous deux régimes d'irrigation déficitaire (50 et 70% ETc), en comparaison avec une irrigation à la demande (100% ETc). Les résultats ont montré que la qualité du jus de la variété *Sefri* a été significativement dégradée sous le régime hydrique déficitaire de 50% ETc, marquée par une diminution significative du degré Brix (-2,2 °Bx) et une augmentation du pH (+ 0,76). Cependant, l'effet du déficit hydrique a été non significatif sur ces attributs pour la variété *Wonderful*. Sur le plan biochimique, les deux régimes déficitaires ont induit une réduction significative de la teneur des sucres solubles chez les deux variétés. La couleur du jus de *Wonderful* était similaire pour tous les traitements, sauf pour le traitement a* de 50% ETc, qui avait une couleur rouge nettement plus claire que les autres traitements. Si des changements significatifs ont été détectés dans le jus des fruits de *Sefri* a*, b*, c* et h° ont indiqué une évolution vers des valeurs plus élevées de saturation rouge jaunâtre, ces résultats reflètent l'augmentation de l'anthocyane, L'effet du déficit hydrique sur les composés biochimiques analysés n'a pas été significatif dans les deux variétés.

Cependant, au régime déficitaire de 50% ETc les changements enregistrés ont montré que le déficit hydrique a induit des diminutions et des augmentations relatives des niveaux de composés bioactifs. En effet, la teneur en polyphénols et la capacité antioxydante ont diminué dans les deux variétés, les protéines contenues dans le jus de *Sefri* ont eu tendance à diminuer et la teneur en flavonoïdes hydrosolubles et en tanins a diminué dans la variété *Wonderful* et augmenté dans la variété *Sefri*. Cependant, les anthocyanes ont augmenté dans les deux variétés et les tanins condensés ont augmenté dans le *Sefri*. Par conséquent, la qualité du jus de la variété *Sefri* est plus détériorée par le déficit hydrique, en termes de richesse en composés nutritionnels. A la lumière des résultats obtenus, il est conclu qu'une irrigation déficitaire, même au régime modéré de 70% ETc, entraîne globalement une détérioration de la qualité du jus de grenade, tant sur le plan chimique que biochimique. Le suivi hebdomadaire de l'évolution du diamètre du fruit de la nouaison à la maturité des deux variétés, *Sefri* et *Wonderful*, sous irrigation complète (100% ETc), a permis de localiser les périodes de ralentissement de la croissance du fruit, qui correspondraient à des périodes non-critiques pour l'application d'une irrigation déficitaire. Les courbes de croissance obtenues, aussi bien pour le diamètre du fruit que pour l'allongement des pousses de l'année, étaient différentes entre les deux variétés testées. Les résultats montrent l'existence de deux périodes potentielles pour la variété *Sefri* (de la nouaison au 18 juin et du 12 septembre à la maturité du fruit). Cependant, pour la variété *Wonderful*, aucune période potentielle n'a été relevée du fait de la croissance relativement linéaire de son fruit. Chez la variété *Sefri*, la croissance du fruit a commencé dès la nouaison par une phase relativement ralentie ayant duré 5 semaines, suivie par une phase rapide sur une période de 10 semaines avant de ralentir à nouveau en fin de grossissement du fruit sur une période de 3 semaines. La première phase de ralentissement s'est achevée lorsque le fruit a atteint 34% de sa taille finale, avec un taux moyen de croissance du diamètre du fruit de 1,2 mm/semaine. La deuxième phase de ralentissement a commencé à 90% de la taille du fruit, avec un taux de croissance de 2,3 mm/jour. En phase rapide, ce taux était de 3,6 mm/semaine. Cependant, chez la variété *Wonderful*, la croissance du fruit était relativement linéaire le long du cycle de développement du fruit, sans passer par phase de ralentissement, avec un taux de croissance moyen de 2,8 mm/semaine.

Ce travail a contribué à exploier les caractéristiques physiques et chimiques des deux variétés de grenades (*Punica granatum L.*) *Sefri* et *Wonderful* au changement de l'âge du fruit (5, 10, 13, 22 et 36 ans) et aux années de récoltes (2009, 2017, 2018) a été déterminée. Pour les deux génotypes, les fruits récoltés en 2018 présentent une plus grande détérioration de la qualité physique par rapport aux années de récolte 2017 et 2009, notamment le poids des fruits, la baisse du poids des arilles et la hausse du poids des pepins. D'autre part, la teneur en certains composés biochimiques (capacité antioxydante, flavonoïde, anthocyanes, protéines, tanins hydrosolubles) est la plus faible en 2009.

Les résultats de l'effet de l'âge sur la qualité du fruit dans les deux variétés de grenades, montrent une influence pour la majorité des paramètres pour les deux génotypes par l'existence d'une diminution de la qualité pour la variété Sefri notamment la diminution du poids, de la douceur du fruit (°Brix), des flavonoïdes, des protéines et des tanins hydrosolubles pour les fruits de plus de 22 ans. Par contre, pour la variété Wonderful, aucune détérioration n'a été constatée du fait de la croissance de la majorité des paramètres de qualité essentiellement à l'âge de 22 ans de ses fruits mais qu'elle existe à l'âge de 36 ans. Le climat ainsi que l'âge du fruit jouent un rôle direct mais aussi indirect en influençant de nombreuses autres caractéristiques du génotype et même de l'espèce. La médiatisation de ces effets et d'autres étudiés sur un plus grand nombre de génotypes a le mérite de les remettre sur le devant de la scène.

Cependant, l'une des limites de ce travail est la nécessité d'une plus grande taille d'échantillon et d'une validation supplémentaire en utilisant des échantillons d'autres cultivars et origines et en effectuant des tests supplémentaires. L'élargissement et la diversification de variétés, seront un moyen pour vérifier l'hypothèse de la performance. Néanmoins, cette étude fournit des données de grand intérêt concernant les attributs lipidique et chimiques des pépins de grenade qui peuvent être exploitées à des fins nutritionnelles, pharmaceutiques et cosmétiques.

Perspectives de recherche

Sur la base des résultats rapportés dans cette thèse. Les recommandations suivantes sont proposées :

- Mener une étude qualitative et quantitative de la grenade dans toutes les régions du Maroc basée sur des techniques avancées (HPLC-MS, CG-MS, Profil aromatique, etc.) afin de déterminer la variabilité et les changements liés aux conditions édapho-climatiques;
- Élargir dans le temps les travaux de screening pour inclure une grande partie de la diversité locale et autres variétés exhaustives;
- Inclure de nouveaux traits pour une caractérisation exhaustive, dont particulièrement l'aptitude à la conservation et l'éclatement du fruit;
- Analyser en profondeur l'interaction 'climat x qualité du fruit' en vue du développement du modèle prédictif de la production nationale en tenant compte de la diversité variétale;
- Mener des études supplémentaires sur les activités biologiques pour confirmer les propriétés pharmacologiques potentielles du fruit de la grenade, tout en recherchant d'autres composés d'intérêt nutritionnel (fibres, vitamines, etc.);
- Appliquer les résultats pratiques à l'échelle agro-industrielle. L'étude doit être soutenue par des études d'impact environnemental et économique;
- Adapter les pratiques de production aux impacts du changement climatique, notamment à travers la sélection des variétés tolérantes à la sécheresse et la détermination des stades critiques de nutrition hydrominéral;
- Expérimenter de nouvelles techniques SMART pour le contrôle du stress hydrique (irrigation déficitaire régulée, Nano-Irrigation, etc.);
- Recherche des déterminismes moléculaires régissant les traits du fruit et leurs interactions avec l'environnement (stress, stabilité, leur interaction, etc.);
- La continuation des travaux en termes de valorisation du patrimoine local du grenadier est de mettre en évidence sa richesse et sa diversité. A travers une analyse moléculaire de la collection et les ressources génétiques nationales par des marqueurs codominants de type SSR pour déterminer le niveau de diversité réel et élucider la structuration phylo-géographique;
- Caractérisation des ressources génétiques et détermination des populations ancestrales de grenadier Marocain, variabilité intra-variétale et la polyclonalité de certains principaux génotypes (type Sefri) dans le but d'une sélection clonale et l'authentification variétale;
- Compléter les analyses physicochimiques et biochimiques de la collection de grenadier durant une longue période pour élucider le niveau de diversité phénotypique et sa stabilité avec le temps, et ou en analysant de la cinétique de certains composés bioactifs à l'approche de maturité.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]: Ferrara, G., Giancaspro, A., Mazzeo, A., Giove, S. L., Matarrese, M.A.S., Pacucci, C., Punzi, R., Trani, A., Gambacorta, G., Blanco, A., Gadaleta, A., 2014. Characterization of pomegranate *Punica granatum* L. genotypes collected in Puglia region Southeastern Italy. *Scientia Horticulturae* 178, 70- 78.
- [2]: Lansky, E et Newman R. 2007. *Punica granatum* pomegranate and its potential for prevention and treatment of inflammation and cancer. *Journal of Ethnopharmacology*.109: 177–206.
- [3]: Holland, D., Hatib, A and Bar-Ya'akov. I. (2009). Pomegranate: Botany, Horticulture, Breeding. *Horticultural Reviews*, Volume 35 Edited by Jules Janick Copyright and 2009 John.
- [4]: Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime, Note de veille fruits rouge, Note stratégique n°100 MAPMDREF, *Agricultures en chiffres 2019*, Editions 2021 MAPMDREF, Fonds de développement agricoles : les aides financières pour la promotion des investissements agricoles.
- [5]: Walali L., Skiredj A., Alattir H. (2003). Fiches Techniques: L'amandier, l'olivier, le figuier, le grenadier. *Bulletin de Transfert de Technologie en Agriculture*, 105.
- [6]: Behboudian, M. H., & Mills, T. M. 1997. Deficit irrigation in deciduous orchards. *Horticultural reviews (USA)*.
- [7]: Intrigliolo, D. S., & Castel, J. R. 2010. Response of grapevine cv. 'Tempranillo' to timing and amount of irrigation: water relations, vine growth, yield and berry and wine composition. *Irrigation Science*, 28(2), 113-125.
- [8]: Fouraste, I., 2002. Etude botanique "Le Grenadier" Faculté des Sciences Pharmaceutiques de Toulouse.p14.
- [9]: Aboubakr Belkaïd-Tlemcen. Ben Abdennebi, M. A. 2012. Le grenadier tunisien *Punica granatum* stimule le transport de glucose dans les cellules musculaires C2C12 via la voie insulino-dépendante de l'Akt et la voie insulinoindépendante de l'AMPK. Département de pharmacologie. Faculté de Médecine. Université de Montréal. Montréal.
- [10]: Spichiger R.-E, Savolainen V. 2005. Botanique systématique des plantes à fleurs. Une approche phylogénétique nouvelle des Angiospermes des régions tempérées et tropicales (Troisième édition). Presses polytechniques et universitaires romandes (EDS), 413 p.
- [11]: Courchet, L. (1897). *Traité de botanique, comprenant l'anatomie et la physiologie végétales et les familles naturelles, à l'usage des candidats au certificat d'études physiques, chimiques et naturelles, des étudiants en médecine et en pharmacie (Vol. 1)*. JB Baillière et fils.
- [12]: Sarkhosh, A., Zamani, Z., Fatahi, R., Ebadi, A., 2006. RAPD markers reveal polymorphism among some Iranian pomegranate (*Punica granatum* L.) genotypes. *Sci. Hortic.* 111(1), 24-29.
- [13]: Calin Sanchez Angel et Carboneli Banaching Angel A.2005. La grenade cultivées en Espagne *Punica granatum* L. : Plante historique et évolutions thérapeutiques récentes. Doctorat de Pharmacie, Université Henri Poincaré Nancy 1, Nancy, 158 P.
- [14]: Evreinoff, V. (1957). Contribution à l'étude du Grenadier - *Journal d'agriculture tropicale et de botanique appliquée* .Pp 124-138.
- [15]: Betioui, M. 2017. Etude de la possibilité d'amélioration de la culture et de la production du Grenadier commun, *Punica granatum* L. dans la région de Tlemcen. Université de Tlemcen. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre et de l'Univers. Département Agronomie.
- [16]: FAO, 2021. "Food and Agriculture Organization" "Food and Nutrition Paper" 52 Add. 9.
- [17]: Wald, E. Ministère de l'Agriculture et du Développement rural, N° 105. 2009. Le grenadier *Punica granatum* L. : Plante historique et évolutions thérapeutiques récentes. Doctorat de Pharmacie, Université Henri Poincaré Nancy 1, Nancy, 158 P.
- [18]: <https://www.kew.org/plants/pomegranate>
- [19]: Oukabli, A. 2004. Le grenadier: Des variétés performantes pour la culture. Dans : *Bulletin Mensuel d'Information et de Liaison du PNTTA. Transfert de Technologie en Agriculture. Ministère de l'Agriculture, du Développement rural et des Pêches maritimes*, N° 123. Mekkès.
- [20]: Melgarejo, R., Martinez, V.J., Guilamon, M., Miro, M and Amoros, A. 1996. Phenological stages of the pomegranate tree *Punica granatum* L. Plant Production Department, Universidad Politécnica de Valencia, Ctra. De Beniél km. 3 '2, Orihuela Alicante, Spain.
- [21]: Nizinski, M 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. Institut d'Ecologie et des Sciences de l'Environnement. Paris.
- [22]: Mars, M et Marrakchi, M. 2003. Dynamique de floraison et régime de reproduction chez le grenadier *Punica granatum* L. en Tunisie. École supérieure d'horticulture, 4042 Chott-Mariem, Sousse, Tunisie.
- [23]: Derin, K et Etu, S. 1999. Determination of Pollen Quality, Quantity and Effect of Cross Pollination on the Fruit Set and Quality in the Pomegranate. *Turk J Agric For* 25 2001 169-173 T.BÜTAK.
- [24]: Hazel, Y., Ravid, N., Wilkins, E et Martinelli, A. P. 2011. A Morphological and Histological Characterization of Bisexual and Male Flower Types in Pomegranate. *Journal of the Amirecan Society for Horticulture Science*, 136 2, 83-92.
- [25]: Kahramanoğlu, I. 2016. Pomegranate Production and Marketing. Department of Horticultural Production and Marketing Guzelyurt, Cyprus Faculty of Agricultural Sciences and Technologies. European University of Lefke
- [26]: Alhijna, O.S.A et Bourich, A. 2017. Grenadier de beni snous : étude et caractérisation chimique des extraits d pépins, évaluation de l'activité microbiologique. Faculté de médecine, Université ABOUBAKER Balkaid, Telemcen. [27]: Afaq, F., Saleem, M., Krueger, C.G, Reed, J.D et Mukhtar, H. 2005. L'extrait de fruit de grenade riche en tanins et en anthocyanes hydrolysables module les voies MAPK et NF-κB et inhibe la tumorigénèse cutanée chez les souris CD-1. *International Journal of Cancer*, 113 3, 423-433.
- [28]: Gravel, D., & Gervais, C. (2017). Soigner autrement. mars, 14(2), 68. [29]: Mainardi Fazio, F. 2004. La taille, arbres fruitiers et plantes ornementales, Editions de vecchi S.A. 52, rue Montmartre 75002 PARIS, numéro d'éditeur : 8449 ISBN 27328-1353-2 pages totales 159.
- [30]: Ooreka, Fosse toutes eaux, [en ligne], <https://assainissement.ooreka.fr/comprendre/ fossestoutes-eaux>.
- [31]: Mars, M. 1995. La culture du grenadier *Punica granatum* L. et du figuier *Ficus carica* L. en Tunisie. CIHEAM. Options Méditerranéennes. P : 85-95.

