



جامعة السلطان مولاي سليمان
+0801241 0081E.1 C:1105 01E101
Université Sultan Moulay Slimane



N° d'ordre : 467 / 22
كلية العلوم والتقنيات ببني ملال
+0441011 1 C:0001E1 A +01E1X1E1 1 06+ C11101
Faculté des Sciences et Techniques de Béni Mellal

UNIVERSITE SULTAN MOULAY SLIMANE

Faculté des Sciences et Techniques

Béni Mellal

Centre d'Etudes Doctorales « Sciences et Techniques »
Formation doctorale « Ressources Naturelles, Environnement et Santé (RNES) »

THÈSE

Présentée par

Rahima FAIDA

Pour l'obtention du grade de

DOCTEUR

Discipline : Biologie

Spécialité : Biotechnologie végétale et Environnement

Biogéographie, ethnobotanique et diversité génétique des populations naturelles d'arbousier (*Arbutus unedo* L.) au Maroc

Soutenue publiquement le **01/12/2022** devant la Commission d'Examen :

| | | |
|-------------------------------|------------------|---------------------|
| Pr. Aziz HASIB | FST, Béni-Mellal | Président |
| Pr. Soumaya HAMMADA | FST, Béni-Mellal | Rapporteure |
| Pr. Rachida EL BOULANI | FS, Agadir | Rapporteure |
| Pr. Ghita Ait BADDI | EST, Agadir | Rapporteure |
| Pr. Fatima HAMADI | FS, Agadir | Examinatrice |
| Pr. Abdelali BOULLI | FST, Béni-Mellal | Co-encadrant |
| Pr. Saida BOUDA | FST, Béni-Mellal | Co-encadrant |
| Pr. Nadya WAHID | FST, Béni-Mellal | Directrice de thèse |

Dédicace

Je dédie cette thèse à :

L'âme de mon père

Mon père qui a été toujours fier de moi et le pourrait s'il était encore entre nous. Mon père qui a été toujours aspiré à me voir réaliser mes rêves sous ses yeux. Il a été mon soutien moral et matériel, mais la volonté de Dieu a arrêté le tous sans qu'il puisse voir tous ses efforts dans ce modeste travail. Que ton âme repose en paix cher père.

Ma très chère mère

Quoi que je Fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier comme il se doit. Ton affection ne couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.

Mes frères et Sœurs

Respect, amour, reconnaissance sont les moindres sentiments que je peux vous témoigner.

Mon très cher époux BOUKTIB Radouane

Aucune dédicace ne pourrait exprimer mon amour et mon attachement à toi.

Depuis que je t'ai connu, tu n'as cessé de me soutenir et de m'épauler.

Tu me voulais toujours la meilleure.

Ton amour ne m'a procuré que confiance et stabilité.

Aucun mot ne pourrait exprimer ma gratitude, mon amour et mon respect.

Je remercie le bon dieu qui a croisé nos chemins. Puisse le bon dieu nous procure santé et longue vie.

Ma très chère fille Zinab

Mon trésor le plus précieux, qui me rends heureuse et plus forte au quotidien depuis sa naissance.

Mes Amis

Aabdousse jamal et khachtib Youssef pour leurs efforts établis afin de réussir ce travail.

A tous ceux qui m'ont encouragé, ne m'ont jamais oublié, qu'ils trouvent ici un signe de grandes amitiés.

Merci

Remerciements

Un travail scientifique n'est jamais le fruit d'une seule personne, il est l'émanation d'une communauté, d'un réseau d'enseignants et de chercheurs. C'est le moment de remercier toutes les personnes qui ont permis que ce travail se réalise.

*Je tiens tout d'abord à remercier Monsieur **Nabil HMINA**, Président de l'Université Sultan Moulay Slimane, Monsieur **Said El MELIANI**, Doyen de la Faculté des Sciences et Techniques de Béni-Mellal et Monsieur **Abderrafiaa HAFID**, Vice doyen de la recherche scientifique pour l'importance qu'ils ont donné à la recherche scientifique. Qu'ils trouvent ici ma reconnaissance et mon grand respect.*

*Je tiens à remercier vivement ma directrice de thèse Madame le Professeur **Nadya WAHID**, de m'avoir témoigné sa confiance en acceptant la direction de ce travail avec beaucoup de bienveillance et une disponibilité à tous les instants. Sa franchise, sa sympathie, son dynamisme, sa rigueur, son esprit critique, et ses conseils judicieux m'ont aidé efficacement à mener ce travail à terme.*

*J'adresse mes sincères remerciements à mes co-directeurs de thèse Monsieur **Abdelali BOULLI**, Professeur à la FST de Béni Mellal et Monsieur **Said BOUDA** Professeur à la même Faculté, qui m'ont accueilli dans leurs équipes. Leurs expériences et leurs profondes connaissances, les conseils qu'ils m'ont prodigués tout au long de ce travail, m'ont permis de mener à bien cette étude.*

*Je tiens à exprimer mes remerciements aux membres du jury, qui ont accepté d'évaluer mon travail de thèse. Merci à Monsieur **Aziz HASIB**, professeur à la FST de Béni Mellal, d'avoir accepté de présider le jury de cette thèse. Je remercie les professeurs Madame **Soumaya HAMMADA** de la FST de Béni Mellal, Madame **Rachida El BOULANI** de la Faculté des Sciences d'Agadir et Madame **Ghita AIT BADDI** de l'EST d'Agadir d'avoir accepté d'être les rapportrices de ce manuscrit. Merci également au professeur Madame **Fatima HAMADI** pour avoir accepté d'examiner mon mémoire et de faire partie de mon jury de thèse. Leurs remarques et suggestions m'ont permis d'apporter des améliorations à la qualité de mon rapport.*

*Je tiens à remercier mes amis pour leur soutien, leur aide et leur bonne humeur : **Jamal et Youssef**.*

Enfin, J'adresse un grand merci à toute ma famille qui a toujours été présente lorsque j'en ai eu besoin.

Avant-propos

- **Nom et prénom de l'auteur** : FAIDA Rahima
- **Intitulé de la thèse** : Biogéographie, ethnobotanie et diversité génétique des populations naturelles d'arbousier (*Arbutus unedo* L.) au Maroc.
- **Directeur de la thèse** : Pr. Nadya WAHID (Faculté des Sciences et Techniques, Université Sultane Moulay Slimane, Béni-Mellal).
- **Co-encadrant** : Pr. Abdelali BOULLI (Faculté des Sciences et Techniques, Université Sultane Moulay Slimane, Béni-Mellal).
- **Co-encadrant** : Pr. Said BOUDA (Faculté des Sciences et Techniques, Université Sultane Moulay Slimane, Béni-Mellal).
- **Formation doctorale** : Ressources Naturelles, Santé et Environnement.
- **Responsable de Formation** : Pr. ZYAD Abdelmajid
- **Institution** : Université Sultan Moulay Slimane - Faculté des Sciences et Techniques Béni Mellal.
- **Equipe** : Laboratoire d'ingénierie environnementale, écologique et agro-industrielle de la Faculté des Sciences et Techniques de Béni-Mellal, Université Sultan Moulay Slimane.
- **Période de réalisation des travaux** : 2017-2022

Publications et communications :

Cette thèse a fait l'objet de plusieurs articles scientifiques publiés dans des journaux internationaux, et des communications orales et affichées dans des congrès nationaux et internationaux.

✓ **Articles scientifiques :**

1. **Rahima Faida**, Jamal Aabdousse, Nora Salim, Abdelali Boulli, Said Bouda, Nadya Wahid, 2022. Biochemical characterization and antioxidant activity of *Arbutus unedo* extracts from different biogeographical zones of Morocco. *Arabian Journal of Medicinal and Aromatic Plants* (**Accepté après révision**).
2. **Rahima Faida**, Jamal Aabdousse, Youssef Khachtib, Abdelali Boulli, Abdelmajid Haddioui, Wahid Nadya, Said Bouda, 2022. Genetic diversity and structure of natural

populations of *Arbutus unedo* across altitude, bioclimat and geographical origin as revealed by ISSR markers. Australian Journal of Crops Science (**Sous presse**).

3. **FAIDA Rahima**, WAHID Nadya, AABDOUSSE Jamal, BOULLI Abdelali, BOUDA Said, 2021. Variation of Morphological Traits in Natural Populations of *Arbutus unedo* L. (Ericaceae) in Morocco. Phytomorphology, 71(1&2):27-40.
4. **FAIDA Rahima**, AABDOUSSE Jamal, BOULLI Abdelali, BOUDA Said, WAHID Nadya, 2019. Ethnobotanical uses and distribution status of *Arbutus unedo* in Morocco. Ethnobotany Research & Applications, 18(30): 1-10.

✓ **Communications orales et affichées :**

1. **Faïda Rahima**, Aabdousse Jamal, Boulli Abdelali, Bouda Said, Wahid Nadya. From moroccan plants to medicines (case of *Arbutus unedo* L.): bioactive potential, antioxidant capacity, valorization, medicine and health. International Mediterranean Congress, 16-18 Novembre 2022, Mersin, Turquie.
2. **R. Faïda**, N. Wahid, J. Aabdousse, A. Boulli et S. Bouda. Variabilité des traits morphologique des populations naturelles au Maroc : cas d'*Arbutus unedo* L. 1st International Congress sous thème : Sustainable Agriculture : Tools And Innovations « AgriNov2021 », 27-30 Octobre 2021, Béni Mellal, Maroc.
3. **R. Faïda**, J. Aabdousse, A. Boulli, S. Bouda et N. Wahid. Les populations naturelles d'arbousier (*Arbutus unedo* L.) au Maroc : Situation d'usage et perspectives de domestication durable. 1^{er} Congres Interantional de Biotechnologie Verte sous thème « La biotechnologie au service d'une agriculture durable », 01-03 Novembre 2018, Université Ibn Zohr, Faculté Polydisciplinaire, Taroudant, Maroc.
4. **R. Faïda**, J. Aabdousse, A. Boulli, S. Bouda et N. Wahid. Natural populations of *Arbutus unedo* L.: Range and settlement conditions in Morocco. 2^{ème} Edition du Colloque Interantional Science et Technologie au Service de l'Environnement « CISTE », 23-24 Juin 2018, Université Abdelmalek Essaadi, Faculté des Sciences, Tétouan, Maroc.
5. **R. Faïda**, J. Aabdousse, A. Boulli, S. Bouda et N. Wahid. Ethnobotanical uses of *Arbutus unedo* L. in Morocco. The American Moroccan Agricultural Sciences Conference IV (AMAS Conference IV), 9-11 Mai 2018, Qualipole-Agropolis, Meknès, Maroc.
6. **R. Faïda**, J. Aabdousse, A. Boulli, S. Bouda et N. Wahid. Importance thérapeutique d'arbousier (*Arbutus unedo* L.) au Maroc. 6^{ème} Edition de l'Ecole Internationale de Recherche sur le thème : « Biodiversité des PAM, Biotechnologies, Produits de Terroir

& Valorisation des Substances Naturelles », 19-21 Avril 2018, Université Ibn Zohr, Faculté des Sciences, Agadir, Maroc.

7. **R. Faïda**, J. Aabdousse, A. Boulli, S. Bouda et N. Wahid. Caractérisation préliminaire morphologique et physico-chimique du fruit de l'arbousier de la région de Béni-Mellal. Deuxième Congrès International : Biotechnologie au Service de la Société « Biotech 2017 », 22-25 Novembre 2017, Faculté des Sciences et Techniques, Fès, Maroc.
8. **R. Faïda**, A. Boulli, S. Bouda et N. Wahid. La biotechnologie au service d'une domestication et d'une conservation durable de l'arbousier (*Arbutus unedo* L.). Workshop National sur la Biotechnologie à la FST de Béni Mellal sous le thème : « La biotechnologie au service d'une agriculture durable », 26 et 27 Décembre 2016, Béni Mellal, Maroc.

Résumé

L'arbousier (*Arbutus unedo* L.) est un arbre fruitier qui prospère spontanément dans le pourtour méditerranéen, avec une grande valeur ornementale, environnementale, économique et médicinale. Cependant, au Maroc, cette plante n'a pas été bien valorisée, contrairement à l'échelle internationale. Dans ce contexte, ce présent travail a pour objectif de déterminer le statut de distribution biogéographique et d'usage ethnobotanique de l'arbousier d'une part, et d'autre part d'évaluer sa diversité morphologique, biochimique et moléculaire. Les résultats de ce travail serviront comme une base de données afin d'instaurer des stratégies et des programmes de sélection et de domestication des populations adaptatives et productives de l'arbousier marocain.

L'étude du statut de distribution naturelle de l'arbousier et de son potentiel d'usage montre qu'il prospère spontanément dans différentes régions biogéographiques (Nord-Ouest, Plateau Central, Pré-Rif, Rif Central et Rif Occidental, Haut et Moyen Atlas), et qu'il est très utilisé dans la médecine traditionnelle pour ses vertus thérapeutiques. Les enquêtes réalisées montrent que les feuilles sont la partie la plus utilisée suivie par la partie souterraine et le fruit. Les résultats de l'étude du polymorphisme morphologique et biochimique ont montré l'existence d'une grande variabilité intra et inter-population pour la plupart des caractères morphologiques et biochimiques. En fait, l'arbousier présente un réservoir immense en substances bioactives naturelles. Cette variabilité pourrait être expliquée par des facteurs écologiques (climatiques, édaphiques, exposition, distribution géographique, etc.), physiologiques (âge de la plante, période du cycle végétatif, processus de maturation des fruits, etc.) et génétiques des provenances de l'arbousier.

Afin d'évaluer la diversité et la structure génétique des populations d'arbousier, 14 amorces ISSRs ont été utilisés. Ces amorces ont généré 142 fragments d'ADN discernables et reproductibles, dont 134 (94,06%) sont polymorphes. Les résultats de l'AMOVA globale ont révélé que la différenciation entre les populations a été large de l'ordre de $F_{ST}=0,207$ indiquant que 20,70% de la variabilité génétique totale est distribuée entre les populations et 79,30% est répartie au sein des populations ce qui est en accord avec la valeur très faible du flux de gènes ($N_{em}=0,97$). En outre, l'AMOVA hiérarchique a révélé une très faible différenciation génétique entre les groupes altitudinaux, bioclimatiques et géographiques ($F_{CT} = 0,032$; $F_{CT} = -0,023$ et $F_{CT}= 0,021$ respectivement), ce qui suggère qu'il n'y a aucun signe d'adaptation locale des populations d'arbousier étudiées, en utilisant comme marqueurs les ISSRs. De même le test de Mantel a montré l'absence de corrélation entre les matrices de distances géographiques

et génétiques. Par conséquence, la structure génétique de cette espèce ne suit pas un modèle d'isolation par distance.

Mots-clés : *Arbutus unedo* L., écologie, usages ethnobotaniques, variabilité morphologique, profil phytochimique, diversité génétique, marqueurs ISSRs.

Abstract

Arbutus unedo is a fruit tree that thrives spontaneously in the Mediterranean region, with great ornamental, environmental, economic and medicinal value. However, in Morocco, this plant has not been well valorized, unlike internationally. In this context, the aim of this study is to determine the status of biogeographic distribution and ethnobotanical use of the *Arbutus* on the one hand, and on the other hand to evaluate its morphological, biochemical and molecular diversity. The results of this work will serve as a database to establish strategies and programs for the selection and domestication of adaptive and productive populations of the Moroccan *Arbutus*.

The study of the natural distribution status of the *Arbutus* tree and its potential use shows that it thrives spontaneously in different biogeographic regions (Northwest, Central Plateau, Pre-Rif, Central Rif and Western Rif, High and Middle Atlas), and that it is widely used in traditional medicine for its therapeutic virtues. The surveys conducted show that the leaves are the most used part followed by the underground part and the fruit. The results of the study of morphological and biochemical polymorphism showed the existence of a great intra and inter-population variability for most morphological and biochemical characters. In fact, the *Arbutus* presents a great reservoir of natural bioactive substances. This variability could be explained by ecological (climatic, edaphic, exposure, geographical distribution, etc.), physiological (age of the plant, period of the vegetative cycle, fruit ripening process, etc.) and genetic factors of the *Arbutus* provenances.

In order to assess the diversity and genetic structure of the *Arbutus unedo* populations, 14 ISSRs primers were used. These primers generated 142 discernible and reproducible DNA fragments, of which 134 (94.06%) were polymorphic. The results of the global AMOVA revealed that the differentiation between populations was large in the order of $F_{ST}=0.207$ indicating that 20.70% of the total genetic variability is distributed between populations and 79.30% is distributed within populations which is in agreement with the very low value of gene flow ($N_{em}=0.97$). In addition, the hierarchical AMOVA revealed very little genetic differentiation between altitudinal, bioclimatic and geographical groups ($F_{CT} = 0.032$; $F_{CT} = -0.023$ and $F_{CT}= 0.021$ respectively), suggesting that there is no evidence of local adaptation of the studied *Arbutus unedo* populations, using ISSRs markers. Similarly, the Mantel test showed no correlation between the geographical and genetic distance matrices. Consequently, the genetic structure of this species did not follow an isolation model by distance.

Keywords: *Arbutus unedo* L., ecology, ethnobotanical uses, morphological variability, phytochemical profile, genetic diversity, ISSRs markers.

ملخص

شجرة الفراولة البرية (*Arbutus unedo* L) هي شجرة مثمرة تنمو تلقائيًا في حوض البحر الأبيض المتوسط ، ولها قيمة تزيينية وبيئية واقتصادية وطبية كبيرة. ومع ذلك، في المغرب، لم يتم تقييمها جيدًا، على عكس المستوى الدولي. في هذا السياق، يهدف هذا العمل إلى تحديد حالة التوزيع البيئي لهاته النبتة وكذلك إلى تحديد استعمالاتها من جهة، ومن جهة أخرى إلى تقييم تنوعها المورفولوجي والبيوكيميائي والجزيئي. تعتبر نتائج هذا العمل بمثابة قاعدة بيانات لوضع استراتيجيات وبرامج لاختيار وتدجين المجموعات التكيفية والمنتجة لشجرة الفراولة البرية المغربية.

أظهرت دراسة حالة التوزيع الطبيعي لشجرة الفراولة البرية واستعمالاتها أنها تنمو تلقائيًا في مناطق بيئية مختلفة: الشمال الغربي، الهضبة الوسطى، ما قبل الريف، الريف الأوسط، الريف الغربي، الأطلس الكبير والمتوسط ، وأنها تستخدم على نطاق واسع في الطب التقليدي لفضائلها العلاجية. وأظهرت الأبحاث التي تم إجراؤها أن الأوراق هي الجزء الأكثر استخدامًا تليها الجذور ثم الثمار. كما أظهرت النتائج وجود تباين كبير داخل وبين المجموعات الطبيعية لمعظم الصفات فيما يخص البنية المورفولوجية والكيميائية لهذا النوع، بالإضافة إلى أن شجرة الفراولة البرية لديها مخزون هائل من المواد الطبيعية النشطة بيولوجيًا. يمكن تفسير هذا التباين من خلال العوامل البيئية (المناخ، التربة، التعرض، والتوزيع الجغرافي)، والفيزيولوجية (عمر النبات، فترة الدورة النباتية ونضج الثمار) والعوامل الوراثية للأصل الطبيعي لشجرة الفراولة البرية.

من أجل تقييم التنوع والتركيب الجيني للمجموعات السكانية للفراولة البرية، تم استخدام 14 علامة ISSRs. أنتجت هذه العلامات 142 قطعة ADN قابلة للتمييز والتكاثر، منها 134 (94.06%) متعددة الأشكال. كشفت نتائج AMOVA الكلي أن التمايز بين الساكنات كان مهما بقيمة $F = 0.206$ مما يشير إلى أن 20.70% من التباين الجيني الكلي موزعة بين المجموعات السكانية و 79.30% موزعة ضمن المجموعات السكانية وهو ما يتوافق مع القيمة الضعيفة لتدفق الجينات ($Nem=0.97$)، زيادة على ذلك كشفت AMOVA الهرمية تمايزًا جينيًا منخفضًا للغاية بين مجموعات الارتفاع والمناخ الحيوي والجغرافي ($FCT = 0.032$ ؛ $FCT = -0.023$ و $FCT = 0.021$ على التوالي) ، مما يشير إلى أنه لا يوجد دليل على تكيفات محلية لمجموعات أشجار الفراولة البرية الطبيعية التي تمت دراستها، باستخدام ISSRs كعلامات. وبالمثل، أظهر اختبار Mantel عدم وجود ارتباط بين مصفوفات المسافات الجغرافية والجينية. وبالتالي، فإن التركيب الجيني لهذا النوع لا يتبع نمط العزلة بالمسافة.

الكلمات المفتاحية :

Arbutus unedo L. ، علم البيئة، الاستخدامات التقليدية، التباين المورفولوجي، الخصائص الكيميائية، التنوع الجيني، علامات ISSRs.

Liste des abréviations

| | |
|-----------------|--|
| %P | Pourcentage de polymorphisme |
| A | Absorbance |
| Ac.Asc | Acide Ascorbique |
| ACP | Analyse en Composantes Principales |
| AMOVA | Analyse of Molecular Variance |
| ANOVA | Analysis of variance |
| AOAC | Association of Official Analytical Chemists |
| AT° C | Annealing temperature in C° |
| BSA | Albumine Sérique Bovine |
| CV | Coefficient de Variation |
| Ddl | Degré de liberté |
| DO | Densité Optique |
| DPPH | 1,1-diphenyl-2-picryl-hydrazyl |
| EC50% | Concentration Effectrice 50% |
| FST | Indice de différenciation génétique |
| GC-MS | Chromatographie en phase gazeuse-spectrométrie de masse |
| GBIF | Global Biodiversity Information Facility |
| Gst | Coefficient de différenciation génétique |
| H' | Similarité moyenne par paire des runs |
| Hs | Diversité génétique au sein de la population |
| Ht | Diversité génétique totale |
| I | Indice de Shanon |
| IPGRI | International Plant Genetic Resources Institute |
| IR | Infrarouge |
| ISSR | Inter Simple Sequence Repeats |
| K | Groupe génétique |
| mgGAE/g | Miligramme d'Equivalent d'Acide Galique par gramme d'extrait |
| mgRE/g | Miligramme d'Equivalent Rutine par gramme d'extrait |
| N | Nombre d'individu par population |
| NJ | Neighbor Joining |
| Nem | Flux de gène |
| NTSYS-pc | Numerical Taxonomy and Multivariate Analysis System |
| OMS | Organisation Mondiale de Santé |
| P | Probabilité de signification |
| Pb | Paire de base |
| PC | Principale Composante |
| PCR | Polymerase Chain Reaction |
| PIC | Polymorphic Information Content |
| Pr (mm) | Précipitations en millimètre |
| R | Coefficient de corrélation |
| RAPD | Random Amplified Polymorphic DNA |
| RMN | Résonance magnétique nucléaire |
| Rp | Resolving Power |

| | |
|--------------|--|
| SD | Standard Deviation |
| SM | Simple Matching |
| SPSS | Statistical Package for the Social Sciences |
| TN | Nombre total de fragments amplifiés |
| TSS | Taux des Solides Solubles |
| UPGMA | Unweighted Pair Group with Arithmetical Average |
| UPOV | Union Internationale pour la Protection des Obtentions Végétales |

Liste des figures

| | |
|--|-----|
| Figure 1 : Répartition mondiale de l'arbousier () (GBIF, 2020). | 5 |
| Figure 2 : Dessin analytique d'Arbutus unedo : (a) Un spécimen, (b) fleur, (c) coupe longitudinale de la fleur, (d) fruit, (e) coupe transversale d'un fruit. Illustration Antique Botanique Arbutus Unedo Fraisier Illustration - Getty Images. | 8 |
| Figure 3 : Différentes parties biologiques d'Arbutus unedo : (a) Ecorce, (b) feuilles et fleurs, (c) fruit, (d) coupe transversale du fruit (Faïda et al., 2021)..... | 9 |
| Figure 4 : Régénération d'Arbutus unedo après un incendie de forêt (Gomes, 2011)..... | 13 |
| Figure 5 : Répartition géographique des populations naturelles prospectées d'Arbutus unedo au Maroc. | 32 |
| Figure 6 : Sites d'échantillonnage des populations naturelles d'arbousier. | 46 |
| Figure 7 : Analyse en composantes principales des traits morphologiques mesurés chez 12 populations d'arbousier au Maroc. | 56 |
| Figure 8 : Classification hiérarchique des populations d'arbousier en utilisant la distance euclidienne basées sur les caractéristiques morphologiques mesurées..... | 58 |
| Figure 9 : Impact des feux de forêts sur le fruit d'arbousier..... | 58 |
| Figure 10 : Broyage (A) et filtration (B) des extraits aqueux du fruit d'arbousier..... | 66 |
| Figure 11 : Préparation des extraits éthanoliques du fruit d'arbousier ; (A) Macération, (B) Filtration. | 68 |
| Figure 12 : Extraits hydroéthanoliques du fruit d'arbousier. | 68 |
| Figure 13 : Rendement en extrait sec du fruit d'arbousier des populations étudiées. | 74 |
| Figure 14 : Teneur moyenne en polyphénols totaux des extraits du fruit d'arbousier. | 76 |
| Figure 15 : Teneur moyenne en flavonoïdes des extraits de fruit d'arbousier. | 76 |
| Figure 16 : Valeurs EC50 des extraits des fruits d'arbousier..... | 77 |
| Figure 17 : Variation des composés protéiques du fruit d'arbousier..... | 78 |
| Figure 18 : Variation de la teneur en sucres dans le fruit d'arbousier..... | 79 |
| Figure 19 : Analyse en Composantes Principales des populations d'arbousier marocain. | 83 |
| Figure 20 : Classification hiérarchique des populations d'arbousier étudié selon les caractères biochimiques et physicochimiques..... | 85 |
| Figure 21 : Obtention des extraits d'ADN des feuilles d'arbousier. | 90 |
| Figure 22 : Amplifications produites à l'aide de l'amorce UBC 844 chez 66 échantillons d'arbousier étudiés..... | 95 |
| Figure 23 : Dendrogramme montrant les relations génétiques entre les 66 arbres des 11 populations étudiées d'arbousier , construit à partir des marqueurs ISSRs. | 103 |
| Figure 24 : Détermination du nombre optimal de groupes de populations (K) d'arbousier selon les paramètres d'Evanno et al. (2005). Le nombre optimal de groupes est atteint pour K=4. | 104 |
| Figure 25 : Structure génétique des populations d'arbousier obtenue à partir de l'analyse STRUCTURE (N =66 ; K=4; $\Delta K=19,44$; $H'=0,99$) | 106 |

Liste des tableaux

| | |
|---|-----|
| Tableau 1 : Classification taxonomique de l'Arbutus unedo..... | 7 |
| Tableau 2 : Composition physico-chimique générale des fruits d'arbousier selon plusieurs auteurs.. | 18 |
| Tableau 3 : Caractéristiques administratives des sites prospectés de l'arbousier au Maroc..... | 31 |
| Tableau 4 : Les caractéristiques biogéographiques des populations naturelles de l'arbousier prospecté et collecté au Maroc. | 34 |
| Tableau 5 : Liste synthétique des usages traditionnels de l'arbousier dans les différentes régions du Maroc. | 35 |
| Tableau 6 : Caractéristiques géographiques et climatiques des sites d'échantillonnage et nombre d'individu par population (N). | 45 |
| Tableau 7 : Traits morphologiques mesurés chez les populations d'arbousier. | 47 |
| Tableau 8 : Caractéristiques quantitatives mesurées sur les arbres et les feuilles. Moyenne \pm écart-type ; minimum-maximum ; CV : coefficient de variation entre parenthèses (%). Séparation des groupes au sein et entre les populations est indiquée comme suit : ***, $p < 0,001$ | 49 |
| Tableau 9 : Caractéristiques quantitatives mesurées sur les fruits et les graines d'arbousier. Moyenne \pm écart-type ; minimum-maximum ; CV : coefficient de variation entre parenthèses (%). Séparation des groupes au sein et entre les populations indiquées comme suit : ***, $p < 0,001$ | 50 |
| Tableau 10 : Fréquence des caractères qualitatifs (%), en trois ou quatre niveaux, mesurés dans les populations d'arbousier pour la plante et les feuilles..... | 52 |
| Tableau 11 : Fréquence des caractères qualitatifs (%), en trois ou quatre niveaux, mesurés dans les populations d'arbousier pour les fruits et les graines..... | 53 |
| Tableau 12 : Corrélations entre les traits quantitatifs mesurés sur les arbres, les feuilles, les fruits et les graines. *, significatif à $p < 0,05$; **, significatif à $p < 0,01$ | 55 |
| Tableau 13 : Variance totale des traits morphologiques mesurés expliquée par les composantes principales. | 57 |
| Tableau 14 : Chargements des traits morphologiques sur les trois premiers PCs (les plus élevés au seuil, $> 0,5$, sont en gras et soulignés)..... | 57 |
| Tableau 15 : Corrélations entre les composantes principales des traits morphologiques et les caractéristiques environnementales (longitude, latitude, altitude, précipitations et température). Les valeurs significatives sont représentées par $P < 0,05$ * ; $P < 0,01$ **..... | 60 |
| Tableau 16 : Résultats des analyses physico-chimiques du fruit d'arbousier..... | 71 |
| Tableau 17 : Corrélations entre les paramètres physicochimiques et biochimiques du fruit d'arbousier étudié (Signification : *, $P < 0,05$; **, $P < 0,01$)..... | 81 |
| Tableau 18 : ANOVA à un seul facteur de l'effet de provenance sur les paramètres physicochimiques et biochimiques du fruit d'arbousier (***) : Signification au seuil $p < 0,05$ | 82 |
| Tableau 19 : Chargements des paramètres biochimiques et physicochimiques sur les deux premiers PCs (les plus élevés au seuil $> 0,5$ sont en gras). | 83 |
| Tableau 20 : Concentrations et pureté d'ADN extrait des populations d'arbousier..... | 92 |
| Tableau 21 : Paramètres de la variation génétique générée par les amorces ISSRs. | 96 |
| Tableau 22 : Analyse de la diversité génétique de 11 populations d'arbousier marocain basée sur des marqueurs ISSRs. | 98 |
| Tableau 23 : Analyse de la variance moléculaire (AMOVA) des 11 populations d'arbousier..... | 99 |
| Tableau 24 : Matrice des valeurs FST par paire et des distances géographiques correspondantes en km (au-dessus de la diagonale) pour 11 populations d'arbousier obtenues à partir des 14 amorces ISSRs. * Signification au niveau $p < 0,05$. NS : Non significatif. | 101 |

Tableau 25 : Valeurs de F_{ST} spécifique à chaque population, de flux génétique Nem et de variabilité intra-population calculée par la moyenne de la diversité génétique à travers les loci..... 102

Sommaire

| | |
|------------------------------|------|
| Avant-propos | III |
| Résumé | VI |
| Abstract | VIII |
| ملخص | X |
| Liste des abréviations | XI |
| Liste des figures | XIII |
| Liste des tableaux | XIV |
| Sommaire | XVI |
| Introduction générale..... | 1 |

CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

| | |
|--|----|
| 1. Généralités sur l'arbousier (<i>Arbutus unedo</i> L.)..... | 5 |
| 1.1. Historique et origine géographique | 5 |
| 1.2. Classification et description botanique | 6 |
| 1.3. Aperçu sur l'écologie de l'arbousier | 9 |
| 2. Intérêt écologique, économique et médicinal de l'arbousier | 12 |
| 3. Composition chimique d' <i>Arbutus unedo</i> | 15 |
| 4. Composition minérale du fruit de l'arbousier | 16 |
| 5. Potentiel nutritif de l'arbousier | 17 |
| 6. Domestication de l'arbousier | 20 |
| 7. Méthodes de multiplication d'arbousier | 21 |
| 8. Aspects de l'étude de la diversité génétique de l'arbousier | 23 |
| 8.1. Marqueurs morphologiques | 24 |
| 8.2. Marqueurs biochimiques | 25 |
| 8.3. Marqueurs moléculaires | 26 |
| 8.4. Intérêt de l'étude de la diversité génétique | 27 |

CHAPITRE II : PROSPECTION BIOGEOGRAPHIQUE ET ANALYSE DES USAGES ETHNOBOTANQUES DE L'ARBOUSIER AU MAROC

| | |
|--|----|
| Introduction | 29 |
| 1. Matériel et méthodes | 30 |
| 2. Résultats et Discussion..... | 32 |
| 2.1. Aire de répartition biogéographique des populations naturelles de l'arbousier | 32 |
| 2.2. Usage ethnobotanique d'arbousier au Maroc..... | 34 |

| | |
|---|----|
| Conclusion..... | 40 |
| CHAPITRE III: ETUDE DE LA DIVERSITE GENETIQUE DE L'ARBOUSIER | |
| <i>Volet 1: variabilité morphologique des populations naturelles d'Arbutus unedo L. au Maroc.</i> | |
| | 43 |
| Introduction | 44 |
| 1. Matériel et méthodes..... | 45 |
| 1.1. Matériel végétal et échantillonnage | 45 |
| 1.2. Analyse des données | 48 |
| 2. Résultats..... | 48 |
| 2.1. Caractéristiques quantitatives | 48 |
| 2.2. Caractéristiques qualitatives | 51 |
| 2.3. Corrélations phénotypiques entre les caractères étudiés..... | 53 |
| 2.4. Variation morphologique au sein et entre les populations d'arbousier..... | 56 |
| 3. Discussion..... | 60 |
| Conclusion..... | 63 |
| <i>Volet 2 : Caractérisation biochimique du fruit d'Arbutus unedo L. au Maroc.....</i> | |
| 64 | |
| Introduction | 65 |
| 1. Matériel et méthodes..... | 66 |
| 1.1. Matériel végétal..... | 66 |
| 1.2. Analyses physicochimiques du fruit..... | 66 |
| 1.3. Dosage des paramètres biochimiques | 67 |
| 1.4. Analyse des données | 71 |
| 2. Résultats et discussion | 71 |
| 2.1. Caractéristiques physicochimiques | 71 |
| 2.2. Caractéristiques biochimiques | 74 |
| 2.3. Corrélations entre les paramètres physicochimiques et biochimiques du fruit d'arbousier | 79 |
| 2.4. Analyse de la variance ANOVA..... | 82 |
| 2.5. Analyse en Composantes Principales (ACP)..... | 82 |
| 2.6. Classification hiérarchique | 85 |
| Conclusion..... | 86 |
| <i>Volet 3 : Diversité et structure génétique des populations naturelles d'Arbutus unedo L. au Maroc</i> | |
| 88 | |
| Introduction | 89 |
| 1. Matériel et méthodes..... | 90 |

| | |
|---|-----|
| 1.1. <i>Matériel végétal</i> | 90 |
| 1.2. <i>Extraction d'ADN et réactions PCR</i> | 90 |
| 1.3. <i>Analyse des données</i> | 93 |
| 2. Résultats | 95 |
| 2.1. <i>Polymorphisme des marqueurs ISSRs</i> | 95 |
| 2.2. <i>Diversité génétique et structure des populations de l'arbousier</i> | 97 |
| 2.3. <i>Relations génétiques entre les populations</i> | 102 |
| 3. Discussion | 107 |
| Conclusion..... | 110 |
| Conclusion générale | 111 |
| Perspectives | 113 |
| Références bibliographiques | 114 |
| Annexe | 135 |

Introduction générale

Depuis des décennies, voir des siècles, et à travers des grandes civilisations (chinoise, grecque, romaine, musulmane, etc.) l'Homme a établi un lien fort avec son environnement, en particulier, avec le monde végétal. Il a profité des vertus et des services des plantes pour son bien-être et pour se soigner (Lahsissene et Kahouadji, 2010 ; Benkhnigue et al., 2011 ; Hachi, 2015 ; Daoudi et al., 2015). Les plantes représentent pour l'être humain une précieuse source de substances et de produits naturels d'une valeur économique et sociale importantes. D'autre part, ces plantes ont un rôle primordial dans les services écosystémiques. Elles sont indispensables dans le maintien et la conservation de la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes naturels (Prévoit et Geijzendorffer, 2016).

L'Homme, à travers son contact direct et continu avec les ressources végétales, il a acquis un savoir faire dans leur exploitation, et il a pu faire la distinction entre des plantes toxiques et celles comestibles pour un usage potentiel (Aabdousse, 2021). En fait, la richesse des plantes en molécules bioactives leur a conféré des vertus thérapeutiques, cosmétiques et alimentaires (Bouzabata, 2015 ; Slimani et al., 2016). L'organisation mondiale de la santé (OMS) estime que 80 % de la population des pays en voie de développement ont recours à la médecine traditionnelle pour remédier certains problèmes de la santé (Vines, 2004 ; Salhi et al., 2010). Mais, plusieurs espèces sauvages sont peu connues et étudiées à travers le monde ; parmi ces plantes, on compte l'arbousier (*Arbutus unedo* L., famille des Ericaceae).

L'arbousier est en fait une espèce sauvage et typique de la région méditerranéenne. Il est par ailleurs utilisé comme source de nourriture et d'agents thérapeutiques en médecine depuis l'époque grèque (Teofrasto, 1988). Ces applications suscitent, ces dernières années, un intérêt toujours croissant auprès des scientifiques (Celikel et al., 2008) et même du grand public. Les baies d'arbousier contiennent des quantités importantes de composés phytochimiques, y compris les polyphénols, qui sont connus pour réduire le risque de cancer, les maladies coronariennes et d'autres maladies dégénératives (Abbas, 2015).

A cause de ses valeurs, l'arbousier est de plus en plus demandé au Maroc, mais aussi à l'échelle internationale. Par conséquent, il subit à une surexploitation qui met en péril sa survie et l'expose à une réelle menace d'érosion génétique pesant sur la continuité de ses peuplements naturels. D'ailleurs, nos prospections ont confirmé la dégradation des populations naturelles de l'arbousier dans certaines régions, jadis abondantes. Les enquêtes avec la population locale aboutissent à la même conclusion. Ainsi, la très forte pression exercée par la population sur les

ressources phytogénétiques est considérée comme une véritable menace d'appauvrissement génétique ou d'extinction de certaines espèces (Hamilton, 2004). Cette situation alarmante ne fait que s'empirer à cause d'autres facteurs conjugués à la pression anthropique, tels que la destruction des habitats naturels et les conditions climatiques de moins en moins favorables (sécheresse, températures estivales élevées, pluies diluviennes entraînant d'intenses érosions, etc.). Devant l'ampleur de l'érosion génétique, la domestication et la conservation de ces ressources génétiques menacées constitue une nécessité pour permettre une gestion rationnelle des reliquats de ce patrimoine génétique, au profit des générations futures.

La domestication et la production d'arbousier permettraient donc, d'augmenter de plus en plus la valeur économique, d'améliorer le bien-être des populations rurales et marginalisées, de contribuer à la sécurité alimentaire, et d'assurer la conservation des ressources génétiques naturelles de l'espèce. Ce chantier ambitieux passe par plusieurs étapes indispensables et interdépendantes. D'abord, il faut identifier l'ensemble des zones où l'espèce pousse à l'état naturel, puis procéder à un vaste programme de collecte de plants et semences, ensuite identifier botaniquement et caractériser chimiquement et génétiquement l'ensemble des géotypes collectés. Une fois toute l'information acquise et la collection maintenue, le travail de domestication à partir des géotypes performants pourrait être entamé et la réinstauration dans les zones dégradées serait envisagée.