- [32]: Fakhour, S. 2012. La culture du grenadier dans la région du Tadla Maroc. In : Melgarejo P. ed., Valero D. ed.. II International Symposium on the Pomegranate. Zaragoza : CIHEAM / Universidad Miguel Hernández. P. 147-149 Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 103.
- [33]: Messaoudi, Z., Segmani, M et Khatib, F. 2012. Besoins en eau du grenadier cultivé sous les conditions de la plaine du Tadla Maroc. In : Melgarejo P. ed., Valero D. ed.. II International Symposium on the Pomegranate. Zaragoza : CIHEAM / Un iversidad Migu el Hernández, p. 159 -1 62 Options Méditerranéen : Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 103.
- [34]: Boussalah, N. 2010. Propriétés antioxydantes de deux variétés de grenade *Punica granatum* L. de la région de Béjaïa, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Abderrahman Mira-Bejaïa.
- [35]: Mars, M. 2000. Pomegranate Plant Material: Genetic Resources and Breeding, a Review. Options Mediterraeneennes, Serie A, 42, pp. 55-62.
- [36]: Levin, G.M. 1994. Pomegranate *Punica granatum* plant genetic resources in Turkmenistan. Plant Genetic Resources Newsletter 97, 31–37.
- [37]: Ajal, E.A., Jbir, R., Legua, P., Martinez, J.J., Martinez, R., Hannachi, A.S., Haddioui, A., 2015. Genetic diversity of Moroccan pomegranate *Punica granatum* L. genotypes using AFLP markers. Australian Journal of Crop Science 9, 22-29.
- [38]: FAO, 2020. Évaluation des ressources forestières mondiales 2020-Principales conclusions. Bureau Réf. 244.
- [39]: Bernan Press, 2021 Secrétariat de l'OMC. Examen Statistique du Commerce Mondial. 210 pages.
- [40]: MAPMDREF (2018). Agriculture in numbers in Morocco. Ministry of Agriculture, Maritime Fisheries, Rural envelopment and Water and Forests, Annual report, 1-80.
- [41]: Manuel Technique - Culture de diversification végétale en Guadeloupe –ASSOFWI Édition 2020 - Tous droits réservés
- [42]: Haddioui, A. 2012. La culture du grenadier *Punica granatum* L. au Maroc. In : Melgarejo P. ed., Valero D. ed.. II International Symposium on the Pomegranate. Zaragoza : CIHEAM / Universidad Miguel Hernández, p. 79-81 Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 103
- [43]: Levin, G.M. 2006. Pomegranate. Texas A&M Press, College Station, TX.
- [44]: Aouari, I. 2018. Entomofaune associée au grenadier et importance des attaques de *Ceratitis capitata* Wiedemann, 1824 Diptera: Tephritidae dans la région d'El Kharza Sidi Ameur, M'sila. Faculté des sciences. Université Mohamed Boudiaf.
- [45]: Guiran, G., & Netscher, C. (1970). LES NEMATODES DU GENRE MELOZDOGYA'E, PARASITES DE CULTURES TROPICALES.
- [46]: Gunter, R.T. 1934. The Greek herbal of Dioscorides, p. 80–81, Oxford University Press, Oxford, UK.
- [47]: Giuseppe, E., Massimino, C., Gaetana, M., Agatino, R., Vittorio, G., Salvatore, B. 2016, Pomegranate arthropod pests and their management in the Mediterranean area. *Phytoparasitica* 393–409p,
- [48]: Blumenfeld, A., Shaya, F., Hillel R. 2000. Cultivation of pomegranate. Dans : Options Méditerranéennes, 42:143-148p.
- [49]: Fakhour, S., Sekkat, A. 2006. Première liste des insectes nuisibles sur grenadier dans la plaine du Tadla. Dans : 6ème Congrès de l'AMPP, Rabat, Maroc.
- [50]: Myers, P., R. Espinosa, C. S. Parr, T. Jones, G. S. Hammond, and T. A. Dewey., 2021. The Animal Diversity Web (online). Accessed at <https://animaldiversity.org>.
- [51]: Leclant, F., 1999b. Les pucerons des plantes cultivées : clefs d'identification. Cultures maraichères. Ed Quae. France. 97 p
- [52]: Hulle M., Turpeau A. E., Leclant F. Et Rahn M.-J., 1998. Les pucerons des arbres fruitiers : cycles biologiques et activités de vol. Ed. INRA, Paris, 79 p
- [53]: (RABATEL, A., 2011. Développement embryonnaire du puceron *Acyrtosiphon pisum* : caractérisation de voies métaboliques et gènes clé dans les interactions trophiques avec *Buchnera aphidicola*. Thèse de doctorat. Institut National des Sciences Appliquées de Lyon. France. 223 p.
- [54]: Mazih, A. (1992). Recherche sur l'écologie de la mouche méditerranéenne des fruits, *Ceratitis capitata* (Diptera : Tephritidae), dans l'arganeraie de la plaine du Souss (Maroc). Thèse doct; d'Etatès-Sciences Agronomiques, IAV Hassan II, 159 p
- [55]: Fahad, K. (2004). Contribution à l'élaboration et le développement des bio-insecticides d'origine végétale contre les principaux ravageurs des agrumes au Maroc. Thèse de Titularisation INRA. 259p.
- [56]: Ali Ahmed- Sadoudi D (2007) Bio écologie de la mouche méditerranéenne des fruits *Ceratitis capitata* Wiedemann, 1824 (Diptera: Trypetidae) dans quelques vergers de la 1019 Kabylie. Doctoral thesis. Uni. MOULOU MAMMEREI. T O. 197p.
- [57]: Bulletin d'agriculture INRA, 2014- Zeuzère sur grenadier. Avertissement agricole, 21/10/2014.
- [58]: Crete X & Teisseir H., (2014)- le grenadier. CEHM, 1-2.
- [59]: Ren, Y., Yang, L. (2016). *Ectomyelois* Heinrich, 1956 in China, with descriptions of two new species and a key Lepidoptera, Pyralidae, Phycitinae). *ZooKeys* 559: 125–137p.
- [60]: Bertrand, C. (2001). Lutte contre les nématodes à galles (*Meloïdogyne* spp.) en agriculture biologique. [Root knot nematode (*Meloïdogyne* spp.) control in organic farming.] ItabGRAB.4p.
- [61]: Lopez M., Moreno A., (2015)-El Granada variedades, técnicas de cultivo y usos. Edition MundiPrensa, Madrid, 118p.
- [62]: Jeppson, L.R., Keifer, H.H., Baker, E.W. (1975). Mites Injurious to Economic Plants. University of California Press, California, 615 p.
- [63]: Doker, I., Kazak, C., Karut, K. (2013). Türkiye için yeni bir nar zararlısı; Nar yassı akarı, *Tenuipalpus punicae* Pirtchard and Baker (Acari: Tenuipalpidae). *Türk. entomol. Bült*, 3 (2) : 113-117p.
- [64]: Ricard J.M., Garcin. A., Jay. M., Mandrin. J.F., 2012. Biodiversité et régulation des ravageurs en arboriculture fruitière 472p. ISBN : 978287913258. Ctifl
- [65]: Mallamaire A., 1954- Les Tetranyques en Afrique occidentale. Atelier réseau manioc CORAF -Cotonou. 13 p
- [66]: Gutierrez J., 1989-Les acariens phytophages et quelques unes de leurs caractéristiques biologiques. Colloque sur les acariens des cultures, Montpellier. *Acarologia*.vol. n0 2, pp : 926.

- [67]: Gutierrez J., 1991- Acariens Tetranychidae: quelques caractéristiques de la famille et principales espèces vivant sur manioc en Afrique. Atelier réseau manioc Coraf Cotonou.13 p. 5
- [68]: Bournier, A. 1983. Thysanoptères de France. VII. Bulletin de la Société entomologique de France,88: 1-9.
- [69]: Appert j., et Deuse J.,1982. Les ravageurs des cultures vivrières et Maraîchères sous les tropiques.- Maisonneuve et Laros. ACCT, Paris; 420p
- [70]: Morsello S. C., Groves R. L., Nault B. A., and Kennedy, G. G., 2008. Temperature and precipitation affect seasonal patterns of dispersing tobacco thrips, *Frankliniella fusca*, and onion thrips, *Thrips tabaci* (Thysanoptera: Thripidae) caught on sticky traps. *Environmental Entomology* 37(1):79-86 [71]: Moritz, G. 1997. Structure, growth and development. In: Lewis, T.1997. Thrips as Crop Pests. Ed.CAB International, New York, pp. 15-63
- [72]: Norton, A., & Wilkins, JL (2013). Soutenir les constructions des élèves de l'opération de fractionnement. *Cognition et instruction*, 31 (1), 2-28.
- [73]: Hepaksoy, S., Aksoy, U., Can, H.Z and Ui, M.A. 2000. Determination of relationship between fruit cracking and some physiological responses, leaf characteristics and nutritional status of some pomegranate varieties. *Options Méditerranéennes Série A, Séminaires Méditerranéens* 42:87-92.
- [74]: Crète, RN, Gallmann, W., Karis, JP et Ross, J. (2018). Coccidioïdomycose vertébrale : résultats d'imagerie par résonance magnétique chez 41 patients. *Journal américain de neuroradiologie*, 39 (11), 2148-2153.
- [75]: Hamrouni, I., Salah, HB, & Marzouk, B. (2001). Effets du déficit hydrique sur les lipides des parties aériennes du carthame. *Phytochimie*, 58 (2), 277-280.
- [76]: Teixeira da Silva, JA., Rana, TS., Narzary, D., Verma, N., Meshram, D.T et Ranade, SA. 2013. Biologie de la grenade et biotechnologie: une revue. *Scientia Horticulturae*, 160, 85-107. doi: 10.1016 / j.scienta.2013.05.017
- [77]: Tehranifar, A., Zarei, M., Nemati, Z., Esfandiyari, B and Vazifeshenas, M. R. 2010. Investigation of physico-chemical properties and antioxidant activity of twenty Iranian pomegranate *Punica granatum L.* genotypes. *Scientia Horticulturae*, 1262, 180-185.
- [78]: Fadavi, A., Barzegar, M., Azizi, MH et Bayat, M. (2005). Note. Composition physicochimique de dix genotypes de grenade (*Punica granatum L.*) cultivés en Iran. *Food Science and Technology International*, 11 (2), 113-119.
- [79]: Wiley and Sons, Inc. Hornung, E., Pernstich, C and Feussner, I., 2002. Formation of conjugated 1 1 1 3 - double bonds by 1 2 -linoleic acid 1,4-acyl-lipid-desaturase in pomegranate seeds. *Eur. J. Biochem.* 269, 4852-4859.
- [80]: Tsuyuki, H., Ito, S., Nakatsukasa, Y., 1981. Lipidsin pomegranate seeds. *Nihon Daigaku No-Juigakubu Gakujutsu Kenkyu Hokoku* 38, 141-148.
- [81]: Wang, RF, Xie, WD, Zhang, Z., Xing, DM, Ding, Y., Wang, W., ... & Du, LJ (2004). Composés bioactifs des graines de *Punica granatum* (Grenade). *Journal des produits naturels*, 67 (12), 2096-2098.
- [82]: Martin, K. R., & Appel, C. L. (2009). Polyphenols as dietary supplements: A double-edged sword. *Nutrition and Dietary Supplements*, 2, 1-12.
- [83]: Benmeziane, D et Bedja, B. 2000. Effet de l'extrait acétonique de l'écorce de deux variétés de grenade Quares et Lahlou sur *Candida albicans*. Département des Sciences Alimentaires Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie Université Abderrahmane MIRA de Béjaia.
- [84]: Singh, R.P., Chidambara Murthy, K.N and Jayaprakasha, G.K. 2002. Studies on the antioxidant activity of pomegranate *Punica granatum* peel and seed extracts using in vitro models. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50, 81-86.
- [85]: Alighourchi, H., Barzegar, M and Abbasi, S. 2008. Anthocyanins characterization of 15 Iranian pomegranate *Punica granatum L.* varieties and their variation after cold storage and pasteurization. *European Food Research and Technology*, 2273, 881-887.
- [86]: Okonogi, S., Duangrat, C., Anuchpreeda, S., Tachakittirungrod, S. et Chowwanapoonpohn, S. (2007). Comparaison des capacités antioxydantes et des cytotoxicités de certaines pelures de fruits. *Chimie alimentaire*, 103 (3), 839-846.
- [87]: Çam, M., Hisil, Y et Durmaz, G. 2009. Classification of eight pomegranate juices based on antioxidant capacity measured by four methods. *Food Chemistry*, 112 : 721-726.
- [88]: Gil, M.I., Tomás-Barberán, F.A., Hess-Pierce, B., Holcroft, D.M., Kader, A.A., 2000. Antioxidant activity of pomegranate juice and its relationship with phenolic composition and processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48, 4581 .
- [89]: Legua, P., Melgarejo, P., Martínez, M., Hernández, F. 2000. Evolution of sugars and organic acid content in three pomegranate genotypes *Punica granatum L.*
- [90]: Zarei, M., Azizi, M et Bashir-Sadr, Z. 2011. Évaluation des caractéristiques physicochimiques du fruit de la grenade *Punica granatum L.* au cours de la maturation. *Fruits*, 66 2, 121-129.
- [91]: Melgarejo, P., Salazar, D.M and Artes, F. 2000. Organic acids and sugars composition of harvested pomegranate fruits. *Eur. Food Res. Technol.* 211, 185-190
- [92]: Al-Maiman, S et Dilshad A. 2001. Changes in physical and chemical properties during pomegranate *Punica granatum L.* fruit maturation. Department of Food Science and Nutrition, PO Box 2460, College of Agriculture, King Saud University, Riyadh, *Food Chemistry* 76: 437-441.
- [93]: El-Nemr, SE., Ismail, IA et Ragab, M. 1990. Composition chimique du jus et des graines de grenade. *Food / Nahrung*, 34 7, 601-606. doi: 10.1002 / food.19900340706.
- [94]: Mena, P., Calani, L., Dall'Asta, C., Galaverna, G., García-Viguera, C., Bruni, R., Crozier, A and Del Rio, D. 2012. Rapid and comprehensive evaluation of phenolic compounds in pomegranate *Punica granatum L.* juice by HPLC-MS. *Molecules*, 17, 14821-14840. [CrossRef] [PubMed].
- [95]: Belyagoubi, N et Benhammou N. 2011. Activité antioxydante des extraits des composés phénoliques de dix plantes médicinales de l'Ouest et du Sud-Ouest Algérien. Département de Biologie. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, des Sciences de la Terre et de l'Univers. Université
- [96]: Amakura, Y., Okada, M., Tsuji, S and Tonogai, Y. 2000b. High-performance liquid chromatographic determination with photodiode array detection of ellagic acid in fresh and processed fruits. *Journal of Chromatography A* 896, 87-93.
- [97]: Benguerba, A. 2008. Etude phytochimique et de la phase Buta. Département de chimie. Faculté des sciences exactes. Université Mentouri Constantine. 104