Au Maroc, les investigations visant la caractérisation de la variabilité et la diversité génétique de cette espèce, en vue de sa conservation et son amélioration restent très limitées et souvent fragmentaires (Naceiri Mrabti et al., 2017 (Béni Mellal-Khénifra), Kachkoul et al., 2019 (Taounate), Ait lhaj et al., 2021a ; 2021b (Chefchaouen, Ouelmès, Oujda, Bani Aarouss, Souk El Kolla). Ces informations, associées à celles relatives aux besoins réels des marchés locaux ou internationaux, sont d'une grande importance pour assurer la gestion rationnelle de cette espèce. En revanche, l'arbousier n'a pas encore fait l'objet d'études approfondies sur le polymorphisme génétique (morphologique, moléculaire, biochimique, etc), pouvant conduire à sa valorisation efficiente et à sa sauvegarde.

C'est dans ce contexte, que s'inscrit le présent travail, qui vise à déterminer l'aire de répartition naturelle de l'arbousier au Maroc et ses usages traditionnels auprès de la population locale. Ainsi, d'explorer la variabilité morphologique, biochimique et génétique de cette espèce en relation avec les conditions environnementales des provenances et des sites où il prospère.

Pour cela nous avons définie quatre objectifs principaux de ce travail comme suit :

- ✓ Déterminer les frontières de la distribution naturelle de l'arbousier au Maroc et ses exigences climatiques, ainsi que ses usages ethnobotaniques par les habitants proches de ses peuplements.
- ✓ Explorer la variabilité génétique de l'arbousier intra et inter-populations en se basant sur les traits morphologiques et évaluer l'effet de la provenance des échantillons étudiés sur celle-ci, en vue de suggérer un programme de sélection et de conservation.
- ✓ Définir le profil biochimique de l'arbousier marocain en étudiant sa richesse en composés et substances chimiques.
- ✓ Étudier la variabilité génétique des populations naturelles de l'espèce en vue de décrire sa structure génétique, mesurer le flux génétique entre ses populations et contribuer à l'élaboration des programmes de leur conservation éventuelle.

L'analyse des différents paramètres étudiés (morphologiques, biochimiques et moléculaires) et la recherche d'éventuelles corrélations entre eux, pourraient être considérées comme des bio-indicateurs pour la sélection des génotypes performants afin d'initier un programme de domestication et des tests de plantation *ex-situ* pour les populations de l'arbousier au Maroc.

CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

1. Généralités sur l'arbousier (*Arbutus unedo* L.)

1.1. Historique et origine géographique

L'arbousier (*Arbutus unedo*) est un nom qui dérive du celt arbois : bois austère. Le nom latin « *unedo* » est réutilisé par Carl Linnaeus (1753), puis décrit par Pline l'Ancien comme étant un dérivé de « unum edo » : je mange un seul fruit. Le nom *Arbutus unedo* a été progressivement altéré d'une langue latine à l'autre : Assasnou ou Bakhannou en Berbère, sasnou en Arabe et strawberry tree en anglais. Il appartient à la famille des Ericaceae. Cette famille comporte 124 genres environ 4100 espèces (Maberley, 1987). En général, la plus grande densité ainsi que la diversité des Ericaceae se trouve sous les climats méditerranéens (Abbas, 2015).

Arbutus unedo, communément appelé arbousier, se trouve en Europe occidentale, centrale et méridionale, au Nord-Est de l'Afrique, les îles Canaries et en Asie occidentale (Figure 1). La distribution de l'arbousier s'aperçoit, principalement dans les zones côtières et intérieures avec des climats doux et une sécheresse estivale (Torres et al., 2002). Il prospère spontanément dans les pays de pourtour méditerranéen, notamment le Portugal, l'Espagne, la France, l'Italie, l'Albanie, la Croatie, la Bosnie, le Monténégro, la Grèce, la Turquie et les îles méditerranéennes (Torres et al., 2002) et également l'Algérie, le Maroc, la Tunisie et la Syrie ont des populations indigènes d'arbousier (Sagbas et al., 2020).

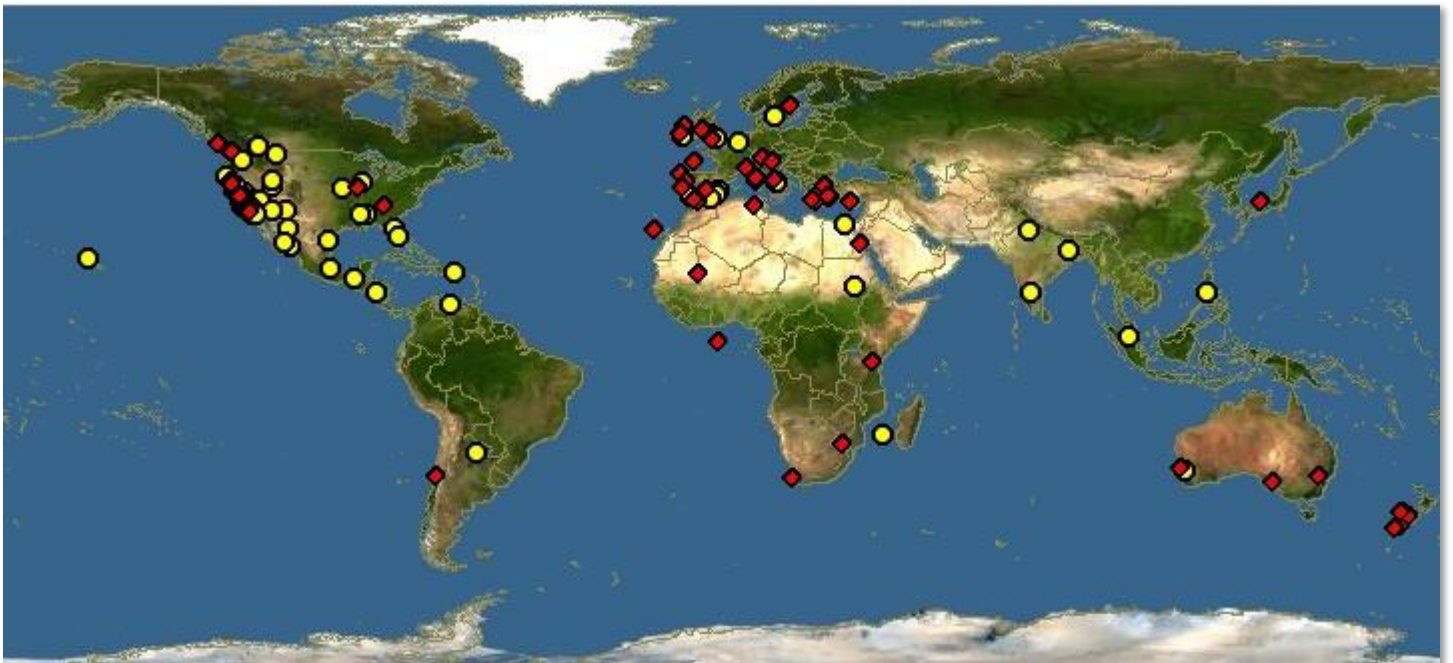


Figure 1: Répartition mondiale de l'arbousier (♦) (GBIF, 2020).

La région méditerranéenne est riche en plantes cultivées ; sauvage et semi-sauvages comestibles. L'arbousier est l'un des arbres sauvages typiques de cette sphère géographique. Il pousse dans les montagnes argileuses et les terrains secs, principalement sur des substrats siliceux et décarbonatés (Pallauf et al., 2008). L'*Arbutus unedo* est l'une des espèces typiques de la végétation méditerranéenne sclérophylle et laurifère, principalement dans les zones côtières et intérieures au climat clément, où le gel ou la sécheresse estivale ne sont pas très intenses (Torres et al., 2002 ; Godinho-Ferreira et al., 2005).

Au Maroc, l'arbousier pousse spontanément dans les garrigues des zones forestières et pré-forestières appartenant aux séries végétales à chêne vert, chêne-liège ou pin d'Alep et des maquis élevés et denses de l'étage thermo-méditerranéen et méso-méditerranéen dans différentes régions écologiques ; soient Nord-Ouest, Plateau Central, Pré-Rif, Rif Central et Rif Occidental, Haut et Moyen Atlas (Aafi et al., 2002 ; Faida et al., 2019) avec l'étendue plus ou moins dense de ses populations naturelles en suivant un gradient bioclimatique (semi-aride, subhumide et humide). Ces régions géographiques de répartition de l'arbousier sont caractérisées par des températures moyennes annuelles et des précipitations entre 12,4 °C et 18,4 °C et entre 337 mm et 1115 mm respectivement. Sa tranche altitudinale se situe entre 150 m (Laarache) et 1613 m (Khénifra). L'arbousier est répandu dans des forêts naturelles et au bord des rivières permanentes caractérisées par une lithologie du sol très variées.

1.2. Classification et description botanique

L'*Arbutus unedo* appartient à la famille des Ericaceae, est classé selon les botanistes et les travaux de Mendes (2010), au sein des clades représentés dans le [tableau 1](#).

Tableau 1 : Classification taxonomique de l'*Arbutus unedo*.

| Rang taxonomique | Signification |
|-------------------------|-------------------------------------|
| Règne | Plantae |
| Sous-règne | Tracheobionta (plantes vasculaires) |
| Embranchement | Spermaphytes |
| Division | Magnoliophyta |
| Classe | Magnolopsida (Dicotylédones) |
| Sous-classe | Dilleniidae |
| Ordre | Ericales |
| Sous-ordre | Ericanae |
| Famille | Ericaceae |
| Sous-famille | Arbutoideae |
| Genre | Arbutus |
| Espèce | <i>Arbutus unedo</i> L. |

L'arbousier est un arbre de la famille d'Ericaceae, à feuilles persistantes, d'une hauteur comprise entre 2 et 10 mètres en moyenne (Celikel et al., 2008). Il se développe dans les zones qui conservent encore une assez bonne fertilité du sol, abonde sous climat non continental. Cette espèce est typique des groupements de l'étage de végétation subhumide et semi-aride supérieur, et elle est largement répandue dans la région méditerranéenne et l'Afrique du Nord. Au Maroc, elle est connue sous le nom de « Sasnou » (Naceiri Mrabti, 2018).

Le tronc et les branches sont robustes et présentent une écorce brun-rougeâtre se détachant en lanières fibreuses sur les spécimens âgés (Naceiri Mrabti, 2018).

✓ Feuilles

Les feuilles, riches en tanins, sont vertes foncées, alternes, simples, et ont une marge dentelée, généralement de 2 à 3 fois aussi large que glabre avec un pétiole de 10 mm ou moins (Gomes, 2011; Maleš et al., 2013).

✓ Fleurs

Les fleurs, avec des lobes recourbés, sont en forme de cloche, de 8 à 9 mm de longueur, blanches, et souvent roses pâles (Maleš et al., 2013). Elles sont rassemblées en grappes rameuses et terminales, hermaphrodites, actinomorphes (régulières) et possèdent 10 étamines. Les 5 pétales sont soudés (on parle de corolle gamopétale) pour former une clochette ventrue

de couleur blanc-verdâtre parfois lavée de rose. Les 5 petits sépales sont libres et de couleur verte. Les étamines pourvus d'un filet blanc velu. A maturité, les anthères libèrent le pollen par un pore terminal comme c'est le cas chez de nombreuses Ericaceae. Les fleurs d'arbousier sont une source importante de nectar et de pollen pour les abeilles (Gomes, 2011).

✓ Fruits

Les fruits sont des baies sphériques de 1 à 2 cm de diamètre appelée arbouse. Les arbouses sont hérissées de petits tubercules coniques ; leur couleur passe du jaune verdâtre à l'orangé puis au rouge cramoisi à maturité (Oliveira et al., 2011a). Ils prennent environ 12 mois pour mûrir ; par conséquent, l'arbre porte des fruits et des fleurs matures en même temps. Le processus de floraison et de fructification s'étend d'Octobre à Février. C'est un fruit comestible, sans goût très prononcé, qui est mûr en hiver. Il est riche en vitamine C. La chair est molle, un peu farineuse, acidulée et sucrée, et elle contient de nombreux petits pépins (Takrouni et al., 2012).

Une description de différentes parties biologiques de cette espèce est présentée dans les figures 2 et 3.

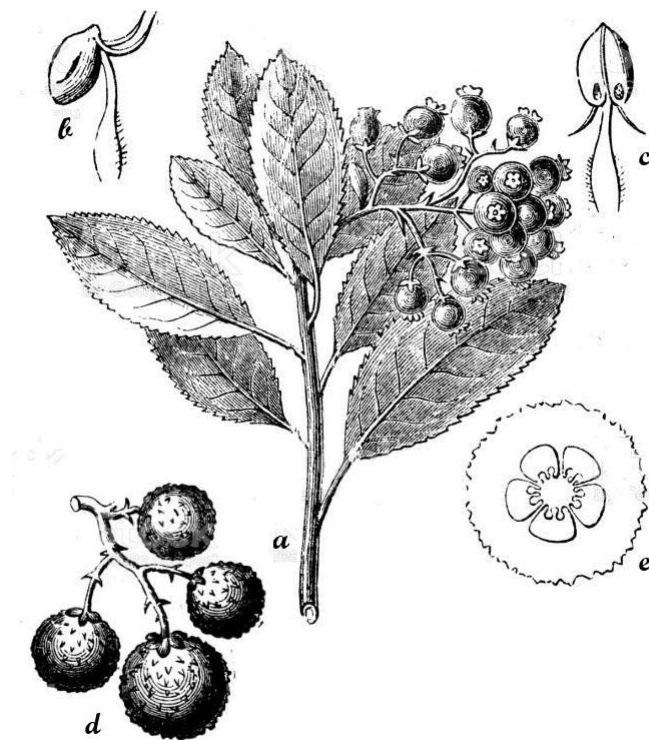


Figure 2 : Dessin analytique d'*Arbutus unedo* : (a) Un spécimen, (b) fleur, (c) coupe longitudinale de la fleur, (d) fruit, (e) coupe transversale d'un fruit. [Illustration Antique Botanique Arbutus Unedo Fraisier Illustration - Getty Images.](#)

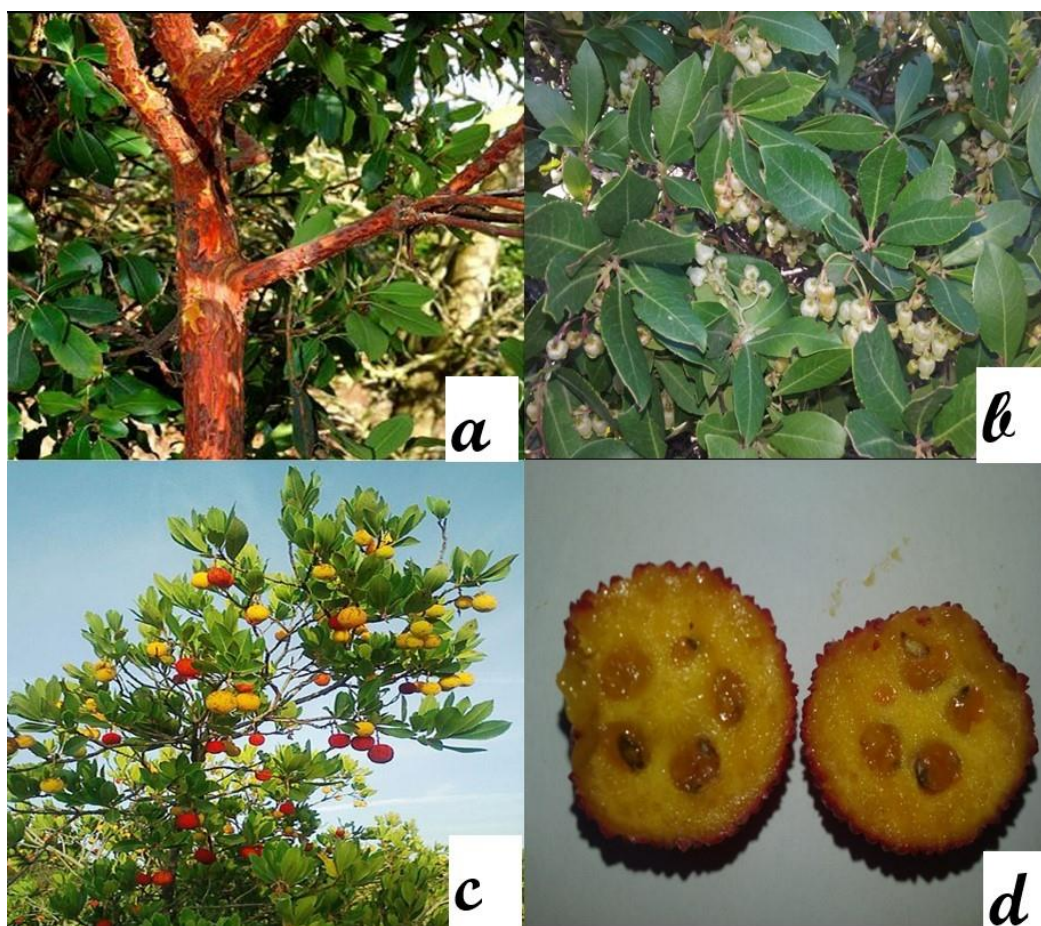


Figure 3: Différentes parties biologiques d'*Arbutus unedo* : (a) Ecorce, (b) feuilles et fleurs, (c) fruit, (d) coupe transversale du fruit (Faïda et al., 2021).

1.3. Aperçu sur l'écologie de l'arbousier

Dans la Turquie, il est signalé que l'arbousier est répandu naturellement dans les zones boisées humides des régions occidentales de la mer Noire, de Marmara, de la mer Égée et de la Méditerranée, au-dessus du niveau de la mer (700-1000 m) (Sagbas et al., 2020). Il est également rapporté que c'est une plante qui est plus résistante au froid que d'autres, et pousse sur différents types du sol à savoir ; siliceux, acide, alcalin et granitique (Seidemann, 1995 ; Soro et Paxton, 1999 ; Seker et al., 2004 ; Özcan et Haciseferoğulları, 2007 ; Celikel et al., 2008).

En Espagne, bien qu'il pousse dans tous le pays, l'arbousier est beaucoup plus fréquent dans les régions à climat non continental, à l'exception de quelques populations relictuelles situées dans des refuges thermiques (Molina et al., 2011). Il est particulièrement abondant dans les chaînes de montagnes du Sud-Ouest (Sierra Morena et Montes de Toledo), poussant principalement dans les zones d'arbustes sclérophylliens et les forêts sempervirentes de *Quercus suber* L. et *Quercus ilex* L. Cette espèce peut être trouvée du niveau de la mer à 800-1200 m et

pousse dans différents types de sols bien que, comme de nombreuses espèces d'Ericaceae, elle ait une certaine préférence pour les sols acides (Blanco et al., 2005).

Au Portugal, l'arbousier prospère dans une large gamme de types de sols en fonction de leur origine lithologique (Ricardo et Veloso, 1987 ; Godinho- Ferreira et al., 2005). L'arbousier est largement distribué, dans les zones de climat atlantique au Nord, aux zones sèches et arides au Sud (Godinho- Ferreira et al., 2005). D'après Pedro (1994), l'arbousier constitue rarement des peuplements dominants, étant plus commun dans les communautés buissonnantes ou dans les peuplements naturels dominés par les chênaies. L'espèce apparaît naturellement dans différentes alliances phytosociologiques, à savoir : *Sanguisorbo-Quercetum suberis* et *Arbuto-Cistetum populifolii* au Sud et *Rusceto-Quercetum roboris* au Nord, y compris *Arisaro-Quercetum broteroi*, *Arbuto Quercetum pyrenaicae* et *Phillyreo Arbutetum unedonis* au Centre du pays. Les zones de peuplement extensif d'*Arbutus unedo*, dures et parcellaires, se trouvent principalement dans les régions montagneuses du sud (Serra de Monchique et Caldeirão). Une distribution similaire fragmentée est courante dans les régions du centre et du nord en raison des programmes de déforestation intensive avec *Pinus pinaster* et *Eucalyptus globulus* qui forment des peuplements à canopée fermée (Meireles et al., 2005).

En Tunisie, les populations d'arbousier prospèrent à l'état sauvage dans différentes zones bioclimatiques s'étendant de l'humide inférieur au semi-aride supérieur, dans trois régions isolées : le Cap Bon, le Nord-Ouest du pays et la Montagne Dorsale Tunisienne, où l'espèce se raréfie (Takrouni et Boussaid, 2010). Dans le Cap Bon, les populations se trouvent dans plusieurs zones côtières (ex. Korbous), sur des sols calcaires ou acidophiles, à des altitudes variant de 400 à 600 m. Les précipitations annuelles varient de 400 à 600 mm (Nabli, 1995). L'espèce est principalement associée à *Quercus coccifera* L., *Erica arborea* L., *Smilax aspera* L., *Myrtus communis* L., *Olea europea* L., *Lavandula stoechas* L. et *Pinus halepensis* Mill. Dans la partie Nord-Ouest du pays, l'espèce pousse sur un sol acidophile sous une pluviométrie annuelle variant de 500 mm à 1000 mm (Takrouni et al., 2012). Elle est accompagnée de *Quercus faginea* Lamk., *Quercus suber* L., *Sanicula europea* L., *Laurus nobilis* L., *Cistus monspeliensis* L., *Pistacia lentiscus* L., *Erica arborea* L., *Phillyrea angustifolia* L. et *Viburnum tinus* L. Dans la dorsale tunisienne (par exemple les montagnes du Serdj et de la Kesra), l'espèce pousse dans la zone semi-aride supérieure en association avec *Pinus halepensis* Mill, *Olea europea* L., *Quercus ilex* L., *Erinacea anthyllis* Link., *Cistus salviifolius* L., *Pistacia lentiscus* L. et *Phillyrea angustifolia* L. Les populations poussant sur des sols calcaires, sont faiblement

distribuées et consistent en un petit nombre d'individus. Les altitudes des sites varient de 400 m à 700 m (Takrouni et al., 2012).

Au Maroc, l'arbousier est rencontré dans l'étage bioclimatique humide, subhumide et semi-aride et ceci dans différentes zones biogéographiques :

- **Le Nord-Ouest** : l'arbousier est une espèce dominante et caractéristique de cette zone biogéographique. Il forme des peuplements plus denses dans les forêts d'Ouazzane et Laarache. Sa tranche altitudinale se situe entre 150 m et 422 m où le climat est de type subhumide. Ce site présente des précipitations annuelles entre 700 mm/an et 889 mm/an et des températures moyennes annuelles de 17,9 °C et 18,4 °C.
- **Le Rif Occidental** : particulièrement dans la province de Chefchaouen, où l'arbousier présente un état du peuplement plus ou moins dense, c'est le cas des forêts d'Aabaid et Dardara. Ces sites naturels d'arbousier s'intercalent entre une température de 15,3 °C et de 17,6 °C, et une précipitation de 835 mm/an et 1135 mm/an et dans une tranche altitudinale entre 450 m et 745 m, sur des sols bien drainés. Il est caractérisé par une plasticité bioclimatique assez importante allant du subhumide jusqu'à l'humide.
- **Le Rif Central** : il pousse spontanément au bord des Oueds, c'est le cas des populations de la zone d'Ikaouen, Route Al Hoceima avec une altitude de 654 m, et arrive encore à se maintenir à des densités plus importantes. Le type du bioclimat qui domine dans cette zone est le subhumide avec une température et précipitation annuelle de 12,4 °C et 831 mm/an.
- **Le Pré-Rif** : il est localisé dans des altitudes allant de 450 m à 709 m, et forme des peuplements plus étendus et plus productifs dans les forêts de : Bouadel, Ghafsai et Khlalfa de Taounate. Ses sites se caractérisent par des précipitations et températures annuelles de 16 °C -18,4 °C et 612 mm/an-735 mm/an. Le climat caractéristique dans cette zone est le subhumide.
- **Plateau Central** : son aire de répartition est très restreinte (Ouèlmes et Benslimane). Il est abondant dans des forêts moins denses, entre 275 m et 983 m d'altitude. Il occupe un étage bioclimatique allant du semi-aride vers le subhumide avec des températures de 13,6 °C à 17,4 °C et des précipitations de 463 mm/an à 756 mm/an.
- **Le Moyen Atlas** : se trouve dans des forêts très denses de l'étage bioclimatique subhumide avec des températures de 13,2 °C à 16,4°C et des précipitations se situent entre 702 et 718 mm/an. Sa tranche altitudinale s'aperçoit entre 1338 m (cas d'El Ksiba, Béni Mellal) et 1613 m (cas de sources d'Oum Errabia, Khénifra).
- **Le Haut Atlas** : l'arbousier dans cette zone présente un état de peuplement moyennement dense dans les forêts d'Ourika et de Touflihte, Route du col de Tichka. Ces sites sont

caractérisés par un bioclimat semi-aride avec des températures de 17,6 et 18 °C et des précipitations annuelles de 337 mm/an et 490 mm/an. L'arbousier s'installe de façon spontanée sur des altitudes de 867 m à 1313 m.

Les relevés de la végétation effectuée pendant les prospections, ont mis en évidence une diversité d'essences qui participent à l'individualisation des écosystèmes forestiers et pré-forestiers de l'arbousier. En effet, ces formations végétales sont les suivantes : le chêne vert, le chêne liège, le chêne tauzin, le pin d'Alep, le thuya, le genévrier oxycèdre et le genévrier rouge, auxquelles s'associent selon les conditions écologiques, d'autres essences telles que le lentisque, les cistes, le myrte commun, l'aubépine, le caroubier, l'oléastre, le palmier nain, l'eucalyptus, l'asphodèle, le laurier rose, le laurier noble et l'asperge blanche (Faïda et al., 2019).

2. Intérêt écologique, économique et médicinal de l'arbousier

Au cours des dernières années, les propriétaires forestiers et les associations forestières s'intéressent de plus en plus à l'*Arbutus unedo* comme espèce fruitière ou ornementale, avec la demande croissante du matériel végétal de haute qualité (Celikel et al., 2008 ; Gomes et Canhoto, 2009 ; Zizzo et al., 2010). Il s'agit donc d'un arbre fruitier avec différentes utilisations commerciales possibles, de la production de fruits transformés et frais aux applications ornementales, pharmaceutiques et chimiques (Pedro, 1994 ; Ayaz et al., 2000 ; Mereti et al., 2002 ; Celikel et al., 2008 ; Zizzo et al., 2010).

✓ Intérêt écologique

L'arbousier pousse spontanément autour du bassin méditerranéen. De point de vue écologique, étant donné qu'il est tolérant à la sécheresse, résistant au feu et capable de se régénérer après les incendies des forêts (Figure 4), l'arbousier est très intéressant pour la récupération des terres et la prévention de la désertification (Pedro, 1994 ; Piotto et al., 2001). En outre, il contribue à maintenir la biodiversité, à stabiliser les sols et tolère la texture et la composition des terres marginales (Piotto et al., 2001 ; Godinho-Ferreira et al., 2005). L'arbousier contribue également au stockage du CO₂ et à la production de biomatériaux (Gomes, 2011). De plus, il peut contribuer à la discontinuité de la biomasse forestière due aux monocultures de pins et d'eucalyptus qui présentent des essences à combustion rapide. A titre d'exemple, dans les régions du centre et du Nord du Portugal, qui sont soumis plus fréquemment à un nombre élevé d'incendies et de la forte intensité des feux qui se produisent tous les étés dans ces régions du pays à cause de ces monocultures (Silva et Harrison, 2010). Par conséquent, cette espèce est très intéressante et plus demandée dans les programmes de reboisement dans les régions méditerranéennes. Compte tenu de cet intérêt, les associations

forestières portugaises ont commencé à l'utiliser dans le reboisement des zones altérées comme feuillu de protection et coupe-feu pour ralentir ou arrêter la propagation des incendies, pour améliorer la qualité de l'écosystème et pour les projets de chasse (Gomes, 2011).



Figure 4: Régénération d'*Arbutus unedo* après un incendie de forêt (Gomes, 2011).

✓ Intérêt économique et alimentaire

Cette espèce est caractérisée par une rusticité extrême et une grande variabilité morphologique et phénologique, ce qui peut faciliter la sélection d'accessions pour développer de nouveaux produits ornementaux, en particulier pour le jardinage, la restauration de l'environnement et comme une bonne alternative pour la floriculture dans les zones tempérées (Zizzo et al., 2010). L'arbousier est une plante ornementale précieuse en raison de ses fruits rouges attrayants et ses fleurs blanches rosées qui apparaissent en automne et en hiver (Celikel et al., 2008). Cette espèce a une valeur économique non négligeable en raison de ses usages multiples et sa tolérance au manque d'eau et des nutriments (Smiris et al., 2006).

De nouvelles utilisations potentielles de fruit d'arbousier dans l'industrie alimentaire ont été étudiées. Alarcão-E-Silva et al. (2001) ont suggéré leur application possible comme morceaux de fruits dans les yaourts, les garnitures de tartes et de pâtisseries ou dans les produits céréaliers. Ganhão et al. (2010) ont constaté que l'ajout d'extraits de fruits comme ingrédient fonctionnel dans les produits carnés transformés empêchait l'oxydation des protéines. Les fruits d'arbousier pourraient également être utilisés comme colorant alimentaire, compte tenu de leur

teneur en β -carotène et en anthocyanines (Alarcão-E Silva et al., 2001). De plus, dans la Turquie, les populations locales consomment couramment les fruits locaux en tant qu'aliment fonctionnel et complément nutraceutique (Ercisli et al., 2008 ; Sagbas et al., 2020).

Les fruits de cette espèce sont transformés en produits traditionnels tels que la confiture, les produits alcooliques et la liqueur (Galego et al., 2001 ; Galego, 2006 ; Martins, 2006 ; Celikel et al., 2008). Au Portugal, une partie considérable de la production de fruit est utilisée pour fabriquer un type d'alcool très spiritueux appelé medronheira qui représente le principal revenu des propriétaires forestiers (Galego et al., 2001 ; Galego, 2006).

✓ Intérêt médicinale

Les fruits d'arbousier ont des propriétés antiseptiques, diurétiques et laxatives. Les feuilles ont un effet antidiabétique, antihypertenseur et anti-inflammatoire. Les feuilles et les fruits sont anticancéreux grâce à la substance phénolique et au contenu antioxydant du fruit (Ayaz et al, 2000 ; Pabuccuoglu et al., 2003 ; Mariotto et al., 2008 ; Barros et al., 2010 ; Mendes et al., 2011 ; Oliveira et al., 2011b ; İşbilir et al., 2012). De plus, les feuilles d'*Arbutus unedo* ont été utilisées en médecine traditionnelle en raison de leurs propriétés antiseptiques, diurétiques et astringentes (Kivçak et al., 2001), et dans l'industrie chimique en raison de sa forte teneur en tanins (Celikel et al., 2008).

Certains auteurs ont également souligné que les feuilles ont une forte activité antioxydante (Kivçak et al., 2001 ; Pabuccuoglu et al., 2003 ; Oliveira et al., 2009 ; Rodrigues de Sá et al., 2010b). *Arbutus unedo* à côté de *Pistacia terebinthus*, *Hypericum empetrifolium* et *Cistus parviflorus* dans un total de 42 espèces ont été indiquées comme les espèces végétales les plus prometteuses ayant des activités antibactériennes (Gomes, 2011). Des rapports récents indiquent un rôle des extraits d'*Arbutus unedo* dans le traitement du diabète de type 2, en inhibant l'activité de l' α -amylase (Nunes, 2017). Les extraits de la plante présentent également un potentiel thérapeutique contre les maladies d'Alzheimer et de Parkinson en raison de la présence d'arbutine, un inhibiteur qui bloque la progression de la maladie (Nunes, 2017).

Selon El Haouari et al. (2007) les extraits d'*Arbutus unedo* montrent une action anti-agrégante et pourraient être utilisés pour le traitement et/ou la prévention des maladies cardiovasculaires.

3. Composition chimique d'*Arbutus unedo*

▪ Fruits

Le fruit contient une grande concentration de glucides (42% à 52%) (Ayaz et al., 2000), comme il a été trouvé dans l'*Arbutus unedo* récoltés dans le Nord-Ouest de la Turquie (Şeker et Toplu, 2010). C'est une très bonne source de minéraux comme il est spécialement riche en calcium (Özcan et Haciseferogullan, 2007). Plusieurs composants appartenant à divers groupes phénoliques ont été rapportés chez les fruits d'*Arbutus unedo*: les acides phénoliques, les flavonols et les anthocyanes. L'acide gallique (10,7 mg/g, poids sec) est le principal composé phénolique, suivi par l'acide protocatéchique, l'acide gentisique, l'acide *p*-hydroxybenzoïque, l'acide vanillique et *m*-anisique (Ayaz et al., 2000). Les acides α -linoléique (36,51%), linoléique (21,50%) et oléique (21,01%) sont les acides gras insaturés prédominants, et l'acide palmitique l'acide gras saturé le plus important (8,20%) trouvé dans les fruits mûrs de l'arbousier récoltés dans le territoire du parc naturel de Montesinho (Trás-os-Montes, Nord-Est du Portugal) (Pimpao et al., 2013). La prédominance de ces trois principaux acides a déjà été observée dans les fruits récoltés dans le centre et l'Ouest de l'Espagne (Morales et al., 2013).

▪ Feuilles

La composition phytochimique des feuilles d'arbousier montre une dominance de l'arbutine dans des spécimens collectés au Monténégro, ainsi que des dérivés de l'hydroquinone (Pavlović et al., 2009). En revanche, les extraits de feuilles collectées dans différentes zones de la Croatie montrent une richesse en quercitrine, isoquercitrine, hyperoside et acide chlorogénique (Maleš et al., 2013 ; Maleš et al., 2006). Les auteurs de cette étude ont également signalé que les concentrations de ces composés ont changé au cours de l'année. Par exemple, des concentrations plus élevées d'hyperoside et de quercitrine ont été observées en janvier, tandis que l'acide chlorogénique été le plus abondant en juin, en juillet et en octobre. Cependant, d'autres composés sont présents dans les feuilles d'arbousier à des taux variables, notamment des flavanols (catéchines, dimères de procyanidine et esters de gallates respectifs), des flavonols (glucosides de myricétine, quercétine, Kampferol), plusieurs dérivés de galloyle (gallotannins) et ellagiques (ellagitannins). Ces composés sont également présents dans des extraits de fruits ; cependant, le nombre de composés identifiés était plus élevé dans les extraits de feuilles que chez le fruit (Mendes et al., 2011).

L' α -tocophérol a également été trouvé dans les feuilles d'*Arbutus unedo* en provenance de Turquie. Les quantités trouvées dépendant de la saison de collecte. Les feuilles récoltées en mars avaient la plus forte concentration d' α -tocophérol (Kivçak et al., 2001).

▪ **Tiges**

Des études réalisées sur les tiges d'*Arbutus unedo* en Algérie ont permis d'identifier à l'aide d'une analyse structurale par RMN 1H, RMN 13C, IR et spectres de masse, la présence de catéchine, d'afzelechine et de (4, 4-dihydroxyphényl) -5,7-dihydroxychroman-3-yl 4-hydroxybenzoate (Dib et al., 2008).

▪ **Racines**

Une étude phytochimique sur les racines d'*Arbutus unedo* a permis d'identifier deux principaux composés par spectroscopie RMN : (+) - catéchine et (+) gallate de catéchine (Miguel et al., 2014). D'autres composés phénoliques ont également été identifiés par GC-MS tels que l'acide benzoïque, l'ester 4- (acétyloxy) -3-méthoxy-, méthylique ; l'acide 4-hydroxyphénylacétique ; l'acide caféique ; acide gallique ; l'acide protocatéchine et le phtalate de bis (2-éthylhexyle) (Dib et al., 2010).

4. Composition minérale du fruit de l'arbousier

La composition minérale dans les produits végétaux devient de plus en plus un caractère recherché surtout dans le domaine agroalimentaire, ce qui a incité les chercheurs et les acteurs pour explorer le profil minéral de plusieurs espèces végétales y compris l'arbousier. D'après l'étude réalisée par Ait lhaj et al. (2021a), le profil minéral des fruits d'arbousier a été caractérisé par l'abondance du phosphore (P), potassium (K), fer (Fe) et sodium (Na). A l'exception de Na (15,1 mg/100 g), ces minéraux ont montré des teneurs élevées avec des valeurs moyennes de 63,7 mg/100 g, 57,4 mg/100 g et 28,7 mg/100 g de la matière sèche respectivement. En revanche, le manganèse (Mn) et le zinc (Zn) ont été détectés à faibles concentrations (3,9 mg/100 g). Cette composition rend l'arbousier parmi les plantes exploitables dans l'industrie agroalimentaire et pharmaceutique surtout dans la production des compléments alimentaires riches en éléments minéraux (Fe, Zn, Mn, K, P, ...). Ces éléments présentent un rôle très important dans le maintien de l'équilibre physiologique de corps humain (Effet anticancéreux, maintien de plusieurs organes comme les os, les muscles et le cœur et protection de l'organisme contre l'effet des réactions d'oxydoréduction en piégeant les radicaux libres) (Penuelas et al., 2008 ; Ruiz-Rodríguez et al., 2011 ; Türkdogan et al., 2003).

D'autres études sur le fruit Nord-Africain d'*Arbutus unedo* ont signalé que le contenu minéral est l'un des paramètres les plus variables dans la composition alimentaire des plantes (Baoussalah et al., 2018). Selon De Souza et al. (2014) et Nyanga et al. (2013), la variation minéralogique dans le fruit d'arbousier est influencée par la composition du sol et d'autres

conditions environnementales. En fait, les macro-éléments, notamment le K a montré la teneur la plus élevée dans tous les échantillons analysés, suivi de Ca, Mg et Na, avec une gamme de 1 529 à 3 486 ; 315,0 à 959,4 ; 115,3 à 277,9 et 126,8 à 226,7 mg kg⁻¹ respectivement. Les régions qui ont des sols calcaires (riches en carbonate de calcium), présentent la teneur élevée en Ca de leurs fruits par rapport aux autres. Ces résultats étaient similaires à la composition minérale espagnole (Ruiz-Rodríguez et al., 2011) et turque (Özcan et Haciseferoğulları, 2007). En revanche, les micro-éléments, notamment le Fe a montré la plus forte teneur, suivi par le Zn, le Cu et le Mn. Les quantités du Fe étaient comprises entre 7,01 et 17,24 mg kg⁻¹, ce qui a été supérieur à celles de nombreux fruits cultivés (fraise, pomme, pêche et orange) (Souci et al., 1994), suivies par les teneurs en Zn, Cu et Mn respectivement, avec des valeurs comprises entre 2,30-4,63, 0,76-3,41 et 0,11-3,43 mg kg⁻¹). Ces résultats sont similaires à ceux rapportés par Özcan et Haciseferoğulları (2007) pour l'arbousier Turc et Ruiz-Rodríguez et al. (2011) pour l'arbousier de l'Espagne. Les activités biologiques des micro-éléments sont fortement associées à la présence d'électrons non appariés qui permettent leur participation aux réactions d'oxydoréduction.