- [98]: Akroum, S. 2011. Etude Analytique et Biologique des Flavonoïdes Naturels. Département de Biologie Animale. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie. Université Mentouri de Constantine
- [99]: Tabart, J., Kevers, C., Pincemail, J., Defraigne, J and Dommes, J., 2009. Comparative antioxidant capacities of phenolic compounds measured by various tests. *Food Chem.* 113, 1226-1233.
- [100]: Medic-Sanic, M., Jasprica, I., Smolic-Bubalo, A and Mornar, A. 2004. Optimization of chromatographic conditions in thin layer chromatography of flavonoids and phenolic acids.
- [101]: Bessas, A. 2008. Dosage biochimique des composés phénoliques dans les dattes et le miel récoltés dans le sud algérien. Université Djillali Liabes -Sidi Bel Abbes - Ingénieur d'état en biologie option contrôle de qualité et analyses 2008.
- [102]: Poyrazoğlu, E., Gökmen, V., & Artık, N. (2002). Organic acids and phenolic compounds in pomegranates (*Punica granatum* L.) grown in Turkey. *Journal of food composition and analysis*, 15(5), 567-575.
- [103]: Jiang, N., Doseff, A.I and Erich, G. 2016. Flavones: From Biosynthesis to Health Benefits. Academic Editor: Ulrike Mathesius. Jung, B et Curtay, J.P. 2010. La grenade, aliment-plus. Ed .marco pietteur , P : 09- 10.
- [104]: Vrielynck, L. (1996). Structures et propriétés spectroscopiques de la flavone, de la 3 hydroxy-et de la 5 hydroxy-flavone: étude des liaisons hydrogène intra-et inter-moléculaires (Doctoral dissertation, Lille 1).
- [105]: Van Elswijk, D.A., Schobel, U.P., Lansky, E.P., Irth, H., Greef, J. 2004. Rapid dereplication of estrogenic compounds in pomegranate *Punica granatum* L. using on-line biochemical detection coupled to mass spectrometry. *Phytochemistry* 65, 233–241.
- [106]: Barreca, D., Gattuso, E., Bellocco, A., Calderaro, D., Trombetta, A and Smeriglio, N. 2017. Flavanones: Agrumes phytochimique aux propriétés bénéfiques pour la santé. *BioFactors*, 43 4, 495–506. Doit: 10.1002 / biof.1363.
- [107]: Peterson, J. J., Dwyer, J. T., Beecher, G. R., Bhagwat, S. A., Gebhardt, S. E., Haytowitz, D. B., & Holden, J. M. (2006). Flavanones in oranges, tangerines (mandarins), tangors, and tangelos: a compilation and review of the data from the analytical literature. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19, S66-S73.
- [108]: Kim, N. D., Mehta, R., Yu, W., Neeman, I., Livney, T., Amichay, A and Mansel, R. 2002. Chemopreventive and adjuvant therapeutic potential of pomegranate *Punica granatum* for human breast cancer. *Breast cancer research and treatment*, 713, 203-217.
- [109]: Harbone, J.B., Grayer, R.J., 1988. The flavonoids, *Advances*. In: research since 1980. Harborne J B, Chapman and Hall, London, 1-20 p.
- [110]: Hernandez, F., Melgarejo, P., Tomas-Barberan, F.A and Artes, F. 1999. Evolution of juice anthocyanins during ripening of new selected pomegranate *Punica granatum* clones. *Eur. Food Res. Technol.* 210, 39–42.
- [111]: Biaye, M. 2002. Action pharmacologiques des tanins. Département de pharmacie, faculté de médecine, de pharmacie et d'odonto-stomatologie. Université cheikh anta diop. Dakar. Pages: 53.
- [112]: Hemingway, R.W. 1992. Structural variation in proanthocyanidins and their derivatives. In : Lpant polyphenols: synthesis, properties, significande. Hemingway R W, Laks P. E. New York.
- [113]: Aguilar, CN., Aguilera-Carbo, A., Robledo, A., Ventura, J., Belmares, R., Martinez, D et Contreras J. 2008. Production de nutraceutiques antioxydants au moyen de cultures à l'état solide de feuilles de zeste de grenade *Punica granatum* et de feuilles de créosote *Larrea tridentata*. *Technologie alimentaire et biotechnologie*, 46 2, 218.
- [114]: Haslam, E. 1998. *Practical polyphenolics: from structure to molecular recognition and physiological action*, Cambridge University Press, Cambridge, pp 422.
- [115]: Wang, RF., Ding, Y., Liu, RN., Xiang, L, Du, L.J. 2010. Pomegranate: Constituents, bioactivities and pharmacokinetics. *Fruit Vegetable Cereal Sci Biotechnol.* 4: 77-87.
- [116]: Adams, L. S., Seeram, N. P., Aggarwal, B. B., Takada, Y., Sand, D and Heber, D. 2006. Pomegranate juice, total pomegranate ellagitannins, and punicalagin suppress inflammatory cell signaling in colon cancer cells. *Journal of agricultural and food chemistry*, 543, 980-985.
- [117]: Jemal, A. et al., 2005 Cancer statistics, *CA Cancer J. Clin.*, 55, 10.
- [118]: Surh, Y.J., 2003 Cancer chemoprevention with dietary phytochemicals, *Nat. Rev. Cancer*, 10, 768.
- [119]: Longtin, R., 2003 The pomegranate: nature's power fruit?, *J. Natl. Cancer Inst.*, 95, 346.
- [120]: Lee, K.W. et al., 2003 Vitamin C and cancer chemoprevention: reappraisal, *Am. J. Clin. Nutr.*, 78, 1074.
- [121]: Mukhtar, H. and Ahmad, N., 1999 Cancer chemoprevention: future holds in multiple agents, *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, 158, 207.
- [122]: Katiyar, S.K., Ahmad, N., and Mukhtar, H., 2000 Green tea and skin, *Arch. Dermatol.*, 136, 989.
- [123]: Ahmad, N. et al., Green tea constituent epigallocatechin-3-gallate and induction of apoptosis and cell cycle arrest in human carcinoma cells, *J. Natl. Cancer Inst.*, 89, 1881, 1997.
- [124]: Afaq, F. et al., Anthocyanin- and hydrolyzable tannin-rich pomegranate fruit extract modulates MAPK and NF-kappaB pathways and inhibits skin tumorigenesis in CD-1 mice, *Int. J. Cancer.*, 113, 423, 2005.
- [125]: Halvorsen, B.L. et al., A systematic screening of total antioxidants in dietary plants, *J. Nutr.*, 132, 461, 2002.
- [126]: Alekperov, U.K., Plant antimutagens and their mixtures in inhibition of genotoxic effects of xenobiotics and aging processes, *Eur. J. Cancer Prev.*, 11 Suppl 2, S8, 2002.
- [127]: Singh, R.P., Chidambara Murthy, K.N., and Jayaprakasha, G.K., Studies on the antioxidant activity of pomegranate (*Punica granatum*) peel and seed extracts using in vitro models, *J. Agric. Food Chem.*, 50, 81, 2002.
- [128]: Xu, J. et al., Intervention of antioxidant system function of aged rats by giving fruit juices with different antioxidant capacities, *Zhonghua Yu Fang Yi Xue Za Zhi*, 39, 80, 2005.
- [129]: Kawaii, S. and Lansky, E.P., Differentiation-promoting activity of pomegranate (*Punica granatum*) fruit extracts in HL-60 human promyelocytic leukemia cells, *J. Med. Food*, 7, 13, 2004.
- [130]: Gil, M.I. et al., Antioxidant activity of pomegranate juice and its relationship with phenolic composition and processing, *J. Agric. Food Chem.*, 10, 4581, 2000.
- [131]: Verma, A.K. et al., Correlation of the inhibition by retinoids of tumor promoter-induced mouse epidermal ornithine decarboxylase activity and of skin tumor promotion, *Cancer Res.*, 39, 419, 1979.
- [132]: Janne, J. et al., Genetic approaches to the cellular functions of polyamines in mammals, *Eur. J. Biochem.*, 271, 877, 2004.

- [133]: Fletcher, B.S. et al., Structure of the mitogen-inducible TIS10 gene and demonstration that the TIS10-encoded protein is a functional prostaglandin G/H synthase, *J. Biol. Chem.*, 267, 4338, 1992.
- [134]: Ding, M. et al., Inhibition of AP-1 and neoplastic transformation by fresh apple peel extract, *J. Biol. Chem.*, 279, 10670, 2004.
- [135]: Carter, A.B. et al., The p38 mitogen-activated protein kinase is required for NFkappaB-dependent gene expression. The role of TATA-binding protein (TBP), *J. Biol. Chem.*, 274, 30858, 1999.
- [136]: Garg, A. and Aggarwal, B.B., Nuclear transcription factor-kappaB as a target for cancer drug development, *Leukemia*, 16, 1053, 2002.
- [137]: Hora, J.J. et al., Chemopreventive effects of pomegranate seed oil on skin tumor development in CD1 mice, *J. Med. Food*, 6, 157, 2003.
- [138]: Murthy, K.N. et al., Study on wound healing activity of Punica granatum peel, *J. Med. Food*, 7, 256, 2004.
- [139]: Afaq, F. et al., Botanical antioxidants for chemoprevention of photocarcinogenesis, *Front. Biosci.*, 7, d784, 2002.
- [140]: Syed, D.N. et al., Photochemopreventive effect of pomegranate fruit extract on UVAmmediated activation of cellular pathways in normal human epidermal keratinocytes, *Photochem. Photobiol.*, (In press), 2005.
- [141]: Afaq, F. et al., 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, *Photochem. Photobiol.*, 81, 38, 2005.
- [142]: Bowden, G.T., Prevention of non-melanoma skin cancer by targeting ultraviolet-Blight signaling, *Nat. Rev. Cancer*, 4, 23, 2004.
- [143]: Afaq, F., Adhami, V.M., and Mukhtar, H., Photochemoprevention of ultraviolet B signaling and photocarcinogenesis, *Mutat. Res.*, 571, 153, 2005.
- [144]: Levy, D.E. and Darnell, J.E., Stats: transcriptional control and biological impact. *Nat. Rev. Mol. Cell Biol.*, 3, 651, 2002.
- [145]: Melnikova, V.O. and Ananthaswamy, H.N., Cellular and molecular events leading to the development of skin cancer, *Mutat. Res.*, 571, 91, 2005.
- [146]: Krajewski, S. et al., Immunohistochemical analysis of in vivo patterns of Bcl-XL expression, *Cancer Res.*, 54, 5501, 1994. Molecular Mechanisms of Chemoprevention of Cancer by Pomegranate 131
- [147]: Pena, J.C., Rudin, C.M., and Thompson, C.B., A Bcl-xL transgene promotes malignant conversion of chemically initiated skin papillomas, *Cancer Res.*, 58, 2111, 1998.
- [148]: Elfalleh, W., Hannachi, H. Tlili, N., Yahia, Y. Nasri, A and Ferchichi, M. 2012. Total phenolic contents and antioxidant activities of pomegranate peel, seed, leaf and flower. *Journal of Medicinal Plants Research* 6: 4724-4730.
- [149]: Abbasi, H., Rezaei K et Rashid L. 2008. Extraction of Essential Oils From the Seeds of Pomegranate Using Organic Solvents and Supercritical CO₂. *J Am Oil Chem Soc*, 85: 83–89.
- [150]: Barakat, H., Al-Furaydi, A., Al-Harbi, A., & Al-Shedookhi, A. (2016). Nutritional, chemical and organoleptical characteristics of low-calorie fruit nectars incorporating stevioside as a natural sweetener. *Food and Nutrition Sciences*, 8(1), 126-140.
- [151]: Bekir J, Mars M, Vicendo P, Ftterich A, Bouajila J., (2013), Chemical composition and antioxidant, anti-inflammatory, and antiproliferation activities of pomegranate (*Punicagranatum*) flowers., *Journal of Medicinal Food*. 16 6, 544–50
- [152]: Orhan E, Ercisli S, Esitken A, Sengul M.,(2014): Molecular and morphological characterization of pomegranate (*Punicagranatum L.*) genotypes sampled from Coruh Valley in Turkey. *Genet. Mol. Res*. 13, 6375–82.
- [153]: Sumner, M. D., Elliott-Eller, M., Weidner, G., Daubenmier, J. J., Chew, M. H., Marlin, R., ... & Ornish, D. 2005. Effects of pomegranate juice consumption on myocardial perfusion in patients with coronary heart disease. *The American journal of cardiology*, 96(6), 810-814.
- [154]: Seeram, NP., Lynn, T., Adamsa, S., Susanne, M., Henninga, YN., Muraleedharan, YZ., Nair, D.G. 2005. In vitro antiproliferative, apoptotic and antioxidant activities of punicalagin, ellagic acid and a total pomegranate tannin extract are enhanced in combination with other polyphenols as found in pomegranate juice. *J Nut Biochem*. 16: 360-367.
- [155]: Ahmed, S., Wang, N., Hafeez, B. B., Cheruvu, V. K., & Haqqi, T. M. 2005. Punica granatum L. extract inhibits IL-1β–Induced expression of matrix metalloproteinases by inhibiting the activation of MAP kinases and NF-κB in human chondrocytes in vitro. *The Journal of nutrition*, 135(9), 2096-2102.
- [156]: Curtay and Jung. *Jus de Grenade fermenté*. 2nd ed. marco pietteur ed., Belgique (2010) 10-20.
- [157]: Hartman, R. E. 2006. Pomegranate juice decreases amyloid load and improves behavior in a mouse model of Alzheimer’s disease. *Neurobiol. Dis*, 24, 3: 506–515.
- [158]: Ajaikumar, K. B., Asheef M., Babu, B. H., Padikkala J. 2005. The inhibition of gastric mucosal injury by Punica granatum L. pomegranate methanolic extract. *J of Ethnopharmacology*, 96: 171–176.
- [159]: Kaur, G., Jabbar Z., Athar, M et Alam, M. S. 2006. Punica granatum L. pomegranate flower extract possesses potent antioxidant activity and abrogates Fe-NTA induced hepatotoxicity in mice. *Food and Chemical Toxicology*.
- [160]: Ram, A. (1998): *The Wealth of India, A Dictionary of Indian Raw materials and Industrial products*, Raw material. Vol VIII: Pe – Re. National institute of scientific communication, Council of Industrial and Scientific Research, New Delhi.
- [162]: Borochoy-Neori H, Judeinstein S, Tripler E, Harari M, Greenberg A, Shomer I, et al., Seasonal and cultivar variations in antioxidant and sensory quality of pomegranate (*Punica granatum L.*) fruit. *J Food Comp Anal* 22:189–195 (2009).
- [163] Collado-González J, Cruz ZN, Rodríguez P, Galindo A, Díaz-Baños FG, García de la Torre J, et al., Effect of water deficit and domestic storage on the procyanidin profile, size, and aggregation process in pear-jujube (*Z. jujube*) fruits. *J Agric Food Chem* 61:6187–6197 (2013).
- [164]: Vázquez-Araújo L, Chambers E, Adhikaria K and Carbonell-Barrachina AA, Sensory and physicochemical characterization of juices made with pomegranate and blueberries, blackberries, or raspberries. *J Food Sci* 75:398–404 (2010).
- [165]: Kaur, G., Jabbar, Z., Athar, M. and Alam, M. S. 2006. Punica granatum (pomegranate) flower extract possesses potent antioxidant activity and abrogates Fe-NTA induced hepatotoxicity in mice. *Food Chem Toxicol*, 44(7): 984–993.
- [166]: Pantuck AJ, Leppert JT, Zomorodian N, Aronson W, Hong J, Barnard RJ, Seeram N, Liker H, Wang H, Elashoff R, Heber D, Aviram M, Ignarro L, Belldegrun A. Phase II study of pomegranate juice for men with rising prostate-specific antigen following surgery or radiation for prostate cancer. *Clin. Cancer Res*. 2006; 12(13):4018–26. [PubMed:16818701]