5. Potentiel nutritif de l'arbousier

Comme tous les fruits, l'importance de l'*Arbutus unedo* s'est accrue par la compréhension de ses propriétés nutritionnelles, médicales et pharmacologiques. Ce sont des sources riches en substances bioactives ainsi qu'en glucides, lipides, protéines, énergie, vitamines (A, B1, B2, B3, B6, B9, B12, C), acide folique, minéraux (Ca, P, Fe) et fibres alimentaires (Ercisli et al., 2008 ; Serce et al., 2010 ; Ercisli et al., 2011 ; Gecer et al., 2020). Ainsi, l'exploitation des fruits sauvages comestibles sous-utilisés et leur conservation peuvent devenir une solution au problème social de l'insécurité sanitaire et nutritionnelle, de la pauvreté et du chômage (Serdar et al., 2014 ; Akbulut et al., 2016).

La composition physico-chimique des baies d'arbousier, selon différents auteurs (Tableau 2) varie en fonction de nombreux facteurs : génétique, conditions climatiques et année de prélèvement.

Tableau 2 : Composition physico-chimique générale des fruits d'arbousier selon plusieurs auteurs.

| Paramètres | Valeurs selon plusieurs auteurs |
|-------------------|--|
| Carbohydrates | 53,23% (Barros et al., 2010) ; 41,18% (Hegazy et al., 2014) ; 126,8 à 189,3 g kg-1 (Boussalah et al., 2018) ; 81,59 ± 0,12 g/100 g (Ait lhaj et al., 2021a) |
| Lipides | 1,37% (Barros et al., 2010) ; 1,33% (Hegazy et al., 2014) ; 0,43% (Vidrihrt et al., 2013) ; 1,15% et 1,45% (Doukani et Tabak, 2015) ; 0,28 à 0,54g/100g ; 5,1 à 8,9 g kg-1 (Boussalah et al., 2018) ; (Sagbas et al., 2020) ; 3,44±0,06 g/100g (Ait lhaj et al., 2021a) |
| Protéines | 3,09% (Barros et al., 2010) ; 2,23% (Hegazy et al., 2014) ; 0,82% (Vidrihrt et al., 2013) ; 22,6 to 35,5 g kg-1 (Boussalah et al., 2018) ; 2,83±0,04 (Ait lhaj et al., 2021a) |
| Fibres totaux | 5,28% (Hegazy et al., 2014) ; 18,49% (Vidrihrt et al., 2013) ; 18% et 19% (Doukani et Tabak, 2015) ; 92,8 à 141,3 g kg-1 (Boussalah et al., 2018) ; 7,04g/100g à 12,76 (Sagbas et al., 2020) ; 16,07±0,17 g/100 g (Ait lhaj et al., 2021a) |
| Fibres solubles | 4,19% (Vidrihrt et al., 2013) |
| Fibres insolubles | 14,3% (Vidrihrt et al., 2013) ; 80,5 et 122,3 g kg-1 (Boussalah et al., 2018) |
| Cendres | 1,71% (Barros et al., 2010) ; 0,75% (Hegazy et al., 2014) ; 0,48% (Vidrihrt et al., 2013) ; 0,69% et 0,33% (Doukani et Tabak, 2015) ; 5,3 à 8,8 g kg-1 (Boussalah et al., 2018) ; 2,24 ± 0,03 (Ait lhaj et al., 2021a) |
| Vitamine C | 85 mg/100g (Hegazy et al., 2014) ; 58 à 93mg/100g (Sagbas et al., 2020) |
| Sucres totaux | 40,55% (Barros et al., 2010) ; 8,896% et 14,012% (Doukani et Tabak, 2015) ; 60,95 ± 0,28 g/100 (Ait lhaj et al., 2021a) |
| Fructose | 24,21% (Barros et al., 2010) ; 16,62mg/g (Vidrihrt et al., 2013) ; 55,2 à 84,4 g kg-1 (Boussalah et al., 2018) ; 6,09 à 10,56 g/100g (Sagbas et al., 2020) |
| Glucose | 12,14% (Barros et al., 2010) ; 5,27mg/g (Vidrihrt et al., 2013) ; 29,0 à 52,4 g kg-1 (Boussalah et al., 2018) ; 3,85 à 6,07g/100g (Sagbas et al., 2020) |
| Sucrose | 4,20% (Barros et al., 2010) ; 0,78 à 1,56g/100g (Sagbas et al., 2020) |

| | |
|--------------------|---|
| | |
| Acide Oxalique | 0,10-0,29 mg/100 g (Sagbas et al., 2020) |
| Acide malique | 1,12-3,07 mg/100 g (Sagbas et al., 2020) ; 0,84mg/g (Ayaz et al., 2000) |
| Acide succinique | 0,22-0,46 mg/100 g (Sagbas et al., 2020) |
| Acide citrique | 0,44-1,3 mg/100 g (Sagbas et al., 2020) |
| Acide fumarique | 0,17-0.40 mg/100 g (Sagbas et al., 2020) ;1,94 mg/g (Ayaz et al., 2000) |
| Acide Ascorbique | 15,07% (Barros et al., 2010) ; 275,46 mg/100g de l'extrait (Vidrihrt et al., 2013) |
| pH | 3,55 et 5,53 (Doukani et Tabak, 2015) ; 3,94 ±0,01 (Ait lhaj et al., 2021a) |
| Acidité titrable | 0,51g d'acide malique/100g (Vidrihrt et al., 2013) ; 0,63% et 0,74% (Doukani et Tabak, 2015) |
| Caroténoïde | 30,67 mg/100g de l'extrait (Hegazy et al., 2014) |
| B-caroténoïde | 1,07% (Barros et al., 2010) ; 340 µg/g (Delgado-Pelayo et al., 2016) ; 136±3,6 µg/g (Mohammedi, 2020) |
| Polyphénols totaux | 83,40 mg/g d'extrait (Barros et al., 2010) ; 16,46 mg/g d'extrait (Hegazy et al., 2014) ; 0,59 mg/gd'extrait (Vidrihrt et al., 2013) ;17,025% et 14,75% (Doukani et Tabak, 2015) ; 155,7± 5,4 à 205,6±10,2 mgGAE/gd'extrait (Mohammedi, 2020) ; 576 à 804 mgGAE/g (Sagbas et al.,2020) |
| Energie | 399,99 Kcal /100g (Barros et al., 2010) ; 368,73 ± 0,65 Kcal /100g (Ait lhaj et al., 2021a) |
| Tanins condensés | 63,8±6 à 115,5±6,1 mgEC/g (Mohammedi, 2020) |
| Anthocyanes | 8,3±0,3 à 12,7±0,5 µg/g (Mohammedi, 2020) |
| Flavonoïdes | 20,6±0.6 à 38,9±2 mgER/g (Mohammedi, 2020) |

Au Maroc, les résultats des travaux de la contribution du fruit de l'*Arbutus unedo* à l'apport alimentaire total qui comprend les fibres alimentaires, les protéines, les glucides et les minéraux dans les échantillons étudiés, mettent en évidence l'utilisation du fruit de l'arbousier marocain comme une alternative saine pour la production de fruits, notamment pour la composition en sucres libres, qui se caractérise par un rapport fructose/glucose inférieur à 1 (Ait Lhaj et al., 2021a). Ce qui est conforme aux recommandations de santé, en particulier pour les personnes atteintes de diabète. A la lumière de ces résultats, et après avoir prouvé la grande qualité nutritionnelle de ce fruit sauvage, notre travail va servir de fournir des études supplémentaires d'abord, sur la variabilité génétique de cette espèce au Maroc et ensuite sur leur composition phytochimique pour démontrer leur potentiel thérapeutique et promouvoir

leur utilisation potentielle dans l'industrie alimentaire. Ces parties seront détaillées dans les chapitres 4 et 5.

6. Domestication de l'arbousier

Au cours des dernières années, un intérêt croissant pour la culture fruitière d'arbousier a conduit à des changements radicaux dans la production de cette plante avec l'établissement de grands vergers et l'émergence de son industrie moderne. Ce nouveau paradigme exige la substitution de la propagation traditionnelle des graines par la propagation clonale, ainsi que la sélection et la reproduction de clones très décoratifs, spécifiques à l'ornementation et prospèrent dans les jardins, et aux autres usages, par exemple, dans la région de l'Algarve en Portugal, où l'arbousier est traditionnellement cultivé par les agriculteurs dans de petits vergers, souvent en association avec *Quercus* sp., les fruits sont principalement utilisés pour la production de la liqueur "aguardente de medronho" (Fazenda, 2019). De même, d'autres génotypes d'arbousier d'origine portugais ont été sélectionnés dans l'aire de distribution naturelle de l'espèce et ont été développés à des fins biotechnologiques (Gomes et Canhoto 2009 ; Gomes et al., 2010).

Les programmes de sélection visant à obtenir des cultivars d'*Arbutus unedo* avec une qualité du fruit élevée ont rarement été tentés (Celikel et al., 2008). En Chine, des travaux d'amélioration ont été réalisés, et certains cultivars comme Zaose, Dongkui, Daliziyangme, Baiyangmei, Zaohongmei et Dahuamei, ont été sélectionnés (Songlin et al., 1995 ; Cai- Huang, 1997 ; Jihua et al., 1997). En Turquie et en Italie, les caractéristiques phénologiques et pomologiques des populations locales d'*Arbutus unedo* L. ont été évaluées dans le but de promouvoir une culture extensive et de prévenir la déforestation et la surculture (Karadeniz et al., 1996 ; Mulas et Deidda, 1998 ; Gozlekci et al., 2003 ; Seker et al., 2004). Ainsi, dans le but de sélectionner des génotypes importants d'*Arbutus unedo* dont le fruit est de bonne qualité, Celikel et al., (2008), ont procédé à la caractérisation morphologique des populations de cette espèce de la région de la mer noire en Turquie pour une culture extensive. En fait, les agriculteurs de cette région, traditionnellement font des cultures des génotypes d'arbousier multipliés par graines qui présentent une grande variabilité génétique pour la plupart des caractéristiques de l'arbre et du fruit. Par conséquent, les génotypes ayant un bon rendement et une bonne qualité du fruit, ont été sélectionnés (Sagbas et al., 2020).

Cependant, au Maroc l'espèce n'a pas encore fait l'objet de travaux ou de programmes pouvant conduire à sa valorisation efficiente et à sa sauvegarde. Toutefois, la domestication, la

production et l'enregistrement des variétés améliorées de l'arbousier permettraient donc, d'augmenter de plus en plus sa valeur économique, d'améliorer le bien-être des populations rurales et marginalisées, de contribuer à la sécurité alimentaire et d'assurer la conservation des ressources génétiques naturelles de l'espèce ainsi que la réhabilitation de l'équilibre écosystémique.

7. Méthodes de multiplication d'arbousier

La multiplication des plantes est un facteur clé pour la sélection des arbres. Les boutures et les greffes sont les techniques de "macropropagation" traditionnelles utilisées pour les arbres forestiers. Les techniques *in vitro* présentent beaucoup plus d'avantages par rapport aux méthodes traditionnelles (Gomes, 2011).

La propagation de l'arbousier sélectionné est particulièrement importante. La multiplication des semences ne garantit pas la stabilité génétique et des caractéristiques particulières peuvent être perdues. Des essais de propagation végétative peuvent être réalisés par des méthodes conventionnelles telles que l'enracinement de boutures ainsi que par des méthodes de micropropagation (Hartman et al., 1997). Cependant, les fréquences d'enracinement sont assez faibles surtout lorsque des boutures matures sont utilisées (Mereti et al., 2002 ; Metaxas et al., 2004).

La micropropagation peut être une alternative intéressante lorsque : (a) la propagation conventionnelle est difficile à réaliser, (b) les problèmes de rajeunissement persistent, et (c) la pression pour augmenter les taux de multiplication se produit (McComb et Bennett, 1986 ; Gomes et Canhoto, 2003).

Des études antérieures sur l'arbousier ont montré que la propagation *in vitro* à partir de matériel juvénile pouvait être réalisée (Gonçalves et Roseiro, 1994 ; Mereti et al., 2002). Cependant, comme pour les graines, les explants juvéniles sont de génotype inconnu, ce qui rend difficile la propagation d'arbres sélectionnés, qui ne peut être réalisée que par la propagation de plantes adultes (Gomes et Canhoto, 2009). Ces auteurs ont décrit une méthode fiable et reproductible de propagation d'arbres adultes d'*Arbutus unedo* par prolifération de pousses axillaires. Cette étude a fourni des informations importantes concernant l'établissement d'un système efficace de propagation *in vitro* pour l'espèce par la prolifération de pousses axillaires à partir d'arbres adultes sélectionnés en fonction de leur production de fruits et de leur qualité (Gomes et al., 2009).

L'enracinement est une étape cruciale pour le succès de la micropropagation. La formation des racines est un processus complexe qui est influencé par un grand nombre de facteurs, tels que le génotype, le type et la concentration des régulateurs de croissance des plantes et les conditions de culture (Mylona et Dolan, 2002 ; Van Staden et al., 2008). Ces auteurs ont montré que le taux d'enracinement le plus élevé a été obtenu lorsque les pousses ont été traitées avec de l'Indole-3-butyric acid pendant une courte période suivie d'une sous-culture sur un milieu sans auxine contenant du charbon de bois.

La réussite de l'acclimatation des pousses enracinées, après leur durcissement et leur transfert en conditions de terrain, est une condition nécessaire à la mise en œuvre de toute méthode de micropropagation fiable (George et Debergh, 2008).

La multiplication de l'arbousier par la germination des graines est considérée plus difficile (Smiris et al., 2006). Le principal facteur d'inhibition de la germination chez *Arbutus unedo* est la dormance embryonnaire. L'étude de la dormance et de la germination des graines d'*Arbutus unedo* présente un grand intérêt commercial et pratique pour les pépiniéristes, car elle permet de disposer de techniques de prolifération facile de cette espèce avec des graines. Selon Smiris et al. (2006), la stratification à une température appropriée est considérée comme le moyen le plus important de rompre ce type de dormance. Pour l'embryon dormant, la stratification représente un mécanisme important pour garantir que tous les processus contrôlant l'équilibre entre les substances de restriction et de croissance se déroulent. L'utilisation de gibbérelline exogène peut remplacer partiellement la nécessité de stratification. Des études concernant un certain nombre d'espèces ont montré que la combinaison entre l'application de GA3 et la stratification au froid donne les meilleurs résultats (Smiris et al., 2006).

Pour soutenir l'intérêt croissant des agriculteurs pour cette espèce, il est nécessaire de sélectionner et de multiplier les plantes les plus prometteuses afin d'être en mesure de fournir du matériel végétal de haute qualité qui peut augmenter les profits des propriétaires fonciers intéressés à investir dans cette espèce. Au cours des dernières années, des plantes sélectionnées d'*Arbutus unedo* obtenues par micropropagation en Portugal ont été livrées à plusieurs agriculteurs et sont maintenant sur le terrain. En outre, les autorités locales et les associations d'agriculteurs sont de plus en plus conscientes du potentiel de cet arbre et ont commencé à accorder plus d'attention à son potentiel en tant qu'espèce écologique importante et en tant que culture fruitière.

8. Aspects de l'étude de la diversité génétique de l'arbousier

La réponse à la sélection dépend essentiellement du degré de diversité génétique dont dispose l'obteneur. Sans un pool génétique diversifié, la sélection des arbres tend plus à être difficile. Pour évaluer la diversité génétique, les marqueurs moléculaires sont considérés des outils efficaces (Bell et al., 2008). Les approches classiques, telles que l'anatomie, la physiologie et l'embryologie comparées, ont été employées dans l'analyse génétique pour déterminer la variabilité inter et intra-spécifiques. Cependant, les marqueurs moléculaires ont rapidement supplanté ces stratégies classiques (Joshi et al., 2009). Selon Chawla (2009), le polymorphisme peut mettre en évidence la différenciation entre individus et populations à trois niveaux différents : (1) le phénotype, comme les caractères visibles (marqueurs morphologiques) ; (2) la séquence des protéines ou des composés secondaires, comme les terpènes et les flavonoïdes, (marqueurs biochimiques) ; et (3) la séquence des nucléotides de l'ADN - directement ou indirectement - (marqueurs moléculaires). Les marqueurs morphologiques correspondent, en général, à des traits qualitatifs notés visuellement, qu'ils soient dominants ou récessifs. Les marqueurs utilisés dans la première carte génétique (chez la drosophile, 1988) été des traits phénotypiques notés par observation visuelle des caractéristiques morphologiques des mouches. Chez les plantes, ces marqueurs ont été associés à des caractères morphologiques, notamment les gènes du nanisme, de l'albinisme et de la morphologie des feuilles et des fruits (Chawla, 2009). Les marqueurs biochimiques sont des protéines ou des composés secondaires produits par l'expression des gènes. Les monoterpènes ont été les premiers marqueurs biochimiques chez les arbres qui sont utilisés pour des études taxonomiques chez les pins. Le petit nombre de marqueurs monoterpènes et leur expression dominante ont limité leur utilité (White et al., 2007).

Les groupes de marqueurs biochimiques les plus fréquemment utilisés sont les isozymes (formes moléculaires multiples d'une enzyme présentant des propriétés catalytiques identiques), fréquemment appelés allozymes. Une paire d'isozymes peut différer par un seul acide aminé, ce qui entraîne souvent une différence dans leur charge électrique. Par conséquent, il est possible de les séparer après migration sur un gel avec une tension appliquée (Eriksson et al., 2006). Ces marqueurs sont généralement codominants, ce qui signifie que les différentes formes d'un marqueur doivent être détectables dans les organismes diploïdes pour permettre la discrimination des homo et hétérozygotes. Le polymorphisme des isozymes est plutôt faible au sein des espèces cultivées (Chawla, 2009).

Les marqueurs moléculaires correspondent à une séquence d'ADN qui est facilement détectée et dont l'héritage peut être facilement suivi (Chawla, 2009). Ces marqueurs sont

principalement des segments d'ADN qui peuvent être distingués par électrophorèse sur gel après amplification. L'ADN peut provenir du noyau de la cellule (ADN nucléaire), des mitochondries (ADNmt) ou des plastes (ADNc) (Eriksson et al., 2006). Les informations relatives aux séquences d'ADN sont transmises d'une génération à l'autre. Par conséquent, l'ADN est potentiellement la source d'information génétique la plus précise, par rapport aux marqueurs biochimiques (isozymes), qui sont des produits de l'expression des gènes, donc une méthode indirecte et peu sensible de détection des variations de l'ADN (Wang et Szmidt, 2001 ; Schlötterer, 2004).

Selon White et al. (2007), les caractéristiques suivantes sont souhaitables pour un marqueur d'ADN idéal : 1) être hautement polymorphe ; 2) présenter une co-dominance ; 3) présenter une fréquence allélique élevée dans le génome ; 4) avoir un comportement neutre (par rapport aux conditions environnementales ou aux pratiques de gestion) ; 5) les coûts doivent être raisonnables ; 6) les tests doivent être faciles et rapides à réaliser ; 7) les données doivent être reproductibles et 8) le marqueur doit permettre un échange facile de données entre laboratoires. Il est difficile de trouver un marqueur moléculaire qui réponde à tous ces critères. Selon le type d'étude à entreprendre, il est possible d'identifier un système de marqueurs qui remplit au moins quelques-uns des critères ci-dessus (Chawla, 2009).

Dans les paragraphes suivants, une description générale des marqueurs utilisés dans ce travail est donnée.

8.1. Marqueurs morphologiques

La première étape de la protection juridique d'une espèce nouvelle ou en voie d'extinction est de les identifier ou de les caractériser selon des critères dûment établis. Traditionnellement, les chercheurs ont utilisé des caractéristiques morphologiques pour l'enregistrement et le lancement de nouvelles variétés, étant considérés comme la « carte de présentation » d'une espèce, d'une nouvelle variété ou d'un cultivar (Rodrigues de Sà, 2010a).

L'analyse morphométrique est essentielle pour faire un premier " inventaire " afin d'identifier les caractères les plus discriminants et informatifs pour la description de la variabilité taxonomique et phénotypique des espèces (Louati et al., 2019).

Cependant, ce type de caractérisation est limité lorsqu'il est souhaitable de distinguer des génotypes de qualité supérieure, apparentés ou appartenant à la même espèce, et la distinction peut ne pas être adéquate et correcte par rapport aux cultures génétiquement apparentées (Smith et Smith, 1992 ; Pecchioni et al., 1996). Par exemple, Celikel et al. (2008), dans le but de sélectionner des génotypes d'*Arbutus unedo* ayant de qualité supérieure de fruits, ont procédé à la caractérisation morphologique des populations de la région de la mer noire centrale

(Turquie). Pour ce faire, ils ont évalué plusieurs paramètres morphologiques liés aux feuilles et fruits. Les résultats obtenus ont conduit ces auteurs à sélectionner cinq génotypes et ont constaté que ces cinq génotypes présentent une caractéristique commune de la bonne production de fruits. Ce résultat renforce l'idée que la caractérisation morphologique n'est pas suffisante pour évaluer et différencier les génotypes de la même espèce.

8.2. Marqueurs biochimiques

Pour dépasser la limite du nombre de caractères morphologiques, d'autres marqueurs ont été développés aussi bien au niveau protéique (phénotype) qu'au niveau ADN (génotype). Les marqueurs protéiques sont généralement appelés "marqueurs biochimiques" mais, de plus en plus, ils sont considérés à tort comme une classe commune sous la dénomination "marqueurs moléculaires". Les marqueurs protéiques (protéines de réserve des graines et isozymes) sont générés par électrophorèse, utilisant l'avantage des propriétés de migration des protéines et enzymes, et révélés par la coloration histochimique spécifique des enzymes qui sont analysées (Eriksson et al., 2006). Ces marqueurs, nécessitent un équipement relativement simple. Mais l'inconvénient que présentent ces marqueurs, sont généralement de nombre limité et soumissent à l'influence de l'environnement (Grivet et Noyer, 1999 ; Duminil, 2006). Malgré tout, les isozymes constituent un complément robuste à la simple analyse morphométrique de la variation (Grivet et Noyer, 1999). Les marqueurs biochimiques et moléculaires ont de nombreuses applications en génétique des plantes (Aitken et al., 2008; Lefèvre et al., 2014). Ils permettent d'observer, de façon plus ou moins fine, le polymorphisme de séquences de l'ADN d'un certain nombre de sites ou de loci répartis sur le génome. Plus précisément, les marqueurs biochimiques révèlent le polymorphisme des séquences de certaines protéines et donc, de façon indirecte, le polymorphisme des séquences d'ADN à partir desquelles elles sont traduites. Les marqueurs moléculaires révèlent directement le polymorphisme de l'ADN, les séquences ciblées correspondant ou non à des séquences codantes (Grivet et Noyer, 1999).

L'étude de la phytochimie fait l'objet d'intenses investigations pour aider à déterminer les constituants chimiques présents dans les plantes. Sur ce plan, de nombreuses études *in vitro* et *in vivo* à l'échelle internationale, ont rapporté que l'arbousier est une source importante de composés phytochimiques, dont les catéchines, les tanins, les anthocyanines, les polyphénols ainsi que de flavonoïdes ayant une puissante capacité antioxydante qui semble être responsable des activités antidiabétiques, anticancéreuses, antiagrégantes et antihypertensives (Bebek Markovinovic et al., 2022). Au maroc, Naceiri Mrabti et al. (2021) ont montré que les extraits des racines de l'arbousier marocain ont un contenu plus élevé en phénols et en flavonoïdes avec

des valeurs de 590,31 mg GAE/g d'extrait et 47,42 mg RE/g d'extrait, respectivement. Elles présentent aussi une activité antioxydante plus puissante avec des doses de concentration inhibitrice (IC50) et de concentration efficace (EC50) de 0,02 mg/mL et 0,15 mg/mL respectivement. En outre, d'autres chercheurs, ont signalé que les feuilles et les fruits de l'arbousier contiennent un nombre plus important de composés phytochimiques ayant des propriétés bénéfiques pour la santé (El Haouari et al., 2021).

8.3. Marqueurs moléculaires

Durant ces dernières années, la caractérisation moléculaire a remplacé et complété la caractérisation morphologique des espèces. La caractérisation moléculaire se fait à l'aide de marqueurs d'ADN. Ceux-ci permettent d'évaluer la diversité génétique et la relation phylogénétique entre différentes espèces, espèces génétiquement proches ou des individus appartenant à la même espèce (Martins-Lopes et al., 2008). Le principal avantage des marqueurs d'ADN est de permettre l'accès direct au génome d'un individu, sans qu'il soit nécessaire de limiter les caractéristiques morphologiques et l'effet que l'environnement exerce sur eux. L'analyse de l'ADN permet également d'identifier les mutations qui se produisent dans les régions non codées des gènes, ce qui n'est pas le cas avec l'analyse morphologique et on parle de l'épigénétique.

Le fait qu'il existe un nombre presque illimité de marqueurs d'ADN disponibles et parce qu'il permet de prouver la variabilité génétique dans plusieurs espèces végétales, leur utilisation dans la caractérisation des individus augmente. La technique ISSR représente l'une des classes les plus récentes de marqueurs moléculaires et a été développée à partir du besoin d'étudier les répétitions microsatellites sans l'utilisation du séquençage de l'ADN (Zietkiewicz et al., 1994). Cette technique est basée sur l'amplification thermo-cyclique des fragments d'ADN présents entre deux microsatellites, en utilisant des séquences simples répétées comme amorces. Théoriquement, il est considéré comme supérieur au marqueur RAPD en termes de reproductibilité et de polymorphisme (Qian et al., 2001 ; Reddy et al., 2002 ; Boronnikoval et al., 2007 ; Han et Wang, 2010). C'est une technique simple, rapide et efficace. D'ailleurs, ils ont été utilisés pour estimer la diversité génétique inter et intra-spécifique dans une grande variété d'espèces (Bornet et Branchard, 2001). En raison de leur abondance et de leur dispersion dans le génome, les ISSRs sont également utilisés pour étudier les relations entre deux populations étroitement liées (Huang et Sun, 2000 ; Reddy et al., 2002).

En effet, plusieurs études ont été effectuées en vue d'analyser le polymorphisme génétique de l'arbousier par des marqueurs moléculaires différents, notamment en Tunisie par

la RAPD et les isoenzymes (Takrouni et Boussaid, 2010 ; Takrouni et al., 2012), et en Portugal par la RAPD (Rodrigues de Sà, 2010a ; Rodrigues de Sà et al., 2011 ; Gomes et al., 2012 ; Lopes et al., 2012), les ISSRs (Rodrigues de Sà, 2010a ; Rodrigues de Sà et al., 2011), les SNPs (Fazenda et Jesus, 2013) et les SSRs (Gomes et al., 2012 ; Fazenda et al., 2019). Les résultats de ces recherches, ont montré une variation génétique élevée, ce qui suggère que l'arbousier constitue un germoplasme précieux pour les travaux de sélection et d'amélioration. Au Maroc, pour autant que nous le sachions, cette étude est la première qui aborde la diversité génétique d'*Arbutus unedo* L. en utilisant les marqueurs moléculaires ISSRs.

8.4. Intérêt de l'étude de la diversité génétique

Les ressources phytogénétiques sont une partie essentielle de la biodiversité et sont responsables du développement durable de l'agriculture et de l'agro-industrie. Au cours des dernières années, de nombreux facteurs ont provoqué le déclin de plusieurs espèces végétales, que ce soit en raison du feu, de la déforestation pour obtenir du bois, ou simplement pour remplacer ces espèces par d'autres ayant de valeur socio-économique considérable. Cette perte de variabilité génétique, autrement dit de l'érosion génétique, entraîne de sérieux problèmes environnementaux et économiques, ce qui entrave le développement d'un écosystème et d'une agriculture durables. La conservation de ces ressources végétales et l'étude des gènes qu'ils contiennent sont donc des stratégies fondamentales pour le maintien de la biodiversité. Il existe deux stratégies de conservation, ex situ et in situ, définies dans la convention sur la diversité biologique signé à Rio au profit du sommet de la terre (1992). En ex situ, la conservation d'une certaine ressource génétique est faite en dehors de son habitat naturel. In situ, on entend la conservation des écosystèmes et des habitats naturels, ainsi que le maintien et le rétablissement de populations viables d'espèces dans leur milieu naturel et dans le cas d'espèces cultivées ou domestiquées dans l'environnement où elles ont développé leurs caractéristiques distinctives (Rodrigues de Sà, 2010a). Dans les deux stratégies, il est nécessaire de localiser et de caractériser le matériel morphologique, moléculaire, biologique et biochimique des plantes existant dans les populations sauvages naturelles.

La connaissance et la compréhension de la variation génétique et de la structure entre les populations et les individus sont des données essentielles pour la définition des stratégies de conservation et de gestion durable (Sun et al., 1998). Ce n'est qu'avec le matériel végétal bien caractérisé et conservé que nous pouvons lutter contre les menaces nombreuses et variées pour la productivité agricole et même pour l'extinction de l'espèce et de maintenir une exploitation durable des ressources phytogénétiques.

CHAPITRE II :
PROSPECTION BIOGEOGRAPHIQUE ET
ANALYSE DES USAGES ETHNOBOTANIQUES
DE L'ARBOUSIER AU MAROC

Introduction

La détermination des limites de la répartition biogéographique d'une espèce et de son potentiel ethnobotanique est considérée comme une étape primordiale avant toute étude de sa caractérisation, voire sa valorisation et sa conservation (Aabdousse et al., 2020 ; 2021). En effet, l'identification des frontières et des conditions écologiques peuvent aider à l'instauration des stratégies et des programmes consistants de sa conservation. En fait, la répartition biogéographique de la végétation dans le globe terrestre est sans doute corrélée à l'écologie ; en particulier au climat et ses caractéristiques (Morecroft et Keith, 2016 ; Abdousse et al., 2021). D'autre part, l'étude ethnobotanique d'une espèce prend en considération la plante à la fois dans son environnement écologique et dans son contexte socio-culturel (Valadeau, 2010 ; Veilleux et King, 1996).

En raison de son climat et sa géologie, le Maroc peut être considérée comme une importante zone d'intérêt biogéographique et écologique remarquable (Mokhtari et al., 2013 ; Aafi et al., 2002). Il est caractérisé par une grande diversité phytogénétique chez les plantes aromatiques et médicinales (PAM) (Aafi et al., 2002). Par conséquent, le Maroc possède un savoir-faire très ancien basé sur des principes de vie rurale ou pastorale en relation avec les ressources végétales du milieu environnant (Aafi et al., 2002, Bellakhdar, 1997 ; Hmamouchi, 2012). Parmi ces ressources, on compte l'arbousier (*Arbutus unedo*) (Bellakhdar, 1997 ; Meziane, 2003). Au Maroc, l'arbousier reste peu étudié et connue de point de vue usages nutritionnel et thérapeutique en médecine (Sijelmassi, 1993 ; Ziyat et Boussairi, 1998) et sa valorisation reste très limitée et non diversifiée en comparaison avec ses nombreuses utilisations dans les autres pays de la méditerranée. Or, sur le plan d'action, aucun programme de valorisation et de gestion durable de l'arbousier au Maroc, est mis en vigueur pour répondre aux services sociaux, économiques et écologiques.

Ainsi, une étape préalable est nécessaire à cette démarche de développement durable consiste à définir une vision précise des potentialités d'usages et d'état de distribution de l'espèce au Maroc. Dans ce contexte ; le présent chapitre a pour objectif de décrire la distribution biogéographique des populations naturelles, et de compiler les données disponibles sur les usages ethnobotaniques d'arbousier au Maroc en comparaison avec les autres études à l'échelle internationale. Cette base de données sera utile pour l'enrichissement des plans d'action de valorisation et de gestion de cette espèce que ce soit à l'échelle nationale ou internationale, d'une génération à l'autre.

1. Matériel et méthodes

1.1. Prospection de l'aire de répartition biogéographique de l'arbousier

Afin de décrire le statut de la distribution biogéographique et l'état de conservation des populations (ex : dense ou clair, naturel ou planté, etc.) d'arbousier au Maroc, des missions de prospection ont été organisées durant deux campagnes en 2016 et 2017. Pour ce faire, nous avons initié par la collecte des informations sur les données de répartition biogéographique à partir des recherches documentaires (Aafi et al., 2002) et l'utilisation des archives existantes aux niveaux local, régional et national (Documents de gestion forestière au Maroc). En pratique, une approche consultative informelle basée sur des entretiens avec les services compétents a été adoptée pour la localisation des sites naturels de l'arbousier (cas des services des Eaux et Forêts et de la population locale dont les pasteurs et les agriculteurs). Cependant, nous avons organisé plusieurs sorties en parcourant largement l'aire de répartition de l'arbousier au Maroc. Une fois les sites et les populations de cette espèce sont localisés après l'étape de prospection, la récolte a été réalisée pendant la saison de fructification durant les années 2016 et 2017 suite à plusieurs sorties destinées par région. Un questionnaire est préparé pour la collecte des informations sur l'écologie, l'état de répartition des individus et de dégradation, et la nomination de la forêt et l'appartenance administrative (Annexe 1). Dix-sept populations situées dans des régions géographiquement différentes ont été échantillonnées à raison de huit à vingt individus par population (Tableau 3).

1.2. Collete des données sur les usages ethnobotaniques de l'arbousier

Pour l'analyse des usages ethnobotaniques à l'échelle nationale vs l'internationale, nous avons élaboré une fiche questionnaire informative de manière à collecter le maximum d'informations sur les usages thérapeutiques de l'arbousier (Annexe 1). Cette fiche est basée sur des questions fermées et semi-fermées pour le recueil de données (Salhi et al., 2010 ; Hachi, 2015). Lors de l'enquête, nous avons réalisé des entretiens avec la population locale des régions visitées sur le nom vernaculaire, les parties utilisées (feuilles, fruits, racines, écorce), le mode de préparation et les usages thérapeutiques pratiqués. Nous avons interrogé un nombre de personnes allant de 5 à 15 selon les régions.

En plus des entretiens sur le terrain avec la population locale, nous avons recueilli autant d'informations que possible (Tableau 5) sur la base d'un ensemble d'études ethnobotaniques antérieures (Kahouadji, 1995 ; Bellakhder, 1997 ; Lahsissene et al., 2009 ; Bachar et al., 2016 ; Rhattas et al., 2016; Orch et al., 2017).

Tableau 3 : Caractéristiques administratives des sites prospectés de l'arbousier au Maroc.

| Populations | Régions administratives | Provinces | Cercles | Caïdats | Communes |
|--------------------|--|------------------|-------------------|----------------|------------------------|
| 1 | Tanger- Tétouan- AL Hoceima | Ouazzane | Mokrisset | Zoumi | Zoumi |
| 3 | | Ouazzane | Mokrisset | Brikcha | Brikcha |
| 2 | | Laarache | Oued El Makhazine | Khmiss Sahel | Sahel |
| 4 | | Chefchaouen | Bab Taza | Tanaqoub | Dardara |
| 5 | | Chefchaouen | Bab Taza | Béni Ahmed | Bab Taza |
| 14 | | Al Hoceima | Ketama | Ikaouen | Abd Elghaya Souahel |
| 6 | Béni Mellal- Khénifra | Béni Mellal | El Ksiba | Aït Ourra | Taghbalout Nouhlima |
| 8 | | Azilal | Ouaouizeght | Ouaouizeght | Bin El Ouidane |
| 17 | | Khénifra | Khénifra | Khénifra | Oum Errabia |
| 7 | Rabat-Salé- Kénitra | Khémisset | Ouelmès | Ouelmès | Ouelmès |
| 9 | Marrakech- Safé | Al Haouz | Aït Ourir | Ghmate | Ghmate |
| 10 | | Al Haouz | Touama | Tazart | Tazart |
| 11 | Fès-Meknès | Taounate | Ghafsai | Ourtzag | Ghafsai |
| 12 | | Taounate | Taounate | Bouhouda | Zrizer |
| 13 | | Taounate | Taounate | Bouhouda | Khlalfa |
| 15 | | Taounate | Taounate | Bni Oulid | Bouadel |
| 16 | Casablanca- Settat | Benslimane | Aïn Tizgha | Ziaïda | Aïn Tizgha |

2. Résultats et Discussion

2.1. Aire de répartition biogéographique des populations naturelles de l'arbousier

La prospection effectuée durant la période de 2016 et 2017, et la collecte d'informations à partir de la recherche documentaire et le recours aux archives existants à l'échelle locale, régionale et nationale au Maroc, nous a permis de déterminer l'aire de distribution des populations naturelles plus au moins dense de l'arbousier. Il pousse spontanément dans les garrigues des zones forestières et pré-forestières appartenant aux formations végétales à chêne vert, chêne-liège et des maquis élevés et denses de l'étage méso-méditerranéen du Rif Occidental, Plateau Central, et du Moyen et Haut-Atlas (Aafi et al., 2002). A la lumière de ces données, nous avons prospecté le statut de distribution naturelle de l'arbousier dans différentes régions biogéographiques (Nord-Ouest, Plateau Central, Pré-Rif, Rif Central et Rif Occidental, Haut et Moyen Atlas). Ainsi, 17 zones ont été répertoriées avec des surfaces de population naturelle d'arbousier plus ou moins dense selon le gradient bioclimatique (Tableau 4, Figure 5). Les populations les plus denses en arbousier se trouvent dans les régions Nord-Ouest (cas d'Ouezzane), Pré-Rif (cas de Taounate) et Rif Occidental (cas de Chefchaouen), où le climat est de type subhumide à humide (Tableau 4).