- [167]: Mayuoni-Kirshinbaum L, Daus A and Porat R, Changes in sensory quality and aroma volatile composition during prolonged storage of 'Wonderful' pomegranate fruit. *Int J Food Sci Technol* 48:1569–1578 (2013).
- [168]: Bajec MR and Pickering GJ, Astringency: mechanisms and perception. *Crit Rev Food Sci Nutr* 48:858–875 (2008).
- [169]: Seeram N, Lee R, Hardy M and Heber D, Rapid large scale purification of ellagitannins from pomegranate husk, a by product of the commercial juice industry. *Sep Purif Technol* 41:49–55 (2005).
- [170]: Holland D, Hatib K and Bar-Ya'akov I, Pomegranate: botany, horticulture, breeding. *Hortic Rev* 35:127–191 (2009).
- [171]: Schwab W, Davidovich-Rikanati R and Lewinsohn E, Biosynthesis of plant-derived flavor compounds. *Plant J* 54:712–732 (2008).
- [172]: Koppel K and Chambers E, Development and application of a lexicon to describe the flavor of Pomegranate Juice. *Journal of Sensory Studies* 25:819-837.
- [173]: Lawless LJR, Threlfall RT, Meullenet JF and Howard LR, Applying a mixture design for consumer optimization of black cherry, concord grape and pomegranate juice blends. *J Sensory Stud* 28:102–112 (2013).
- [174]: Mayuoni-Kirshinbaum L, Bar-Ya'akov I, Hatib K, Holland D and Porat R, Genetic diversity and sensory preference in pomegranate fruits. *Fruits* (in press).
- [175]: Hasnaoui N, Marsa M, Ghaffarib S, Trific M, Melgarejod P and Hernandez F, Seed and juice characterization of pomegranate fruits grown in Tunisia: comparison between sour and sweet cultivars revealed interesting properties for prospective industrial applications. *Ind Crops Prod* 33:374–381 (2011).
- [176]: Tezcan F, Gültekin-Özgüven M, Diken T, Özçelik B and Erim FB, Antioxidant activity and total phenolic, organic acid and sugar content in commercial pomegranate juices. *Food Chem* 115:873–877 (2009).
- [177]: Kader AA, Flavor quality of fruits and vegetables. *J Sci Food Agric* 88:1863–1868 (2008).
- [178]: Poyrazolua E, Gökmen V and Artık N, Organic acids and phenolic compounds in pomegranates (*Punica granatum* L.) grown in Turkey. *J Food Comp Anal* 15:567–575 (2002).
- [179]: Vázquez-Araújo L, Chambers E, Adhikaria K and Carbonell-Barrachina AA, Physico-chemical and sensory properties of pomegranate juices with pomegranate albedo and carpellar membranes homogenate. *LWT— Food Sci Technol* 44:2119–2125 (2011).
- [180]: Jalikop SH and Kumar PS, Use of soft-, semi-soft- and hard-seeded types of pomegranate (*Punica granatum*) for improvement of fruit attributes. *Indian J Agric Sci* 68:87–91 (1998).
- [181]: Martínez JJ, Melgarejo P, Hernández F, Salazar DM and Martínez R, Seed characterization of five new pomegranate (*Punica granatum* L.) varieties. *Sci Hortic* 110:241–246 (2006).
- [182]: Atres F, Villaescusa R and Tudela JA, Modified atmosphere packaging of pomegranate. *J Food Sci* 65:1112–1116 (2000).
- [183]: Haichour, R. 2009. Stress thermique et limite écologique du Chêne vert en Algérie. *Faculté des Sciences de la nature et de la vie. Université Mentouri- Constantine*.
- [184]: Oukarroum, A. 2007. Vitalité des plantes d'orge "*Hordeum vulgare*" L. en conditions de stress hydrique et thermique analysée par la fluorescence chlorophyllienne. *Thèse de doctorat : Univ. Genève*.
- [185]: Rousset, N et Arrus, R. 2006. L'agriculture du Maghreb au défi du changement climatique : quelles stratégies d'adaptation face à la raréfaction des ressources hydriques. *Laboratoire d'Economie de la Production et de l'Intégration Internationale Groupe Energie et Politiques de l'Environnement EPE FRE 2664 CNRS-UPM*. 8p.
- [186]: Bahrani, S. A. (2012). Modification des propriétés physico-chimiques de l'amidon par procédés hydrothermiques: Contribution à l'étude des transferts couplés chaleur-masse (Doctoral dissertation, Université de La Rochelle).
- [187]: Hopkins, R. J., Lewis, K., Desyaterik, Y., Wang, Z., Tivanski, A. V., Arnott, W. P., ... & Gilles, M. K. 2007. Correlations between optical, chemical and physical properties of biomass burn aerosols. *Geophysical Research Letters*, 34(18).
- [188]: RAISON, J. K. 1980. Effect of low temperature on respiration. In *Metabolism and Respiration* (pp. 613-626). Academic Press.
- [189]: Chaves, M.M., Osorio, J et Pereira, J.S. 2004. Water use efficiency and photosynthesis. In: Bacon M, ed. *Water use efficiency in plant biology*. Oxford: Blackwell Publishing, 42-74.
- [190]: Morison, JI, Lawson, T., & Cornic, G. (2007). La diffusion latérale de CO₂ à l'intérieur des feuilles dicotylédones peut être importante : quantification à différentes intensités lumineuses. *Physiologie végétale*, 145 (3), 680-690.
- [191]: Hopkins, W. G. 2003. *Physiologie végétale*. De Boeck Supérieur.
- [192]: Leinonen, I et Jones, H.G. 2004. Combining thermal and visible imagery for estimating canopy temperature and identifying plant stress. *Journal of Experimental Botany* 55:1423-1431.108
- [193]: Heller R., Esnault R., Clance C (1989). *Physiologie vĀgĀtale*. Nutrition. Tom1. 4 Āme edition, p201
- [194]: Abrol et Ingram. 1997. K., García-Arenal, M., Mediano, R., Grafton, A., Gruzinski, S., Kagan, R., Vincent, B. 2013. Secondary sources. *THE ROUTLEDGE HANDBOOK OF MUSLIM IBERIA*, 218, 615.
- [195]: Ahomlanto, J. V. 2014. Exploration numérique de l'impact de la tarification de l'énergie hydroélectrique sur les consignes d'exploitation d'un réservoir hydrique.
- [196]: Tardieu, F., & Tuberosa, R. 2010. Dissection and modelling of abiotic stress tolerance in plants. *Current opinion in plant biology*, 13(2), 206-212.
- [197]: Sadiki, M. 2017. La rareté de l'eau : défis et opportunités - Cas du Secteur Agricole au Maroc -Séminaire de haut-niveau, « rareté de l'eau : défis et opportunités ». Italie, 1-2 p.
- [198]: Costa, F., & Cunière, A. (2007). Extension de la plage de fonctionnement à rendement élevé des alimentations à découpage. *J3eA*, 6, 1.
- [199]: Horisberger, D. (2017). La dynamique d'évolution du pic mar et du chêne dans le canton de Vaud. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 168(6), 305-312.
- [200]: Radi, M., Mahrouz, M., Jaouad, A., Tacchini, M., Hugues, M And Amiot, M.J. 1997. Phenolic composition, browning susceptibility and carotenoids content of several apricot genotypes at maturity. *Hort. Sciences*, vol. 32 6.
- [201]: Davi H. (2015). Impact des changements climatiques sur les écosystèmes forestiers de la région méditerranéenne. *Innovations Agronomiques* 47 (2015), 1-16

- [202]: Arrus, KM, Holley, RA, Ominski, KH, Tenuta, M., & Blank, G. (2006). Influence de la température sur la survie de Salmonella dans le lisier de porc et profils de température saisonniers dans les réservoirs de stockage de fumier de ferme. *Sciences de l'élevage*, 102 (3), 226-236.
- [203]: El Abidine, A. Z., Bouderrah, M., & Moustahssen, A. (2016). Relations hydriques et croissance de plants soumis à un déficit hydrique édaphique graduel-Cas du cèdre de l'Atlas, du pin maritime de montagne et du cyprès de l'Atlas. *Forêt méditerranéenne*, 37(4), 327-342.
- [204]: Benzyane M., Aafi A., Sbay H., EL Antry S., Yassine M., Ilmen R., Ghailoule D., 2010. Les écosystèmes naturels marocains et les changements climatiques. Charia Omar Ibn Khatab, B.P. 763 Agdal, Rabat, Maroc. 88p.
- [205]: Demarteau M., Francois L., Cheddadi R., et Roche E., 2007. Réponses de Cedrus atlantica aux changements climatiques passés et futurs Responses of Cedrus atlantica when faced with past and future climatic changes. *Geo-Eco-Trop*, 31, pp. 105 – 146.
- [206]: Allen, C.D., Macalady, A.K, Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N., Vennetier, F M., Kitzberger, T., Rigling, A., Breshears, D.D., Hogg, E.H., Gonzalez, P., Fensham, R., Zhang, Z., Castro, J., Demidova, N., Lim, J.-H., Allard, G., Running, S.W., Semerci, A. & Cobb, N., 2010. A global overview of drought and heatinduced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *For. Ecol. Manage.* 259, pp. 660-684
- [207]: Bzioui, M. (2004). Rapport national 2004 sur les ressources en eau au Maroc. UN Water-Africa, 94.
- [208]: POU CET T. 1992 L'Environnement : le comprendre pour le construire Editions Vie Ouvrière (EVO) Bruxelles.
- [209]: AU PLAN, Haut Commissariat 2007. Prospective Maroc 2030: Prospective énergétique du Maroc, enjeux et défis-Rapport.
- [210]: Ashraf, M. I., Bourque, C. P. A., MacLean, D. A., Erdle, T., & Meng, F. R. (2015). Estimation of potential impacts of climate change on growth and yield of temperate tree species. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 20(1), 159-178.
- [211]: CHENAFI, A. (2017). Gestion de la contrainte de l'irrigation en goutte à goutte avec la double gaine enterrée sur un verger de pommier de type Gala (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider-Biskra).
- [213]: Attia al Hagrey, S. (2007). Imagerie géophysique de l'hétérogénéité de la zone racinaire, du tronc et de l'humidité. *Journal de botanique expérimentale*, 58 (4), 839-854.
- [214]: Campbell, C. A., Jame, Y. W., & Winkleman, G. E. (1984). Mineralization rate constants and their use for estimating nitrogen mineralization in some Canadian prairie soils. *Canadian Journal of Soil Science*, 64(3), 333-343.
- [215]: Silva, CRD, Folegatti, MV, Silva, TJAD, Alves Júnior, J., Souza, CF et Ribeiro, RV (2005). Relations hydriques et photosynthèse comme critères d'une gestion adéquate de l'irrigation chez les tilleuls de Tahiti. *Scientia Agricola*, 62, 415-422
- [216]: Abrisqueta, I., Vera, J., Tapia, L. M., Abrisqueta, J. M., & Ruiz-Sánchez, M. C. (2012). Soil water content criteria for peach trees water stress detection during the postharvest period. *Agricultural Water Management*, 104, 62-67.
- [217]: Girona, J., Gelly, M., Mata, M., Arbones, A., Rufat, J., & Marsal, J. (2005). Réponse du pêcher aux régimes d'irrigation déficitaires simples et combinés dans les sols profonds. *Gestion de l'eau agricole*, 72 (2), 97-108.
- [218]: Fares, A., Buss, P., Dalton, M., El-Kadi, AI et Parsons, LR (2004). Étalonnage à double champ de capteurs d'eau du sol à capacité et à neutrons dans un sol argileux rétrécissant-gonflant. *Vadose Zone Journal*, 3 (4), 1390-1399.
- [219]: Merot, A., Bergez, JE, Capillon, A., & Wéry, J. (2008). Analyser les pratiques agricoles pour élaborer un modèle numérique et opérationnel des processus de décision des agriculteurs : Un système de culture irriguée du foin en France. *Systèmes agricoles*, 98 (2), 108-118.
- [220]: Zufferey, V., & Murisier, F. (2006). Appréciation de l'alimentation hydrique de la vigne dans divers terroirs viticoles vaudois (Suisse) Estimation of plant hydraulics of grapevine in various terroirs in the Canton of Vaud (Switzerland). In VIth International Terroir Congress, Nyon.
- [221]: Almeida-Rodriguez A.M., Cooke J.E.K., Yeh F., Zwiazek J.J., 2010. Functional characterization of drought-responsive aquaporins in Populus balsamifera and Populus simonii>balsamifera clones with different drought resistance strategies. *Physiologia Plantarum* 140, 321–33.
- [222]: Denden, M., Tiba, B. B., & Hlaoua, W. (2008). Caractéristiques morphologiques, anatomiques et physiologiques de tolérance à la sécheresse du pêcher, du poirier et du pommier. *Cahiers Agricultures*, 17(5), 445-449.
- [223]: McCutchan, H., & Shackel, KA (1992). Le potentiel hydrique de la tige comme indicateur sensible du stress hydrique chez le prunier (Prunus domestica L. cv. French). *Journal de l'American Society for Horticultural Science*, 117 (4), 607-611.
- [224]: Dutremée, F. (1995). Comparaisons de deux modes de gestion de l'irrigation des cultures en conteneurs. Influence sur la croissance et la résistance au stress hydrique. *Mémoire d'Ingénieur, ENITHP, Angers, France.*
- [225]: Cui, Y., Zhang, H., Meadors, J., Poon, R., Guimond, M. et Mackall, CL (2009). Exploiter la physiologie de la lymphopénie pour soutenir l'immunothérapie adoptive chez les hôtes lymphoreplete. *Blood, The Journal of the American Society of Hematology*, 114 (18), 3831-3840.
- [226]: Stahl, C. (2010). Variations saisonnières des flux de CO2 et H2O au niveau des feuilles et des troncs des arbres de la canopée en forêt tropicale humide guyanaise (Doctoral dissertation, Université Henri Poincaré-Nancy 1).
- [227]: Green, SR, & Clothier, BE (1988). Utilisation de l'eau des vignes de kiwis et des pommiers par la technique de la chaleur pulsée. *Tourillon de botanique expérimentale*, 39 (1), 115-123.
- [228]: Nicolas, A. (1986). Structure and petrology of peridotites: clues to their geodynamic environment. *Reviews of Geophysics*, 24(4), 875-895.
- [229]: Cochard, H., & Granier, A. (1999). Fonctionnement hydraulique des arbres forestiers. *Revue forestière française*, 51(2), 121-134.
- [230]: Jackson, RD, Idso, SB, Reginato, RJ et Pinter Jr, PJ (1981). La température du couvert comme indicateur de stress hydrique des cultures. *Recherche sur les ressources en eau*, 17 (4), 1133-1138.
- [231]: Evett, SR, Howell, TA, Schneider, AD, Upchurch, DR et Wanjura, DF (1996, novembre). Contrôle d'irrigation automatique basé sur la température de la canopée. Dans *Proc. Intl. Conf. Planification de l'évapotranspiration et de l'irrigation* (pp. 207-213).

- [232]: Olufayo, A., Baldy, C., & Ruelle, P. (1996). Rendement du sorgho, utilisation de l'eau et températures de la canopée sous différents niveaux d'irrigation. *Gestion de l'eau agricole*, 30 (1), 77-90.
- [233]: Boissard, P., Guyot, G., & Jackson, RD (1990). Facteurs affectant la température radiative d'un couvert végétal. Facteurs affectant la température radiative d'un couvert végétal., 45-72.
- [234]: Huguet, JG., 1985. Appréciation de l'état hydrique d'une plante à partir des variations micrométriques de la dimension des fruits ou des tiges au cours de la journée. *Agronomie* 5, 733-741.
- [235]: Katerji, N., Van Hoorn, JW, Hamdy, A., Karam, F., & Mastrorilli, M. (1994). Effet de la salinité sur la levée et sur le stress hydrique et la croissance précoce des semis de tournesol et de maïs. *Gestion de l'eau agricole*, 26 (1-2), 81-91.
- [236]: Schoch, E., Benda, I., & Schreier, P. (1991). Bioconversion de l' α -damascone par *Botrytis cinerea*. *Microbiologie appliquée et environnementale*, 57 (1), 15-18.
- [237]: Davies, WJ et Zhang, J. (1991). Signaux racinaires et régulation de la croissance et du développement des plantes dans un sol asséché. *Revue annuelle de biologie végétale*, 42 (1), 55-76.
- [238]: Garcia, J. P., Chevrier, S., Dufraisse, A., Foucher, M., & Steinmann, R. (2010). Le vignoble gallo-romain de Gevrey-Chambertin «Au-dessus-de Bergis», Côte-d'Or (Ier-Ile s. ap. J.-C.): modes de plantation et de conduite de vignes antiques en Bourgogne. *Revue archéologique de l'Est*, 59(2), 505-537.
- [239]: Chaves, MM, Maroco, JP et Pereira, JS (2003). Comprendre les réponses des plantes à la sécheresse - des gènes à la plante entière. *Biologie fonctionnelle des plantes*, 30 (3), 239-264.
- [240]: Meyer, S., & Genty, B. (1999). Inhibition hétérogène de la photosynthèse sur la surface foliaire de *Rosa rubiginosa* L. lors d'un stress hydrique et d'un traitement à l'acide abscissique : induction d'une composante métabolique par limitation de la diffusion du CO₂. *Planta*, 210 (1), 126-131.
- [241]: Horner, R. H., Dunlap, G., Koegel, R. L., Carr, E. G., Sailor, W., Anderson, J., Albin, R. W., & O'Neill, R. E. (1990). Toward a technology of "nonaversive" behavioral support. *Journal of The Association for Persons with Severe Handicaps*, 15, 125-132.
- [242]: Mellisho, CD, Egea, I., Galindo, A., Rodríguez, P., Rodríguez, JB, Conejero, W., ... & Torrecillas, A. (2012). Réponse du fruit de la grenade (*Punica granatum* L.) à différentes conditions d'irrigation déficitaire. *Gestion de l'eau agricole*, 114, 30-36.
- [243]: Favreau, B. (2012). Impact du stress hydrique sur l'anatomie et la teneur en polyphénols des feuilles de 2 génotypes d'*Eucalyptus* au champ (Doctoral dissertation, UM2).
- [243]: Tardieu, F. (2008). Vrais et faux espoirs pour les plantes tolérantes à la sécheresse. *La Recherche*, 416, 15.
- [244]: ALEJANDRO.. VAZQUEZ TELLO. (1989). ACTION DU DEFICIT HYDRIQUE SUR L'INTEGRITE ET SUR LA COMPOSITION PROTEIQUE DES CHLOROPLASTES CHEZ *PHASEOLUS VULGARIS* ET *VIGNA UNGUICULATA* (Doctoral dissertation).
- [245]: Junjittakarn, J., Pimratch, S., Jogloy, S., Htoon, W., Singkham, N., Vorasoot, N., ... & Patanothai, A. (2013). Absorption des nutriments des génotypes d'arachide sous différents régimes hydriques. *Journal international de la production végétale*, 7 (4), 677-692.
- [246]: Pimratch, S., Jogloy, S., Vorasoot, N., Toomsan, B., Kesmla, T., Patanothai, A. et Holbrook, CC (2008). Effet du stress hydrique sur les traits liés à la fixation de N₂ chez onze génotypes d'arachide (*Arachis hypogaea* L.) différant par leur degré de résistance à la sécheresse
- [247]: Kramer, PJ et Boyer, JS (1995). Relations hydriques des plantes et des sols. *Presse académique*.
- [248]: Garnier, N. B. (2000). Ondes non-linéaires à une et deux dimensions dans une mince couche de fluide (Doctoral dissertation, Université Paris-Diderot-Paris VII).
- [249]: Cosgrove, D. J. (2005). Growth of the plant cell wall. *Nat Rev Mol Cell Biol*, 6(11):850–861. Cité pages 21 et 34.
- [250]: Bouchabke, O., Tardieu, F., & Simonneau, T. (2006). La croissance et la turgescence des feuilles dans les cellules en croissance du maïs (*Zea mays* L.) répondent à la demande d'évaporation sous irrigation modérée mais pas dans un sol saturé en eau. *Plante, cellule et environnement*, 29 (6), 1138-1148.
- [251]: Lebon E., Pellegrino A., Louarn G., Lecoœur J., 2006. Branch development controls leaf area dynamics in grapevine (*Vitis vinifera*) growing in drying soil. *Annals of Botany* 98, 175–85.
- [252]: Galindo, C. A., Cruz, E. X., & Bernal, M. H. (2018). Evaluation of the combined temperature and relative humidity preferences of the Colombian terrestrial salamander *Bolitoglossa ramosi* (Amphibia: Plethodontidae). *Canadian Journal of Zoology*, 96(11), 1230-1235.
- [253]: Masmoudi, A. (2012). Problèmes de la salinité liés à l'irrigation dans la région Saharienne: Cas des Oasis des Ziban (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider–Biskra).
- [254]: Laribi, AI, Palou, L., Intrigliolo, DS, Nortes, PA, Rojas-Argudo, C., Taberner, V., ... & Pérez-Gago, MB (2013). Effet d'une irrigation déficitaire soutenue et régulée sur la qualité des fruits de la grenade cv.'Mollar de Elche' à la récolte et pendant la conservation au froid. *Gestion de l'eau agricole*, 125, 61-70.
- [255]: Ripoll, J. (2015, avril). Effets de la contrainte hydrique, seule ou en interaction avec un pathogène, sur le fonctionnement de la plante et la qualité du fruit de *Solanum lycopersicum* L., en fonction du génotype. Avignon.
- [256]: Baldet, P., Hernould, M., Laporte, F., Mounet, F., Just, D., Mouras, A., ... & Rothan, C. (2006). L'expression des gènes liés à la prolifération cellulaire dans les fleurs en développement précoce est affectée par une réduction de la charge de fruits dans les plants de tomates. *Tourillon de botanique expérimentale*, 57 (4), 961-970.
- [257]: Mercier, J. L., & Wilmé, L. (2013). The Eco-Geo-Clim model: explaining Madagascar's endemism. *Madagascar Conservation & Development*, 8(2), 63-68.
- [258]: El-Soda, M., Boer, MP, Bagheri, H., Hanhart, CJ, Koornneef, M., & Aarts, MG (2014). Interactions génotype-environnement affectant les traits physiologiques et morphologiques de préfloraison de *Brassica rapa* cultivé dans deux régimes d'arrosage. *Journal de botanique expérimentale*, 65 (2), 697-708.
- [259]: Adato, I., & Gazit, S. (1974). Stress lié au déficit hydrique, production d'éthylène et maturation des fruits d'avocat. *Physiologie végétale*, 53 (1), 45-46.
- [260]: Barry, CS, & Giovannoni, JJ (2007). Éthylène et maturation des fruits. *Journal of Plant Growth Regulation*, 26 (2), 143-159.

- [261]: Aurand, R., Faurobert, M., Page, D., Maingonnat, JF, Brunel, B., Causse, M., & Bertin, N. (2012). Réseau de traits anatomiques et biochimiques sous-jacents aux variations génétiques de la texture du fruit de la tomate. *Euphytica* , 187 (1), 99-116.
- [262]: Jackman RL, Gibson HJ, Stanley DW. 1992. Effects of chilling on tomato fruit texture. *Physiologia Plantarum* 86, 600-608.
- [263]: Saladié, M., Matas, AJ, Isaacson, T., Jenks, MA, Goodwin, SM, Niklas, KJ, ... & Rose, JK (2007). Une réévaluation des facteurs clés qui influencent le ramollissement et l'intégrité des fruits de la tomate. *Physiologie végétale* , 144 (2), 1012-1028.
- [264]: Saladié, M., Matas, AJ, Isaacson, T., Jenks, MA, Goodwin, SM, Niklas, KJ, ... & Rose, JK (2007). Une réévaluation des facteurs clés qui influencent le ramollissement et l'intégrité des fruits de la tomate. *Physiologie végétale* , 144 (2), 1012-1028.
- [265]: Sams, CE (1999). Facteurs pré-récolte affectant la texture post-récolte. *Biologie et technologie post-récolte* , 15 (3), 249-254.
- [266]: Harker FR, Redgwell RJ, Hallett IC, Murray SH, Carter G. 1997. Texture of fresh fruit. *Horticultural Reviews* 20, 121-224.
- [267]: Serrano-Megias M, Lopez-Nicolas JM. 2006. Application of agglomerative hierarchical clustering to identify consumer tomato preferences: influence of physicochemical and sensory characteristics on consumer response. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 86, 493-499.
- [268]: van Hooijdonk, B. M., Dorji, K., & Behboudian, M. H. (2007). Fruit quality of 'Pacific Rose™' apple grown under partial rootzone drying and deficit irrigation. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 5, 173-178.
- [269]: Peleman J, Boerjan W, Engker G, Seurinck J, Botterman J, Alliotte T, Van Montagu M, Inze´ D (1989a) Strong cellular preference in the expression of a housekeeping gene of *Arabidopsis thaliana* encoding S-adenosylmethionine synthetase. *Plant Cell* 1:81–93
- [270]: Peña-Estévez, ME, Gómez, PA, Artés, F., Aguayo, E., Martínez-Hernández, GB, Otón, M., ... & Artés-Hernández, F. (2015). Changements de qualité des arilles de grenade fraîchement coupées pendant la durée de conservation, tels qu'ils sont affectés par l'irrigation déficitaire et les traitements à la vapeur post-récolte. *Journal des sciences de l'alimentation et de l'agriculture* , 95 (11), 2325-2336.
- [271]: Shinozaki, K., Yamaguchi-Shinozaki, K., & Seki, M. (2003). Réseau de régulation de l'expression des gènes dans les réponses au stress de la sécheresse et du froid. *Opinion actuelle en biologie végétale* , 6 (5), 410-417.
- [272]: Parvizi H, Sepaskhah AR (2015) Effect of drip irrigation and fertilizer regimes on fruit quality of a pomegranate [*Punica granatum* (L.) cv. Rabab] du verger. *Agric Water Manag* 156:70-78.
- [273]: Boyko A., Kovalchuk I. (2011) Genome instability and epigenetic modification - heritable responses to environmental stress? *Current Opinion in Plant Biology* 14:260-266.
- [274]: Cramer G.R., Urano K., Delrot S., Pezzotti M., Shinozaki K. (2011) Effects of abiotic stress on plants: a systems biology perspective. *Bmc Plant Biology* 11.
- [[275]: Skirycz A., Inze D. (2010) More from less: plant growth under limited water. *Current Opinion in Biotechnology* 21:197-203.
- [276]: AOAC (Association of Analytical Chemists) (1984) Standard Official Methods of Analysis of the Association of Analytical Chemists. 14th Edition, S.W Williams, Washington DC, 121 p.
- [[277]: Singleton, V.L., Joseph, A., Rossi, J.R., 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *Am. J. Enol. Vitic.* 16, 144-153.
- Stoll M, Loveys BR, Dry PR. 2000. Hormonal changes induced by partial rootzone drying of
- [278]: Lowry, O.H., Rosenbrough, N.J., Farr, A.L., Randall, R.J., 1951. Protein measurement with the Folin Phenol reagent. *J. Biol. Chem.* 193, pp. 265- 275.
- [279]: Yemm, E.W. and Cocking, E.C. (1955) The Determination of Amino Acids with Ninhydrin. *Analyst*, 80, 209-213.
- [280]: Lamaison, JL., Carnat, A., 1990. Teneurs en principaux flavonoids des fleurs de *Crataegus monogyna* Jacq et de *Crataegus laevigata* (Poiret D. C) en fonction de la vegetation. *Pharm. Acta Helv.* 65(11), 315–320.
- [281]: Lako et al.,(2007) J. Lako , VC Trenerry , M. Wahlqvist , N. Wattanapenpaiboon , S. Sotheeswaran , R. Premier ministre Les flavonols phytochimiques, les caroténoïdes et les propriétés antioxydantes d'une large sélection de fruits, légumes et autres aliments riches facilement disponibles Chimie alimentaire , 101 (2007) , pp. 1727 - 1741
- [282]: Willis, R. B., Allen, P.R., 1998. Improved method for measuring hydrolysable tannins using potassium iodate. *The Analyst*. 123, 435–439. Zufferey, V and Murisier, F. (2006). Terroirs viticoles vaudois et alimentation hydrique de la vigne. *Revue suisse Vitic. Arboric. Hortic.* 38, 283-287.
- [283]: Arnous, A., Makris, D.P., Kefalas, P., 2002. Correlation of pigment and flavanol content with antioxidant properties in selected aged regional wines from Greece. *J. Food Compos. Anal.* 15, 655–665.
- [285]: Brand-Williams, W., Cuvelier, M., Berset, C., 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant capacity. *Food Sci. Technol.* 28(1), 25-30.
- [286]: Hernandez, F.; Noguera-Artiaga, L.; Burló, F.; Wojdylo, A.; Carbonell-Barrachina, A.; Legua, P. Physico- chemical, nutritional, and volatile composition and sensory profile of Spanish jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) fruits. *J. Sci. Food Agric.* 2015, 96, 2682–2691, doi:10.1002/jsfa.7386.
- [287]: AFNOR (Ed.) , Normes nationales et documents normatifs nationaux : Norme NF EN ISO 659 (2009) , p. 19
- [288]:El Moujahed, S., Dinica, RM, Cudalbeanu, M., Avramescu, SM, Msegued Ayam, I., Ouazzani
- [289]: Cicek, M., Pakyurek, M., Celik, F. (2019). Determination of morphological and pomological characteristics of pomegranate (*Punica granatum* L.) genotypes grown in Diyarbakir. *Int. J. Agric. Environ. Food Sci.*, 3(3), 196-202. DOI:
- [290]: Onur, C. (1983) Selection of Pomegranates in the Mediterranean Region (in Turkish). PhD Thesis. Alata Horticultural Research Training Center Publication No:46. Mersin.
- [291]: Dokuzoğuz, M. and Mendilcioğlu, K. (1978) Pomological studies on pomegranate varieties in Aegean Region. *Ege University. Journal of Agriculture Faculty*, 15 (12), pp. 133–159.
- [292]: Yılmaz, H., Şen, B. and Yıldız, A. (1992) Regional Adaptation of Selected Pomegranates in the Mediterranean Region. I. National Horticulture Congress of Turkey. 13–16 October, İzmir, pp. 449-492.