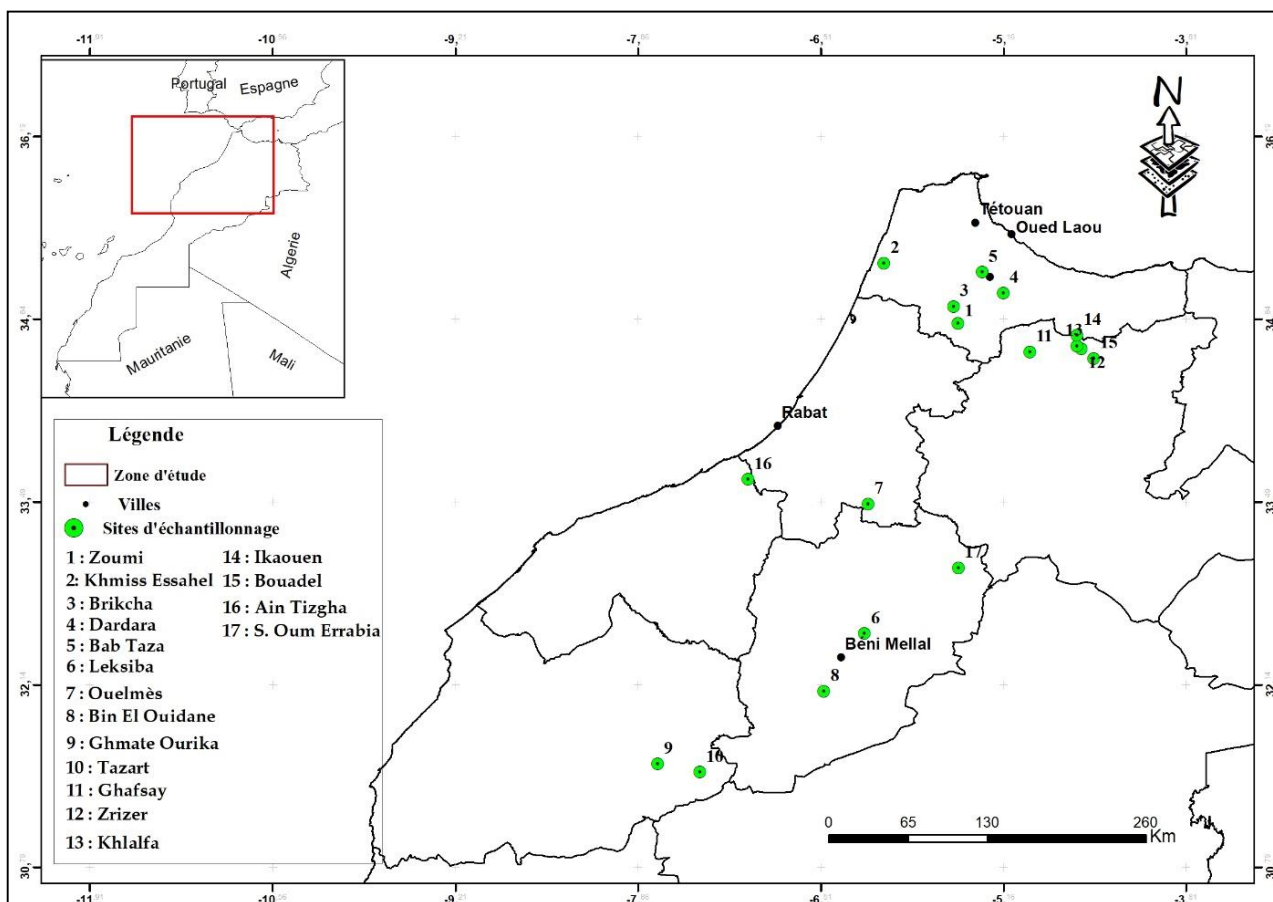


Figure 5 : Répartition géographique des populations naturelles prospectées d'*Arbutus unedo* au Maroc.

Toutefois l'état de l'arbousier dans certaines zones du Nord-Ouest (Laarache) et du Rif Occidental et Central (cas de Bab Taza et de Ketama) est menacé par les feux de forêt et l'action anthropique en faveur de la création des terres agricoles vue la bonne qualité du climat et du sol. Les zones du Moyen Atlas (cas d'El Ksiba (Béni-Mellal)) et du Plateau Central (cas d'Ouelmès (Khémisset)), où le climat est de type subhumide et humide, sont caractérisés par des populations naturelles moyennement denses (Tableau 4). Les étages bioclimatiques du semi-aride liés aux zones du Haut Atlas (Azilal et Al Haouz) présentent des populations moins denses en arbousier (Tableau 4). Mais il peut parfois se trouver à l'état sporadique des individus de l'arbousier dans la limite supérieure de la végétation forestière comme le cas des régions du plateau de Souss (Communication personnelle avec un écologue de la Faculté des Sciences d'Agadir (Souss)). Il est à noter que l'ensemble des régions géographiques de répartition de l'arbousier sont caractérisées par des températures moyennes annuelles et précipitations respectivement, entre 12,4 °C et 18,4 °C et entre 337 mm/an et 1115 mm/an. Sa tranche altitudinale se situe entre 150 m (Laarache) et 1613 m (Khénifra) (Tableau 4). L'arbousier est répandu sur tous les types de substrats mais le plus souvent siliceux et calcaire (Aafi et al., 2002). Cette espèce préfère les sols frais et bien drainés, et indique lorsqu'elle est en peuplement la caractéristique des stations de bonne fertilité (Aafi et al., 2002).

Les relevés de la végétation effectués pendant la prospection, ont mis en évidence une diversité en matière d'essences qui participent à l'individualisation des écosystèmes forestiers et pré-forestiers dans lesquels se trouve l'arbousier. En effet, ces essences sont : le chêne vert (*Quercus ilex.*), le chêne liège (*Quercus suber L.*), le chêne tauzin (*Quercus pyrenaica*), le pin d'Alep (*Pinus halepensis*), le thuya (*Tetraclinis articulata*), le genévrier oxycèdre (*Juniperus oxycedrus*), le genévrier rouge (*Juniperus phoenicea*), auxquelles s'associent selon les conditions écologiques, d'autres essences telles que le lentisque (*Pistacia lentiscus L.*), le ciste (*Cistus monspeliensis*, *Cistus villosus*, *Cistus ladaniferus*), le myrte (*Myrtus communis*), l'aubépine (*Crataegus sp.*), le caroubier (*Ceratonia siliqua*), l'olèastre (*Olea oleaster*), le palmier nain (*Chamaerops humilis*), l'eucalyptus (*Eucalyptus globulus*), le daphné garou (*Daphne gnidium*), le scille maritime (*Urginia maritima*), la lavande stécha (*Lavandula stoechas*), l'asphodèle (*Asphodelus albus*), le laurier rose (*Nerium oleander*), le laurier noble (*Laurus nobilis*), l'asperge (*Asparagus officinalis*), et le globulaire alypum (*Globularia alypum*).

De par sa plasticité écologique et phyto-association, sa résistance aux mutilations et son grand dynamisme, l'arbousier est très présent dans les usages quotidiens des forestiers, des exploitants et des populations rurales.

Tableau 4 : Les caractéristiques biogéographiques des populations naturelles de l'arbousier prospecté et collecté au Maroc.

| Populations | Région Géographique | Latitude Nord | Longitude Ouest | Altitude (m) | T (°C) | Pr (mm) | Etage bioclimatique | Densité de population |
|-------------|---------------------|---------------|-----------------|--------------|--------|---------|---------------------|-----------------------|
| 1 | Nord-Ouest | 34°48' | 5°29' | 422 | 17,9 | 889 | Subhumide | Densité forte |
| 2 | Nord-Ouest | 35°15' | 6°21' | 150 | 17,9 | 700 | Subhumide | Densité forte |
| 3 | Nord-Ouest | 34°55' | 5°31' | 200 | 18,4 | 883 | Subhumide | Densité forte |
| 4 | Rif Occidental | 35°01' | 5°09' | 450 | 17,6 | 835 | Subhumide | Densité moyenne |
| 5 | Rif Occidental | 35°11' | 5°19' | 745 | 15,3 | 1135 | Humide | Densité forte |
| 14 | Rif Central | 34°43' | 4°37' | 654 | 12,4 | 831 | Subhumide | Densité forte |
| 11 | Pré-Rif | 34°35' | 4°57' | 450 | 18,4 | 735 | Subhumide | Densité forte |
| 12 | Pré-Rif | 34°37' | 4°35' | 645 | 18,2 | 613 | Subhumide | Densité forte |
| 13 | Pré-Rif | 34°38' | 4°36' | 709 | 16,0 | 662 | Subhumide | Densité forte |
| 15 | Pré-Rif | 34°32' | 4°29' | 709 | 16,6 | 612 | Subhumide | Densité forte |
| 6 | Moyen Atlas | 32°31' | 6° 11' | 1338 | 16,4 | 718 | Subhumide | Densité moyenne |
| 17 | Moyen Atlas | 33°01' | 5°29' | 1613 | 13,2 | 702 | Subhumide | Densité moyenne |
| 7 | Plateau Central | 33°28' | 6°09' | 983 | 13,6 | 756 | Subhumide | Densité moyenne |
| 16 | Plateau Central | 33°39' | 7°21' | 275 | 17,4 | 463 | Semi-aride | Densité moyenne |
| 8 | Haut Atlas | 32°05' | 6°29' | 1313 | 17,6 | 490 | Semi-aride | Densité moyenne |
| 9 | Haut Atlas | 31°33' | 7°42' | 967 | 17,7 | 337 | Semi-aride | Densité moyenne |
| 10 | Haut Atlas | 31°39' | 7°24' | 867 | 18,0 | 360 | Semi-aride | Densité moyenne |

2.2. Usage ethnobotanique d'arbousier au Maroc

Depuis la nuit des temps, l'Homme s'est employé à exploiter la nature pour ses besoins médicaux et alimentaires, et au cours du développement des anciennes civilisations l'exploitation des plantes à usage médicinale s'est développée grâce à leur savoir et à leurs

expérimentations effectuées dans ce domaine (Lahsissene et al., 2009 ; Rhattas et al., 2016). Ainsi, divers travaux ont été publiés depuis les dernières décennies et qui ont permis d'avoir des renseignements sur les noms vernaculaires, les types de maladies traités, la partie utilisée et le mode de préparation de l'arbousier (Tableau 5).

Tableau 5 : Liste synthétique des usages traditionnels de l'arbousier dans les différentes régions du Maroc.

| Parties utilisées de la plante | Régions | Nom vernaculaire | Mode de préparation | Voie d'administration | Action thérapeutique | Références |
|--------------------------------|--|-------------------------------|---------------------|-----------------------|--|---|
| Racine | Parc Naturel Régional de Bouhachem (Rif du Maroc) ; Province de Taza (Nord du Maroc) | Bakhenou, El Matroun ; Sasnou | Décoction /Poudre | Orale | Traitement de l'asthme et de l'estomac | (Bachar et al., 2016 ; Khabbach et al., 2012) |
| | Région d'Oujda | Sasnou | Décoction | Orale | Utilisé dans les affections des voies respiratoires, comme anti-inflammatoire et hyperglycémiant | (Bézanger-beauquesne et al.,1990; Meziane, 2003 ; Ziyat et al., 2002) |
| | Parc National de Talassemtane (Rif Occidental du Maroc) | Arbousier | Décoction / Cru | Orale | Utilisé contre l'hypertension, comme anti-inflammatoire, et contre les rhumatismes | (Rhattas et al., 2016) |
| | Région de Zerhoun | Sasnou, Bakhnou | Décoction /Infusion | Orale | Traitement de l'Ostéo-articulaire, du métabolique, et du tube digestif | (Slimani et al., 2016) |
| | Région d'Izarène (Nord du Maroc) | Sasnou | Décoction | Orale | Traitement de l'hypertension artérielle et du diabète | (Abdalla et al., 1994 ; Orch et al., 2015) |

| | | | | | | |
|----------|--|--------------------------|----------------|-------|--|--|
| | Forêt de l'Achach (Plateau Central du Maroc) | Lenj, Bakhenû, Arbousier | Décoction | Orale | Utilisé contre l'hypertension et les maux du foie | Bammi et Douira, 2002 ; Kahouadji ,1995) |
| Feuilles | Région d'Izarène (Nord du Maroc) | Sasnou | Décoction | Orale | Traitement de l'hypertension artérielle et du diabète | (Orch et al., 2015) |
| | Région de Zaër (Maroc Occidental) | Sasnou, Arbousier | Décoction | Orale | Utilisé contre les calculs urinaires | (Lahsissene et al., 2009) |
| | Région d'Oujda | Sasnou | Décoction | Orale | Effet diurétique, antiseptique urinaire | (Aarons et al., 1977 ; Abadome, 1998 ; Meziane, 2003) |
| | SIBE de kharrouba (Plateau Central du Maroc) | Sasnou | Décoction | Orale | Anti-inflammatoire, antispasmodique et anti-blennorragique Effet dépurative, antiseptique, astringente, anti-inflammatoire, et diurétique | (Dallahi, 2017 ; Sijelmassi, 1993) |
| Ecorce | (Rif occidental du Maroc) | Arbousier | Décoction /Cru | Orale | Effet diurétique | (Rhattas et al., 2016) |
| | Région de Zaër | Sasnou | Décoction | Orale | Préconisé contre les douleurs gastriques | (Lahsissene et al., 2009) |
| | Région d'Oujda | Sasnou | Décoction | Orale | Effet diurétique et hypertensive | (Agoumi, 1983 ; Aït Igri et al., 1990 ; Meziane, 2003) |
| | Plateau Central du Maroc | Sasnou | Décoction | Orale | Effet dépurative, antiseptique, astringente, anti-inflammatoire, et diurétique | (Dallahi, 2017 ; Sijelmassi, 1993) |

| | | | | | | |
|------------------------------|--|---|-------|--|---|---|
| Fruit | (Rif Occidental du Maroc) | Sasnou | Brut | | Confection de confitures et de pâtisseries | (Orch et al., 2017 ; Rhattas et al., 2016) |
| | Rabat, Zaërs, Chaouiâ ; Région d'Essaouira | Lenj, Bakhenû; Azoubar | Cru | Orale | Traitement des maladies digestives | Bammi et Douira, 2002 ; Mehdioui et al., 2007) |
| | Jbala, Talambot et Ghomara | Metrûn, Unnis (pour le fruit), Qâtil abihi, Bojj, Jînâ, Qatlab, Asir Ddob | Cru | Orale | La prise de quelques fruits arrête la diarrhée, par contre en excès, il serait purgatif | (Bellakhder, 1997) |
| | Région d'Oujda; (Rif Occidental du Maroc) | Sasnou | Cru | Orale | Effet dépuratif et anti-diarrhéique | (Akhmisse , 1991 ; Meziane, 2003 ; Orchard et al., 2017 ; |
| Moulay Abdessalam Ben Mchich | Sasnu, Boukhanou | Cru | Orale | Production du miel d'arbousier de « Jbal Moulay Abdessalam » à partir des fruits | Rhattas et al., 2016) (MAPM, 2014) | |

Les résultats des études ethnobotaniques antécédentes appliquées sur l'arbousier montrent que les feuilles sont les parties végétales les plus utilisées, suivies par la partie souterraine et les fruits (Tableau 5). Le reste des parties végétales (fleurs, tiges, graines, et écorce) sont moins utilisées. La prédominance d'utilisation d'un organe par rapport à un autre dans le domaine de la phytothérapie émane de la variation dans la concentration en principes actifs dans cet organe (Chaachouay, 2020). La préférence de feuille était due à sa disponibilité facile, la récolte facile et la simplicité dans la préparation des remèdes. De plus, les feuilles sont connues comme le siège des réactions photochimiques qui favorisent la biosynthèse et parfois le stockage des métabolites secondaires et donc, la concentration en principes actifs dans cet organe (Bahassan et al., 2014 ; Bammoui et al., 2015). Afin de faciliter l'administration des principes actifs de chaque partie de la plante, plusieurs modes de préparation sont employés à savoir la décoction, l'infusion, la poudre, la fumigation, le cataplasme et la macération. Au Maroc, le mode de préparation des feuilles et/ ou les racines de l'arbousier, sous forme de poudre ou cru, est la décoction qui est administrée essentiellement par voie orale (Tableau 5). L'utilisation fréquente du décocté peut être expliquée par l'extraction d'une dose non concentrée des principes actifs tout en atténuant l'effet toxique de certains composés.

Et selon chaque organe le décocté de la plante d'arbousier est utilisé dans nombreuses actions thérapeutiques (Tableau 5) :

- **Feuilles** : Les feuilles de l'arbousier ont été souvent utilisées pour abaisser la tension artérielle, et pour se protéger contre les rhumes, les diabètes et autres maladies respiratoires (Meziane, 2003 ; Orch et al., 2015). D'autres études (Sijelmassi, 1993 ; Lahsissene et al., 2009 ; Rhattas et al., 2016 ; Dallahi, 2017) ont démontré que les feuilles de l'arbousier ont des propriétés astringentes, diurétiques, antispasmodiques, anti-inflammatoires, anti-blennorragiques, antiseptiques rénaux.
- **Fruit** : la consommation des fruits de l'arbousier est saisonnière, et répondue dans la région du Rif Occidental chez la population de « Jbalas » (Tableau 5). La commercialisation saisonnière des fruits reste locale et liée à son aire de distribution naturelle. Ils sont apportés par les campagnards sur les marchés des villes ou vendus au bord des routes, dans des petits paniers en doum ou en roseau. La valorisation des fruits est encore timide et limitée à l'apiculture pour la production du miel d'arbousier du Jbal Moulay Abdessalam (région de Chefchaouen (Tableau 5)), ou à l'utilisation pour la confection des confitures et de pâtisseries par une coopérative de « Talassemtane » localisée au Rif Occidental du Maroc (Rhattas et al., 2016). Concernant l'effet thérapeutique des fruits de l'arbousier, la population de « Jbalas » considère que la prise de quelques fruits en infusion pour traiter les maladies digestives et la diarrhée. Par contre la prise en excès de l'infusion des fruits à jeûne entraîne un effet purgatif ou d'ivresse. Les perspectives proposent la valorisation des modes d'utilisation des fruits de cette espèce comme compléments alimentaires.
- **Racine** : elle intervient dans le traitement des diabètes, maladies digestives, maladies respiratoires, maladies rhumatismales, et aussi elle a une action anti-inflammatoire et ostéo-articulaire (Orch et al., 2015 ; Rhattas et al., 2016 ; Slimani et al., 2016).
- **Ecorce** : elle est réputée astringente, diurétique, hypertensive, anti-diarrhéique et traite les douleurs gastriques (Lahsissene et al., 2009 ; Rhattas et al., 2016).

A l'échelle internationale, la distillation du fruit d'arbousier et leur commercialisation remonte depuis 1815 en Corse au niveau de la région de Bastia. En Italie, une liqueur d'arboise est commercialisée par de petites entreprises (Bizouard et Favier, 1992 ; Favier et al., 1993). Au fil du temps, la valorisation de l'utilisation des fruits est de plus en plus progressive pour la production des boissons alcoolisées en raison de sa forte teneur en sucre fermentescible. Au Portugal, l'activité la plus importante associée au fruit de cette espèce est la production des liqueurs de vin et des eaux de vie « Medronho » (Correia et al., 2002). Le vin du fruit d'arboise

contient de 40 à 60 % d'alcool (Özcan et Haciseferogullari, 2007 ; Doukani et Tabak, 2015). En raison de sa richesse en pectine, l'arbose est aussi utilisé dans la production de gelées, confitures, marmelades, des yaourts et autres desserts traditionnels (Alarcao-E-Silva et al., 2001 ; Tardio, 2002 ; Pawlowska et al., 2006 ; Pallauf et al., 2008 ; Simonetti et al., 2008). Aussi, Il est également incorporé dans les produits céréaliers et les produits à base de viande en raison des glucides cumulés durant les stades immature et mature du fruit (Alarcao-E-Silva et al., 2001). Sa teneur en sucre est d'environ 0,47 g/g de base sèche dans le sacharose ($87,7 \pm 0,6$ g par Kg de fruits secs) et le fructose (208 ± 2 g par Kg de fruits secs). Le fruit sec est utilisé pour faire du thé, des saveurs et couleurs dans l'industrie (Demirosy et al., 2007). Dans la dernière décennie, plusieurs produits alimentaires sont transformés et commercialisés sous forme de poudre mais les études scientifiques à ce sujet pour le fruit d'arbousier restent insuffisantes malgré leur importance dans le domaine de l'ingénierie (Murietta-Pazos et al., 2012). Les études sur les propriétés des comprimés des fruits entiers sont très limitées. Une étude italienne montre toutefois que le miel amer de Sardaigne, qui contient une forte proportion de nectar d'arbousier, présenterait d'importantes propriétés antibactériennes et antivirales (Floris et Prota, 1989). Par ailleurs, le fruit d'arbousier peut donc considérer comme étant un complément alimentaire puisqu'il est riche en nutriments tels que les éléments minéraux (cas du calcium, phosphore et potassium) et les vitamines (cas du vitamine C) (Ziyyat et Boussairi, 1998 ; Devla et al., 2011). Aussi, le fruit de l'arbousier est une bonne source d'antioxydants (Tawaha et al., 2007) incluant les caroténoïdes, les anthocyanes et l'acide éllagique. Les proanthocyanides représentent plus de 80 % des flavonoides totaux du fruit (Ayaz et al., 2000 ; Alarcao-E-Silva et al., 2001 ; Tawaha et al., 2007). Sur ce plan, Rodrigues de Sà et al., (2010b) ont rapporté que le potentiel antioxydant élevé des arbouses est attribué à l'activité de divers composants bioactifs dont la vitamine C. A cet égard, le pouvoir antioxydant de ces baies été pour être l'un des plus élevés parmi des fruits étudiés par Allane et Benamara (2010).

L'arbousier est classé parmi les plantes médicinales (Bammi et Douira, 2002 ; Rahman, 2007). Plusieurs vertus thérapeutiques attribuées à ses fruits ce qui explique son utilisation ancienne dans la médecine traditionnelle et populaire (Mariotto et al., 2008). A savoir les : troubles gastro-intestinaux (Cornara et al., 2009), problèmes dermatologiques comme antiseptiques (Pallauf et al., 2008), application cardio-vasculaire (Leonti et al, 2009), problèmes urologiques (El Hilaly et al., 2003), activité antimicrobienne (Kivçak et al., 2001). Heinrich et al. (2005), a étudié les extraits de cette espèce fruitière sur différents paramètres tels que les tests d'inhibition enzymatique et d'inhibition de l'activation cellulaire induite par des

cytokines. Ceci prouve la capacité de ces fruits à inhiber la synthèse de l'ADN et la prolifération cellulaire. Utilisé en faible concentration, le fruit d'arbousier n'engendre aucun effet indésirable, le fruit pourrait même exercer un effet bénéfique. L'arbose est donc comestible, à condition d'en ingérer des quantités raisonnables. Par contre, pour les sujets atteints de lithiase oxalique, l'arbose, avec sa grande quantité d'oxalate de calcium, ou d'acide oxalique, devrait être éventuellement déconseillée (Bizouard et Favier, 1992).

La floraison semble intéressante pour les apiculteurs et n'a pas le défaut de certaines Ericaceae dont les fleurs font produire aux abeilles un miel toxique comme il a été signalé par Bizouard et Favier (1992) et Favier et al. (1993). Mais il faut reconnaître qu'elle favorise chez les abeilles la sécrétion de cire plutôt que de miel. Quoiqu'il en soit, les fleurs de l'arbousier produisent un abondant nectar dont le principal intérêt est de constituer une source de nourriture précoce pour les abeilles, qui l'utilisent entre autres pour le démarrage du couvain.

Les feuilles sont astringentes et antiseptiques. Ces propriétés, elles les doivent à la présence de tannin, d'acide gallique et de certains glucosides (cas de l'arbutoside) (Bizouard et Favier, 1992 ; Favier et al., 1993).

Le bois de l'arbousier est relativement facile à travailler, et la souche permettrait de fabriquer des pipes appréciées par les connaisseurs. La carbonisation fournit un excellent charbon de bois en Grèce, (Bizouard et Favier, 1992 ; Favier et al., 1993). L'écorce est encore utilisée pour le tannage des cuirs (Bizouard et Favier 1992 ; Favier et al., 1993).

Conclusion

La prospection de l'aire de distribution naturelle de l'arbousier au Maroc a montré que l'espèce est localisée dans différentes régions biogéographiques. Elle prospère dans des bioclimats semi-aride, subhumide et humide, à variantes chaude à fraîche, au niveau des étages de végétation thermo-méditerranéen et méso-méditerranéen sur des types de sols variés. Il est associé principalement au chêne vert et parfois au pin d'Alep et au thuya.

La revue analytique des références publiées ou non publiées concernant le potentiel d'usage ethnobotanique et économique de l'arbousier au Maroc et à l'échelle internationale a permis de compiler et de mettre à jour les données déjà disponibles. Ceci pour diffuser et préserver les connaissances ethnobotaniques et les traditions culturelles marocaines, la valorisation économique et de marketing des produits d'arbousier à l'échelle nationale et internationale, et la réduction de la pauvreté par les affirmations « gagnant-gagnant ». Ainsi, l'analyse bibliographique à l'échelle internationale montre que les différentes parties

biologiques, en particulier, le fruit de l'arbousier a été largement utilisé par les herboristes. La littérature connexe est généralement en ligne avec l'utilisation médicinale de la plante par les habitants marocains particulièrement pour le traitement des diabètes, maladies digestives, maladies respiratoires, maladies rhumatismales, anti-inflammatoires, ostéo-articulaires, hypertensives, et des maladies diarrhéiques. Par contre la consommation et la valorisation industrielle du fruit de l'arbousier restent très limitées au Maroc en comparaison avec celles à l'échelle internationale. Il est impératif de sensibiliser la population locale et les zones enclavées sur le savoir-faire de la valorisation du fruit de cette espèce, et de développer la commercialisation, la conservation et la transformation des fruits et des sous-produits, et la production de nouveaux médicaments et produits de bien-être.

CHAPITRE III: ETUDE DE LA DIVERSITE
GENETIQUE DE L'ARBOUSIER

**Volet 1: variabilité morphologique des populations
naturelles d'*Arbutus unedo* L. au Maroc.**

Introduction

L'étude de la diversité morphologique des plantes a récemment gagné une importance en étude systématique et botanique (Wahid et al., 2018 ; Aabdousse et al., 2021). Les études morphologiques multivariées sont considérées comme efficaces pour résoudre l'incertitude taxonomique (Cook et Ladiges, 1991) et pour déterminer les taxons des espèces (Passioura et Ash, 1993). De plus, les traits morphologiques sont essentiels pour faire un premier inventaire de la description de la variabilité génétique des espèces dont on compte l'arbousier.

La demande accrue pour l'utilisation et la consommation d'arbousier nécessite des programmes de conservation et de sélection. La mise en place de ces programmes est basée sur des études de la diversité génétique au sein et entre les populations. Plusieurs études sur la diversité de l'arbousier ont été réalisées en utilisant divers marqueurs morphologiques (Celikel et al., 2008 ; Rodrigues de Sá, 2010a ; Boussalah et al., 2018, Colak, 2019, Sagbas et al., 2020), biochimiques (Kivçak et al., 2001 ; Ozcan et Haciseferogullari, 2007 ; Oliveira et al., 2009 ; Rodrigues de Sá et al., 2010b ; Ruiz-Rodríguez et al., 2011 ; Boussalah et al., 2018 ; Colak, 2019 ; Sagbas et al., 2020), isozyme (Takrouni et al., 2012), et moléculaire (Rodrigues de Sá, 2010a ; Takrouni et Boussaid, 2010; Rodrigues de Sá et al., 2011 ; Lopes et al., 2012 ; Gomes et al., 2012 ; Ribeiro et al., 2017 ; Fazenda et al., 2019). Cependant, au Maroc l'arbousier n'a fait l'objet que de peu d'études liées à leurs propriétés biochimiques (Naceiri Mrabti, 2018 ; El Houari et al., 2021). Or, sur le plan polymorphisme morphologique et génétique, les travaux sur cette espèce restent limités. Toutefois, une bonne connaissance de son aspect morphologique est indispensable pour réaliser un premier inventaire afin d'identifier les caractères les plus discriminants et informatifs pour la description de la variabilité taxonomique et génétique de l'arbousier. La variabilité connue de cette espèce s'exprime dans les caractéristiques de la croissance des plantes et des fruits. L'objectif principal de ce chapitre est d'analyser la variation des traits morphologiques au sein et entre les populations naturelles d'arbousier dans sa distribution biogéographique et d'évaluer l'effet de la provenance sur celle-ci, afin de contribuer aux programmes de conservation et d'amélioration de cette espèce au Maroc.

1. Matériel et méthodes

1.1. Matériel végétal et échantillonnage

Les zones d'échantillonnage sont situées dans des forêts naturelles dominées par *Quercus rotundifolia* et/ou *Pinus halepensis* et des rivières permanentes caractérisées par une lithologie du sol de type limono-argileux, argilo-calcaire, calcaire-marneux, marneux et argileux. Douze populations naturelles ont été sélectionnées dans différentes régions biogéographiques, à travers son aire de répartition naturelle au Maroc, à savoir : le Haut Atlas, le Moyen Atlas, le Plateau Central, le Pré-Rif, le Rif Central et Occidental, et le Nord-Ouest (Figure 6 ; Tableau 6).

Tableau 6 : Caractéristiques géographiques et climatiques des sites d'échantillonnage et nombre d'individu par population (N).

| Populations | Code | N | Région géographique | Longitude W | Latitude N | Altitude (m) | T (°C) | Pr (mm) | Type de bioclimat |
|-----------------------------------|------|----|---------------------|-------------|------------|--------------|--------|---------|-------------------|
| 1. Brikcha-Zoumi (Ouezzane) | BZ | 20 | Nord Ouest | 5°29' | 34°48' | 422 | 17,90 | 889 | Subhumide |
| 2. Khmiss Essahel (Laarache) | KS | 10 | Nord Ouest | 6°02' | 35°15' | 150 | 17,90 | 700 | Subhumide |
| 3. Dardara-Bab Taza (Chefchaouen) | DB | 21 | Rif Occidental | 5°09' | 35°01' | 745 | 15,30 | 1135 | Humide |
| 4. Ikaouen, Ketama (El Hoceima) | IK | 11 | Rif Central | 4°37' | 34°43' | 654 | 12,40 | 831 | Subhumide |
| 5. Zrizer (Taounate) | ZZ | 33 | Pré Rif | 4°35' | 34°37' | 645 | 18,20 | 613 | Subhumide |
| 6. Bouadel (Taounate) | BL | 11 | Pré Rif | 4°29' | 34°32' | 709 | 16,60 | 612 | Subhumide |
| 7. Ouelmès (El khmissat) | OL | 11 | Plateau Central | 6°09' | 33°28' | 983 | 13,60 | 756 | Subhumide |
| 8. Aïn Tizgha (Benslimane) | AT | 10 | Central Plateau | 7°02' | 33°39' | 275 | 17,40 | 463 | Semi aride |
| 9. Sources Oum Errabia (Khénifra) | OS | 10 | Moyen Atlas | 5°29' | 33°00' | 1613 | 13,20 | 702 | Subhumide |
| 10. Ghmate, Ourika (Marrakech) | GT | 12 | Haut Atlas | 7°42' | 31°33' | 967 | 17,70 | 337 | Semi aride |
| 11. Tazart (Marrakech) | TZ | 11 | Haut Atlas | 7°24' | 31°29' | 867 | 18,00 | 360 | Semi aride |
| 12. Bin El Ouidane | OB | 11 | Haut Atlas | 6°29' | 32°05' | 1313 | 17,60 | 490 | Semi aride |

Pour chaque population, 10 à 33 arbres ont été choisis au hasard pour la collecte des feuilles et de fruits (Tableau 6). La différence dans le nombre d'arbres collectés est liée à la densité de la population. Pour éviter d'échantillonner des arbres proches les uns aux autres, la distance entre les arbres a été maintenue à environ 15 mètres.

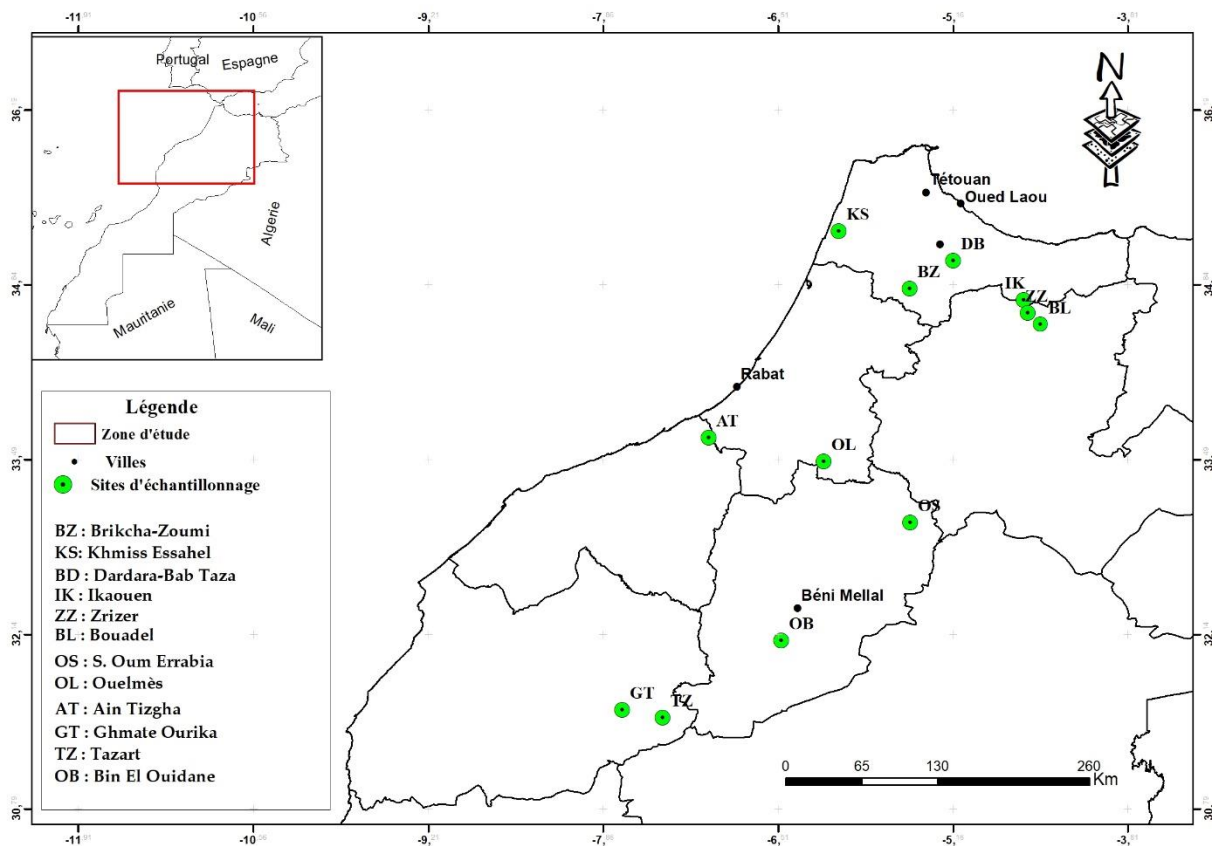


Figure 6 : Sites d'échantillonnage des populations naturelles d'arbousier.

La collecte, l'observation et la mesure du matériel utilisé pour ce travail ont été réalisées pendant les périodes de fructification de l'espèce, de novembre 2016 à février 2017.

Trois à quatre branches ont été prélevées au hasard à l'étage médian de chaque arbre pour collecter les feuilles. 20 feuilles par arbre ont été prélevées sur les branches et placées dans des sacs en papier avec leur identification. De plus, sur le même arbre, dix fruits ont été collectés à différents endroits de l'arbre et la pulpe du fruit est débarassée des graines. Les graines extraites, ont été stockées dans des enveloppes en papier à une température ambiante de laboratoire jusqu'à leur utilisation ultérieure. Au total, 3420 feuilles et 1710 fruits provenant de 171 arbres ont été échantillonnés. Les mesures des traits ont été effectuées chez les mêmes individus échantillonnés pour les feuilles et les fruits. Pour les traits morphologiques, nous avons utilisé les méthodes publiées dans les descripteurs (IPGRI, 1997 ; UPOV, 2011). Un total de 27 traits morphologiques de l'arbre, de la feuille et du fruit a été considéré pour chaque individu collecté, et le nombre d'individus échantillonnés par population est indiqué dans le [tableau 6](#). 12 caractères qualitatifs et quinze quantitatifs ont été étudiés ([Tableau 7](#)).

Tableau 7 : Traits morphologiques mesurés chez les populations d'arbousier.

| Partie de la l'arbre | Traits quantitatifs | Code | Unité | Méthode de mesure | Traits qualitatifs | Code | Valeur |
|----------------------|--------------------------------|---------|-------|---------------------------|---|------|--|
| Arbre | Diamètre des branches | DR | cm | Règle pliante | Vigueur de la plante | VP | 3, faible ; 5, moyenne ; 7, forte |
| Arbre | Hauteur d'arbre | LGA | m | Mètre de longueur | Densité de ramification de l'arbre | DP | 3, lâche ; 5, moyenne 7, dense |
| Arbre | Largeur d'arbre | LRA | m | Mètre de longueur | Dominance apicale | DA | 3, faible ; 5, moyenne ; 7, forte |
| Arbre | Nombre de crochets par branche | NCR | | Comptage | Port de la plante | PP | 1, dressé ; 2, étalé ; 3, retombant |
| Feuille | Longueur de la feuille | LGL | cm | Pied à coulisse numérique | Position de la partie la plus large de la feuille | PPPL | 1, vers la base ; 2, au milieu ; 3, vers le haut |
| Feuille | Larger de la feuille | LRL | cm | Pied à coulisse numérique | Forme du bord de la feuille | FB | 1, entièrement ; 3, légèrement dentée; 5, fortement dentée |
| Feuille | Rapport LGL/LRL | LGL/LRL | | | Forme du sommet | FS | 1, aigue; 2, obtuse; 3, arrondie |
| | | | | | Couleur de la feuille | CL | 1, vert clair, 2, vert; 3, vert foncé |
| Fruit | Longueur du fruit | LGF | mm | Pied à coulisse numérique | Forme du fruit | FF | 1, oblong ; 2, rond ; 3, aplati ; 4, ovale |
| Fruit | Largeur du fruit | DF | mm | Pied à coulisse numérique | Couleur du fruit | CF | 1, jaune; 2, rouge clair; 3, rouge moyen; 4, rouge foncé |
| Fruit | Rapport LGF/DF | LGF/DF | | | | | |
| Fruit | Poids du fruit | PF | g | Balance | Couleur de la pulpe | CCh | 1, jaune; 2, orange; 3, rose; 4, rouge |
| Graine | Nombre de graine par fruit | NGF | | Comptage | Couleur de la graine | CG | 1, marron clair; 2, marron moyen; 3, marron foncé |
| Graine | Largeur de la graine | LRG | mm | Pied à coulisse numérique | | | |
| Graine | Longueur de la graine | LGG | mm | Pied à coulisse numérique | | | |
| Graine | Poids de la graine | PG | g | Balance de précision | | | |

15

12

1.2. Analyse des données

Les statistiques descriptives des données qualitatives et quantitatives ont été réalisées à l'aide du logiciel : IBM SPSS Statistics pour Windows, version 20.0 (2011). L'analyse de la variance où la provenance constitue le seul facteur étudié (ANOVA) a été effectuée pour évaluer la variabilité existante entre et au sein des différentes populations. L'ANOVA et le test de corrélation de Pearson ont été appliqués aux caractères quantitatifs. La structure génétique des populations étudiées en se basant sur les caractéristiques morphologiques a été décrite par une analyse en composantes principales (ACP) sous le logiciel XLSTAT, version 2019. Par ailleurs, une classification hiérarchique par la méthode d'agrégation UPGMA (Unweighted Pair Group Method with Arithmetical Average) utilisant les distances euclidiennes a été exécutée à l'aide du logiciel STATISTICA STAT SOF, version 1997.

2. Résultats

2.1. Caractéristiques quantitatives

Les statistiques descriptives des caractères quantitatifs mesurés sont présentées dans les [tableaux 8 et 9](#). Les valeurs moyennes des traits et du coefficient de variation (CV) montrent des niveaux élevés de variation entre les populations. L'ANOVA à un seul facteur a montré une différence significative entre les populations pour la plupart des traits quantitatifs ($P < 0,001$).