- [293]: Yılmaz, H., Ayanoğlu, H. and Yıldız, G. A. (1995) Studies on Adaptation of Some Pomegranate Types Selected in the Aegean Region. II. National Horticulture Congress of Turkey. 3-6 October, Adana, pp. 238–240.
- [293]: Durgaç, C., Özgen, M., Simsek, O., Kaçar, Y.A., Kiyga, Y., Çelebi, S., Gündüz, K. and Serçe, S., 2008. Molecular and pomological diversity among pomegranate (*Punica granatum* L.) cultivars in Eastern Mediterranean region of Turkey. *African Journal of Biotechnology*, 7(9).
- [294]: Yildiz, H., Bozkurt, H., & Icier, F. ©. L. İ. Z. (2009). Chauffage ohmique et conventionnel du jus de grenade : effets sur la rhéologie, la couleur et les composés phénoliques totaux. *Food Science and Technology International* , 15 (5), 503-512.
- [295]: 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 Doc. Sci. Agro., France, 177 p.
- [296]: Polat, A. A., Durgaç, C., Kamiloğlu, Ö. and Mansuroğlu, M. (1999) Studies on the Determination of Pomological Properties of Some Pomegranate (*Punica granatum* L.) Types Grown in Kırıkhan District of Hatay. III. National Horticulture Congress of Turkey, 14–17 September, Ankara, pp. 746-750.
- [297]: Özgüven, A. I. and Yılmaz, C. (2000) Pomegranate Growing in Turkey. In: Melgarejo Moreno, P., Martínez- Nicolás, J. J., Martínez-Tomé, J. (eds.). *Production, Processing and Marketing of Pomegranate in the Mediterranean Region: Advances in Research and Technology*. Zaragoza: CIHEAM-IAMZ, 41-48 pp.
- [298]: Cemeroglu, B., Artik, N., Erbas, S., (1992). Gewinnung von Granatap-felsaft und seine Ausammensetzung. *Flussiges Obst*. 59, 335–340
- [299]: Borochoy-Neori, H., Judeinstein, S., Tripler, E., Harari, M. 2009. Seasonal and genotype variations in antioxidant and sensory quality of pomegranate *Punica granatum* L. fruit. *J Food Comp Anal*. 22: 189-195.
- [300]: Martinez, JJ, Melgarejo, P., Hernández, FA, Salazar, DM et Martinez, R. (2006). Caractérisation des graines de cinq nouvelles variétés de grenade (*Punica granatum* L.). *Scientia Horticulturae* , 110 (3), 241-246.
- [301]: Mekni, M., Kharroubi, W., Cheraïef, I. and Hammami, M., 2019. Pomological, Organoleptic and Biochemical Characterizations of Tunisian Pomegranate Fruits *Punica granatum* L. *American Journal of Plant Sciences*, 10(07), p.1181.
- [302]: Mars, M. and Marrakchi, M. (1999) Diversity of pomegranate (*Punica granatum* L.) germplasm in Tunisia. *Genetic resources and crop evolution*, 46(5), pp.461-467.
- [303]: S. Loukmas , E. Kerak , S. Elgadi , F. Ettalibi , A. El Antari , H. Harrak Teneur en huile, composition en acides gras, propriétés physicochimiques et activité antioxydante des huiles de graines de dix cultivars de grenade marocaine *J. Qualité alimentaire* , 2021 (2021)
- [304]: Martinez, J.J., Hernandez, F., Haddioui, A., Legua, P., Martinez, R., El Amine, A. and Melgarejo, P. (2012) Physico-Chemical Characterization of Six Pomegranate Cultivars from Morocco: Processing and Fresh Market Aptitudes. *Scientia Horticulturae*, pp. 140, 100-106.
- [305]: Zaouay, F. and Mars, M. (2011) Diversity among Tunisian Pomegranate (*Punica granatum*) Cultivars as Assessed by Pomological and Chemical Traits. *International Journal of Fruit Science* , 11, pp. 151-166.
- [306]: François, G. S. C. (1985). PRISE EN CHARGE DES TRAUMATISMES THORACIQUES PAR MORSURE CHEZ LES CARNIVORES DOMESTIQUES: ETUDE RETROSPECTIVE PORTANT SUR 52 CAS (Doctoral dissertation, UNIVERSITE CLAUDE-BERNARD-LYON I).
- [307]: Gündoğdu, M. (2006) Selection of Local Types in Pomegranate (*Punica granatum* L.) Populations in Pervari (Siirt) Region. *Yüzüncü Yıl University, Institute of Science, Department of Horticulture, Master Thesis, Van*, pp. 62.
- [308]: Özatak, Ö. M. (2010). Çukurca (Hakkâri) Yöresi Nar (*Punica granatum* L.) Genotiplerinin Özellikleri. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı (yüksek lisans tezi, basılmamış)*, 76.
- [309]: M. Radunić , MJ Špika , SG Ban , J. Gadze , JC Diaz-Pérez , D. MacLean Propriétés physiques et chimiques des accessions de fruits de grenade de Croatie *Chimie alimentaire* . , 177 (2015) , p. 53 - 60
- [310]: Melgarejo-Sánchez, P., Martínez, JJ, Legua, P., Martínez, R., Hernández, F., & Melgarejo, P. (2015). Qualité, activité antioxydante et phénols totaux de six clones de grenades espagnoles. *Scientia Horticulturae* , 182 , 65-72.
- [311]: P. Legua , P. Melgarejo , JJ Martínez , R. Martínez , F. Hernández Évaluation des jus de grenade espagnole : acides organiques, sucres et anthocyanes *Int. J. Food Prop.* , 15 (2012) , p. 481 - 494
- [312]: P. Legua , M.Á. Forner-Giner , N. Nonce-Jauregui , F. Hernández
- Composés polyphénoliques, anthocyanes et activité antioxydante de dix-neuf fruits de grenade : une riche source de composés bioactifs *J. Funct. Foods* , 23 (2016) , p. 628 – 636
- [313]: J. Gadže , S. Voća , Z. Čmelik , I. Mustać , S. Ercisli , M. Radunić
- Caractéristiques physico-chimiques des principaux cultivars de grenade (*Punica granatum* L.) cultivés dans la région de Dalmatie en Croatie *J. Appl. Bot. Qualité Alimentaire* , 85 (2012) , p. 202 - 206
- [314]: Ozgen M, Drugaç C, Serçe S, Kaya C (2008). Chemical and antioxidant properties of pomegranate cultivars grown in Mediterranean region of Turkey. *Food Chem*.
- [315]: Kazankaya, A., Gündoğdu, M., Doğan, A., Balta, M. F. and Çelik, F. (2007) Physico- Chemical Characteristics of Pomegranate (*Punica granatum* L.) Selections from Southeastern of Turkey. *Asian Journal of Chemistry*, 19(2), pp. 2981–2992.
- [316]: Akbarpour, V., Hemmati, K., & Sharifani, M. (2009). Propriétés physiques et chimiques du fruit de la grenade (*Punica granatum* L.) au stade de maturation. *Journal américain-eurasien des sciences agricoles et environnementales* , 6 (4), 411-416.
- [317]: MELGAREJO P. et VALERO D., 2012 - II International Symposium on the Pomegranate. *Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens*; n. 103, Madrid (Spain), 337 p.
- [318]: Thakur, N.-É., Dhaygude, GS et Gupta, A. (2011). Caractéristiques physico-chimiques des fruits de la grenade sauvage dans différents endroits de l'Himachal Pradesh. *Journal international des sciences agricoles* , 1 (2), 37-44.
- [319]: Singh DB, Kingsley ARP. Effect of convective drying on quality of anardana. *Indian Journal of Horticulture*. 2008; 65(4):413-416.
- [320]: N. Nonce-Jauregui , A. Calín-Sánchez , AA Carbonell-Barrachina , F. Hernández. (2014) Modifications des paramètres de qualité, de la proline, de l'activité antioxydante et de la couleur de la grenade (*Punica granatum* L.) en fonction de la position du fruit dans l'arbre, du cultivar et du stade de maturation *Sci. Hortique.* , 165, p. 181 - 189

- [321]: Calín-Sánchez , JJ Martínez , L. Vázquez-Araújo , F. Burló , P. Melgarejo , AA Carbonell-Barrachina. (2011) Composition volatile et qualité sensorielle des grenades espagnoles (*Punica granatum L.*) J. Sci. Alimentaire Agric. , 91 , p. 586 - 592
- [322]: Dandachi , B. Hamadeh , H. Youssef , H. Chahine , L. Chalak Évaluation de la diversité du matériel génétique libanais du grenadier (*Punica granatum L.*) par des traits morphologiques et chimiques Ann. Agric. Sci. (Le Caire) , 62 (2017) , p. 89 – 98
- [323]: Chandra, R., Lohakare, A. S., Karuppannan, D. B., Maity, A., Singh, N. V., & Jadhav, V. T. (2013). Variability studies of physico-chemical properties of pomegranate (*Punica granatum L.*) using a scoring technique. *Fruits*, 68(2), 135-146.
- [324]: Jayasena, V.; Leung, P. and Nasar-Abbas, S.M. (2008); In J.A. Palta and J.B. Berger (eds) „Lupins for Health and Wealth“ Proceedings of the 12 th., International Lupin Conference, 14-18 Sept. 2008, Fremantle, Western Australia. International Lupin Association, Canterbury, New Zealand. ISBN 0-86476-153-8 Proceedings 12 TH., International Lupin Conference.
- [325]: Ünal C, Velio_lu S, Cemero_lu B (1995). Türk nar sularının bile_im özellikleri. *Gıda*, 20, pp. 339-345. Poyrazo_lu E, Gokmen V, Artik N (2002). Organic acids and phenolic compounds in pomegranates (*Punica granatum L.*) grown in Turkey. *J. Food Compos. Anal.*, 15, pp. 567-575.
- [326]: NS Thakur , MM Bhat , N. Rana , V.,K. Joshi Standardisation des prétraitements pour la préparation d'arilles séchées à partir de grenade sauvage J. Food Sci. Technol. , 47 (2010) , p. 620 – 625
- [327]: A. Khadivi , F. Mirheidari , Y. Moradi , S. Paryan Variabilité morphologique des accessions de grenadier sauvage (*Punica granatum L.*) des habitats naturels du nord de l'Iran Sci. Hortique. , 264 (2020) , p. 109165
- [328]: A. Sharma , N.-É. Thakur. (2016) Influence de l'emballage actif sur les attributs de qualité des arilles séchées de grenade sauvage (*Punica granatum L.*) pendant le stockage J. Appl. Nat. Sci. , 8 , p. 398 – 404
- [329]: A. Sharma , N.-É. Thakur Grenade sauvage (*Punica granatum L.*): un examen des attributs physiques et chimiques du fruit de la grenade sauvage de l'Himalaya J. Pharmacog. Phytochem. , 7 (2018) , p. 1518 – 1524
- [330]: D. Singh , V. Sethi (2003) Criblage de géotypes de grenade pour la préparation d'anardana de qualité J. Food Sci. Technol. , 40 , p. 236 - 238
- [331]: I. Bar-Yaakov , L. Tian , R. Amir , D. Holland Métabolites primaires, anthocyanes et tanins hydrolysables dans le fruit de la grenade De face. *Usine Sci.* , 10 (2019) , p. 1 - 19
- [332]: Pavez IAC (2011) Caracterización física, química y sensorial de frutos de granado cv. Wonderful provenientes de tres regiones de Chile, Final course work. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Santiago do Chile
- [333]: Gonzales - Altozano P., Castel J.R., 1999. Regulated deficit irrigation in Clemantina de Nules citrus tree: I. Yield and fruit quality effects. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 74, 706-713.
- [334]: Ojeda H., Deloire A., Carbonneau A., 2001. Influence of water deficits on grape berry growth. *Vitis* 40, 141-145.
- [335]: Deloire A, Carbonneau A, Wang ZP, Ojeda H., 2004. Vine and water a short review. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin* 38, 1-13.
- [336]: Huglin P., 1986. Biologie et écologie de la vigne. INRA (ed), Payot Lausanne, Technique & Documentation, Paris, 125-151.
- [337]: Torrecillas A., Domingo R., Galego R., Ruiz-Sanchez M.C., 2004. Apricot tree response to withholding irrigation at different phenological periods. *Scientia Horticulturae* 85, 201-205
- [338]: Coutanceau, C., El Hourch, A., Crouigneau, P., Leger, J. M., & Lamy, C. (1995). Conducting polymer electrodes modified by metal tetrasulfonated phthalocyanines: Preparation and electrocatalytic behaviour towards dioxygen reduction in acid medium. *Electrochimica acta*, 40(17), 2739-2748.
- [339]: Souty, M., Marc AUDERGON, J., & Duprat, F. (1989, July). Physical and biochemical criteria for apricot varieties characterisation. In IX International Symposium on Apricot Culture 293 (pp. 95-110).
- [340]: Shulman, Y., Fainberstein, L., & Lavee, S. (1984). Pomegranate fruit development and maturation. *Journal of Horticultural Science*, 59(2), 265-274.
- [341]:Karanjalkar, G., & Begane, N. (2016). Sélection de cultures fruitières vivaces pour l'amélioration de la qualité. *Erwerbs-obstbau* , 58 (2).
- [342]: Falconer, D. S., & Mackay, T. F. C. (1996). *Introduction to quantitative genetics* (4th ed.). Harlow, Essex: Addison Wesley Longman.
- [343]: Karimi, H. R., & Mirdehghan, S. H. (2013). Correlation between the morphological characters of pomegranate (*Punica granatum*) traits and their implications for breeding. *Turkish Journal of Botany*, 37(2), 355-362.
- [344]: Al-Maiman, S.A., Ahmad, D., 2002. Changes in physical and chemical properties during pomegranate (*Punica granatum L.*) fruit maturation. *Food Chem.* 76, 437–441.
- Ashraf, M. (2010). Inducing drought tolerance in plants. *Recent advances. Biotechnol. Adv.* 28, 169-183.
- [345]: M. Cam , Y. Hisil , G. Durmaz
- Caractérisation des jus de grenade de dix cultivars cultivés en Turquie *Int. J. Food Prop.* , 12 (2009) , p. 388 - 395
- [346]: E. Shwartz , I. Glazer , I. Bar-Yaakou , I. Matityalm , I. Bar-Ilan , D. Holland , R. Amir Modifications des constituants chimiques au cours de la maturation et du mûrissement de deux accessions de grenade commercialement importantes *Chimie alimentaire.* , 115 (2009) , p. 965 – 973
- [347]: E. Poyrazglu , V. Gökmen , N. Artik Acides organiques et composés phénoliques dans les grenades (*Punica granatum L.*) cultivées en Turquie J. Compositions alimentaires. Anal. , 15 (2002) , p. 567 - 575
- [348]: D. Rajasekar , CC Akoh , KG Martino , DD MacLean Caractéristiques physico-chimiques du jus extrait au mélangeur et à la presse mécanique des cultivars de grenade cultivés en Géorgie *Chimie alimentaire.* , 133 (2012) , p. 1383 – 1393
- [349]: PU Jing , T. Ye , H. Shi , Y. Sheng , M. Slavin , B. Gao , L. Liu , LL Yu Propriétés antioxydantes et composition phytochimique des graines de grenade cultivées en Chine *Chimie alimentaire.* , 132 (2012) , p. 1457 - 1464
- [350]: Z. Amri , H. Lazreg-Aref , M. Mekni , S. El-Gharbi , O. Dabbaghi , B. Mechri , M. Hammami Caractérisation de l'huile et composition des classes de lipides des graines de grenade *BioMed Res. Int.* , 2017 (2017) , p. 1 - 8
- [351]: CB Stowe Les effets de la consommation de jus de grenade sur la tension artérielle et la santé cardiovasculaire *Compl. Là. Clin. Pratique.* , 17 (2011) , p. 113 – 115

- [352]: M. Aviram , M. Rosenblat Protection de la grenade contre les maladies cardiovasculaires Evid. socle Compl. médecine alternative. , 2012 (2012) , p. 1 - 20
- [353]: A. Khadivi , D. Ayenehkar , M. Kazemi , A. Khaleghi Caractérisation phénotypique et pomologique d'une collection de matériel génétique de grenadier (*Punica granatum* L.) et identification des sélections prometteuses *Scientia Horticulturae* , 238 (2018) , p. 234 - 245
- [354]: A. Khadivi-Khub , M. Kameli , N. Moshfeghi , A. Ebrahimi Caractérisation phénotypique et parenté entre certaines accessions de grenade iranienne (*Punica granatum* L.) *Trees (Berl.)* , 29 (2015) , pp. 893 - 901
- [355]: Parvizi, H., Sepaskhah, A. R., & Ahmadi, S. H. (2014). Effect of drip irrigation and fertilizer regimes on fruit yields and water productivity of a pomegranate (*Punica granatum* (L.) cv. Rabab) orchard. *Agricultural Water Management*, 146, 45-56.
- [356]: Volschenk, T. (2021). Effet des déficits hydriques sur la performance des grenadiers et la qualité des fruits – Une revue. *Agricultural Water Management*, 246, 106499.
- [357]: Hernández-Corroto, E., Plaza, M., Marina, M. L., & García, M. C. (2020). Extraction durable de protéines et de substances bioactives à partir d'écorces de grenade (*Punica granatum* L.) à l'aide de liquides sous pression et de solvants eutectiques profonds. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 60, 102314.
- [358]: Tiziana, C., Gary, S.B., Christopher, M.W and James E. A. (2012). Stratégies d'irrigation déficitaires et leur impact sur le rendement et la qualité nutritionnelle de la grenade. P2-8.
- [359]: B. Wong, K. Baggett, A. Seigle Profils de réserve et de glucides solubles de la saison froide dans les érables à sucre et les arbres endommagés par la glace de deux classes d'âge après la sécheresse *Botany.*, 87 (2009), pp. 293-305
- [360]: Parvizi, H., Sepaskhah, A. R., & Ahmadi, S. H. (2014). Effet des régimes d'irrigation goutte à goutte et d'engrais sur les rendements en fruits et la productivité en eau d'un verger de grenades (*Punica granatum* (L.) cv. Rabab). *Agricultural Water Management*, 146, 45-56.
- [361]: Laribi, A. I., Palou, L., Intrigliolo, D. S., Nortes, P. A., Rojas-Argudo, C., Taberner, V., ... & Pérez-Gago, M. B. (2013). Effet de l'irrigation déficitaire soutenue et régulée sur la qualité des fruits de la grenade cv.'Mollar de Elche' à la récolte et pendant

Annexe 1 : Identification des composés phytochimiques des grenades

ID	Nom Formule	Formule	poids Moléculaire	Partie de la plante	Ref.
Ellagitannins et Gallotannins					
1	2,3-(S)-HHDP-D-glucose a	C20H18O14	482,35	Écorce	[140]
2	Castalagin	C41H26O26	934,63	Écorce	[140]
3	Casuariin	C34H24O22	784,54	Écorce	[140]
4	Casuarinine	C41H28O26	936,65	Écorce, péricarpe	[140], [142]
5	Corilagine	C27H22O18	634,45	Fruit, feuilles, Péricarpe	[142],[120], [121]
6	Cyclic 2,4:3,6-bis(4,4',5,5',6,6'-hexahydroxy[1,1'-biphenyl]-2,2'-dicarboxylate) 1-(3,4,5-2,2'-dicarboxylate) 1-(3,4,5-2,2'-dicarboxylate) 1-(3,4,5-Cyclic 2,4:3,6-bis(4,4',5,5',6,6'- hexahydroxy[1,1'-biphenyl]-2,2'-dicarboxylate) 1-(3,4,5-trihydroxybenzoate) b-D-Glucose	C41H28O26	936,65	Feuilles	[122]
7	Granatine A	C34H24O23	800,54	Péricarpe	[142]
8	Granatine B	C34H28O27	952,64	Écorce	[142], [120]
9	Pedunculagin	C34H24O22	784,52	Écorce, péricarpe	[140], [142]
10	Punicacortéin A	C27H22O18	634,45	Écorce	[141]
11	Punicacortéin B	C27H22O18	634,45	Écorce	[141]
12	Punicafolin	C41H30O26	938,66	Feuilles	[123]
13	Punigluconine	C34H26O23	802,56	Écorce	[141]
14	Strictinin	C27H22O18	634,45	Feuilles	[123]
15	Tellimagrandin I	C34H26O22	786,56	Feuilles, péricarpe	[142], [124]
16	Tercatain	C34H26O22	786,56	Feuilles	[124]
17	2-O-galloyl-4,6(S,S) gallagoyl-D-glucose	C41H26O26	934,63	Écorce	[140]
18	5-O-galloyl-punicacortéin D	C54H34O34	1222,8	Feuilles	[125]
19	Punicacortéin C	C47H26O30	1070,7	Écorce	[141]
20	Punicacortéin D	C47H26O30	1070,7	Écorce, Bois de cœur	[141]
21	Punicacortéin D	C34H22O22	782,53	Écorce, péricarpe	[140], [142]
22	Punicalagin	C48H28O30	1084,7	Écorce, péricarpe	[140], [141], [142]
23	Terminalin/gallayldilacton	C28H20O16	602,37	Péricarpe	[142]
Dérivés de l'acide ellagique					
24	Acide ellagique	C14H6O8	302,19	Fruit, péricarpe, Écorce	[142], [134]
25	Acide ellagique, 3,3'-di-O-méthyl	C16H6O8	330,25	Écorce	[135]
26	Acide ellagique, 3,3', 4'-tri-Ométhyle	C17H12O8	344,27	Écorce	[135]
27	Acide ellagique, 3'-O-méthyl-3,4-méthylène	C16H8O8	328,23	Bois de cœur	[144]
28	Eschweilenol C	C20H16O12	448,33	Bois de cœur	[144]
29	Acide diellagique rhamnosyl(1-4)	C40H30O24	894,65	Bois de cœur	[125]
Catéchine et procyanidines					
30	(-)-Catéchine	C15H14O6	290,27	Jus	[136]
31	Catéchine-(4,8)-gallocatéchine	C30H26O13	594,52	Écorce	[137]
32	Gallocatéchine	C15H14O7	306,27	Écorce	[137]
33	Gallocatéchine-(4,8)-catéchine	C30H26O13	594,52	Écorce	[137]
34	Gallocatéchine-(4,8)-gallocatéchine	C30H26O14	610,52	Écorce	[137]

35	Procyanidine B1	C30H26O12	578,52	Jus	[136]
36	Procyanidine B2	C30H26O12	578,52	Jus	[136]
Anthocyanines et anthocyanidines					
37	Cyanidine	C15H11O6	287,24	Jus	[120], [138]
38	Cyanidine-3-glucoside	C21H21O11	449,38	Jus	[120], [138], [139]
39	Cyanidine-3,5-diglucoside	C27H31O16	611,52	Jus	[120], [138], [139]
40	Cyanidine-3-rutinoside	C27H31O15	595,53	Jus	[136]
41	Delphinidine	C15H11O7	303,24	Jus	[120], [138]
42	Delphinidine-3-glucoside	C21H21O12	465,38	Jus	[120], [138], [139]
43	Delphinidine 3, 5-diglucoside	C27H31O17	627,52	Jus	[120], [138], [139]
44	Pélagonidine 3-glucoside	C21H21O10	627,52	Jus	[120], [138]
45	Pélagonidine 3,5-diglucoside	C27H31O15	595,53	Jus	[120], [138]
Flavonols					
46	Apigénine-4'-O-β-D-glucoside	C21H20O11	448,32	Feuilles	[140]
47	Kaempferol	C15H10O6	286,24	Écorce, fruit	[141]
48	Lutéoline	C15H10O6	286,24	Écorce, fruit	[141]
49	Lutéoline-3'-O-β-D-glucoside	C21H20O10	432,11	Feuilles	[140]
50	Lutéoline-4'-O-β-D-glucoside	C21H20O10	432,11	Feuilles	[140]
51	Lutéoline-3'-O-β-D-Xyloside	C21H20O10	418,09	Feuilles	[140]
52	Myricétine	C15H10O8	318,04	Fruit	[142]
53	Quercétine	C15H10O7	302,04	Écorce, fruit	[120], [142], [143]
54	Quercimétrine	C21H20O12	464,38	Fruit	[120]
55	Quercétine-3-O-rutinoside	C27H30O16	610,52	Fruit	[136]
56	Quercétine-3,4'-diméthyl éther 7-	C28H32O16	624,54	Écorce, peel	[143]
57	O-α-L-arabinofuranosyl-(1-6)-	C26H30O15	582,51	Feuilles	[121]
58	β-D-glucoside	C27H32O14	580,53	Feuilles	[121]
Acides organiques					
59	Acide caféique	C9H8O4	180,16	Jus	[136]
60	Acide chlorogénique	C16H18O9	345,31	Jus	[136]
61	Acide cinnamique	C9H8O2	148,16	Jus	[136]
62	Acide citrique	C6H8O7	192,12	Jus	[135]
63	Acide o-coumarique	C9H8O3	164,16	Jus	[136]
64	Acide p-coumarique	C9H8O3	164,16	Jus	[136]
65	Acide férulique	C10H10O4	194,18	Jus	[136]
66	Acide gallique	C7H6O5	170,12	Jus	[136]
67	Acide L-malique	C4H6O6	134,09	Jus	[135]
68	Acide oxalique	C2H2O4	90,03	Jus	[135]
69	Acide protocatéchique	C7H6O4	154,12	Jus	[135]
70	Acide quinique	C7H12O6	192,17	Jus	[136]
71	Acide succinique	C4H6O4	118,09	Jus	[135]
72	Acide tartrique	C4H6O6	150,09	Jus	[135]
Dérivés simples du gallyol					
73	Brévifoline	C12H8O6	248,19	Feuilles	[134]
74	Acide carboxylique de la brévifoline	C13H8O8	292,2	Feuilles	[134]
75	Acide carboxylique de brévifoline-10-	C13H7KO10S	394,25	Feuilles	[124]
76	Monosulfate	C27H24O18	636,47	Feuilles	[134]
77	1,2,3-Tri-O-galloyl-β-D-glucose	C27H24O18	636,47	Feuilles	[134]
78	1,2,4-Tri-O-galloyl-β-D-glucose	C27H24O18	636,47	Feuilles	[134]
79	1,2,6-Tri-O-galloyl-β-D-glucose	C27H24O18	636,47	Feuilles	[134]
80	1,4,6-Tri-O-galloyl-β-D-glucose	C27H24O18	636,47	Feuilles	[124]

81	1,3,4-Tri-O-galloyl-β-D-glucose	C34H28O22	788,57	Feuilles	[134]
82	1,2, 4, 6-Tétra-O-galloyl-β-D-glucose	C41H32O26	940,68	Feuilles	[134]
83	1,2,3,4, 6-Pent-O-galloyl-β-D-glucose	C8H8O5	184,15	Bois de cœur	[121]
84	Gallate de méthyle	C13H8O7	276,20	Feuilles	[134]
Acides gras et triglycérides					
85	Acide eicosénoïque	C20H40O2	312,53	Huile de pépins	[136]
86	Acide linoléique	C18H32O2	280,45	Huile de pépins	[141]
87	Acide linoléique	C18H30O2	278,43	Huile de pépins	[136]
88	Acide oléique	C18H34O2	282,46	Huile de pépins	[136]
89	Acide palmitique	C16H32O2	256,42	Huile de pépins	[136]
90	Acide punicique	C18H30O2	278,43	Huile de pépins	[136]
91	Acide stéarique	C18H36O2	284,48	Huile de pépins	[136]
92	Tri-O-punicylglycérol	C57H92O6	873,34	Pépins	[137]
93	Di-O-punicyl-O-octadeca-8Z-	C57H92O6	873,34	Pépins	[137]
94	11Z-13E-triénylglycérol	C21H36O4	352,51	Huile de pépins	[138]
95	1-O-trans, cis, trans,	C26H50O4	426,67	Huile de pépins	[138]
Stérols et terpénoïdes					
96	Acide asiatique	C30H48O5	488,7	Écorce	[139]
97	Acide bétulinique	C30H48O3	456,70	Écorce	[140]
98	Cholestérol	C27H46O	386,65	Huile de pépins	[145]
99	Daucostérol	C35H60O6	576,85	Écorce	[135]
100	Estrone	C18H22O2	270,37	Huile de pépins	[145]
101	Estradiol	C18H24O2	272,38	Huile de pépins	[145]
102	Estriol	C18H24O3	288,38	Huile de pépins	[145]
103	Friedoolean-3-one	C30H50O	426,72	Écorce	[146]
104	β-Sitostérol	C29H50O	414,71	Huile de pépins, feuilles, troncs	[145], [146]
105	Stigmastérol	C29H48O	412,69	Huile de pépins	[145]
106	Testostérone	C19H28O2	288,42	Huile de pépins	[145]
107	Acide ursolique	C30H48O3	456,70	Pépins	[146]
Alcaloïdes					
108	Hygrine	C8H15NO	141,21	Écorce de racine	[147]
109	Norhygrine	C7H13NO	127,18	Écorce de racine	[147]
110	Pelletierine	C8H15NO	141,21	Écorce	[147]
111	N-méthyl-pelletierine	C9H17NO	155,24	Écorce	[147]
112	Sedridine	C8H17NO	143,23	Écorce	[147]
113	Pseudopelletierine	C9H15NO	153,22	Écorce	[147]
114	Nor-pseudopelletierine	C8H13NO	139,19	Écorce	[147]
115	2,3,4,5-tétrahydro-6-propénylpyridine	C8H13N	123,20	Écorce	[147]
116	3,4,5,6-tétrahydro-a-méthyl-2-	C8H15NO	141,21	Écorce	[147]
117	pyridine éthanol	C11H10CINO2	123,20	Feuilles	[140]
Autres composés					
118	Coniféryl 9-O-[β-Dapiofuranosyl-(C21H30O12	474,46	Pépins	[135]
119	1-6)]-O-β-Dglucopyranoside	C22H32O13	504,48	Pépins	[135]
120	Sinapy 9-O-[β-Dapiofuranosyl-(C20H30O10	430,45	Pépins	[135]
121	1-6)]-O-β-Dglucopyranoside	C19H28O10	416,42	Pépins	[135]
122	Phényléthyl rutinoside	C6H14O6	182,17	Écorce	[132]
a HHDP = hexahydroxydiphenoyl.					