Les valeurs du coefficient de variation (CV) ont montré des différences entre les populations pour les caractères morphologiques étudiés ([Tableaux 8 et 9](#)). Dans l'ensemble, la hauteur et la largeur des plantes (LGA, LRA), le nombre de crochets par branche (NCR) et le nombre de graines par fruit (NGF) ont montré une forte variation ($CV > 20\%$). Le diamètre des branches (DR), la longueur des feuilles (LGL), le rapport entre la longueur et la largeur des feuilles (LGL/LRL), le rapport entre la longueur et le diamètre des fruits (LGF/DF), le poids des fruits (PF) et le poids des graines (PG) ont montré une variation relativement faible ($CV < 20\%$). La variation des traits diffère entre les populations, comme il a été prouvé par l'ANOVA à un seul facteur.

Tableau 8 : Caractéristiques quantitatives mesurées sur les arbres et les feuilles. Moyenne \pm écart-type ; minimum-maximum ; CV : coefficient de variation entre parenthèses (%). Séparation des groupes au sein et entre les populations est indiquée comme suit : ***, $p < 0,001$.

| Traits | Diamètre des branches | Hauteur d'arbre (LGA) (m) | Largeur d'arbre (LRA) (m) | Nombre de crochets par branche (NCR) | Longueur de la feuille (LGL) (cm) | Largeur de la feuille (LRL) (cm) | Rapport LGL/LRL |
|----------------|---|---|---|---|---|---|---|
| BZ | 2,93 \pm 0,45 1,90-3,63 (15,66) | 2,58 \pm 1,04 0,95-5,10 (40,36) | 1,75 \pm 0,66 0,80-3,19 (37,86) | 66,7 \pm 44,6 10-150 (66,94) | 5,49 \pm 0,94 3,09-8,66 (17,21) | 2,06 \pm 0,41 1,08-3,92 (20,06) | 2,71 \pm 0,41 1,70-4,83 (16,49) |
| KS | 3,24 \pm 0,29 2,93-3,93 (8,98) | 2,80 \pm 0,42 2,00-3,50 (15,06) | 1,80 \pm 0,58 1,0-3,0 (32,61) | 100,9 \pm 32,0 66,0-152,0 (31,37) | 5,43 \pm 0,79 3,20-7,27 (14,72) | 2,08 \pm 0,48 1,03-3,95 (23,21) | 2,70 \pm 0,58 1,39-4,55 (21,42) |
| DB | 2,90 \pm 0,31 2,46-3,50 (10,60) | 3,47 \pm 1,13 1,50-5,50 (32,42) | 2,55 \pm 1,12 0,80-5,40 (43,95) | 74,2 \pm 53,30 12,0-210,0 (71,85) | 5,47 \pm 2,52 2,51-5,20 (46,05) | 2,22 \pm 0,49 1,21-3,87 (21,85) | 2,47 \pm 0,47 1,29-3,95 (19,19) |
| IK | 3,65 \pm 0,25 3,23-4,23 (6,92) | 5,43 \pm 1,53 2,50-7,50 (28,29) | 4,07 \pm 0,92 2,50-5,50 (22,61) | 18,9 \pm 4,90 10,0-25,0 (25,96) | 5,76 \pm 0,77 3,70-8,22 (13,48) | 2,28 \pm 0,48 1,25-3,60 (21,17) | 2,61 \pm 0,53 1,40-4,68 (20,31) |
| ZZ | 3,39 \pm 0,32 2,97-4,20 (9,62) | 2,16 \pm 0,77 1,0-4,0 (35,87) | 2,59 \pm 0,56 1,50-3,50 (21,82) | 22,27 \pm 7,13 11,0-35,0 (32,05) | 5,52 \pm 0,79 3,01-7,89 (14,40) | 2,24 \pm 0,50 1,02-3,98 (22,64) | 2,57 \pm 0,63 1,04-5,39 (24,41) |
| BL | 3,49 \pm 0,32 2,96-4,13 (9,40) | 4,17 \pm 1,01 2,50-5,50 (24,21) | 3,04 \pm 0,94 1,60-4,30 (31,09) | 15,73 \pm 2,41 12,0-20,0 (15,34) | 6,53-0,95 4,43-8,88 (14,53) | 2,48 \pm 0,55 1,50-4,50 (22,26) | 2,72 \pm 0,53 1,54-4,49 (19,69) |
| OL | 3,09 \pm 0,22 2,46-3,36 (7,19) | 7,79 \pm 0,91 6,40-9,20 (11,77) | 3,45 \pm 0,65 2,10-4,20 (19,01) | 77,9 \pm 42,20 42,0-183,0 (54,24) | 4,44 \pm 0,75 2,07-6,88 (17,03) | 1,89 \pm 0,37 1,10-2,78 (19,85) | 2,40 \pm 0,44 1,05-3,58 (18,37) |
| AT | 2,99 \pm 0,26 2,53-3,26 (8,77) | 4,92 \pm 0,62 3,80-5,80 (12,70) | 3,62 \pm 0,83 2,50-5,50 (22,96) | 15,3 \pm 2,66 12,0-20,0 (17,44) | 5,47 \pm 0,88 4,02-7,83 (16,13) | 2,0 \pm 0,39 1,02-2,83 (19,58) | 2,81 \pm 0,58 1,51-5,51 (20,67) |
| OS | 3,23 \pm 0,41 2,83-4,16 (12,82) | 8,91 \pm 0,40 8,50-9,50 (4,53) | 4,95 \pm 0,55 4,0-5,50 (11,12) | 19,9 \pm 5,06 12,0-30,0 (25,45) | 6,62 \pm 0,79 5,04-8,41 (12,67) | 2,74 \pm 0,70 1,47-6,62 (25,55) | 2,37 \pm 0,44 0,94-3,51 (18,63) |
| GT | 3,61 \pm 0,62 2,88-4,46 (17,23) | 4,25 \pm 1,15 2,50-6,0 (27,04) | 2,55 \pm 0,52 1,50-3,20 (20,51) | 19,25 \pm 4,4 10,0-25,0 (22,82) | 4,88 \pm 0,87 3,19-8,81 (17,85) | 2,13 \pm 0,37 1,30-3,18 (17,67) | 2,33 \pm 0,41 1,52-3,54 (17,47) |
| TZ | 4,37 \pm 0,57 3,36-5,20 (13,23) | 6,32 \pm 1,47 3,50-8,29 (23,31) | 3,32 \pm 0,69 2,50-4,50 (21,0) | 15,0 \pm 4,09 10,0-20,0 (27,33) | 4,58 \pm 0,82 3,55-8,86 (18,08) | 1,83 \pm 0,41 1,05-4,16 (22,56) | 2,57 \pm 0,53 1,78-4,19 (20,62) |
| OB | 2,99 \pm 0,12 2,80-3,20 (4,10) | 1,91 \pm 0,57 1,50-3,50 (29,75) | 2,10 \pm 0,60 1,0-3,0 (29,04) | 29,2 \pm 4,91 22,0-40,0 (16,84) | 4,30 \pm 0,65 1,55-6,48 (15,22) | 1,81 \pm 0,32 1,19-2,99 (17,87) | 2,43 \pm 0,46 1,00-3,88 (19,04) |
| Moyenne | 3,33 \pm 0,42 1,90-5,20 (12,68) | 4,56 \pm 2,23 0,95-9,50 (48,77) | 2,99 \pm 0,9 0,80-5,50 (31,97) | 39,60 \pm 30,98 10,0-210,0 (78,0) | 5,35 \pm 0,69 1,55-8,88 (12,88) | 2,15 \pm 0,27 1,02-6,62 (2,60) | 2,56 \pm 0,50 0,94-5,51 (19,69) |
| F value | 15,90*** | 66,50*** | 19,40*** | 15,80*** | 13,70*** | 7,18*** | 21,60*** |

Tableau 9 : Caractéristiques quantitatives mesurées sur les fruits et les graines d'arbousier. Moyenne \pm écart-type ; minimum-maximum ; CV : coefficient de variation entre parenthèses (%). Séparation des groupes au sein et entre les populations indiquées comme suit : ***, $p < 0,001$.

| Traits | Longueur du fruit (LGF) (mm) | Diamètre du fruit (DF) (mm) | Rapport LGF/DF | Poids du fruit (PF) (g) | Nombre de graines par fruit (NGF) | Largeur de la graine (LRG) (mm) | Longueur de la graine (LGG) (mm) | Poids de la graine (PG) (g) |
|----------------|--|--|---|---|---|--|---|--|
| BZ | 13,18 \pm 2,06 7,50-19,40 (15,64) | 15,0 \pm 2,28 10,10-23,10 (15,25) | 0,89 \pm 0,13 0,50-1,20 (14,54) | 2,04 \pm 1,02 0,70-6,50 (50,08) | 11,4 \pm 7,28 3,0-35,0 (63,88) | 1,30 \pm 0,10 0,70-1,53 (7,97) | 3,09 \pm 0,27 1,39-3,75 (8,85) | 0,003 \pm 0,0006 0,002-0,005 (21,57) |
| KS | 15,37 \pm 2,13 11,20-21,30 (13,92) | 17,12 \pm 2,80 12,60-22,80 (11,71) | 0,90 \pm 0,09 0,60-1,18 (9,91) | 2,61 \pm 0,98 1,10-5,90 (37,68) | 17,80 \pm 7,20 4,0-40,0 (40,42) | 1,33 \pm 0,90 1,12-1,93 (6,78) | 3,12 \pm 0,18 2,61-3,58 (5,99) | 0,003 \pm 0,0005 0,002-0,005 (16,86) |
| DB | 17,0 \pm 2,01 10,10-22,80 (11,84) | 17,40 \pm 2,80 10,60-27,10 (16,56) | 0,93 \pm 0,12 0,70-1,35 (12,56) | 2,81 \pm 1,36 0,80-7,60 (48,55) | 11,7 \pm 5,06 4,0-30,0 (43,21) | 1,35 \pm 0,07 1,12-1,58 (4,99) | 3,13 \pm 0,22 2,33-3,83 (19,20) | 0,003 \pm 0,0006 0,002-0,005 (7,04) |
| IK | 16,40 \pm 3,0 10,10-24,30 (8,30) | 18,0 \pm 3,60 10,60-27,10 (20,0) | 0,92 \pm 0,12 0,71-1,35 (12,67) | 3,18 \pm 1,70 0,80-7,60 (53,49) | 12,1 \pm 5,77 4,0-30,0 (47,56) | 1,41 \pm 0,04 1,21-1,53 (3,38) | 3,58 \pm 0,13 3,33-4,01 (3,74) | 0,003 \pm 0,0005 0,003 \pm 0,005 (12,97) |
| ZZ | 13,60 \pm 2,20 11,0-18,0 (16,33) | 13,80 \pm 1,60 12,0-18,0 (12,03) | 0,96 \pm 0,10 0,60-1,28 (10,02) | 2,22 \pm 1,00 0,70-6,50 (45,85) | 13,24 \pm 7,12 3,0-40,0 (53,85) | 1,42 \pm 0,53 1,21-1,67 (3,75) | 3,59 \pm 0,19 2,44-4,19 (5,30) | 0,003 \pm 0,0005 0,003 \pm 0,006 (14,55) |
| BL | 15,70 \pm 2,0 12,10-21,50 (12,57) | 16,20 \pm 2,30 12,0-21,90 (14,46) | 0,94 \pm 0,10 0,73-1,24 (10,95) | 2,41 \pm 0,67 1,10-4,90 (28,01) | 11,63 \pm 5,15 4,0-30,0 (44,30) | 1,43 \pm 0,04 1,31-1,57 (3,79) | 3,60 \pm 0,13 3,34-4,07 (3,77) | 0,003 \pm 0,0004 0,003 \pm 0,005 (11,54) |
| OL | 15,0 \pm 2,50 5,0-21,10 (16,91) | 15,60 \pm 2,20 9,80-21,20 (14,42) | 0,96 \pm 0,12 0,42-1,27 (12,15) | 2,07 \pm 0,88 0,30-4,50 (42,56) | 9,77 \pm 5,07 1,0-25,0 (51,96) | 1,38 \pm 0,07 1,23-1,69 (5,74) | 3,13 \pm 0,20 2,65-3,76 (6,63) | 0,003 \pm 0,0008 0,002-0,007 (25,96) |
| AT | 15,60 \pm 2,0 12,10-21,50 (13,41) | 16,20 \pm 2,80 12,0-21,80 (17,74) | 0,95 \pm 0,11 0,71-1,24 (11,51) | 2,33 \pm 0,71 1,10-4,90 (30,51) | 10,20 \pm 3,38 4,0-20,0 (33,13) | 1,58 \pm 0,14 1,34-2,11 (9,42) | 3,57 \pm 0,29 3,21-4,62 (8,22) | 0,003 \pm 0,0006 0,002 \pm 0,004 (19,25) |
| OS | 15,0 \pm 2,40 10,0-21,1 (15,98) | 15,60 \pm 2,20 9,80-20,80 (14,25) | 0,97 \pm 0,11 0,76-1,27 (11,08) | 2,01 \pm 0,86 0,30-4,50 (42,79) | 8,89 \pm 3,3 4,0-18,0 (37,08) | 1,27 \pm 0,83 1,02-1,43 (6,52) | 3,14 \pm 0,25 2,52-3,81 (8,25) | 0,003 \pm 0,0006 0,002-0,005 (19,95) |
| GT | 15,15 \pm 2,08 10,90-22,60 (16,19) | 15,41 \pm 2,08 9,8-20,10 (13,54) | 0,98 \pm 0,10 0,80-1,27 (9,75) | 2,47 \pm 0,69 1,10-4,30 (28,0) | 8,79 \pm 3,74 3,0-24,0 (42,58) | 1,42 \pm 0,69 1,30-1,66 (4,89) | 3,63 \pm 0,24 2,68-4,21 (6,73) | 0,004 \pm 0,0007 0,003 \pm 0,006 (18,82) |
| TZ | 14,60 \pm 2,0 10,50-21,10 (13,45) | 15,2 \pm 2,0 9,8-20,20 (12,74) | 0,97 \pm 0,08 0,73-1,23 (8,77) | 1,96 \pm 0,69 0,60-4,50 (35,17) | 10,70 \pm 5,66 3,0-29,0 (52,84) | 1,43 \pm 0,05 1,23-1,56 (4,02) | 3,63 \pm 0,21 2,68-4,19 (6,03) | 0,004 \pm 0,0007 0,003 \pm 0,006 (17,06) |
| OB | 12,50 \pm 1,37 11,0-15,0 (11,03) | 13,80 \pm 1,30 2,0-15,0 (9,45) | 0,98 \pm 0,08 0,80-1,23 (8,23) | 2,0 \pm 0,57 1,0-3,0 (25,87) | 8,80 \pm 4,40 3,0-31,0 (50,18) | 1,31 \pm 0,07 1,08-1,43 (5,36) | 3,18 \pm 0,27 2,68-4,19 (8,71) | 0,003 \pm 0,0006 0,002-0,005 (22,68) |
| Moyenne | 14,90 \pm 1,30 5,0-24,30 (8,71) | 15,8 \pm 1,30 9,80-27,10 (8,29) | 0,95 \pm 0,10 0,42-1,35 (11,01) | 2,35 \pm 0,38 0,30-7,60 (16,09) | 11,26 \pm 2,51 1,0-40,0 (22,31) | 1,39 \pm 0,08 0,70-2,11 (5,96) | 3,37 \pm 0,25 1,39-4,62 (7,30) | 0,003 \pm 0,0005 0,002-0,007 (12,96) |
| F value | 20,50*** | 24,40*** | 12,10*** | 4,63*** | 21,70*** | 13,20*** | 17,20*** | 7,34*** |

Concernant la variation des valeurs des caractères au sein des populations, les faibles valeurs pour la hauteur d'arbre (LGA) ont été observées chez la population OB originaire du Haut Atlas ($1,91 \pm 0,57$ m) et les plus élevées ($8,91 \pm 0,40$ m) ont été notées chez la population OS issue du Moyen Atlas, avec une moyenne générale de $4,56 \pm 2,23$ m et un CV de 48,77 %. De même, la largeur des arbres (LRA) était la plus faible chez la population BZ du Nord-Ouest ($1,75 \pm 0,66$ m) et la plus élevée dans la population OS originaire du Moyen Atlas ($4,95 \pm 0,55$ m) avec une moyenne générale de $2,99 \pm 0,90$ m. Le nombre de crochets par branche (NCR) variait de $15,00 \pm 4,09$ pour la population TZ du Haut Atlas à $100,90 \pm 32,00$ pour la population KS du Nord-Ouest, avec une moyenne générale de $39,60 \pm 30,98$ et un CV de 78%. Le nombre de graines par fruit (NGF) variait de $8,79 \pm 3,74$ pour la population GT issue du Haut Atlas à $17,80 \pm 7,20$ pour la population KS provenant du Nord-Ouest, avec une moyenne générale de $11,26 \pm 2,51$ (CV=22,31 %) (Tableaux 8 et 9).

2.2. *Caractéristiques qualitatives*

Les caractéristiques des arbres telles que la vigueur, la densité de ramification et la dominance apicale étaient les plus élevées dans les trois populations AT du Plateau Central, GT et TZ (100%) provenant toutes les deux du Haut Atlas Marocain. La plupart des plantes avaient un port étalé (57,50 %), suivi par le type retombant (39,40 %), tandis que le type dressé était le moins fréquent (3,10 %) (Tableau 10).

Les résultats ont révélé que la majorité des populations étudiées avaient des feuilles plus larges au milieu (86,5%) par rapport au sommet (13,30%), ainsi que 74,60% de ces populations ont des feuilles fortement dentées au bord. Il est à noter que la population OS issue du Moyen Atlas enregistre les valeurs les plus élevées (100%) de feuilles fortement dentées au bord, alors que les valeurs les plus faibles pour ce caractère sont observées dans la population TZ du Haut Atlas (9,10%). La forme du sommet des feuilles est globalement aiguë (60,90%) dans toutes les populations étudiées, mais plus fréquente dans la population BL du Pré-Rif (92,30%) et moins fréquente dans la population OL du Plateau Central (36,40%). Les feuilles sont majoritairement vertes foncées (41,30%), la population KS provenant du Nord-Ouest se distingue des autres populations par les valeurs les plus élevées de ce caractère (90%) (Tableau 10).

Tableau 10 : Fréquence des caractères qualitatifs (%), en trois ou quatre niveaux, mesurés dans les populations d'arbousier pour la plante et les feuilles.

| Caractéristiques | Vigueur de la plante (VP) | | | Densité de ramification de la plante (DP) | | | Dominance apicale (DA) | | | Port de la plante (PP) | | | Position de la partie la plus large de la feuille (PPPL) | | | Forme du bord de la feuille (FB) | | | Forme du sommet de la feuille (FS) | | | Couleur de la feuille (CL) | | |
|------------------|---------------------------|-------|-------|---|-------|-------|------------------------|-------|-------|------------------------|-------|-------|--|-------|-------|----------------------------------|-------|-------|------------------------------------|-------|-------|----------------------------|-------|-------|
| | 3 | 5 | 7 | 3 | 5 | 7 | 3 | 5 | 7 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 3 | 5 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| Niveaux | 3 | 5 | 7 | 3 | 5 | 7 | 3 | 5 | 7 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 3 | 5 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| BZ | 0 | 35 | 65 | 5 | 25 | 70 | 0 | 30 | 70 | 5 | 50 | 45 | 0,50 | 67,30 | 32,30 | 3,30 | 13,30 | 83,50 | 40,50 | 45 | 14,50 | 20,50 | 34,80 | 44,80 |
| KS | 0 | 10 | 90 | 0 | 20 | 80 | 0 | 10 | 90 | 0 | 40 | 60 | 0,50 | 89 | 10,50 | 0,50 | 16 | 83,50 | 51 | 37 | 12 | 1,50 | 8,50 | 90 |
| DB | 19 | 23,80 | 57,10 | 19 | 28,60 | 52,40 | 19 | 28,60 | 52,40 | 14,30 | 52,40 | 33,30 | 0 | 73,10 | 26,90 | 1,20 | 13,60 | 85,20 | 53,30 | 35 | 11,70 | 18,30 | 17,60 | 46 |
| IK | 0 | 45,50 | 54,50 | 0 | 45,50 | 54,50 | 0 | 45,50 | 54,50 | 0 | 63,60 | 36,40 | 0 | 92,70 | 7,30 | 0,90 | 12,70 | 86,40 | 65,50 | 29,50 | 5 | 8,20 | 64,10 | 27,70 |
| ZZ | 0 | 45,50 | 54,50 | 0 | 33,30 | 66,70 | 0 | 45,50 | 54,50 | 0 | 75,80 | 24,20 | 0 | 91,40 | 8,60 | 0 | 5,30 | 94,70 | 76,80 | 15,50 | 7,70 | 12,10 | 48,50 | 39,40 |
| BL | 0 | 36,40 | 63,60 | 0 | 36,40 | 63,60 | 0 | 36,40 | 63,60 | 0 | 36,40 | 63,60 | 0 | 100 | 0 | 15,90 | 5,50 | 78,60 | 92,30 | 7,70 | 0 | 9,10 | 27,30 | 63,60 |
| OL | 9,10 | 36,40 | 54,50 | 9,10 | 45,50 | 45,50 | 9,1 | 45,50 | 45,50 | 18,20 | 54,50 | 27,30 | 0 | 81,40 | 18,60 | 19,10 | 15,90 | 65 | 36,40 | 47,30 | 16,40 | 32,70 | 19,10 | 48,20 |
| AT | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 100 | 0 | 70 | 30 | 0 | 88 | 12 | 0 | 20 | 80 | 67,50 | 28,50 | 4 | 60 | 20 | 20 |
| OS | 0 | 70 | 30 | 0 | 70 | 30 | 0 | 70 | 30 | 0 | 60 | 40 | 0 | 92 | 8 | 0 | 0 | 100 | 72,50 | 25 | 2,50 | 0 | 30 | 70 |
| GT | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 100 | 0 | 41,70 | 58,30 | 0 | 90 | 10 | 17,10 | 40,40 | 42,50 | 42,10 | 32,90 | 25 | 26,30 | 73,80 | 0 |
| TZ | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 100 | 0 | 100 | 0 | 0 | 100 | 0 | 68,20 | 22,70 | 9,10 | 70 | 30 | 0 | 90,90 | 0 | 9,10 |
| OB | 0 | 45,50 | 54,50 | 0 | 45,50 | 54,50 | 0 | 36,40 | 63,60 | 0 | 45,50 | 54,50 | 0 | 73,40 | 25,70 | 0,9 | 11,30 | 86,90 | 63,20 | 21,40 | 15,50 | 27,70 | 35,90 | 36,40 |
| Moyenne | 2,30 | 29 | 68,60 | 2,80 | 29,20 | 68,10 | 2,30 | 29 | 68,70 | 3,10 | 57,50 | 39,40 | 0,10 | 86,50 | 13,30 | 10,60 | 14,70 | 74,60 | 60,90 | 29,60 | 9,50 | 25,60 | 31,60 | 41,30 |

Tableau 11 : Fréquence des caractères qualitatifs (%), en trois ou quatre niveaux, mesurés dans les populations d'arbousier pour les fruits et les graines.

| Caractéristiques | Forme du fruit (FF) | | | | Couleur du fruit (CF) | | | | Couleur de la pulpe (CCh) | | | | Couleur de la graine (CG) | | | |
|------------------|---------------------|-------|-------|-------|-----------------------|------|-------|-------|---------------------------|-------|-------|------|---------------------------|-------|-------|-------|
| | Niveaux | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 |
| BZ | | 27,10 | 23,10 | 27,60 | 22,10 | 1,50 | 13,60 | 39,70 | 5,20 | 54,80 | 43,70 | 1,50 | 0 | 27,10 | 39,20 | 33,70 |
| KS | | 5 | 33 | 44 | 18 | 7 | 19 | 33 | 41 | 59 | 38 | 3 | 0 | 33 | 40 | 27 |
| DB | | 14,30 | 22,40 | 32,40 | 31 | 1,40 | 9,50 | 29 | 60 | 39,50 | 57,60 | 2,90 | 0 | 21,40 | 48,10 | 30,50 |
| IK | | 12,70 | 25,50 | 30 | 31,80 | 0,90 | 14,50 | 25,50 | 59,10 | 36,40 | 62,70 | 0,90 | 0 | 20,90 | 47,30 | 31,80 |
| ZZ | | 17,90 | 27,30 | 34,80 | 20 | 3 | 13,90 | 41,20 | 41,80 | 52,70 | 45,50 | 1,80 | 0 | 20 | 45,80 | 34,20 |
| BL | | 13,60 | 28,20 | 30 | 28,20 | 2,70 | 8,20 | 48,20 | 40,90 | 50,90 | 46,40 | 2,70 | 0 | 27,30 | 33,60 | 39,10 |
| OL | | 32,40 | 18,90 | 31,50 | 17,10 | 2,7 | 10,80 | 36,90 | 49,50 | 50,50 | 47,70 | 1,80 | 0 | 27 | 45,90 | 27 |
| AT | | 15 | 25 | 28 | 32 | 2 | 9 | 36 | 53 | 47 | 49 | 4 | 0 | 9 | 33 | 58 |
| OS | | 32 | 15 | 36 | 17 | 3 | 11 | 44 | 42 | 56 | 44 | 0 | 0 | 5 | 36 | 59 |
| GT | | 33,30 | 10 | 33,30 | 23,30 | 0 | 19,20 | 46,70 | 34,20 | 60 | 40 | 0 | 0 | 26,70 | 48,30 | 25 |
| TZ | | 20 | 18,20 | 37,30 | 24,50 | 0 | 13,60 | 43,60 | 42,70 | 49,10 | 50,90 | 0 | 0 | 18,20 | 42,70 | 29,10 |
| OB | | 30,90 | 9,10 | 31,80 | 28,20 | 0 | 19,10 | 44,50 | 36,40 | 62,70 | 36,40 | 0,90 | 0 | 20 | 57,30 | 22,70 |
| Moyenne | | 21,20 | 21,30 | 33,10 | 24,40 | 2 | 13,50 | 39 | 42,20 | 51,60 | 46,80 | 1,60 | 0 | 21,30 | 43,10 | 34,80 |

Les fruits étaient principalement de couleur rouge foncé (42,20%). Les populations DB du Rif Occidental et IK du Rif Central ont globalement des baies rouge foncé avec des pourcentages de 60% et 59,1%, respectivement (Tableau 11). La pulpe des fruits étudiés est de couleur principalement jaune (51,60 %), suivie par l'orange (46,80 %), tandis que le rose est moins fréquent (1,60 %) et le rouge était absent dans toutes les populations. En ce qui concerne la forme des fruits, l'étude a révélé quatre formes (ronde, ovale, oblongue et aplatie) de fruit provenant de différentes régions marocaines : la forme aplatie est la plus observée (33,10%) suivie de la forme ovale (24,40%). Des formes rondes (33% en KS du Nord-Ouest) et oblongues (33,30% en GT du Haut Atlas, 32,40% en OL du Plateau Central) ont également été enregistrées. La couleur de la graine la plus courante était le brun (43,10%) avec un pourcentage élevé observé dans la population OB originaire du Haut Atlas (57,30%) (Tableau 11).

2.3. *Corrélations phénotypiques entre les caractères étudiés*

Les corrélations phénotypiques entre les caractéristiques morphologiques quantitatives des populations naturelles d'arbousier du Maroc sont présentées dans le tableau 12. Il existe des corrélations positives et négatives ; quelques-unes de ces corrélations sont significatives. Par exemple, le diamètre des branches (DR) est positivement corrélé avec les caractéristiques des

fruits et des graines (LGF, DF, LGG, PG). D'autre part, la largeur de l'arbre (LRA) est positivement corrélée avec la longueur de l'arbre (LGA) mais négativement corrélée avec les caractéristiques des fruits et des graines (LGF, DF, NG). De même, la longueur du fruit (LGF) est positivement corrélée avec le diamètre du fruit (DF) et le nombre de graines par fruit (NG) qui sont positivement corrélés avec eux. Enfin, le poids de la graine est corrélé positivement avec ses dimensions (LRG, LGG).

Tableau 12 : Corrélation entre les traits quantitatifs mesurés sur les arbres, les feuilles, les fruits et les graines. *, significatif à $p < 0,05$; **, significatif à $p < 0,01$.

| | DR | LGA | LRA | NCR | LGL | LRL | LGL/LRL | LGF | DF | LGF/DF | PF | NG | LRG | LGG | PG |
|----------------|---------|---------|----------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|----------|--------|-------|---------|---------|----|
| DR | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| LGA | -0,022 | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| LRA | -0,479 | 0,725** | 1 | | | | | | | | | | | | |
| NCR | -0,031 | -0,183 | -0,526 | 1 | | | | | | | | | | | |
| LGL | 0,329 | 0,001 | -0,112 | -0,019 | 1 | | | | | | | | | | |
| LRL | -0,189 | 0,316 | 0,479 | -0,269 | 0,681* | 1 | | | | | | | | | |
| LGL/LRL | -0,197 | -0,197 | 0,168 | -0,147 | 0,180 | 0,023 | 1 | | | | | | | | |
| LGF | 0,724** | -0,158 | -0,654* | 0,355 | 0,606* | -0,059 | -0,214 | 1 | | | | | | | |
| DF | 0,720** | -0,191 | -0,675* | 0,390 | 0,598* | -0,082 | -0,185 | 0,994** | 1 | | | | | | |
| LGF/DF | 0,523 | 0,056 | -0,325 | -0,240 | -0,025 | -0,245 | -0,636* | 0,414 | 0,371 | 1 | | | | | |
| PF | -0,477 | -0,077 | 0,386 | -0,038 | -0,018 | 0,293 | 0,392 | -0,395 | -0,375 | -0,830** | 1 | | | | |
| NG | 0,576 | -0,430 | -0,748** | 0,590* | 0,515 | -0,122 | 0,120 | 0,786** | 0,827** | -0,010 | -0,206 | 1 | | | |
| LRG | 0,382 | -0,136 | -0,201 | -0,260 | 0,187 | -0,310 | 0,438 | 0,398 | 0,365 | 0,199 | -0,109 | 0,222 | 1 | | |
| LGG | 0,667* | -0,174 | -0,191 | -0,542 | 0,298 | -0,073 | 0,215 | 0,383 | 0,354 | 0,343 | -0,113 | 0,205 | 0,778** | 1 | |
| PG | 0,686* | -0,162 | -0,170 | -0,449 | 0,264 | 0,072 | 0,014 | 0,284 | 0,266 | 0,238 | 0,004 | 0,206 | 0,405 | 0,861** | 1 |

2.4. Variation morphologique au sein et entre les populations d'arbousier

La variabilité phénotypique entre les populations pour presque tous les traits morphologiques mesurés (à l'exception de quelques traits relatifs aux feuilles, aux fruits et aux graines) était hautement significative comme le montre le test ANOVA à un seul facteur (Tableaux 8 et 9). L'analyse en composantes principales (ACP) montre que 71,39% de la variation totale entre les populations naturelles d'arbousier au Maroc est expliquée par les trois premières composantes (Figure 7, Tableau 13). La première composante (PC 1), qui explique 36,43% de la variation totale, présente des charges factorielles élevées de variables liées au diamètre des branches (DR), à la longueur et au diamètre des fruits (LGF, DF), au rapport LGF/DF, au nombre de graines par fruit (NG), à la longueur et à la largeur des graines (LGG, LRG) et au poids des graines (PG) (Tableau 14). La deuxième composante (PC 2), qui a expliqué 18,95 % de la variation totale, a été fortement associée aux traits de la graine, y compris : la longueur (LGG) et le poids des graines (PG). La troisième composante (PC 3), qui explique 16,01 % de la variation totale, est associée aux caractéristiques des feuilles et des fruits : longueur des feuilles (LGL), rapport longueur/largeur des feuilles (LGL/LRL) et poids des fruits (PF). Ces résultats montrent les sources de variabilité phénotypique, notamment des fruits et des graines, au sein des populations et entre elles.

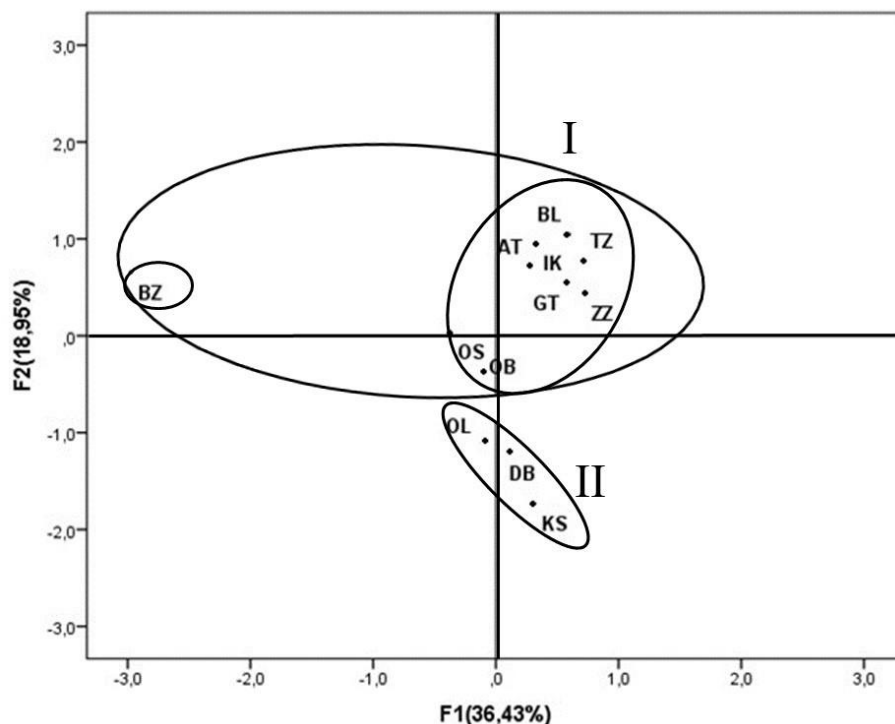


Figure 7 : Analyse en composantes principales des traits morphologiques mesurés chez 12 populations d'arbousier au Maroc.

Tableau 13 : Variance totale des traits morphologiques mesurés expliquée par les composantes principales.

| Composantes | Extraction totale des carrés des facteurs sélectionnés | | |
|-------------|--|------------------|-----------|
| | Total | % de la variance | % cumulée |
| PC 1 | 5,465 | 36,434 | 36,434 |
| PC 2 | 2,842 | 18,950 | 55,383 |
| PC 3 | 2,402 | 16,013 | 71,396 |
| PC 4 | 1,982 | 13,214 | 84,610 |
| PC 5 | 0,971 | 6,475 | 91,084 |

Tableau 14 : Chargements des traits morphologiques sur les trois premiers PCs (les plus élevés au seuil, >0,5, sont en gras et soulignés).

| | PC1 | PC2 | PC3 |
|------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| DR | <u>0,858</u> | 0,222 | -0,184 |
| LGA | -0,336 | 0,236 | -0,334 |
| LRA | -0,764 | 0,477 | -0,055 |
| NCR | 0,191 | -0,884 | 0,266 |
| LGL | 0,469 | 0,230 | <u>0,500</u> |
| LRL | -0,232 | 0,325 | 0,333 |
| R(LGL/LRL) | -0,138 | 0,325 | <u>0,704</u> |
| LGF | <u>0,916</u> | -0,147 | 0,097 |
| DF | <u>0,913</u> | -0,187 | 0,135 |
| R(LGF/DF) | <u>0,521</u> | 0,077 | -0,806 |
| PF | -0,501 | 0,169 | <u>0,655</u> |
| NG | <u>0,782</u> | -0,347 | 0,450 |
| LRG | <u>0,512</u> | 0,498 | 0,129 |
| LGG | <u>0,608</u> | <u>0,751</u> | 0,009 |
| PG | <u>0,517</u> | <u>0,664</u> | 0,007 |

Le dendrogramme résultant de l'analyse UPGMA (Figure 8) révèle deux groupes distincts (I et II). Le groupe I est composé de neuf populations provenant du Rif central (IK), du Moyen Atlas (OS), du Plateau central (AT), du Nord-Ouest (BZ), du Pré-Rif (ZZ, BL) et du Haut Atlas (GT, TZ, OB). Le groupe II est constitué de trois populations, à savoir KS du Nord-Ouest, DB du Rif central et OL du Plateau central. Deux populations dans les régions du Nord-Ouest, BZ (affectée par le feu de forêts) (Figure 9) et KS (traits végétatifs différents) semblent être distinguées par rapport aux autres.

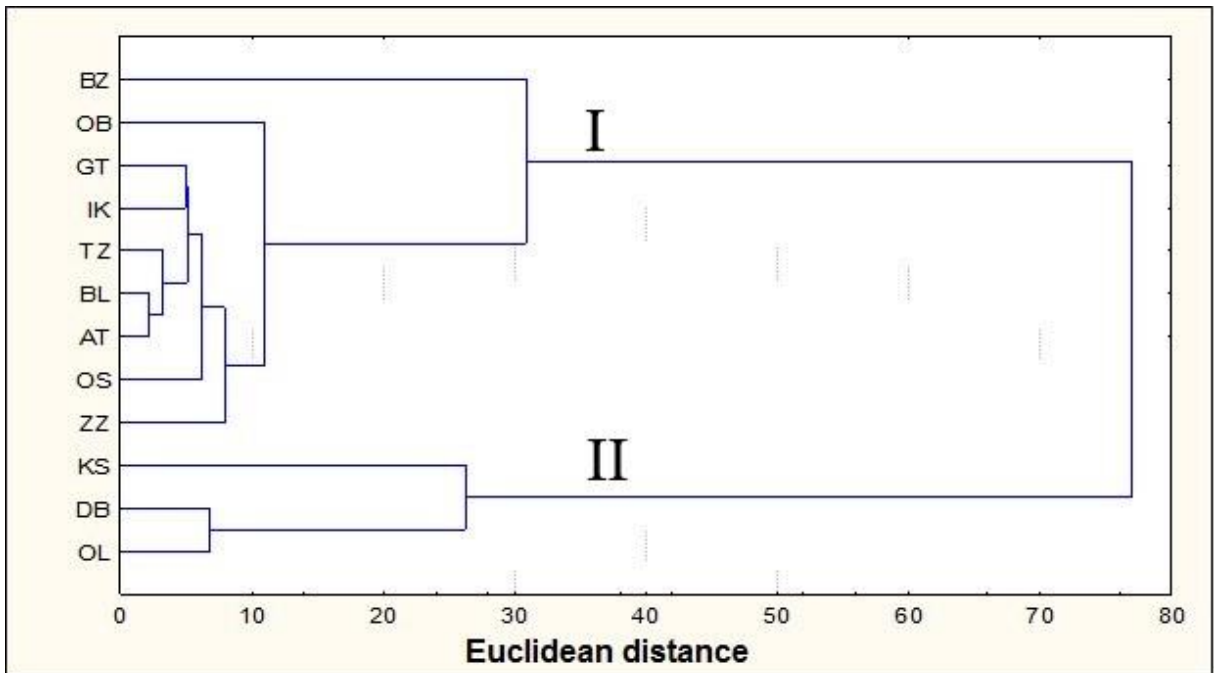


Figure 8 : Classification hiérarchique des populations d'arbousier en utilisant la distance euclidienne basées sur les caractéristiques morphologiques mesurées.



Figure 9 : Impact des feux de forêts sur le fruit d'arbousier.

Les populations du premier groupe (à l'exception de BZ) sont caractérisées par un nombre inférieur de crochets par branche (NCR), des arbres plus longs, des graines plus larges et plus lourdes que celles du second groupe. La population BZ est caractérisée par des valeurs faibles pour la plupart des caractères mesurés par rapport aux autres populations. Les populations du second groupe sont caractérisées par des valeurs similaires pour la plupart des traits morphologiques, y compris les valeurs les plus élevées pour la longueur et le diamètre des fruits, le nombre de crochets par branche et le nombre de graines par fruit.

Les différences entre les populations du Nord-Ouest sont dues aux traits relatifs au diamètre des branches (DR) et aux fruits (LGF, DF, NG) qui sont fortement corrélés avec PC1 (0,858, 0,916, 0,913, 0,782 respectivement), ainsi qu'aux traits relatifs à la hauteur et à la largeur des arbres (LGA, LRA) et au nombre de crochets par branche (NCR). Les populations des régions du Rif diffèrent en ce qui concerne : LGA, LRA et NCR. De même, les différences entre les populations du Haut Atlas sont dues aux traits DR, LGF et NG qui sont corrélés avec PC1 (0,858, 0,916, 0,782 respectivement) et les traits végétaux LGA et NCR. Les populations du Plateau Central diffèrent les unes des autres pour les caractères LGA et NCR.

Les corrélations des caractéristiques morphologiques et des PC1-PC3 avec l'altitude, la latitude, la longitude, la température et les précipitations sont présentées dans le [tableau 15](#). La variation des traits foliaires était liée à la latitude et celle des traits fruitiers à la longitude. La largeur des feuilles, la longueur des feuilles (LRL, LGL) et PC2 sont positivement corrélées avec la latitude ($r=0,630$, $r=0,530$ et $r=0,614$ respectivement). Le poids des fruits (PF), le rapport entre la longueur et le diamètre des fruits (LGF/DF), ainsi que les deux composantes PC1 et PC2 sont corrélés avec la longitude ($r=0,638$, $r= -0,824$, $r= -0,620$, $r=0,759$ respectivement). D'autre part, le rapport entre la longueur et la largeur des feuilles (LGL/LRL), et entre la longueur et le diamètre des fruits (LGF/DF), ainsi que la PC3 sont corrélés avec l'altitude ($r=-0,819$, $r=0,717$, $r=0,760$ respectivement). Enfin, le rapport (LGF/DF), la longueur des graines (LGG), la PC1 et le poids des fruits (PF) présentent des corrélations significatives avec la pluviométrie annuelle ($r= -0,643$, $r= -0,601$, $r= -0,727$, $r= 0,608$ respectivement).

Tableau 15 : Corrélation entre les composantes principales des traits morphologiques et les caractéristiques environnementales (longitude, latitude, altitude, précipitations et température). Les valeurs significatives sont représentées par $P < 0,05^*$; $P < 0,01^{**}$.

| | Latitude N | Longitude W | Altitude (m) | T (°C) | Pr (mm) |
|-------------------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| DR | -0,269 | -0,447 | 0,208 | -0,072 | -0,536 |
| LGA | -0,104 | -0,200 | 0,358 | -0,568 | 0,098 |
| LRA | 0,179 | 0,116 | 0,066 | -0,322 | 0,281 |
| NCR | 0,045 | 0,342 | -0,194 | -0,122 | 0,399 |
| LGL | 0,530 | 0,362 | 0,019 | -0,395 | 0,121 |
| LRL | 0,630* | 0,392 | 0,180 | -0,399 | 0,379 |
| R(LGL/LRL) | 0,220 | 0,553 | -0,819** | 0,285 | 0,046 |
| LGF | 0,001 | -0,078 | 0,136 | -0,346 | -0,145 |
| DF | 0,023 | -0,048 | 0,113 | -0,351 | -0,137 |
| R(LGF/DF) | -0,463 | -0,824** | 0,717** | 0,036 | -0,643 |
| PF | 0,413 | 0,638* | -0,550 | -0,154 | 0,608* |
| NG | 0,147 | 0,266 | -0,264 | -0,054 | -0,047 |
| LRG | -0,273 | -0,100 | -0,435 | 0,150 | -0,459 |
| LGG | -0,160 | -0,275 | -0,155 | 0,173 | -0,601* |
| PG | 0,061 | -0,188 | -0,022 | 0,106 | -0,408 |
| PC1 | -0,466 | -0,620* | 0,272 | 0,137 | -0,727** |
| PC2 | 0,614* | 0,759** | -0,503 | -0,267 | 0,434 |
| PC3 | 0,262 | -0,088 | 0,760** | -0,740** | 0,360 |
| PC4 | 0,283 | -0,014 | 0,106 | -0,296 | -0,123 |
| PC5 | -0,359 | -0,031 | -0,244 | -0,390 | 0,026 |

3. Discussion

Les résultats de la présente étude ont montré un niveau élevé de variation des caractères morphologiques entre les populations naturelles d'arbousier au Maroc. L'analyse de la variance à un seul facteur (ANOVA) et les coefficients de variation (CV) ont montré des différences au sein et entre les populations pour la majorité des traits morphologiques et qui sont en bon accord avec les résultats des études précédentes rapportées dans la littérature (Ozcan et Haciseferogullari, 2007 ; Celikel et al., 2008 ; Takrouni et Boussaid, 2010 ; Molina et al., 2011 ; Bertsouklis et Papafotiou, 2016 ; Boussalah et al., 2018 ; Colak, 2019).

Les résultats de cette variance entre les populations pourraient être expliqués par l'effet de la provenance (Nord-Ouest, régions du Rif (Pré-Rif, Rif central et Rif occidental), Plateau Central, Moyen et Haut Atlas). La provenance est caractérisée par des variations extrêmes des conditions environnementales, notamment climatiques, qui affectent le phénotype des plantes (Nicotra et al., 2010 ; Wahid et al., 2016). La variabilité orographique d'une région à l'autre du Maroc contribue à une grande variabilité environnementale et climatique qui peut expliquer en

partie la variation morphologique observée. Les populations IK Du Rif Central et DB du Rif Occidental présentent des valeurs élevées pour le poids des fruits, tandis que les populations du Pré-Rif (ZZ et BL), du Nord Ouest (BZ et KS), du Plateau Central (OL, AT) et du Moyen Atlas (OS) présentent des valeurs moyennes pour ce trait, alors que les populations du Haut Atlas (OB, GT et TZ) présentent les valeurs les plus faibles.

Des niveaux élevés de corrélation entre les différents traits morphologiques et les paramètres climatiques et géographiques sont observés. Ceci pourrait s'expliquer par l'effet des facteurs environnementaux et/ou l'interaction entre la génétique et l'environnement sur l'expression de ces traits (Aabdousse et al., 2021). Ces données ont montré que les populations du Nord-Ouest aux fruits lourds poussent à des degrés d'humidité (précipitations) plus élevés et à une température annuelle moyenne, par rapport aux populations du Haut Atlas qui sont caractérisées par des fruits moins lourds et poussent à des degrés de température élevés et à une faible humidité. De même, les autres caractères quantitatifs mesurés sont étroitement liés aux conditions environnementales des provenances des individus échantillonnés, puisqu'ils présentent des variations notamment en fonction du gradient géographique et écologique comme celles notées pour les caractères : largeur des feuilles (LRL), rapport entre la longueur et la largeur des feuilles (LGL/LRL), rapport entre la longueur et le diamètre des fruits (LGF/DF) et longueur des graines (LGG). En effet, la plupart des caractères quantitatifs mesurés enregistrent des valeurs élevées pour les populations étudiées allant du Haut Atlas aux populations du Nord et de la région du Rif. De même, les traits des arbres et des feuilles augmentent avec l'altitude, à l'exception de certaines populations (BZ, KS, AT, TZ) qui présentent des dimensions d'arbres et de feuilles élevées malgré leur localisation à basse altitude. En outre, à l'exception des populations BZ et KS (Nord-Ouest), ces populations sont caractérisées par des précipitations plus faibles et des températures plus élevées. Ces variations pourraient s'expliquer par la possibilité que ces traits soient contrôlés par les conditions climatiques de l'environnement et/ou l'interaction entre l'environnement et les facteurs génétiques des individus constituant les populations comme cela a été montré précédemment pour d'autres espèces de cette zone, comme le myrte (*Myrtus communis*) (Wahid et al., 2012 ; Wahid et al., 2016 ; Aabdousse et al., 2021). Pour la population BZ, nous avons remarqué que la plupart de ses traits présentent des valeurs faibles, en particulier ceux liés aux fruits, ce qui pourrait s'expliquer par l'effet d'un feu de forêt qui s'est produit dans la région coïncidant avec la période de notre échantillonnage et qui pourrait être une source de stress pour les arbres. En effet, le rôle important de la provenance dans la détermination de la diversité génétique de cette

espèce a été démontré par des études précédentes utilisant des marqueurs moléculaires (Lopes et al., 2012 ; Gomes et al., 2012 ; Ribeiro et al., 2017 ; Fazenda et al., 2019).

Les corrélations observées entre les différents traits morphologiques peuvent aider à répondre à l'hypothèse d'une relation étroite entre la provenance et les traits phénotypiques de l'arbousier, et à avoir des idées claires et à fixer des objectifs pour la sélection de génotypes plus performants et adaptatifs.

Enfin, les résultats de l'ACP ont montré que les trois premières composantes expliquent 71,39% de la variation totale entre les populations. Parmi les caractères à forte charge factorielle qui contribuent à la formation des composantes principales, on trouve : le diamètre des branches, la longueur et le diamètre des fruits, le nombre de graines par fruit, la longueur des graines, le poids des graines et le poids des fruits. En général, il a été observé que la population IK du Rif Central a enregistré les valeurs les plus élevées en poids de fruit (PF). Ainsi, le fruit est très apprécié pour la consommation et la phytothérapie, et la révélation des corrélations entre les traits du fruit et ceux de l'arbre, de la feuille ou de la graine aidera à créer des bioindicateurs pour sélectionner le germoplasme pour l'amélioration génétique.

En outre, la longueur et le diamètre des fruits sont significativement corrélés avec le diamètre des branches, la largeur de l'arbre, la longueur des feuilles, le diamètre des fruits et le nombre de graines par fruit.

Ces résultats et ceux de la corrélation entre les traits morphologiques et les facteurs géographiques des provenances, ont permis de classer les populations étudiées en deux groupes principaux indépendamment de leur origine géographique.

Les résultats de la présente étude montrent que l'essentiel de la variation globale porte sur les traits des fruits et des graines ; la majeure partie de la variation latitudinale concerne les traits foliaires, et la variation en longitude concerne les traits fruitiers. Les différences entre les populations du Nord-Ouest sont dues à la taille des plantes et au nombre de crochets par branche, le dendrogramme montre que deux des trois populations du groupe II présentent certaines anomalies à certains égards.

Conclusion

Les résultats de cette étude ont montré la présence d'une forte variabilité génétique pour la plupart des traits morphologiques au sein et entre les populations d'arbousier étudiées. On peut dire que l'effet de provenance (facteurs environnementaux) et la composante génétique pourraient être à l'origine de l'expression de ces différences morphologiques. En plus de ces facteurs, ces variations pourraient être dues à d'autres éléments tels que l'âge de la plante et la période du cycle végétatif. De fortes corrélations positives ont été notées entre différents traits morphologiques de chaque partie de la plante (arbre, feuille, fruit et graine). Ce qui pourrait exploiter comme des bioindicateurs pour l'amélioration génétique de ladite espèce. Sur la base de la classification hiérarchique, on peut conclure que les populations naturelles d'arbousier au Maroc peuvent être divisées en deux groupes : Le premier groupe est composé de neuf populations provenant du Rif central (IK), du Moyen Atlas (OS), du Plateau central (AT), du Nord-Ouest (BZ), du Pré-Rif (ZZ, BL) et du Haut Atlas (GT, TZ, OB). Le deuxième groupe est constitué de trois populations, à savoir KS du Nord-Ouest, DB du Rif central et OL du Plateau central. L'analyse en composantes principales (ACP) ainsi que les corrélations entre les traits morphologiques et les facteurs géographiques ont suggéré que la variation entre les populations est due à l'effet de la provenance.

La variabilité et la structuration morphologique des populations naturelles d'arbousier au Maroc, démontrées dans la présente étude, pourraient être utilisées pour des programmes de conservation et d'amélioration génétique et la mise en œuvre d'une autre approche pour évaluer la diversité génétique de cette espèce de manière plus approfondie en utilisant des marqueurs moléculaires.

**Volet 2 : Caractérisation biochimique du fruit
d'*Arbutus unedo* L. au Maroc.**

Introduction

La recherche des substances bioactives devient de plus en plus un atout qui préoccupe les chercheurs surtout dans le domaine pharmaceutique et agroalimentaire. Les plantes sont considérées comme un gisement important en ces produits. En effet, plusieurs travaux ont mis l'accent sur les propriétés, surtout biologiques, des plantes en raison de leur réservoir immense en composés et molécules potentiellement bioactives grâce à leurs métabolites secondaires (Wills et al., 2000 ; Kreif, 2003 ; Marc et al., 2004 ; Huang et al., 2005 ; Popovici et al., 2009). Parmi ces plantes, on compte l'arbousier qui a été longtemps utilisé en médecine traditionnelle, dans tous les pays méditerranéens, avec l'emploi de presque toutes les parties de cette plante : feuilles, fruits, écorces et racines.

Les baies d'arbousier contiennent des quantités importantes de substances phytochimiques, notamment des polyphénols et des oligo-éléments (Kivçak et al., 2001 ; Celikel et al., 2008 ; Oliveira et al., 2009 ; Ruiz-Rodríguez et al., 2011 ; Abbas, 2015 ; Boussalah et al., 2018). En médecine populaire, l'espèce est utilisée pour ses propriétés antiseptiques, diurétiques et laxatives vasculaires (Pallauf et al., 2008). Le fruit est transformé en confiture, vin, distillats et liqueurs (Ayaz et al., 2000 ; Alarcao-E-Silva et al., 2001). Or, au Maroc, la plupart des études sur l'arbousier restent fragmentaires et dispersées et se limitent à l'étude de l'activité biologique souvent des feuilles de ladite espèce (Naceiri Mrabti, 2018 ; Ait Ihaj et al., 2021b), ainsi, les études sur la valorisation nutritionnelle et thérapeutique de son fruit ne sont pas bien développées. Toutefois, le fruit d'arbousier peut être valorisé à travers d'autres utilisations, à savoir, l'industrie agro-alimentaire et pharmaceutique (Barros et al., 2010 ; Ruiz-Rodríguez et al., 2011). Cela conduira à l'intégration de cette espèce dans des projets de développement durable comme nouvelle filière d'agriculture, ce qui participera effectivement à la conservation des ressources et des écosystèmes forestiers (González et al., 2011). Ce qui nécessite une caractérisation sur le plan biochimique des phytoressources afin de tracer de différents scénarios de leur valorisation en relation avec le statut biogéographique de leurs populations naturelles. En effet, le profil phytochimique des plantes pourrait être influencé par les conditions environnementales des provenances combinées aux facteurs génétiques intrinsèques (Ruiz-Rodríguez et al., 2014 ; Maieves et al., 2015). Dans ce contexte, le présent chapitre a pour but (i) de faire une caractérisation biochimique des extraits du fruit d'arbousier, (ii) d'évaluer la valeur nutritive de son fruit, et (iii) d'étudier la composition biochimique des populations naturelles de ladite espèce au Maroc.

1. Matériel et méthodes

1.1. Matériel végétal

(Voir la section 1.1. Matériel végétal et échantillonnage du volet 1 du chapitre III)

1.2. Analyses physicochimiques du fruit

- **Préparation des extraits**

Les paramètres physicochimiques (Brix, pH, acidité titrable et conductivité électrique) sont mesurés sur le jus de la pulpe d'arbousier débarrassé de graines. Ce jus a été préparé par broyage de 5 g de la pulpe dans 75 ml d'eau distillée (Figure 10. A). Le broyat est filtré par la suite sur le papier filtre (Figure 10. B) et les mesures sont effectuées sur la partie aqueuse.

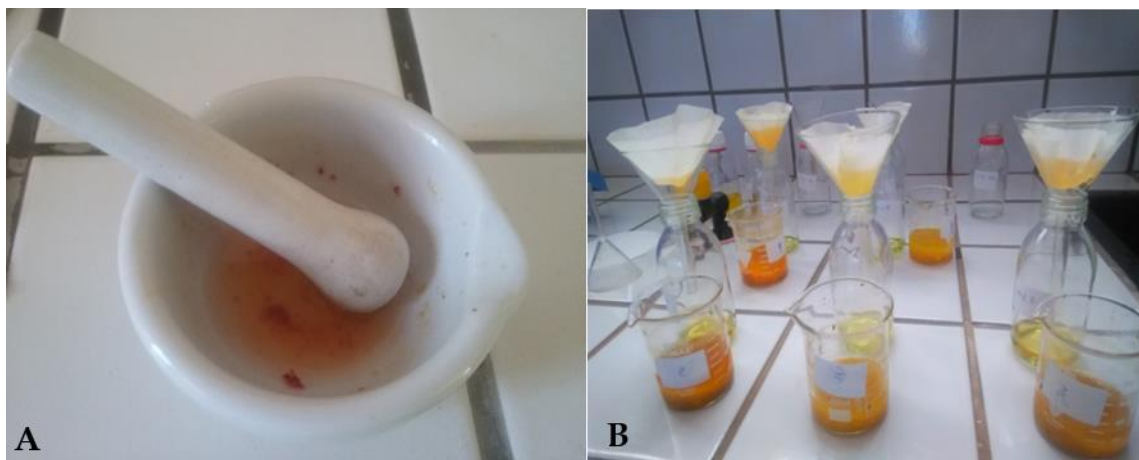


Figure 10 : Broyage (A) et filtration (B) des extraits aqueux du fruit d'arbousier.

- **Détermination du pH**

Le pH est déterminé à l'aide d'un pH-mètre muni des électrodes en verre et préalablement étalonné au moyen des solutions tampons de pH 4 et 7. La mesure a été réalisée en plongeant l'électrode du pH mètre de type G. Boyer dans la solution extraite du fruit d'arbousier, avec une température égale à $18 \pm 2^\circ\text{C}$ (Doukani et Tabak, 2015).

- **Détermination de l'acidité titrable**

L'acidité a été mesurée par neutralisation des acides totaux libres contenus dans 25 ml de jus obtenu avec une solution de NaOH (0,1 N) jusqu'à atteindre un pH de 8,1. L'évaluation se fait par titrage en utilisant un indicateur coloré (phénol phtaléine) (Nielsen, 2010). L'acidité titrable est exprimée par rapport à la teneur en acide malique (Celikel et al., 2008).

- **Détermination du taux des solides solubles**

Le taux des solides solubles (TSS), exprimé en degré Brix, est déterminé à l'aide d'un réfractomètre. Une goutte de jus de fruit a été mise sur la plaque du réfractomètre préalablement nettoyé avec l'eau distillée et séché. Le degré Brix a été lu directement sur l'échelle à l'intersection de la limite entre la frange claire et la frange foncée (AOAC, 2002).

- **Détermination de la conductivité électrique**

La conductivité électrique exprime l'aptitude de la solution aqueuse à conduire un courant électrique. Elle est en corrélation avec la teneur en sels solubles (Rodier, 1997). L'électrode du conductimètre, de type CRISON CM35 a été plongé dans la solution extraite du fruit d'arbousier à une température de 18 ± 2 °C.

- **Détermination de la matière sèche**

On procède à une dessiccation d'un gramme d'échantillon à analyser dans une étuve à une température de 105°C, sous la pression atmosphérique jusqu'à l'obtention d'une masse pratiquement constante. Pour éviter toute reprise d'humidité, il convient d'opérer dans des vases de tare, placés dans un dessiccateur (Audigie et al., 1978).

- **Détermination du taux de cendres**

Le dosage des cendres est basé sur la destruction de toute matière organique sous l'effet de température élevée (Linden, 1981). Peser les creusets contenant la matière sèche obtenue après le séchage des échantillons frais dans l'étuve, puis placer-les dans un four pendant 4h à 550°C. A la sortie du four, placer les creusets dans un dessiccateur contenant un déshydratant (la silice) pour le refroidissement. Enfin Peser les creusets refroidis à nouveau pour déterminer le taux des cendres. Cette opération a été répété jusqu'à ce que le poids devient constant (de couleur blanche ou blanc grisâtre) (AOAC, 2002).

1.3. Dosage des paramètres biochimiques

- **Méthode d'extraction**

Les extraits secs des fruits d'arbousier sont obtenus par macération à froid de 100 g de pulpe pendant 12 heures dans l'éthanol (70 %) (Figure 11. A). Le mélange est filtré sous vide sur papier Whatman 0,45µm (Figure 11. B).

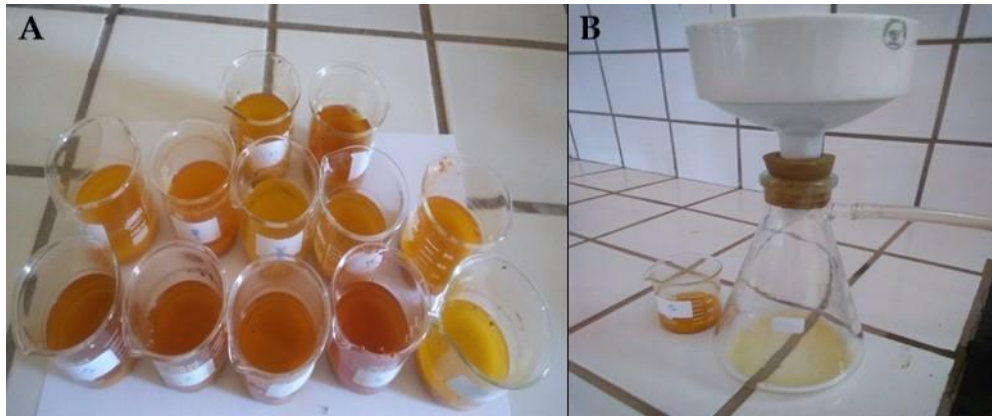


Figure 11: Préparation des extraits éthanoliques du fruit d'arbousier ; (A) Macération, (B) Filtration.

Le filtrat est concentré sous pression réduite à la température de 50 °C dans un évaporateur rotatif, puis laissé à sécher dans une étuve à la température de 50 °C jusqu'à l'obtention d'un extrait sec. Les extraits secs obtenus sont appelés extraits bruts hydroéthanoliques (Figure 12) (Mohammedi, 2020). Ces extraits sont récupérés, pesés pour déterminer le rendement d'extraction en pourcentage, puis stockés à 4 °C dans un réfrigérateur dans des récipients opaques en verre.



Figure 12 : Extraits hydroéthanoliques du fruit d'arbousier.

- **Calcul du rendement**

Le rendement désigne la masse de l'extrait obtenu, il est exprimé en pourcentage par rapport à la masse initiale de la plante soumise à l'extraction. Nous avons déterminé les rendements de notre plante en extrait sec par le calcul du rapport suivant :

$$\text{Rendement (\%)} = (M2 / M1) \times 100$$

M1 : poids de matière fraîche utilisée (g)

M2 : poids d'extrait sec obtenu (g)

- ***Polyphénols***

Les teneurs en polyphénols sont déterminées par la méthode de Folin-Ciocalteu, décrite par [Deepika et al. \(2018\)](#). Une solution stocke de 1mg/ml est préparée pour chaque échantillon. Un volume de 500 µl de réactif Folin-Ciocalteu (dilué 10 fois) est ajouté à 100 µl de la solution d'extrait, puis 400 µl de carbonate de sodium (7,5 %) sont ajoutés. Le mélange est incubé à l'obscurité pendant 30 minutes à température ambiante. Ensuite, l'absorbance est mesurée à 765 nm au spectrophotomètre UV/Vis. La même procédure est répétée pour la solution standard de l'acide gallique (0 à 500 µg/ml) pour établir la courbe d'étalonnage. La teneur en polyphénols est exprimée en mg équivalent acide gallique (GAE) par g d'extrait sec (mgGAE/g).

- ***Flavonoïdes***

La méthode colorimétrique de [Chang et al. \(2002\)](#) est utilisée pour déterminer la teneur en flavonoïdes. Des solutions d'extraits d'une concentration de 1mg/ml ont été préparées dans le méthanol 70 %. Un volume de 50 µl de chaque solution d'extrait est prélevé et mélangé à 150 µl d'éthanol 95 %, 10 µl de solution à 10 % de chlorure d'aluminium, 10 µl de tampon acétate de potassium 1M et 280 µl d'eau distillée. Après incubation dans l'obscurité à la température ambiante pendant 30 min, l'absorbance du mélange est mesurée au spectrophotomètre à 415 nm. Pour déterminer la teneur en flavonoïdes, 1 mg de rutine est dissoute dans l'éthanol 70 %, puis dilué pour obtenir différentes concentrations (de 0 à 300 µg/ml). Une courbe d'étalonnage de rutine est tracée et les résultats sont exprimés en mg d'équivalente rutine par gramme d'extrait (mgRE/g).

- ***Activité antioxydante***

L'activité antioxydante est estimée par la méthode du piégeage de radical libre DPPH (1,1-diphényl-2-picryl-hydrazyl ; M=394g/mol), selon le protocole de [Brand-williams et al. \(1995\)](#). Dans ce test, les antioxydants réduisent le diphényl picryl-hydrazyl ayant une couleur violette en un composé jaune. Un volume de 500 µl d'extrait à différentes concentrations est mélangé avec 500 µl de solution éthanolique de DPPH 0,2 mM. La lecture de l'absorbance est mesurée à 517 nm après 30 min d'incubation à l'obscurité et à température ambiante. Le contrôle négatif est constitué par de l'éthanol et le DPPH. Le contrôle positif est représenté par une solution d'un antioxydant standard, l'acide ascorbique à différentes concentrations, dont l'absorbance est mesurée dans les mêmes conditions que les échantillons (extraits). L'activité anti-radicalaire est calculée par l'équation ci-dessous :

$$\text{Inhibition (\%)} = [(A (\text{Contrôle négatif}) - A (\text{échantillon}) / A (\text{Contrôle négatif})] \times 100$$

Les valeurs de la concentration effectrice EC50 (%), sont ensuite déterminées graphiquement par la régression linéaire. EC50 ou concentration effectrice 50 %, exprime la concentration de l'échantillon qui produit 50 % d'effet anti-radicalaire (piège 50 % de DPPH). Les valeurs EC50 et les données de tous les résultats obtenus expérimentalement sont exprimées en moyenne \pm SD.

- ***Protéines***

Les protéines ont été extraites avec un tampon disodique (Minyaka, 2009). 0,4 g d'échantillon ont été broyés avec 2 ml du tampon disodique introduites par la suite dans des tubes adéquats à la centrifugation. La centrifugation a été faite à 2000 tour pendant 40 min. La conservation des échantillons a été faite à 4°C dans des tubes éppendorfs jusqu'à moment d'utilisation.

Le dosage des protéines totales a été fait selon la méthode de Bradford (1976). 1 ml de tampon d'extraction a été ajouté à 0,50 ml d'extrait protéique. Par la suite, 2 ml de réactif de Bradford ont été additionnés. L'incubation a été faite pendant 2 minutes. La densité optique a été mesurée à 595 nm. Les concentrations ont été calculées en utilisant la courbe étalonne de BSA, les résultats ont été exprimés en mg par 100 g de matière végétale.

- ***Sucres totaux***

Les sucres solubles ont été extraits en accord avec la méthode de Babu et al. (2002). Pour cette extraction, 0,4 g d'échantillon ont été broyés avec 2 ml d'éthanol 80 % introduites par la suite dans des tubes adéquats à la centrifugation. La centrifugation a été faite à 2000 tour pendant 40 min. Les surnageants ont été introduites par la suite dans des tubes eppendorfs et conservés à 4°C jusqu'à moment d'utilisation.

Les sucres totaux solubles ont été dosés par la méthode de Dubois et al. (1956). 50 μ l d'extrait ont été additionnés à 0,5 ml de phénol 5% et à 1,5 ml de solution d'acide sulfurique (H₂SO₄). Le mélange a été chauffé au bain marie à 100 °C pendant 5 min. Après refroidissement dans la glace fondante, la densité optique (DO) a été lue à 485 nm. Un étalon a été construit grâce à une gamme de glucose d'une solution mère de 1 mg/ml. Les teneurs sont exprimées en g/ 100 g de matière fraîche.

1.4. Analyse des données

Les données obtenues ont fait l'objet de plusieurs analyses statistiques. Ainsi, les statistiques descriptives ont pour objectif d'évaluer la moyenne et l'écart-type des paramètres physicochimiques et biochimiques. L'analyse de la variance (ANOVA) à un seul facteur, ainsi que le test de corrélation de Pearson entre les paramètres étudiés ont été effectuées. L'analyse en composantes principales (ACP) et la classification hiérarchique ont permis de regrouper les populations en fonction des valeurs moyennes des paramètres physicochimiques et de leurs teneurs en métabolites secondaires. Ces analyses ont été faites à l'aide des logiciels : IBM SPSS Statistics pour Windows, version 20.0 (2011) et R version 3.6.0 (R Core Team, 2017).

2. Résultats et discussion

2.1. Caractéristiques physicochimiques

Les résultats des analyses physicochimiques effectuées sur le fruit d'arbousier des populations étudiées sont résumés dans le [tableau 16](#).

Tableau 16 : Résultats des analyses physico-chimiques du fruit d'arbousier.

| Populations | pH | Conductivité électrique ($\mu\text{s}/\text{cm}$) | Brix (%) | Acidité titrable (%) | Matière sèche (%) | Taux de cendres (%) |
|----------------|-----------|---|------------|----------------------|-------------------|---------------------|
| BZ | 4,22±1,11 | 805±55 | 15,83±3,82 | 0,56±0,21 | 42,40±2,78 | 2,26±0,25 |
| KS | 3,65±0,08 | 884±19 | 19,17±1,44 | 0,56±0,06 | 43,60±2,97 | 3,26±0,43 |
| DB | 3,49±0,02 | 735±46 | 15,83±1,44 | 0,56±0,12 | 32,18±0,78 | 1,66±0,44 |
| IK | 3,50±0,14 | 840±70 | 14,17±1,44 | 0,54±0,17 | 34,24±1,20 | 2,02±0,25 |
| ZZ | 3,53±0,24 | 967±95 | 18,33±2,89 | 0,60±0,10 | 47,42±3,18 | 2,01±0,01 |
| BL | 3,25±0,13 | 824±27 | 20,83±3,82 | 0,63±0,12 | 37,52±0,37 | 2,01±0,29 |
| OL | 3,71±0,20 | 722±400 | 23,33±7,64 | 0,60±0,20 | 59,41±3,37 | 1,56±0,06 |
| AT | 3,55±0,14 | 755±261 | 14,17±3,82 | 0,58±0,15 | 44,27±2,74 | 2,16±0,35 |
| OS | 3,38±0,14 | 769±193 | 20,00±5,00 | 0,76±0,21 | 53,24±6,07 | 2,04±0,30 |
| GT | 3,37±0,09 | 833±213 | 20,00±4,33 | 0,87±0,01 | 38,15±2,39 | 1,82±0,15 |
| TZ | 3,69±0,06 | 532±109 | 14,17±3,82 | 0,56±0,38 | 36,95±0,26 | 2,10±0,28 |
| OB | 3,66±0,16 | 714±31 | 17,50±2,50 | 0,58±0,15 | 37,57±5,18 | 1,83±0,22 |
| Moyenne | 3,58±0,21 | 782±127 | 17,78±3,50 | 0,62±0,16 | 42,25±2,64 | 2,06±0,25 |

- *pH*

Toutefois, le pH est un paramètre déterminant l'aptitude des aliments à la conservation, il constitue l'un des principaux obstacles, que la flore microbienne doit franchir pour assurer sa prolifération. Ainsi, un pH de l'ordre de 3 à 6 est très favorable au développement des levures et moisissures (Giddey, 1982 ; Gatel, 1982 ; Brissonnet et al., 1994). D'après les résultats

présentés dans le [tableau 16](#), le pH présente une valeur minimale de $3,25 \pm 0,13$ pour la population BL originaire du Pré-Rif et maximale de $4,22 \pm 1,11$ pour la population BZ du Nord-Ouest du Maroc avec une moyenne de $3,58 \pm 0,21$. Si on se réfère aux travaux de [Serçe et al. \(2010\)](#) et d'[Özcan et Haciseferoğulları \(2007\)](#), qui ont trouvés des valeurs de pH de $5,57 \pm 0,07$ et $4,6 \pm 0,1$ respectivement pour le même fruit, on constate qu'elles sont supérieures aux valeurs que nous avons obtenues. Par contre, les résultats signalés dans le présent travail sont similaires aux pH du fruit d'arbousier algérien ([Boussalah et al., 2018](#)) avec une moyenne de 3,43 et espagnol ; soit des valeurs allant de $3,47 \pm 0,12$ ([Ruiz-Rodriguez et al., 2011](#)) à $3,50 \pm 0,21$ ([González et al., 2011](#)). A la lumière de ces résultats, on conclut que le goût du fruit d'arbousier est de nature acide. Ce qui pourra être exploité dans l'industrie agroalimentaire pour la fabrication de jus, de confiture et de gelée ([Ait lhaj et al., 2021a](#)). La variabilité au niveau des valeurs de pH pourrait être due aux facteurs extrinsèques liés à la provenance à savoir ; les conditions climatiques (température, précipitations), géographiques (altitude, orographie) et pédologiques, ainsi qu'aux facteurs intrinsèques tels que : le stade de maturation du fruit, la composante génétique, etc ([Huberson, 2008](#)).

- ***Acidité titrable***

L'acidité titrable nous renseigne sur la quantité d'acides organiques présents dans l'échantillon, ces acides sont d'une grande importance dans les cultures horticoles. Ils sont impliqués dans la maturation des fruits, la sénescence, le goût acide et la fraîcheur du fruit ([Saradhuldhath et al., 2007](#) ; [Etienne et al., 2013](#)). D'après nos résultats, l'acidité titrable du fruit d'arbousier est variée de $0,54\% \pm 0,17$ à $0,87\% \pm 0,01$ ([Tableau 16](#)) avec une moyenne de $0,62\% \pm 0,16$. En comparant l'acidité titrable des populations étudiées, on peut en déduire qu'elle est plus élevée dans la population GT du Haut Atlas par rapport à la population IK provenant du Rif Central marocain. Notre résultat est proche de celui signalé par [Serçe et al. \(2010\)](#) et [Doukani et Tabak \(2015\)](#) qui ont trouvés des valeurs de $0,67\% \pm 0,17$ et de $0,63\% \pm 0,001$ à $0,74\% \pm 0,0007$ respectivement. Mais reste supérieur à celui rapporté par [Özcan et Haciseferoğulları \(2007\)](#) qui est de $0,4\% \pm 0,10$. La teneur en acides organiques dans les fruits est influencée par le génotype de la plante, les facteurs environnementaux, les pratiques horticoles telles que l'irrigation, la taille et le type du sol ([Hudina et Stampar, 2006](#)).

- ***Solides solubles (Brix%)***

Les solides solubles représentent l'ensemble de tous les solides dissous dans l'eau, incluant les sucres, les sels, les protéines et les acides carboxyliques (Doukani et Tabak, 2015). D'après les résultats obtenus sur les fruits d'arbousier, on remarque que le taux des solides solubles (TSS) varie de $14,17\% \pm 3,82$ chez la population IK du Rif Central à $23,33\% \pm 7,64$ pour la population OL du Plateau Central, avec une valeur moyenne de $17,78\% \pm 3,50$. Nos valeurs minimales en TSS du fruit d'arbousier sont proches à celles observées par Doukani et Tabak (2015) (valeurs comprises entre $16,66\% \pm 0,040$ et $17,66\% \pm 0,020$), et supérieures de celles de Müller et al. (2010) (8,1 %) et Serçe et al. (2010) (11,9 %). Les différents paramètres qui peuvent influencer sur le taux des solides solubles sont le climat, la nature du sol et le processus de maturation des fruits (Doukani et Tabak 2015).

- ***Conductivité électrique***

La conductivité électrique présente des valeurs allant de $532 \mu\text{s/cm} \pm 109$ chez la population TZ issue du Haut Atlas à $967 \mu\text{s/cm} \pm 95$ chez la population ZZ du Pré-Rif avec une moyenne de $782 \mu\text{s/cm} \pm 127$. Les travaux de Doukani et Tabak (2015), portés sur le fruit de la même espèce, ont enregistré des valeurs de conductivité électrique comprises entre $322,506 \mu\text{s/cm} \pm 0,687$ et $523,21 \mu\text{s/cm} \pm 0,925$, qui sont proches aux résultats figurés dans la présente étude. En comparant la valeur de la conductivité électrique du fruit d'arbousier étudié avec d'autres fruits comme les dattes, les pommes, les poires et les fraises, on remarque que le résultat trouvé est largement supérieur à celui des dattes ($2,1 \mu\text{s/cm}$) (Amellal, 2008) et des fraises ($186 \mu\text{s/cm}$) et légèrement inférieur ou proche à celui des pommes ($670 \mu\text{s/cm}$) et des poires ($840 \mu\text{s/cm}$) (Sarang et al., 2008). Comme la conductivité électrique est très corrélée avec la teneur en sels solubles (Rodier, 1997), on pourrait dire que le fruit d'arbousier marocain est assez riche en sels minéraux.

- ***Matière sèche***

La matière sèche varie de $32,18\% \pm 0,78$ chez la population DB à $59,41\% \pm 3,37$ chez la population OL originaire du Plateau Central avec une valeur moyenne de l'ordre de $42,25\% \pm 2,64$. En comparant nos résultats avec les valeurs sur le même fruit rapportées par Rodriguez et Traverset (2001) (46,82%-71,89%), Özcan et Haciseferoğullari (2007) (53,72 %), Barros et al. (2010) (59,7%), et par Doukani et Tabak (2015) (57,56%), on constate qu'ils sont similaires. Par contre, Bizouard et Favier (1992), ont trouvé pour le même fruit une valeur supérieure par rapport aux valeurs de la présente étude qui est de l'ordre de 68,2%.

Cette variation de la teneur en eau peut être due aussi aux différentes conditions environnementales : Exposition aux différentes conditions pédoclimatiques et répartition géographique (Ruiz-Rodriguez et al., 2011). Selon Bretaudeau et Fauré (1992), c'est l'eau qui tient en dissolution tous les sels minéraux, les sucres, les enzymes et d'autres composés dans les fruits.