Annexe2 : Corrélation entre les caractères agro-morphologiques et biochimiques de deux génotypes de grenade évalués.

Coefficients de corrélation de Pearson, N = 18																				
	jus	DJus	Tarilsp	Paril	Ppep	AT	PH	Brix	CAnt	Antho	saveurs	phén	proG	tanC	TanH	L	a	b	c	h
jus	1,00000																			
DJus	-0,39123 0,1084	1,00000																		
Tarilsp	-0,26506 0,2878	0,27360 0,2720	1,00000																	
Paril	-0,47472 0,0465	0,07463 0,7685	0,60501 0,0078	1,00000																
Ppep	-0,16373 0,5162	0,26263 0,2924	0,25556 0,3060	0,24865 0,3198	1,00000															
AT	-0,42062 0,0822	0,01156 0,9637	-0,36828 0,1326	0,00705 0,9779	-0,03681 0,8847	1,00000														
PH	0,13911 0,5820	-0,34209 0,1647	0,23559 0,3467	0,15337 0,5435	0,43175 0,0736	-0,08419 0,7398	1,00000													
Brix	-0,33375 0,1759	0,24533 0,3265	-0,23303 0,3521	0,17738 0,4813	-0,27807 0,2639	0,03018 0,9054	-0,43565 0,0707	1,00000												
CAnt	0,20498 0,4145	-0,10525 0,6777	-0,15378 0,5424	0,00021 0,9993	-0,01017 0,9681	-0,05881 0,8167	0,28699 0,2482	0,37202 0,1285	1,00000											
Antho	-0,10810 0,6694	-0,24214 0,3330	-0,38251 0,1172	0,04577 0,8569	-0,46057 0,0544	0,49442 0,0370	-0,41138 0,0899	0,19327 0,4423	-0,08694 0,7316	1,00000										
saveurs	-0,32809 0,1838	-0,07501 0,7674	-0,10249 0,6857	0,33091 0,1798	-0,27077 0,2771	0,52446 0,0255	-0,04380 0,8630	0,22763 0,3637	0,08034 0,7513	0,20808 0,4074	1,00000									
phén	0,13752 0,5863	0,16632 0,5095	0,09196 0,7167	0,00110 0,9966	-0,10706 0,6724	-0,23960 0,3383	0,10652 0,6740	0,50385 0,0330	0,64570 0,0038	-0,30799 0,2137	-0,09010 0,7222	1,00000								
proG	-0,50542 0,0324	0,46047 0,0545	0,14966 0,5534	0,22752 0,3639	0,08951 0,7239	0,28371 0,2539	-0,20459 0,4154	0,35187 0,1521	-0,11283 0,6558	-0,32090 0,1942	0,29175 0,2401	0,21976 0,3809	1,00000							
tanC	-0,06533 0,7968	0,13394 0,5962	0,43633 0,0703	0,13993 0,5797	0,52690 0,0247	-0,12807 0,6126	0,59937 0,0086	-0,39466 0,1051	-0,10485 0,6788	-0,74743 0,0004	0,12607 0,6182	0,05130 0,8398	0,38064 0,1192	1,00000						
TanH	0,60957 0,0072	-0,25484 0,3075	0,19467 0,4389	-0,24686 0,3234	0,17319 0,4919	-0,52818 0,0242	0,60391 0,0080	-0,46280 0,0531	0,16803 0,5051	-0,60059 0,0084	-0,27076 0,2772	0,26166 0,2942	-0,16438 0,5145	0,60925 0,0073	1,00000					
L	-0,48038 0,0436	0,30862 0,2127	0,33890 0,1689	0,24885 0,3194	-0,05384 0,8320	0,06757 0,7899	-0,48605 0,0408	-0,03845 0,8796	-0,54559 0,0192	0,00930 0,9708	0,20169 0,4222	-0,44326 0,0654	0,43640 0,0702	0,14348 0,5700	-0,36611 0,1351	1,00000				
a	0,30059 0,2255	-0,42272 0,0805	0,17212 0,4946	0,00182 0,9943	0,25819 0,3009	-0,16138 0,5223	0,91605 <,0001	-0,43847 0,0687	0,19133 0,4469	-0,41827 0,0841	-0,01303 0,9591	0,02658 0,9166	-0,20694 0,4100	0,60517 0,0078	0,65234 0,0033	-0,41207 0,0893	1,00000			
b	0,04384 0,8629	-0,20764 0,4084	0,12743 0,6143	-0,05369 0,8324	0,35238 0,1515	-0,15572 0,5372	0,78749 0,0001	-0,23391 0,3502	0,22731 0,3644	-0,71190 0,0009	-0,00358 0,9888	0,19586 0,4360	0,19565 0,4365	0,73900 0,0005	0,66629 0,0025	-0,27451 0,2703	0,76712 0,0002	1,00000		
c	0,28933 0,2442	-0,41892 0,0836	0,16854 0,5038	-0,00171 0,9946	0,26396 0,2899	-0,16643 0,5092	0,92096 <,0001	-0,42744 0,0768	0,20098 0,4239	-0,44427 0,0647	-0,00966 0,9697	0,04099 0,8717	-0,18622 0,4594	0,62097 0,0060	0,66336 0,0027	-0,40874 0,0922	0,99882 <,0001	0,79607 <,0001	1,00000	
h	-0,10011 0,6927	-0,06082 0,8105	0,10834 0,6687	-0,05386 0,8319	0,36346 0,1382	-0,14226 0,5734	0,61847 0,0062	-0,08285 0,7438	0,21601 0,3893	-0,74999 0,0003	-0,02419 0,9241	0,25542 0,3063	0,36908 0,1317	0,69155 0,0015	0,55780 0,0162	-0,17384 0,4903	0,55964 0,0157	0,95862 <,0001	0,59685 0,0089	1,00000

DES TRAVAUX DE RECHERCHE

Articles dans des revues internationales à comité de lecture

- Ejjilani, A., Houmanat, K., Hanine, H., Hssaini, L., Elfazazi, K., Hernandez, F., Razouk, R. (2022). Pomegranate morpho-chemodiversity: computational investigations based on in-vivo and in-vitro screening. *Heliyon*, 8(5), e09345.
- Indelicato, S., Houmanat, K., Bongiorno, D., Ejjilani, A., Hssaini, L., Razouk, R., Hanine, H. (2022).
- Freeze dried pomegranate juices of Moroccan fruits: main representative phenolic compounds. *Journal of the Science of Food and Agriculture*.

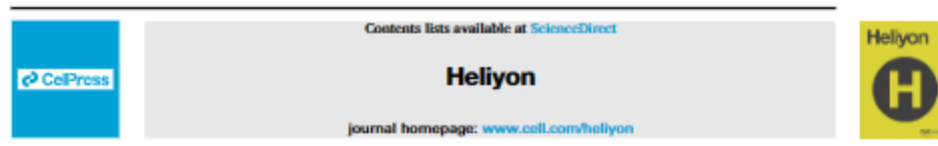
Communication à des congrès internationaux

✓ 6 Communications orales

- 1: 30 Décembre 2022: «IIème Symposium Pharmacologie, Phytothérapie et Phytochimie des Plantes Aromatiques et Médicinales» (SI4P-2022).
- 1: 28 et 29 février 2020: « Troisième Congrès International Biotechnologies au Service de la Société Biotech 2020 Fes ».
- 1: 30-27 October 2021: « the 1st International Congress sustainable agriculture: tools and innovations «AgriNov ytlucaF eht ni dleh ».
- 1: 28 et 29 février 2020: Communication Orale: « Troisième Congrès International Biotechnologies au Service de la Société Biotech 2020 Fes ».
- 1: 25 novembre 2021: «séminaire Le Grenadier, une culture alternative prometteuse pour faire face au changement climatique ».
- 1: 04-11-2022: « la 18ème édition du festival annuel de la grenade ».

✓ 12 Communication affichées

- 1: 29 Décembre 2022: «IIème Symposium Pharmacologie, Phytothérapie et Phytochimie des Plantes Aromatiques et Médicinales» (SI4P-2022).
- 1: 02 au 05/09/2018: « la Conférence internationale sur les sciences agricoles, Biologiques et de la vie» est organisée par l'Université Trakya, Edirne, en Turquie.
- 1: 09 au 11/05/2018: « la 4ème Conférence Internationale Américano-Marocaine des Sciences Agricoles au Qualipole Alimentation de Meknès ».
- 1: 18 au 19/09/2017: « la Conférence internationale sur la biotechnologie: perspectives au-delà de 2020 » Beni-Mellal ».
- 1: 27 au 28/04/2018: « le 1er Forum d'innovation Agro-Alimentaire- Pôle de compétitivité AGRINOVA au Qualipole Alimentation de Meknès.
- 2: 17 et 18 avril 2019: Doctoriales 2019 (Salon International de l'Agriculture au Maroc se tiendra dans la ville impériale de Meknès).
- 2: 28 et 29 février 2020: « Troisième Congrès International Biotechnologies au Service de la Société Biotech 2020 Fès ».
- 3: 25 novembre 2021: «séminaire Le Grenadier, une culture alternative prometteuse pour faire face au changement climatique ».



Research article

The psychological mechanism of internet information processing for post-treatment evaluation

Quan-Hoang Vuong, Tam-Tri Le^{**}, Viet-Phuong La, Minh-Hoang Nguyen^{*}

Centre for Interdisciplinary Social Research, Phnom Penh University, Yen Nghia Ward, Ho Dong District, Hanoi, 300003, Viet Nam



ARTICLE INFO

Keywords:
 Digital healthcare
 Healthcare quality
 Public communication
 Mindspace mechanism
 Internet information

ABSTRACT

Digital healthcare has been greatly benefiting the public health system, especially during the COVID-19 pandemic. In digital healthcare, information communication through the Internet is crucial. The current study explores how patients' accessibility and trust in Internet information influences their decisions and *ex-post* assessment of healthcare providers by employing the Bayesian Mindspace Framework (BMF) on a dataset of 1,459 Vietnamese patients. We find that patients' accessibility to Internet information positively affects the perceived sufficiency of information for choosing a healthcare provider, and their trust in the information intensifies this effect. Internet information accessibility is negatively associated with post-treatment assessment of healthcare providers, and trust also moderates this effect. Moreover, patients considering professional reputation important while making a decision are more likely to regard their choices as optimal, whereas patients considering services important have contradicting tendencies. Based on these findings, a concern about the risk of eroding trust toward Internet sources about healthcare information is raised. Thus, quality control and public trust-building measures need to be taken to improve the effectiveness of healthcare-related communication through the Internet and facilitate the implementation of digital healthcare.

1. Introduction

During the combat against the COVID-19 pandemic, digital healthcare has played an important role in the public health system. Due to the rapid changes in demand, capacity, and conditions of healthcare services attributable to the COVID-19 pandemic, the conventional face-to-face model must be reconfigured. Many countries, therefore, have incorporated digital technology into their new healthcare models for improving efficiency, reducing transmission risks, and enhancing flexibility (Ganesekaran et al., 2021). Integrating digital technology into healthcare systems is also essential among low- and middle-income countries (LMICs). It is one of the non-pharmaceutical interventions that help minimize the adverse impacts of the COVID-19 pandemic (Chowdhury et al., 2020; Walker et al., 2020). Mitgang et al. (2021) suggest that LMICs' healthcare systems can be markedly improved by employing information and communication technologies (ICTs) to enhance direct communication with the public, develop scale-proven and innovative service delivery models, and empower the frontlines. Understanding the framework for information management is crucial in a global public

health crisis (Vuong et al., 2022), especially considering potential negative public perceptions toward science (Vuong, 2018).

Digital health, which was first introduced by Frank (2000), provides consumers with five fundamental functions: 1) information dissemination, 2) informed decision-making support, 3) health promotion, 4) a medium to exchange information and support, and 5) self-care improvement and demand management. Even though the field has rapidly expanded to cover other scientific concepts and technologies, like artificial intelligence, analytics, mobile applications, telemedicine, etc. (Mathewes et al., 2019), dissemination and communication of information through the Internet still play crucial roles in the modern digital health system, and even digital health ecosystem (Serbanati et al., 2011). Regarding the relationship between human health and digital technology, artificial intelligence is becoming more and more helpful in supporting medical data processing (Holzinger et al., 2022); for example, the European Commission has clear guidance on the legal use of artificial intelligence in medical treatments (Stöger et al., 2021). While artificial intelligence is important for building a sustainable modern medical system, the issues of ethics and public trust require careful consideration as well as further technological advancement (Muller et al., 2021).

* Corresponding author.

** Corresponding author.

E-mail addresses: tri.letam@phnompenh-univ.edu.vn (T.-T. Le), hoang.nguyensminh@phnompenh-univ.edu.vn (M.-H. Nguyen).

<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09351>

Received 4 January 2022; Received in revised form 16 February 2022; Accepted 25 April 2022

2405-8440/© 2022 The Author(s). Published by Elsevier Ltd. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Lahcen Hssaini (Orcid ID: 0000-0002-6739-3895)

Hafida Hafida (Orcid ID: 0000-0002-9309-5672)

Freeze dried pomegranate juices of Moroccan fruits: main representative phenolic compounds.

Serena Indelicato¹, Karim Houmanat², David Bongiorno¹, Assia Ejjilani^{2,3}, Lahcen Hssaini², Rachid Razouk², Jamal Charafi², Said Ennahli², Hafida Hafida^{3*}¹ Department of Biological, Chemical and Pharmaceutical Sciences and Technologies (STEBICEF), University of Palermo, Via Archirafi n.32, 90123 Palermo (ITALY)² National Institute of Agricultural Research (INRA), Morocco³ Faculty of Science and Technics, Laboratory of Bioprocess and Bio-Interfaces, Beni-Mellal, MoroccoCorresponding Author: h.hafida@usms.ma

Abstract

Background: The pomegranate (*Punica granatum*) is an ancient perennial plant species of the Puniceae family. Its seeds are consumed as food or as juice. Previous studies have noted that pomegranate juice encompasses many active compounds with beneficial effects. The main goals of this work were to study the phenolic component of freeze-dried and reconstituted pomegranate juices obtained from 13 pomegranate genotypes growing in Morocco.

Results: We analyzed several pomegranate juices by means of high-performance liquid chromatography and high-resolution-mass-spectrometry to determine phenolic compounds. 27 bio-phenols, belonging to four different classes (phenolic acids, hydrolyzable tannins, anthocyanins, and flavonoids), have been identified based on their accurate mass measurements and quantified. Some encouraging results were obtained. Even though the freeze-drying process introduced a marked degradation of bio-phenols, substantially lowering their levels in the reconstituted fruit juices, these latter are still rich enough in bio-phenols to compete with some fresh fruit juices. The reconstituted juices obtained by rehydration of the lyophilized material still differ one from another enough to enable a statistical classification based on their polyphenols content. A correlation analysis was applied to the polyphenol data to explore correlations and similarities between genotypes.

Conclusions: The results showed that freeze-drying and reconstitution of juices introduce some degradation to the polyphenol content, the overall polyphenolic pattern within the same

This article has been accepted for publication and undergone full peer review but has not been through the copyediting, typesetting, pagination and proofreading process which may lead to differences between this version and the Version of Record. Please cite this article as doi: [10.1002/jfsa.12229](https://doi.org/10.1002/jfsa.12229)

This article is protected by copyright. All rights reserved.