- **Teneur en matière minérale (Taux de cendres)**

La détermination de la teneur en matière minérale nous renseigne sur la qualité nutritionnelle de l'échantillon à analyser. D'après les résultats de notre étude, on remarque que le contenu minéral du fruit présente une valeur minimale de l'ordre de $1,56\% \pm 0,06$ pour la population OL du Plateau Central et maximale de $3,26\% \pm 0,43$ pour la population KS du Nord-Ouest avec une valeur moyenne qui est d'environ de $2,06\% \pm 0,25$.

Nos résultats sont similaires à ceux trouvés par Ait lhaj et al. (2021a) ($2,24\% \pm 0,03$) et supérieurs à ceux rapportés par Doukani et Tabak (2015) ($0,33\% \pm 0,0027$ à $0,69\% \pm 0,0023$), Barros et al. (2010) ($1,71\% \pm 0,09$), González et al. (2011) ($0,56\% \pm 0,15$) et Ruiz-Rodriguez et al. (2011) ($0,86\% \pm 0,21$).

La variation de la teneur en cendres des fruits pourrait être expliquée par l'origine géographique des échantillons, les conditions climatiques et les caractères édaphiques des sites d'études ou même à des facteurs génétiques.

2.2. Caractéristiques biochimiques

- **Rendement**

Les rendements d'extraction enregistrés varient entre 10,8 % et 11,5 % (Figure 13). Les populations ayant des fruits rouges foncés ont donné des rendements élevés par rapport aux autres. Ces résultats montrent que le stade de maturation influence sur le rendement des extraits.

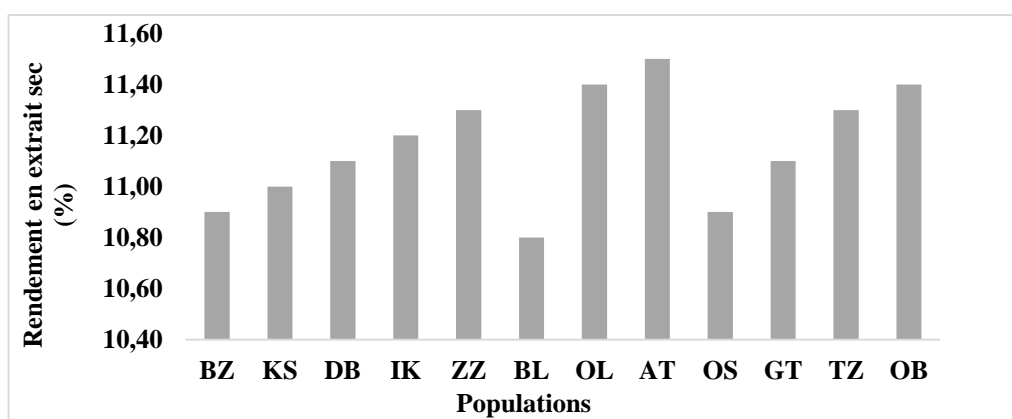


Figure 13 : Rendement en extrait sec du fruit d'arbousier des populations étudiées.

L'augmentation du taux d'extraction avec le stade de maturation a été aussi observée par [Gull et al. \(2012\)](#). Ces auteurs ont utilisé du méthanol 80 % dans l'extraction des composés antioxydants et ont révélés qu'à mesure que la maturité des fruits de la goyave progressait, le pourcentage du rendement en extrait hydro-méthanolique augmentait et que les fruits pleinement mûris avaient les plus hauts rendements en extraits.

- ***Polyphénols***

Les polyphénols deviennent de plus en plus les composés actifs les plus recherchés, surtout dans le domaine pharmaceutique et agroalimentaire grâce à leurs multiples vertus, en particulier, dans la prévention et la lutte contre les cancers et l'inhibition de la formation d'hydroperoxyde instable suite à l'oxydation des lipides ([Bonnefont-Rousselot, 2000](#)) et également contre l'oxydation des produits agroalimentaires ([Santillo et al., 2022](#)). La teneur en polyphénols totaux exprimée en mg GAE/g d'extrait donne une estimation globale de la teneur de différentes classes des composés phénoliques contenus dans l'extrait du fruit d'arbousier analysé ([Pawlowska et al., 2006](#)). Les résultats de la [figure 14](#) montrent que le fruit d'arbousier dans l'ensemble des populations étudiées, contient des polyphénols avec des teneurs notables. Ces teneurs sont comprises entre un minimum de 23,91 mgGAE/g \pm 0,025 pour la population AT originaire du Plateau Central et un maximum de 76,11 mgGAE/g \pm 0,013 pour la population GT du Haut Atlas du Maroc. Ces résultats sont supérieurs à ceux cités par [Alarcão-E-Silva et al. \(2001\)](#), [Tavares et al. \(2010\)](#) et [Orak et al. \(2011\)](#) et qui sont de l'ordre de 15,5mg GAE/g \pm 0,6 ; 18 mg GAE/g et 14,29 mg GAE/g respectivement. Nos résultats sont nettement inférieurs à ceux trouvés par [Barros et al. \(2010\)](#) pour le même fruit, qui sont de l'ordre de 126,83 mg GAE/g d'extrait et par [Sagbas et al. \(2020\)](#) (567 à 818 mg GAE/g de fruit frais). Des études faites par [Giddey \(1982\)](#), [Pedneault et al. \(2001\)](#) et [Aganga et Mosase \(2003\)](#) ont montrés que les facteurs extrinsèques (géographiques et climatiques), les facteurs génétiques, mais également le degré de maturation de la plante et la durée de stockage ont une forte influence sur le contenu en polyphénols.

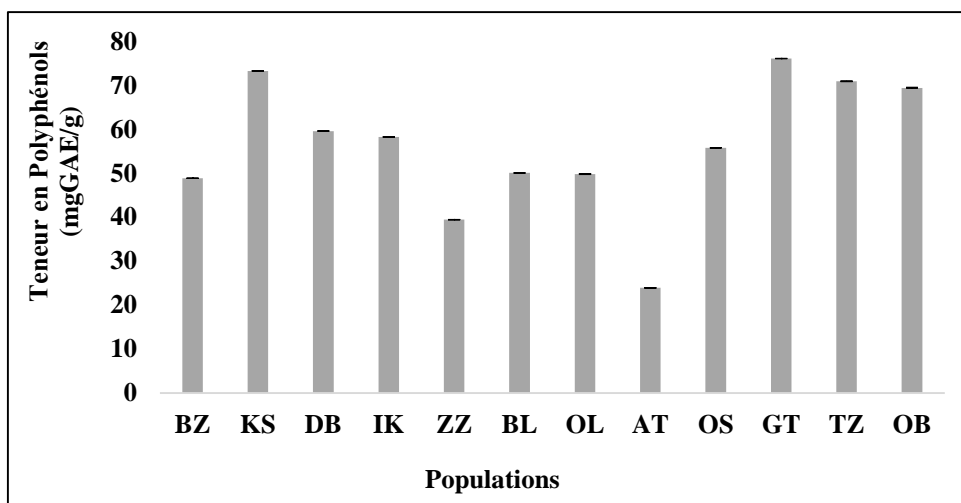


Figure 14 : Teneur moyenne en polyphénols totaux des extraits du fruit d'arbousier.

- **Flavonoïdes**

Les résultats de la distribution des teneurs en flavonoïdes dans les fruits étudiés sont représentés dans la figure 15. Comme pour les polyphénols, la population GT issue du Haut Atlas présente aussi des teneurs élevées en flavonoïdes qui sont de l'ordre : 85,50 mgER/g \pm 0,012. Alors que, la population BL du Pré-Rif renferme la faible valeur en ce composé (15,50 mgER/g \pm 0,003). Les résultats trouvés par [Mohammedi \(2020\)](#) sur le fruit de la même espèce (20,6 mgER/g \pm 0,6 à 38,9 mgER/g \pm 2,0) sont proches aux valeurs minimales que nous avons obtenues. En passant du stade non mûr au stade mûr, le fruit s'enrichit en flavonoïdes, substances bioactives à usages thérapeutiques multiples d'où l'usage en médecine traditionnelle de l'arbousier et en particulier de ses fruits.

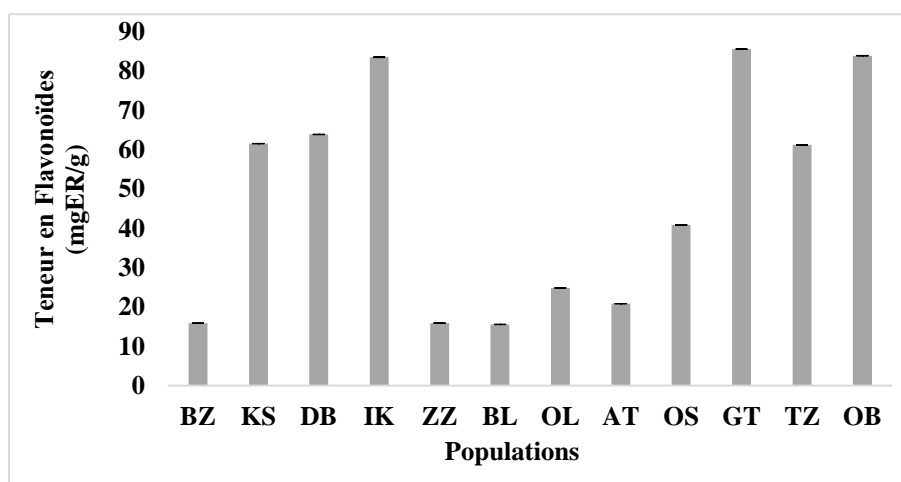


Figure 15 : Teneur moyenne en flavonoïdes des extraits de fruit d'arbousier.

- **Activité antioxydante**

L'activité antioxydante des extraits a été testée contre le radical DPPH. Ce test est une méthode directe et fiable pour déterminer l'action de piégeage des radicaux libres (Mohammedi, 2020).

Les valeurs EC50 estimées à partir des régressions linéaires ont permis d'évaluer, de classer et de comparer l'efficacité des extraits vis à vis de l'antioxydant de référence, l'acide ascorbique (Ac. Asc) (Figure 16). Plus la valeur d'EC50 est petite, plus l'activité antioxydante à piéger les radicaux libres est élevée. L'activité antioxydante des fruits d'arbousier est classée dans l'ordre suivant : 0,48 mg/ml±0,04 pour la population BZ du Nord Ouest et 0,55 mg/ml±0,01 pour la population TZ du Haut Atlas.

Ces résultats sont proches à ceux rapportés par Mohammedi, 2020 (0,5 mg/ml ±0,04 au stade fruit rouge) et inférieurs à ceux trouvés dans des fruits d'arbousier mûrs (0,790 mg/ml ±0,016) collectés sur le territoire du parc naturel de Montesinho (Bragança, Nord-Est du Portugal) (Mendes et al., 2011). Tous les extraits ont manifesté une bonne activité anti-oxydante avec des valeurs EC50 ≤ 1 mg/ml, avec une activité très élevée, exercée par l'extrait du fruit en pleine maturité. Heinrich (2005), a testé l'activité antioxydante de 127 espèces végétales y compris les fruits mûrs de l'arbousier, ses résultats expérimentaux ont révélés une activité antioxydante élevée sur le radical libre DPPH.

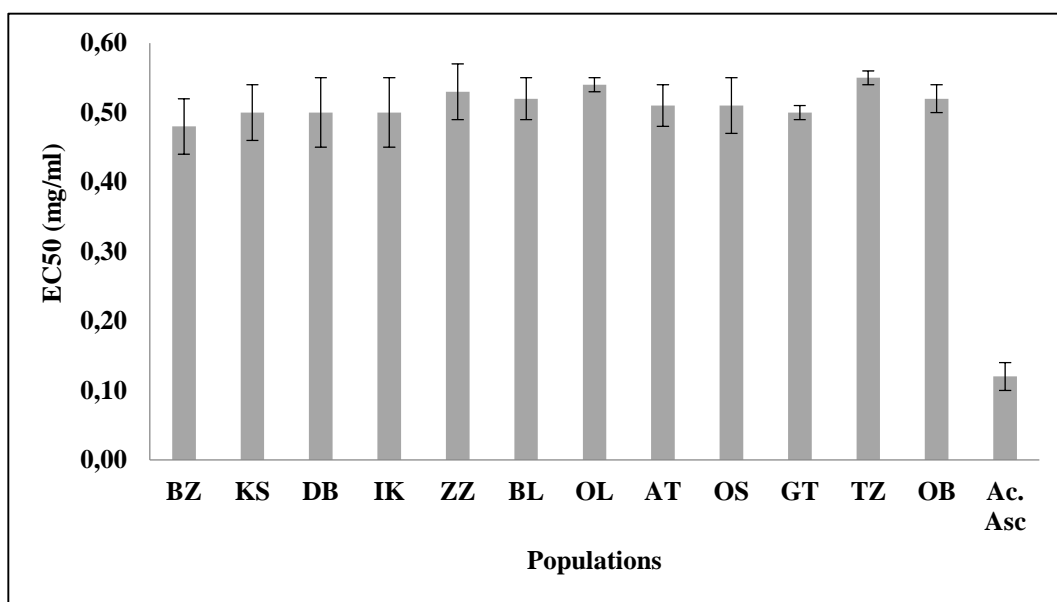


Figure 16 : Valeurs EC50 des extraits des fruits d'arbousier.

L'extrait des fruits mûrs d'arbousier au stade fruit rouge constitue donc un bon piègeur des radicaux libres en comparaison à d'autres extraits. La capacité antioxydante élevée du fruit rouge, testée par la méthode de DPPH est reliée, non seulement à la quantité, mais surtout à la

qualité des composés antioxydants présents dans ce fruit lorsqu'il atteint le stade de pleine maturité, un stade marqué par la coloration rouge. De plus nos résultats concordent avec ceux rapportés par [Isbilir et al. \(2012\)](#), qui ont déclaré que la capacité antioxydante des extraits des fruits était plus élevée lorsqu'ils sont entièrement rouges.

- **Protéines**

Les résultats du dosage des protéines ([Figure 17](#)) révèlent la richesse des fruits d'arbousier en ces composés. La teneur en protéines varie de 122,60 mg/100g±0,001 pour la population BZ provenant du Nord-Ouest du Maroc à 214,02 mg/100g±0,009 pour la population OL issue du Plateau Central. Les résultats obtenus par différents auteurs sur ce composé protéique sur les fruits de la même espèce sont dans les ordres suivants : [Özcan et Haciseferoğulları \(2007\)](#) (33,6 g/kg) ; [Ruiz-Rodríguez et al. \(2011\)](#) (8,9 g/kg) ; [González et al. \(2011\)](#) (31,8 g/kg) ; [Boussalah et al. \(2018\)](#) (22,6-35,5 g/kg) et [Ait lhaj et al. \(2021a\)](#) (2,83 0,04 g/100g).

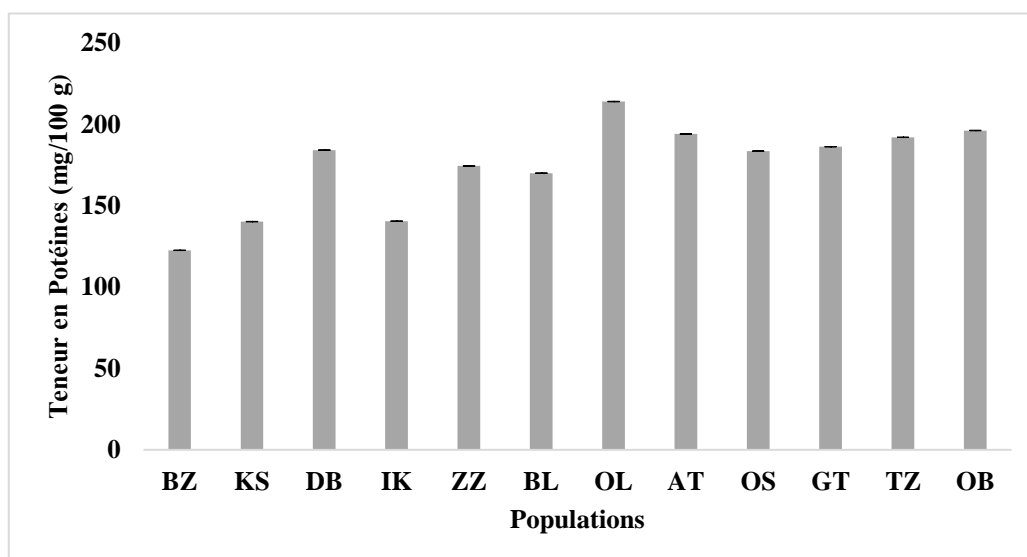


Figure 17 : Variation des composés protéiques du fruit d'arbousier.

- **Sucres totaux**

Les sucres sont les constituants les plus importants du fruit d'arbousier. Ils sont également responsables de la douceur de l'aliment ([Amellal, 2008](#)). La [figure 18](#) montre le résultat en teneurs des sucres présents dans le fruit d'arbousier pour l'ensemble des populations étudiées. D'après cette figure, on remarque que le contenu en sucres totaux du fruit de ladite espèce est de l'ordre de 44,40 g/100g ± 0,75 chez la population TZ originaire du Haut Atlas et 67,02 g/100g ± 1,13 pour la population OL provient du Plateau Central.

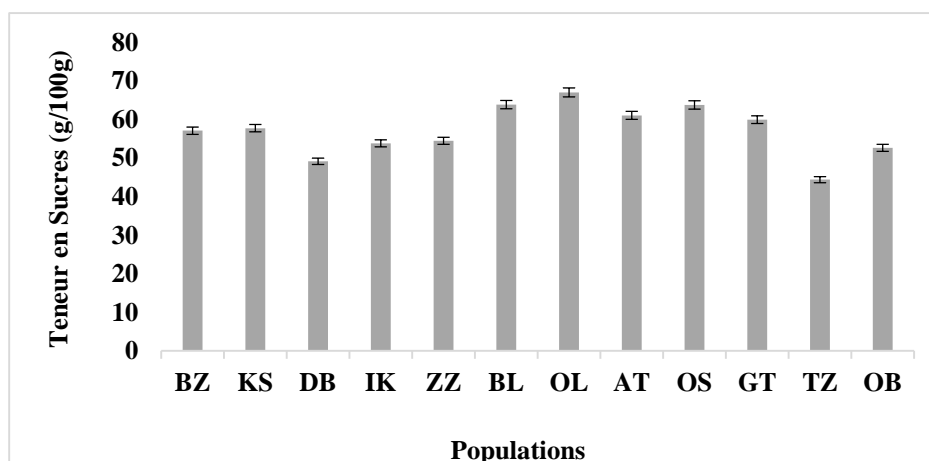


Figure 18 : Variation de la teneur en sucres dans le fruit d'arbousier.

Nos résultats suggèrent que le fruit d'arbousier renferme une teneur en sucres totaux supérieure de celle rapportée dans les travaux de [Favier et al. \(1993\)](#) ; [Tavares et al. \(2010\)](#) ; [Ruiz-Rodriguez et al. \(2011\)](#) et [Doukani et Tabak \(2015\)](#), qui ont trouvé des valeurs d'environ 20g/100g, 14,11g/100g, 14,11g/100g et $8,896g/100g \pm 0,679$ à $14,012g/100g \pm 2,39$ respectivement. Ces variations pourraient être attribuées à plusieurs facteurs tels que l'âge de la plante, la charge de l'arbre, le stade de maturation et l'état physiologique du fruit lors de l'analyse ([Ayaz et al., 2000](#)). D'après [Munier \(1973\)](#) ; [Nixon et Carpenter \(1978\)](#) et [Sawaya et al. \(1983\)](#), les sucres varient en fonction du climat et du stade de maturation. Tandis que [Dorais et al. \(2001\)](#), suggèrent que d'autres facteurs qui sont à l'origine de variation de niveau des sucres des fruits, à savoir ; la durée d'exposition au soleil, la disponibilité de l'eau, la teneur en minéraux des sols, l'irrigation et la fertilisation. Compte tenu des teneurs obtenues dans notre étude, ces fruits constitueraient une source non négligeable de sucres qui fournissent des calories, et confèrent aux fruits leurs saveurs agréables. En effet les sucres à concentration élevée permettent d'éviter la prolifération bactérienne dans les confitures et les gelées.

2.3. *Corrélations entre les paramètres physicochimiques et biochimiques du fruit d'arbousier*

Le [tableau 17](#) représente la corrélation entre les différents paramètres physicochimiques et biochimiques étudiés. D'après les valeurs de coefficient de corrélation de Pearson (r), on note que le taux des solides solubles exprimé en degré Brix présente une corrélation positive et significative avec la teneur en sucres ($r = 0,722^{**}$) et la matière sèche ($r = 0,615^*$). Alors que, la matière sèche est corrélée positivement avec la teneur en sucres du fruit avec un coefficient de $r = 0,675^*$, ce qui signifie que l'humidité a un impact négatif sur le taux des sucres et le degré Brix du fruit d'arbousier comme il a été prouvé par [Harrak et al. \(2005\)](#) chez les dattes des oasis

marocaines. La richesse du fruit d'arbousier marocain en flavonoïdes et polyphénols est traduite par une activité antioxydante (EC50) importante, ce qui a été confirmé par une corrélation significative entre cette dernière et les composés en question. Alors que, le coefficient de corrélation enregistre des valeurs de l'ordre de $r= 0,687^*$ et $r=0,663^*$ entre l'EC50 et les polyphénols et les flavonoïdes respectivement. Il est noté donc que la teneur élevée en ces composés entraîne une hausse au niveau de l'activité antioxydante de fruit de l'arbousier qui pourrait être une source des substances les plus recherchées dans le domaine pharmaceutique. Cela est en accord avec des travaux qui sont menés sur l'activité antioxydante de certaines plantes médicinales (Bougandoura et Bendimerad, 2012 ; Hebi et Eddouks, 2015). En Outre, les protéines pourraient avoir un effet sur l'activité antioxydante, ce qui est suggéré par la valeur de coefficient de corrélation entre eux ($r=0,693^*$). D'autre part, la teneur en polyphénols est corrélée significativement avec la teneur en flavonoïdes ($r = 0,787^{**}$).

Tableau 17 : Corrélation entre les paramètres physicochimiques et biochimiques du fruit d'arbousier étudié (Signification : *. P<0,05 ; **. P <0,01).

| | pH | Conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$) | Brix (%) | Acidité titrable (%) | Matière sèche (%) | Taux de cendres (%) | Sucres (g/100g) | Protéines (mg/100g) | EC50 (mg/ml) | Flavonoïdes (mgER/g) | Polyphénols (mgGAE/g) |
|--|--------|---|----------------|----------------------------|----------------------|---------------------------|--------------------|------------------------|-----------------|-------------------------|--------------------------|
| pH | 1 | | | | | | | | | | |
| Conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$) | -0,172 | 1 | | | | | | | | | |
| Brix (%) | -0,275 | 0,277 | 1 | | | | | | | | |
| Acidité titrable (%) | -0,469 | 0,157 | 0,488 | 1 | | | | | | | |
| Matière sèche (%) | 0,135 | 0,118 | 0,615* | 0,185 | 1 | | | | | | |
| Taux de cendres (%) | 0,210 | 0,303 | -0,125 | -0,229 | -0,021 | 1 | | | | | |
| Sucres (g/100g) | -0,203 | 0,372 | 0,722** | 0,428 | 0,675* | -0,032 | 1 | | | | |
| Protéines (mg/100g) | -0,388 | -0,486 | 0,302 | 0,272 | 0,302 | -0,617* | 0,118 | 1 | | | |
| EC50 (mg/ml) | -0,215 | -0,459 | 0,214 | -0,106 | 0,298 | -0,306 | -0,114 | 0,693* | 1 | | |
| Flavonoïdes (mgER/g) | -0,206 | -0,206 | -0,228 | 0,172 | -0,543 | -0,018 | -0,472 | 0,027 | 0,663* | 1 | |
| Polyphénols (mgGAE/g) | -0,058 | -0,230 | 0,126 | 0,257 | -0,364 | 0,160 | -0,368 | -0,072 | 0,687* | 0,787** | 1 |

2.4. Analyse de la variance ANOVA

Les résultats de l'analyse de la variance à un seul facteur (effet de provenance), réalisée sur les caractères physicochimiques et biochimiques sont présentés dans le [tableau 18](#).

Tableau 18 : ANOVA à un seul facteur de l'effet de provenance sur les paramètres physicochimiques et biochimiques du fruit d'arbousier (***) : Signification au seuil $p < 0,05$).

| Paramètres biochimiques et physicochimiques | ddl | Moyenne des carrés | F | Signification |
|--|-----|--------------------|---------|---------------|
| Flavonoïdes (mgER/g) | 11 | 3040,311 | 24,344 | 0,000*** |
| Sucres (g/100g) | 11 | 129,349 | 3,698 | 0,004*** |
| Protéines (mg/100g) | 11 | 2201,395 | 17,188 | 0,000*** |
| Polyphénols (mgGAE/g) | 11 | 700,136 | 267,754 | 0,000*** |
| EC50 (mg/ml) | 11 | 0,001 | 6,417 | 0,000*** |
| pH | 11 | 0,177 | 1,455 | 0,213 |
| Conductivité électrique ($\mu\text{s/cm}$) | 11 | 34530,270 | 1,206 | 0,335 |
| Brix (%) | 11 | 27,020 | 1,789 | 0,113 |
| Acidité titrable (%) | 11 | 0,030 | 2,040 | 0,070 |
| Matière sèche (%) | 11 | 191,581 | 19,204 | 0,000*** |
| Taux de cendres (%) | 11 | 0,551 | 6,968 | 0,000*** |

Cette analyse montre que les teneurs en flavonoïdes, protéines, polyphénols, et les taux de matières sèches, de cendres et de concentration effectrice (EC50) révèlent une différence très hautement significative entre les populations naturelles de l'arbousier marocain ($P=0,000$; $<0,05$). D'autre part, les sucres présentent aussi une signification non négligeable ($p=0,004$; $<0,05$). On suggère donc que l'effet de la provenance est significatif pour ces caractères de fruit d'arbousier du Maroc. Cependant, d'autres caractères physicochimiques, ne présentent pas de différences significatives ($p > 0,05$). Ceci montre que la provenance n'a pas d'influence sur ces paramètres, à savoir ; l'acidité titrable, le pH, le degré Brix et la conductivité électrique ($p=0,070$, $p=0,213$, $p=0,113$, $p=0,335$ respectivement ; $p > 0,05$). On suppose que les facteurs environnementaux et génétiques pourraient être la cause de l'expression de différence physicochimiques et biochimiques entre les populations étudiées comme nous avons prouvé pour les traits morphologiques de la même espèce ([Faïda et al., 2021](#)).

2.5. Analyse en Composantes Principales (ACP)

L'ACP fait ressortir des regroupements populationnels dont la constitution est variable selon la nature du composé ([Figure 19](#)). Le premier axe (PC1) décrivant 29,81% de la variation

totale, présente des charges factorielles élevées pour le taux des sucres, protéines, Brix et matière sèche, tandis que le deuxième axe (PC2) représentant 23,60% de la variance est corrélé significativement aux taux des protéines, activité antioxydante et flavonoïdes (Tableau 19).

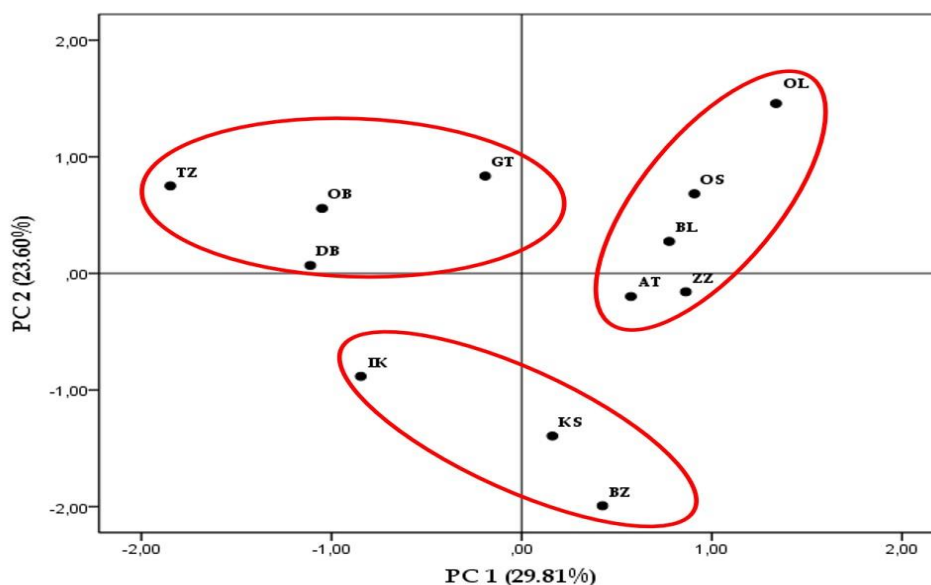


Figure 19 : Analyse en Composantes Principales des populations d'arbousier marocain.

Tableau 19 : Chargements des paramètres biochimiques et physicochimiques sur les deux premiers PCs (les plus élevés au seuil >0,5 sont en gras).

Les résultats de cette analyse ont permis de classer les populations naturelles d'arbousier marocain en trois groupes selon le taux des paramètres physicochimiques et les teneurs en métabolites biochimiques. Le premier groupe est constitué de trois populations provenant du Haut Atlas, à savoir : TZ, GT et OB et la population DB du Rif Occidental. Ces populations se sont révélées riches principalement en protéines, polyphénols et flavonoïdes et pauvres en

| Paramètres biochimiques et physicochimiques | Composante | |
|---|---------------|---------------|
| | 1 | 2 |
| Sucres (g/100g) | 0,829 | -0,352 |
| Protéines (mg/100g) | 0,522 | 0,763 |
| EC50 (mg/ml) | 0,346 | 0,615 |
| Flavonoïdes (mgER/g) | -0,549 | 0,518 |
| Polyphénols (mgGAE/g) | -0,410 | 0,433 |
| pH | -0,323 | -0,400 |
| Conductivité (µs/cm) | 0,196 | -0,677 |
| Brix (%) | 0,792 | 0,018 |
| Acidité titrable (%) | 0,461 | 0,236 |
| Matière sèche (%) | 0,801 | -0,207 |
| Taux de cendres (%) | -0,325 | -0,582 |

matière sèche et taux de cendres. Alors que le deuxième groupe est composé des populations

AT et OL originaires du Plateau Central, BL et ZZ issues du Pré-Rif et la population OS appartient au Moyen Atlas qui se caractérisent par des valeurs élevées en sucres, Brix et matière sèche et faibles en polyphénols et flavonoïdes. Le troisième et le dernier groupe renferme les populations KS et BZ du Nord-Ouest et IK du Rif Central. Ces populations se sont avérées faibles en protéines, acidité titrable et activité antioxydante (EC50) et présente des valeurs élevées en pH.

D'après l'analyse de ces résultats, on constate que la structure de la variabilité biochimique et physicochimique entre les populations naturelles d'arbousier pourrait être influencée par l'origine géographique qui est traduit par une variabilité au niveau des conditions éco-climatiques de ces provenances, auxquelles s'ajoutent la composition génétique des individus échantillonnés. Toutefois, les populations constituant le premier groupe se trouvent dans la même tranche altitudinale et se caractérisent par des températures moyennes annuelles et des précipitations identiques, à l'exception de la population DB qui est éloignée géographiquement de ces populations, et qui est caractérisée par des précipitations relativement élevées, ce qui est traduit par leur appartenance à l'étage bioclimatique de type humide. Tandis que les populations du deuxième groupe appartenant toutes à un étage bioclimatique subhumide sont caractérisées par des températures moyennes annuelles et précipitations modérées, à l'exception de la population AT du Plateau Central qui présente un taux de précipitation inférieur de celui des autres populations, ce qui est expliquée par son étage bioclimatique semi-aride. Cependant, les populations du troisième groupe sont issues d'étage bioclimatique subhumide et présentent des taux de précipitations annuelles élevés. Ces données montrent que le regroupement des populations étudiées ne suit pas seulement le gradient géographique des provenances, mais il pourrait être dû également à la composante génétique des individus collectés, ce qui suggère la présence d'une consanguinité entre les populations responsables de la formation de chaque groupe.

2.6. Classification hiérarchique

L'analyse des moyennes des paramètres biochimiques et physicochimiques des fruits d'arbousier, abouti à une classification hiérarchique des populations étudiées qui est présentée dans la figure 20.

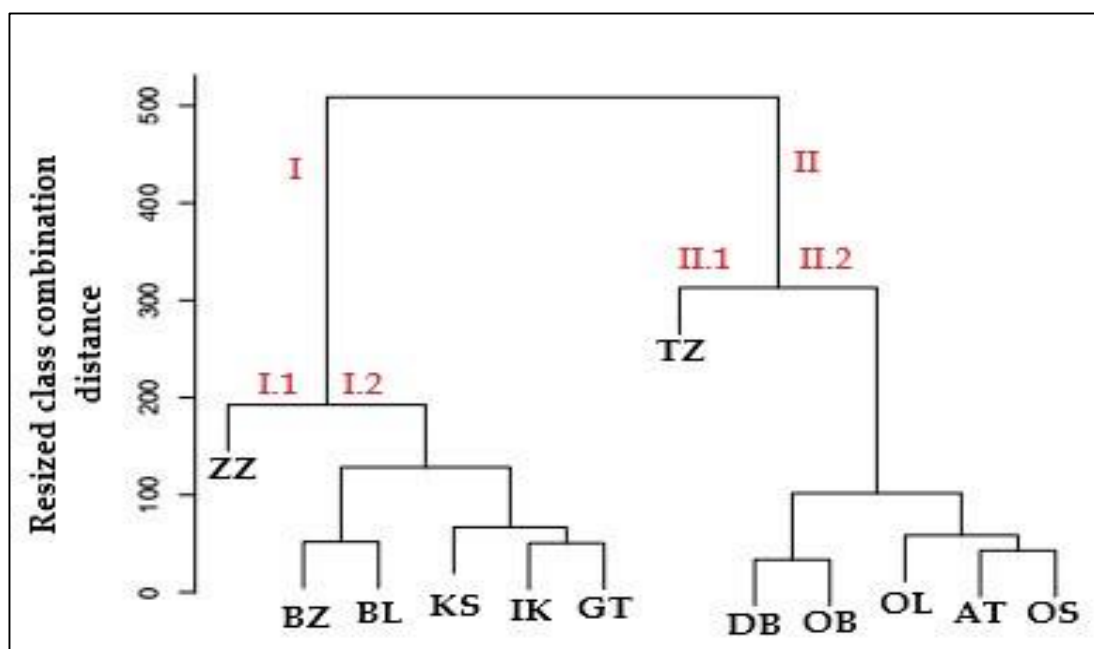


Figure 20 : Classification hiérarchique des populations d'arbousier étudié selon les caractères biochimiques et physicochimiques.

Le dendrogramme établi sur la base de la distance euclidienne, illustre les relations existantes entre les douzes populations d'arbousier de différentes provenances, en se basant sur la composition biochimique et la caractérisation physicochimique du fruit, a permis de révéler des relations génétiques entre ces populations. Deux principaux groupes sont distingués (I et II) et subdivisés en deux sous-groupes. Le plus marquant est l'isolement de la population ZZ du Pré-Rif des autres pour former toute seule le premier sous-groupe I.1 et qui se distingue par les valeurs les plus élevées en conductivité électrique, alors que les populations du Nord-Ouest du Maroc (BZ et KS), du Rif Central (IK), du Pré-Rif (BL) et GT du Haut Atlas, sont réunies pour constituer le deuxième sous-groupe I.2. Ces populations présentées par les valeurs élevées en conductivité électrique et faibles en protéines et activité antioxydante (EC50). Par contre, les populations du Moyen Atlas (OS), du Haut Atlas (OB), du Plateau Central (AT, OL), et DB du Rif Occidental correspondent aux bioclimats différents allant du semi-aride vers l'humide se rassemblent pour former le sous-groupe (II.1) du deuxième groupe, et qui sont révélées riches principalement en protéines et EC50 et pauvres en conductivité électrique, alors que la

population TZ originaire du Haut Atlas se démarque des autres populations pour former le deuxième sous-groupe (II.2) renferme les faibles valeurs en conductivité électrique.

La classification des populations ne s'opère pas seulement selon l'origine géographique. Au sein d'un même groupe, le rapprochement des populations ne se fait pas selon leur proximité géographique, mais par la probabilité d'intervention d'autres paramètres, à savoir la composition génétique, le pouvoir adaptatif de l'espèce et le flux des gènes. Ces résultats corroborent à nos travaux concernant l'effet de la provenance sur la variabilité morphologique d'arbousier (Faïda et al., 2021) en analysant les mêmes populations. La même constatation a été faite par Boulli et al. (2001) en analysant la variabilité phénotypique du pin maritime et par Wahid et al. (2005) dans leurs travaux sur la variabilité morphologique du pin d'Alep. D'après les résultats de ces études ont conclu que la structuration des populations est indépendante à leur origine géographique.

Conclusion

La présente étude nous a permis de déterminer le profil biochimique et physicochimique des populations d'arbousier collectées à travers son aire de répartition naturelle au Maroc, ainsi de mettre en évidence la variation des différents paramètres entre ces populations. Sur le plan physicochimique, les populations naturelles d'arbousier présentent une acidité agréable, puisque leur pH varie entre $3,25 \pm 0,13$ (population BL du Pré-Rif) et $4,22 \pm 1,11$ (population BZ du Nord-Ouest) et leur acidité titrable tend de $0,54\% \pm 0,17$ (population IK du Rif Central) vers $0,87\% \pm 0,01$ (population GT du Haut Atlas). Ainsi les populations sont caractérisées par une abondance en matière minérale ce qui est traduit par une conductivité électrique importante. Or, Sur le plan biochimique, les populations d'arbousier marocain présentent des taux importants et variables en polyphénols et en flavonoïdes ce qui est manifesté par une activité antioxydante très considérable qui a été évaluée par le taux du piégeage du radical libre DPPH. D'autre part, le fruit d'arbousier des populations étudiées présente des teneurs notables en substances énergétiques à savoir : les sucres et les protéines avec une variation significative entre les populations, puisque la population OL du Plateau Central enregistre des valeurs élevées en ses ressources, alors que la population TZ du Haut Atlas présente les faibles valeurs en sucres et la population BZ du Nord-Ouest en protéines. De même, les résultats de l'analyse de la variance à un seul facteur (ANOVA) montrent l'existence d'une variabilité appréciable entre les populations étudiées, et ce seulement pour les caractères flavonoïdes, protéines, polyphénols, matière sèche, taux de cendres, concentration effectrice (EC50), sucres et acidité titrable. L'effet provenance est donc significatif pour ces caractères du fruit d'arbousier. Cet

effet pourrait s'expliquer par les facteurs écologiques (e.g. climatiques, édaphiques, exposition, répartition géographique), physiologiques (e.g. l'âge de la plante, la période du cycle végétatif, le processus de maturation des fruits) et les facteurs génétiques. En plus, cette étude nous a permis de conclure une relation étroite entre la plupart des paramètres physicochimiques et biochimiques. Ce qui pourrait être exploité comme indicateur dans les programmes de la valorisation, la sélection et la conservation *ex-situ* de cette espèce. Les résultats de l'analyse en composantes principales et la classification hiérarchique ont montré que la structure de la variation entre les populations naturelles d'arbousier a permis de les diviser en deux groupes distincts à l'envers des paramètres étudiés. L'analyse de ces résultats montre que cette classification dépend non seulement à leur origine géographique, mais à plusieurs facteurs conjugués tels que ; la composition génétique, le pouvoir adaptatif de l'espèce et le flux des gènes. Donc, Il est intéressant de poursuivre cette étude pour la confirmation des résultats obtenus et pour une caractérisation plus large incluant d'autres critères de qualité (vitamines, tanins, anthocyanes, caroténoïdes, etc.).

Enfin, nous pouvons dire, que cette plante peu exploitée, qui pousse à l'état sauvage et dont ses fruits sont peu consommés, représente un réservoir immense de substances bioactives naturelles très intéressantes.

**Volet 3 : Diversité et structure génétique des
populations naturelles d'*Arbutus unedo* L. au
Maroc**

Introduction

L'érosion génétique que subissent actuellement les populations naturelles des espèces végétales y compris l'arbousier est l'un des enjeux environnementaux majeurs du 21^{ème} siècle. Le déclin des populations menacées de cette espèce est associé à certains facteurs stochastiques d'origine environnementale (catastrophes naturelles, sécheresses, changements climatiques, etc.), ou anthropique (surexploitation, urbanisation intensive, déforestation, destruction des écosystèmes, etc.). Cela peut entraîner au fil du temps la réduction de la taille des populations et accentuer la dérive génétique et la consanguinité (Young et Clarke, 2000 ; Donovan et Flather, 2002), diminuant ainsi leur capacité d'adaptation à certaines pressions de sélection (Rankevich et al., 1996).

Toutefois, la conservation et la gestion efficace de l'arbousier et de leurs habitats sont d'une nécessité urgente pour assurer leur pérennité. En effet, plusieurs études entrant dans le cadre de la valorisation et la conservation des ressources génétiques de cette espèce ont été faites, visant à analyser le polymorphisme génétique par des marqueurs moléculaires différents, notamment en Tunisie par la RAPD (Random Amplified Polymorphic DNA), et les Isozymes (Takrouni et Boussaid, 2010 ; Takrouni et al., 2012) et en Portugal par la RAPD (Rodrigues de Sà, 2010a ; Rodrigues de Sà et al., 2011 ; Gomes et al., 2012 ; Lopes et al., 2012), les ISSRs (Inter-Simple Sequence Repeats) (Rodrigues de Sà, 2010a ; Rodrigues de Sà et al., 2011), les SNPs (Single Nucleotide Polymorphic) (Fazenda et Jesus, 2013), et les SSRs (Simple Sequence Repeats) (Gomes et al., 2012 ; Fazenda et al., 2019).

A ce jour, et à notre connaissance, au Maroc, il n'existe pas de publications faisant état du développement de marqueurs moléculaires sur l'arbousier. Nos travaux sur la variabilité morphologique d'arbousier au Maroc ont révélé une diversité importante (Faïda et al., 2021). Mais la caractérisation morphologique n'est pas suffisante pour évaluer et différencier les populations de la même espèce. Par contre, les marqueurs moléculaires peuvent être utilisés pour capturer la variabilité génétique par l'accès direct au génome d'un individu. Ainsi qu'ils ne sont pas influencés par l'environnement et prennent moins de temps pour la caractérisation. Parmi les marqueurs moléculaires appliqués sur l'arbousier, Rodrigues de Sà (2010a), montre que l'utilisation des marqueurs ISSRs est simple, rapide, efficace et peu coûteuse. Dans ce contexte, nous avons procédé à une analyse du polymorphisme génétique de l'espèce. L'analyse de la variabilité génétique des populations naturelles d'arbousier a été abordée à l'aide de marqueurs ISSRs connus pour être hautement polymorphes et ayant l'avantage d'être reproductible. Notre étude a porté sur onze populations appartenant à des régions géographiques

différentes et ayant fait au préalable l'objet de l'étude de la caractérisation biochimique. Cette étude fournirait alors une contribution pour appréhender le devenir des populations et serait certainement d'une grande utilité dans les programmes de conservation afin de préserver le maximum de diversité génétique de l'espèce.

1. Matériel et méthodes

1.1. Matériel végétal

Onze populations d'arbousier représentant l'aire de répartition naturelle de cette espèce au Maroc, appartiennent à différentes régions géographiques et étages bioclimatiques ont été prospectées sur la base de la différence de leurs distances géographiques et de leur altitude. Ce travail a porté sur les mêmes populations d'arbousier étudiées dans les volets 1 et 2 à l'exception de la population Bouadel (BL). Six arbres ont été choisis au hasard de chacune des 11 populations. Les jeunes feuilles prélevées ont été stockées à -20°C jusqu'à leur utilisation pour l'extraction de l'ADN (Kabiri et al., 2019).

1.2. Extraction d'ADN et réactions PCR

Six individus de chaque population ont été pris au hasard pour l'extraction de l'ADN. 0,2 g de feuilles fraîches ont été broyées dans l'azote liquide pour obtenir une poudre fine. L'ADN génomique des jeunes feuilles a été extrait (Figure 21) avec la méthode décrite par Doyle et Doyle (1990) avec quelques modifications.



Figure 21 : Obtention des extraits d'ADN des feuilles d'arbousier.

La quantité et la qualité de l'ADN obtenu ont été évaluées par spectrophotométrie à 260 et 280 nm, et par visualisation sous lumière UV, après électrophorèse sur gel d'agarose à 0,7 % (p/v). L'ADN remis en suspension a ensuite été dilué dans de l'eau distillée stérile à une concentration appropriée pour être utilisé dans les réactions d'amplification (Tableau 20). La concentration d'ADN a été déterminée par spectrophotométrie et diluée à 30 ng/μl.

14 Amorces ISSRs qui ont précédemment montré des profils de bandes fiables et polymorphes ont été utilisées pour amplifier l'ADN génomique des populations d'arbousier (Kabiri et al., 2019 ; Ait Bella et al., 2021) (Tableau 21). Les amplifications PCR ont été réalisées dans un volume de 12,5 μl composé de 6,25 μl de Green Taq Mix (Vazyme, Nanjing, Chine), 0,75 μl d'H₂O, 0,4 μM d'amorce et 30 ng d'ADN matrice et complété par de l'eau distillée stérile.

Les PCR ont été effectuées dans un thermocycleur à gradient multigénique (Labnet, NJ, USA) sur 35 cycles, chacun consistant en : 94°C pour l'étape de dénaturation (30s), température déterminée pour chaque amorce pour l'étape d'annelage (30s), 72°C pour l'étape d'extension (4 min) et 72°C pour une étape finale d'extension (7 min). La température d'hybridation optimale pour chaque amorce a été déterminée à l'aide de la PCR à gradient de température.

Les produits ISSRs ont été séparés par électrophorèse sur gel d'agarose à 1,7% immergé dans un tampon TBE 0,5x, puis colorés avec 0,1 μg/μl de bromure d'éthidium. Les amplifias ont été visualisés sous lumière UV à l'aide du système Gel Doc (Enduro™ GDS, Labnet). Un ADN de 100 bp Plus II DNA Ladder, TRANS a été utilisé pour l'estimation de la masse moléculaire du produit PCR.

Tableau 20 : Concentrations et pureté d'ADN extrait des populations d'arbousier.

| Populations | Echantillons | Quantité d'ADN en (ng/μl) | Pureté d'ADN (DO260/DO280) |
|-------------|--------------|---------------------------|-------------------------------|
| BZ | 1 | 895 | 1,2 |
| | 2 | 360 | 1,2 |
| | 3 | 490 | 1,3 |
| | 4 | 875 | 1,5 |
| | 5 | 1045 | 1,4 |
| | 6 | 1330 | 1,4 |
| KS | 7 | 1050 | 1,4 |
| | 8 | 1665 | 1,5 |
| | 9 | 400 | 1,6 |
| | 10 | 710 | 1,8 |
| | 11 | 510 | 1,8 |
| | 12 | 465 | 1,7 |
| DB | 13 | 810 | 1,1 |
| | 14 | 930 | 1,3 |
| | 15 | 260 | 1,7 |
| | 16 | 435 | 1,3 |
| | 17 | 2850 | 1,1 |
| | 18 | 970 | 1,9 |
| OL | 19 | 665 | 1,3 |
| | 20 | 180 | 1,8 |
| | 21 | 450 | 1,3 |
| | 22 | 915 | 1,2 |
| | 23 | 465 | 1,9 |
| | 24 | 540 | 1,7 |
| OB | 25 | 740 | 1,2 |
| | 26 | 900 | 1,1 |
| | 27 | 745 | 1,2 |
| | 28 | 565 | 1,1 |
| | 29 | 200 | 1,7 |
| | 30 | 225 | 1,7 |
| GT | 31 | 1835 | 1,2 |
| | 32 | 250 | 1,1 |
| | 33 | 735 | 1,1 |
| | 34 | 270 | 1,8 |
| | 35 | 240 | 1,8 |
| | 36 | 790 | 1,6 |
| TZ | 37 | 175 | 1,6 |
| | 38 | 225 | 1,5 |
| | 39 | 240 | 1,5 |
| | 40 | 360 | 1,3 |
| | 41 | 210 | 1,7 |
| | 42 | 735 | 1,5 |

| | | | |
|----|----|------|-----|
| ZZ | 43 | 210 | 1,8 |
| | 44 | 620 | 1,4 |
| | 45 | 435 | 1,2 |
| | 46 | 345 | 1,3 |
| | 47 | 515 | 1,9 |
| | 48 | 315 | 1,7 |
| IK | 49 | 200 | 1,6 |
| | 50 | 250 | 1,7 |
| | 51 | 405 | 1,2 |
| | 52 | 515 | 1,3 |
| | 53 | 1500 | 1,1 |
| | 54 | 350 | 1,8 |
| AT | 55 | 785 | 1,5 |
| | 56 | 585 | 1,2 |
| | 57 | 465 | 1,3 |
| | 58 | 750 | 1,3 |
| | 59 | 545 | 1,3 |
| | 60 | 365 | 1,4 |
| SO | 61 | 975 | 1,4 |
| | 62 | 605 | 1,3 |
| | 63 | 500 | 1,3 |
| | 64 | 430 | 1,3 |
| | 65 | 525 | 1,3 |
| | 66 | 1010 | 1,3 |

1.3. Analyse des données

Pour l'analyse ISSR, la présence d'une bande amplifiée est codée 1, tandis que son absence est codée 0. Le codage des bandes amplifiées donne une matrice binaire (0/1) qui va servir pour le calcul de plusieurs paramètres de diversité génétique, à savoir : le nombre total de bandes amplifiées (NT), le pourcentage de bandes polymorphes (%P), le contenu d'information sur le polymorphisme (PIC) et le pouvoir de résolution (RP). Le PIC et le RP ont été calculés selon [Botstein et al. \(1980\)](#), [Prevost et Wilkinson \(1999\)](#) et [Gomes et al. \(2012\)](#).

La matrice binaire générée a été analysée à l'aide du logiciel POPGENE version 1.32. Les paramètres de diversité comprenant le nombre d'allèles (Na), le nombre effectif d'allèles (Ne), l'indice d'information de Shannon (I), la diversité génétique au sein des populations (Hs), la diversité génétique totale (Ht), et le coefficient de différenciation génétique (Gst) ont été utilisés pour estimer la variabilité génétique des populations étudiées. Nous avons réalisé d'une part une analyse de la variance moléculaire globale (AMOVA) pour déterminer la différenciation génétique entre et au sein les populations, et d'autre part, une analyse d'AMOVA hiérarchique pour rechercher la quantité de différenciation entre les trois groupes d'altitude: très basse

(populations : BZ, KS, DB, IK, ZZ, AT et TZ), basse (populations : OL et GT) et moyenne (populations : OB et OS), les trois étages bioclimatiques : semi-aride, subhumide et humide, et les cinq régions géographiques des populations étudiées : Nord-Ouest, Rif, Plateau Central, Moyen et Haut Atlas. Les différenciations génétiques par paires (F_{ST}) entre les 11 populations ont également été générées par AMOVA. Des indices F_{ST} spécifiques aux populations ont également été calculés pour explorer les populations les plus et/ ou les moins différenciées des autres. L'indice de diversité génétique moyenne à travers les loci (A) a été calculé pour évaluer la variabilité intra-population ([Tableau 25](#)). Le nombre de permutations de tests significatifs a été fixé à 2000 pour toutes les analyses. Ces analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel ARLEQUIN version 3.01 ([Excoffier et al., 2005](#)). Le flux génétique (nombre de migrants par génération = N_m) a été estimé par le modèle de Wright ([Slatkin et Barton, 1989](#)) comme $N_m = 0,25 (1/F_{ST}-1)$. La distance génétique a été évaluée à l'aide du coefficient de similarité de SM (Simple Matching) en utilisant le logiciel NTSYS-pc 2.02 ([Rohlf, 2001](#)). La matrice de distance génétique résultante entre les arbres des populations étudiées a ensuite été utilisée pour construire un dendrogramme basé sur la méthode de Neighbor Joining (NJ) en utilisant le même logiciel. La corrélation entre la matrice des distances génétiques et celle des distances géographiques a été faite par le test de Mantel ([Mantel, 1967](#)) (1000 permutations ; routine MXCOMP du package NTSYS-pc ([Rohlf, 1998](#))).

Pour déduire la structure génétique des populations d'arbousier marocain, une analyse bayésienne a été réalisée à l'aide du logiciel STRUCTURE, v.2.3.4 ([Pritchard et al., 2000](#)). L'appartenance de chaque individu a été testée pour la gamme de groupes génétiques (K) de 1 à 10 avec le modèle d'admixture, où chaque simulation a été répétée 10 fois pour chaque K et chaque passage a consisté en une période de burn-in de 10 000 et 50000 itérations. Le nombre idéal de groupes génétiques (K) a été déterminé par une statistique ad hoc ΔK basée sur le taux de changement de la probabilité logarithmique des données entre les valeurs successives de K à l'aide du programme Structure Harvester ([Earl, 2012](#)), qui met en œuvre la méthode Evanno ([Evanno et al., 2005](#)). Pour obtenir un alignement optimal des runs indépendants, le logiciel CLUMPP ([Kopelman et al., 2015](#)) a été utilisé pour calculer la similarité moyenne par paire (H') des runs.

2. Résultats

2.1. Polymorphisme des marqueurs ISSRs

Les 14 amorces ISSRs utilisées pour toutes les populations ont généré 142 fragments d'ADN discernables et reproductibles, dont 134 (94,06%) étaient polymorphes. Les résultats typiques obtenus avec l'amorce UBC 844 sont présentés dans la [figure 22](#).

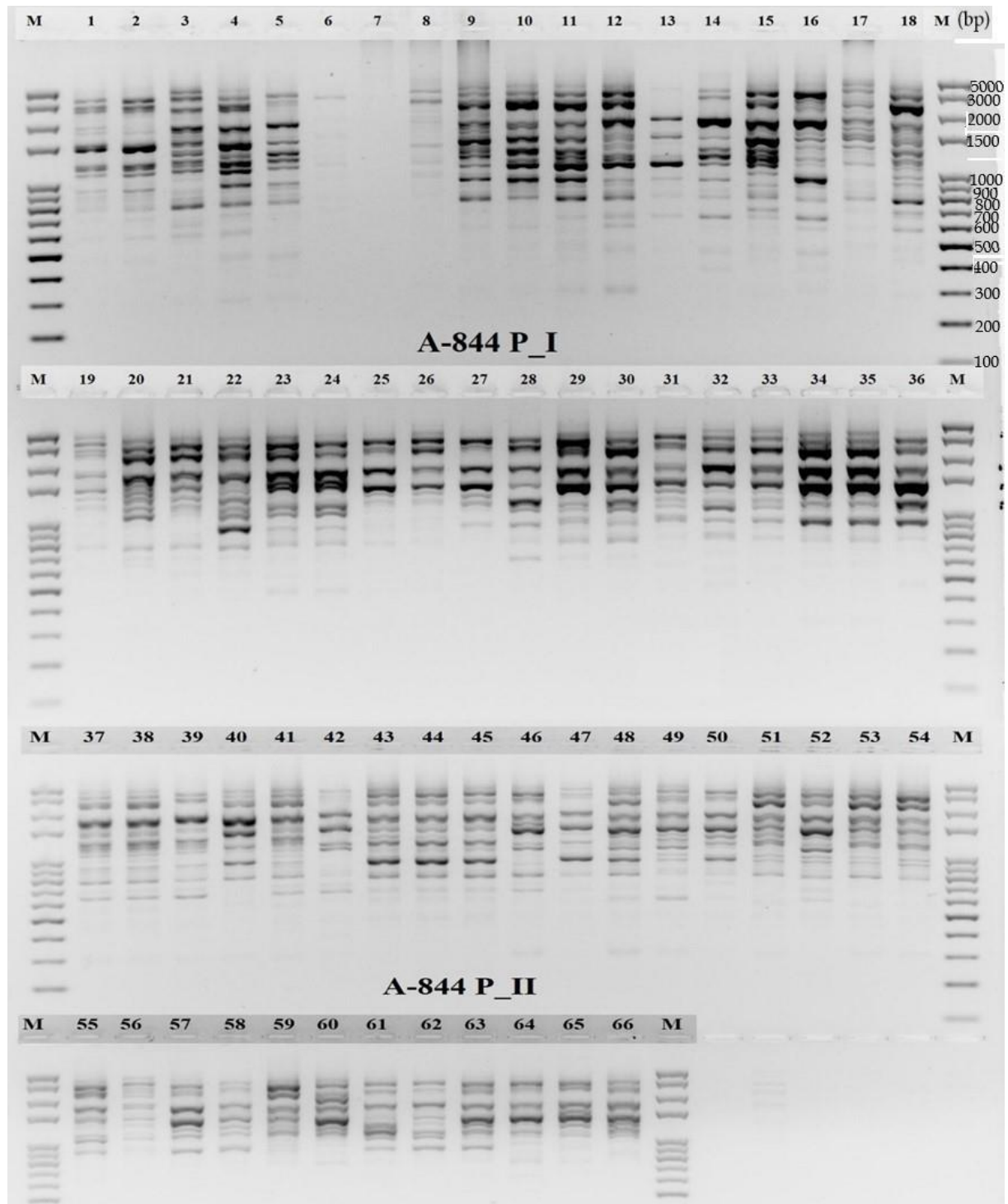


Figure 22 : Amplifications produites à l'aide de l'amorce UBC 844 chez 66 échantillons d'arbousier étudiés.

La taille des bandes a varié de 300 à 5000 pb. Le nombre total de bandes par amorce a varié de 6 (UBC818) à 15 (UBC845) avec une moyenne de 10,00. Le pourcentage de bandes polymorphes par amorce (P%), a oscillé entre 83,33% (UBC 818, 841) et 100% (UBC 807, 810, 814, 835 et 835) avec une moyenne de 94,06 % (Tableau 21).

Tableau 21 : Paramètres de la variation génétique générée par les amorces ISSRs.

| Primer | Sequence (5'-3') | AT°C | NT | %P | PIC | RP |
|---------|---------------------|------|-------|-------|------|------|
| UBC 807 | (AG)8T | 46,1 | 10 | 100 | 0,50 | 5,67 |
| UBC 810 | (GA)8T | 44,8 | 11 | 100 | 0,49 | 7,45 |
| UBC 814 | (CT)8A | 44,3 | 8 | 100 | 0,40 | 4,21 |
| UBC 815 | (CT)8G | 45,1 | 10 | 90 | 0,49 | 5,30 |
| UBC 818 | (CA)8G | 46,5 | 6 | 83,33 | 0,42 | 1,55 |
| UBC 834 | (AG)8YT | 49,5 | 9 | 88,88 | 0,50 | 6,67 |
| UBC 835 | (AG)8YC | 55,9 | 13 | 100 | 0,50 | 6,76 |
| UBC 836 | (AG)8YA | 49,1 | 7 | 85,71 | 0,47 | 3,61 |
| UBC 841 | (GA)8YC | 47,7 | 12 | 83,33 | 0,50 | 6,55 |
| UBC 844 | (CT)8RC | 47,3 | 13 | 92,30 | 0,50 | 8,70 |
| UBC 845 | (CT)8RG | 49 | 15 | 93,33 | 0,47 | 7,57 |
| UBC 853 | (TC)8RT | 49,1 | 7 | 100 | 0,46 | 4,36 |
| UBC 855 | (AC)8YT | 46,4 | 9 | 100 | 0,48 | 6,03 |
| UBC 857 | (AC)8YG | 49,3 | 12 | 100 | 0,44 | 6,76 |
| Moyenne | - | - | 10,00 | 94,06 | 0,47 | 5,80 |

AT°C = température d'hybridation en C° ; NT = nombre total de fragments amplifiés ; %P = pourcentage de polymorphisme ; PIC = contenu d'information sur le polymorphisme ; Rp = pouvoir résolutif ; Y = (Cytosine, Thymine) ; R = (Adénine, Guanine).

Selon Roldán-Ruiz et al. (2000), la valeur du contenu d'information du polymorphisme (PIC) de chaque marqueur est représentée par la probabilité que le marqueur soit présent ou absent chez deux individus aléatoires de la population, et les marqueurs dominants, comme les ISSRs, avec des valeurs proches de 0,50 sont meilleurs. La valeur PIC des marqueurs utilisés dans cette étude a échangé de 0,40 pour l'amorce UBC 814 à 0,50 pour les amorces UBC 807, UBC 834, UBC 835, UBC 841 et UBC 844, avec une moyenne de 0,47. Pour le pouvoir résolutif (Rp), utilisé pour déterminer la capacité des amorces à différencier les populations, les

valeurs obtenues dans cette étude se sont étendues de 1,55 (UBC818) à 8,70 (UBC844) avec une moyenne de 5,78.

2.2. Diversité génétique et structure des populations de l'arbousier

Les paramètres définis (N_a , N_e , I , H_s , H_t , G_{st} et N_{em}) peuvent décrire, jusqu'à un certain niveau, la diversité génétique des populations ainsi que celle des individus qui les composent. Certes, la variabilité génétique d'un individu demeure inchangée tout au long de sa vie, à l'exception d'éventuelles mutations. Toutefois, la constitution génétique d'une population présente une possibilité de variation dans le temps. En effet, les populations subissent des forces évolutives qui déterminent leur constitution génétique et tendent à la maintenir ou à la modifier.

Les résultats de l'analyse ISSR présentés dans le [tableau 22](#), ont montré que le nombre d'allèles observé chez tous les amorces est de l'ordre de 2, alors que le nombre d'allèles effectifs était de 1,33 pour l'UBC 818 à 1,67 pour l'UBC 836 avec une valeur moyenne de 1,56.

L'indice d'information de Shannon (I) varie de 0,36 (UBC 818) à 0,58 (UBC 836) avec une moyenne de 0,51, tandis que la diversité génétique totale (H_t) était de 0,22 (UBC 818) à 0,39 (UBC 836) avec une moyenne de 0,34, alors que les faibles valeurs de diversité génétique au sein des populations (H_s) ont été observées chez l'amorce UBC 818 (0,16) et les plus élevées ont été notées chez UBC 836 (0,30) avec une moyenne de 0,24.

Le coefficient de différenciation génétique (G_{st}) était de 0,28, signifiant que 72% de la variabilité génétique totale réside au sein des populations et 28% existe entre les populations. La valeur la plus faible de G_{st} a été notée chez l'amorce UBC 814 (0,14) et la plus élevée s'est observée chez l'amorce UBC 807 (0,36). Cette large différenciation des populations, révélée par la valeur de $G_{st}=0,28$, a été confirmée par celle de F_{ST} (0,207).

Tableau 22 : Analyse de la diversité génétique de 11 populations d'arbousier marocain basée sur des marqueurs ISSRs.

| Amorces | Nombre d'individus | Na | Ne | I | Ht | Hs | Gst |
|----------------|-------------------------------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|------------|
| UBC 807 | 66 | 2 | 1,61 | 0,52 | 0,35 | 0,21 | 0,35 |
| UBC 810 | 66 | 2 | 1,65 | 0,54 | 0,37 | 0,24 | 0,31 |
| UBC 814 | 66 | 2 | 1,38 | 0,41 | 0,25 | 0,22 | 0,14 |
| UBC 815 | 66 | 2 | 1,51 | 0,49 | 0,32 | 0,24 | 0,23 |
| UBC 818 | 66 | 2 | 1,33 | 0,36 | 0,22 | 0,16 | 0,24 |
| UBC 834 | 66 | 2 | 1,49 | 0,47 | 0,30 | 0,27 | 0,30 |
| UBC 835 | 66 | 2 | 1,55 | 0,50 | 0,33 | 0,25 | 0,21 |
| UBC 836 | 66 | 2 | 1,67 | 0,58 | 0,39 | 0,30 | 0,24 |
| UBC 841 | 66 | 2 | 1,52 | 0,48 | 0,32 | 0,21 | 0,34 |
| UBC 844 | 66 | 2 | 1,52 | 0,48 | 0,32 | 0,28 | 0,32 |
| UBC 845 | 66 | 2 | 1,53 | 0,48 | 0,31 | 0,24 | 0,22 |
| UBC 853 | 66 | 2 | 1,51 | 0,50 | 0,33 | 0,25 | 0,23 |
| UBC 855 | 66 | 2 | 1,57 | 0,52 | 0,34 | 0,27 | 0,20 |
| UBC 857 | 66 | 2 | 1,47 | 0,46 | 0,29 | 0,24 | 0,19 |
| Moyenne | - | 2 | 1,56 | 0,51 | 0,34 | 0,24 | 0,28 |

Na= Nombre d'allèles ; **Ne**= Nombre effectif d'allèles ; **I**= Indice de Shannon ; **Ht** = Diversité génétique totale ; **Hs** = diversité génétique au sein des populations ; **Gst** = Coefficient de différenciation génétique.

Les résultats de l'analyse de la variance moléculaire globale (Tableau 23) ont révélé que 20,70% de la variation génétique totale se trouve entre les populations, tandis que 79,30% de la différenciation réside au sein des populations. Le grand niveau de différenciation entre les populations ($F_{ST}=0,207$) est en accord avec la faible valeur du flux génétique estimé ($N_{em}=0,97$) qui fournit des informations sur la quantité de migration entre les populations étudiées. En outre, une analyse hiérarchique de l'AMOVA a été utilisée pour identifier la source de la variation génétique entre les populations, en se basant sur les groupes d'altitude, du bioclimat et d'origine géographique. Les résultats ont révélé une très faible différenciation génétique entre les groupes altitudinales, bioclimatiques et géographiques ($F_{CT}= 0,032$; $F_{CT}=-0,023$ et $F_{CT}= 0,021$ respectivement), ce qui suggère qu'il n'y a aucun signe d'adaptation locale des populations d'arbousier étudiées, en utilisant les marqueurs ISSRs.

Tableau 23 : Analyse de la variance moléculaire (AMOVA) des 11 populations d'arbousier.

| Source de variation | Degré de liberté | Somme des carrés | Composantes de la variance | % de la variation | F-statistics |
|---|------------------|------------------|----------------------------|-------------------|--------------|
| Globale | | | | | |
| Interpopulation | 10 | 571,485 | 5,813 | 20,7 | |
| Intrapopulation | 55 | 1225 | 22,273 | 79,3 | FST =0,207 |
| Hiérarchique | | | | | |
| Entre les groupes altitudinaux | 2 | 139,485 | 0,902 | 3,17 | FCT= 0,032 |
| Entre les populations au sein des groupes | 8 | 432 | 5,288 | 18,58 | FSC= 0,192 |
| A l'intérieur des populations | 55 | 1225 | 22,273 | 78,25 | FST= 0,217 |
| Entre les groupes bioclimatiques | 2 | 95,679 | -0,627 | 2,25 | FCT=-0,023 |
| Entre les populations au sein des groupes | 8 | 475,806 | 6,200 | 22,27 | FSC=0,218 |
| A l'intérieur des populations | 55 | 1225 | 22,273 | 79,99 | FST=0,200 |
| Entre les groupes géographiques | 4 | 247,096 | 0,601 | 2,13 | FCT= 0,021 |
| Entre les populations au sein des groupes | 6 | 324,389 | 5,299 | 18,81 | FSC= 0,192 |
| A l'intérieur des populations | 55 | 1225,000 | 22,273 | 79,06 | FST= 0,209 |
| Total | 65 | 1796,485 | 28,085 | | |

Signification au niveau ($p < 0,05$).

Les distances génétiques entre les populations d'arbousier ont été estimées en utilisant les valeurs FST pour rechercher la différenciation génétique entre celles-ci. Les valeurs FST par paire et les distances géographiques entre les 11 populations sont présentées dans le [tableau 24](#). Sur un total de 66, on note que 60 valeurs de distances génétiques (FST) entre populations étaient significatives ($P < 0,05$), indiquant que les populations sont largement différenciées les unes des autres. Les valeurs ont varié de 0,020 (DB/KS, 58,41 km) à 0,325 (GT/BZ, 415,16 km), indiquant que les populations de très basses et de basses altitudes (150 m et 745m) notamment : DB du bioclimat humide issue du Rif Occidental et KS provenant du Nord-Ouest et appartenant au étage bioclimatique subhumide étaient les plus génétiquement proches l'une de l'autre, et que les populations BZ du Nord-Ouest et GT du Haut Atlas, appartenant

respectivement aux étages bioclimatiques subhumide et semi-aride et avec des altitudes variées (422m et 967m), étaient les plus éloignées génétiquement. La matrice des 66 distances génétiques par paire (FST) entre les 11 populations n'a pas été significativement associée à celles des distances géographiques correspondantes après exécution du test de Mantel ($r = 0,055$; $t = 0,38$; $p = 0,65$).

Les valeurs de FST spécifiques à chaque population sont présentées dans le [tableau 25](#). Les deux populations KS et DB ont obtenu la valeur la plus faible (0,18), tandis que les populations IK et OB ont enregistré la valeur la plus élevée (0,22), indiquant que les deux premières sont les moins divergentes, alors que les deuxièmes sont les plus divergentes du reste.

L'analyse de la variabilité génétique intrapopulation a été estimée par la moyenne de la diversité génétique à travers les loci et dont les résultats sont présentés dans le [tableau 25](#). Les valeurs de la diversité génétique de chaque population ont varié de $0,27 \pm 0,16$, enregistrées chez les deux populations d'IK et OB, à $0,36 \pm 0,21$ et $0,37 \pm 0,22$ marquées dans les populations KS et DB, avec une moyenne générale de $0,31 \pm 0,18$. Les populations KS et DB se sont avérées les plus variables et ont obtenu aussi les valeurs les plus élevées du flux de gènes ($Nem=1,11$), alors que les deux populations les moins variables (IK et OB) sont dotées d'un flux de gène limité (0,87).

Tableau 24 : Matrice des valeurs FST par paire et des distances géographiques correspondantes en km (au-dessus de la diagonale) pour 11 populations d'arbousier obtenues à partir des 14 amorces ISSRs. * Signification au niveau $p < 0,05$. **NS :** Non significatif.

| | BZ | KS | DB | IK | ZZ | OS | OL | AT | GT | TZ | OB |
|----|-----------------|-----------------|--------|--------|------------------|--------|--------|-----------------|--------|-----------------|--------|
| BZ | 0,000 | 69,41 | 24,49 | 80,57 | 86,01 | 200,64 | 160,13 | 192,07 | 415,16 | 475,17 | 316,04 |
| KS | 0,099 NS | 0,000 | 58,41 | 141,75 | 149,76 | 251,71 | 197,21 | 200,29 | 438,04 | 498,06 | 353,68 |
| DB | 0,037 NS | 0,020 NS | 0,000 | 86,13 | 92,92 | 213,71 | 171,12 | 198,73 | 424,95 | 484,96 | 327,62 |
| IK | 0,253* | 0,236* | 0,222* | 0,000 | 38,4 | 206,86 | 198,09 | 252,92 | 453,36 | 513,33 | 340,18 |
| ZZ | 0,196* | 0,245* | 0,173* | 0,137* | 0,000 | 198,12 | 193,17 | 251,13 | 447,19 | 507,18 | 332,6 |
| OS | 0,236* | 0,213* | 0,194* | 0,099* | 0,102* NS | 0,000 | 82,19 | 162,17 | 262,9 | 262,88 | 138,79 |
| OL | 0,191* | 0,220* | 0,142* | 0,315* | 0,232* | 0,266* | 0,000 | 84,31 | 257,27 | 317,26 | 157,34 |
| AT | 0,265* | 0,229* | 0,230* | 0,230* | 0,229* | 0,171* | 0,138* | 0,000 | 254,65 | 314,33 | 181,18 |
| GT | 0,325* | 0,242* | 0,295* | 0,264* | 0,317* | 0,231* | 0,263* | 0,104 NS | 0,000 | 80,29 | 128,32 |
| TZ | 0,197* | 0,193* | 0,200* | 0,191* | 0,203* | 0,184* | 0,233* | 0,152* | 0,154* | 0,000 | 188,27 |
| OB | 0,188* | 0,220* | 0,154* | 0,255* | 0,249* | 0,254* | 0,238* | 0,243* | 0,272* | 0,039 NS | 0,000 |

Tableau 25 : Valeurs de FST spécifique à chaque population, de flux génétique Nem et de variabilité intra-population calculée par la moyenne de la diversité génétique à travers les loci.

| Populations | FST | Nem | Diversité génétique±SD |
|--------------------|------------|------------|-------------------------------|
| BZ | 0,22 | 0,90 | 0,29 ±0,17 |
| KS | 0,18 | 1,11 | 0,36±0,21 |
| DB | 0,18 | 1,11 | 0,37±0,22 |
| IK | 0,22 | 0,87 | 0,27±0,16 |
| ZZ | 0,19 | 1,03 | 0,34±0,20 |
| OS | 0,21 | 0,93 | 0,30±0,18 |
| OL | 0,21 | 0,93 | 0,30±0,18 |
| AT | 0,20 | 1,02 | 0,34±0,20 |
| GT | 0,21 | 0,93 | 0,30±0,18 |
| TZ | 0,21 | 0,93 | 0,30±0,18 |
| OB | 0,22 | 0,87 | 0,27±0,16 |
| Moyenne | 0,21 | 0,97 | 0,31±0,18 |

2.3. Relations génétiques entre les populations

La méthode d'analyse de regroupement NJ a été appliquée pour regrouper les génotypes d'arbousier sur la base du coefficient de similarité de SM (Simple Matching). Le dendrogramme établi sur cette base a donné lieu à quatre principaux groupes (Figure 23). Le premier (I) groupe (le plus large) est formé de 29 arbres et se divise en deux sous-groupes à savoir : I.1 et I.2. Le premier sous-groupe I.1, comprend les arbres (BZ1, BZ2, BZ3, BZ6, KS1, KS2, OS2, OS5, OS6, OL1 et ZZ5) provenant des zones subhumides, les arbres (DB1, DB2, DB5) de l'étage bioclimatique humide et (AT2 et TZ6) originaires du semi-aride. Le deuxième sous-groupe I.2 est composé des arbres (BZ4, BZ5, KS3, KS4, KS5, KS6) issues du subhumide, (DB4, DB3 et DB6) de l'humide et (TZ1, TZ2, TZ3 et TZ5) originaires des zones semi arides.

Le deuxième groupe (II) se divise lui-même en deux sous-groupes distincts. Le premier (II.1) est composé de neuf arbres : OL2, OL3, OL4 et OL5 de très basse altitude, GT1, GT2 de basse altitude et, OB4, OB5 et OB6 du groupe d'altitude moyenne. Tandis que cinq arbres : OL6 de très basse altitude, GT3 de basse altitude et OB1, OB2 et OB3 d'altitude moyenne constituent le second sous-groupe (II.2).

Le troisième groupe (III) comprend trois arbres GT4, GT5 et GT5 du Haut Atlas qui constituent le premier sous-groupe (III.1), tandis que le second sous-groupe (III.2) est formé des arbres suivants : IK3, IK4, IK5, IK6, ZZ1, ZZ2, ZZ3, ZZ4 et ZZ6 du Rif, TZ4 du Haut Atlas et AT6 du Plateau Central. Le quatrième groupe contient le reste des arbres analysés, dans lequel deux sous-groupes ont pu être identifiés.

Les 66 arbousiers analysés ont généré 65 haplotypes d'ISSR, reflétant une grande variabilité intra-population. Il convient de mentionner que la plupart des individus de la même population ont tendance à se regrouper ensemble et par conséquent, sont génétiquement plus proches que les individus des autres populations.

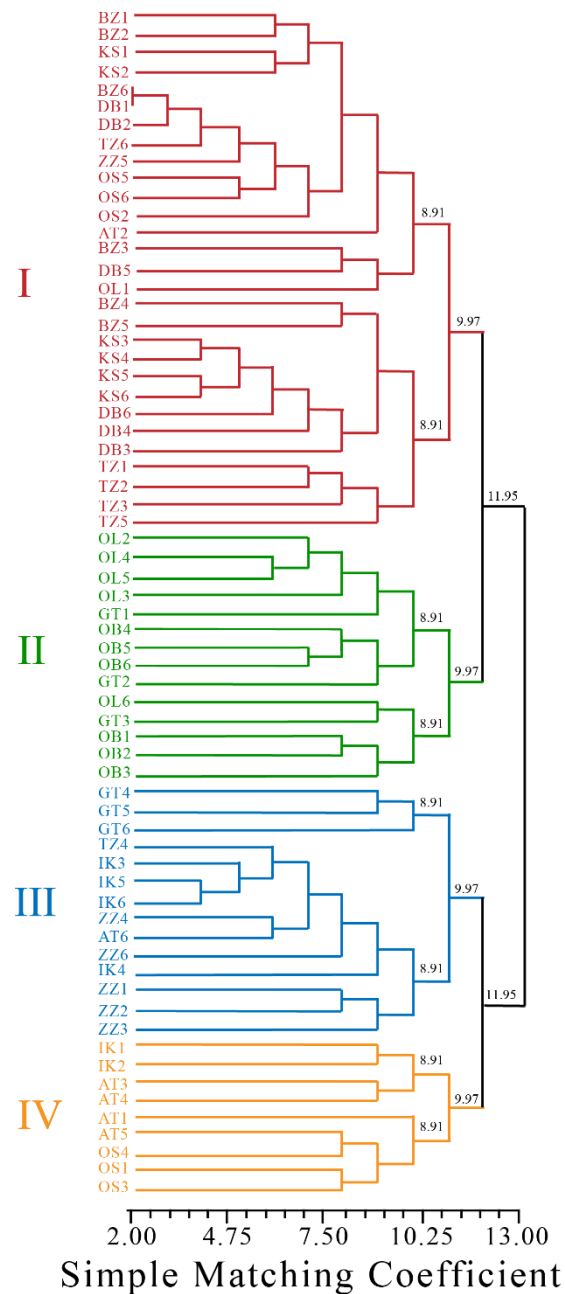


Figure 23 : Dendrogramme montrant les relations génétiques entre les 66 arbres des 11 populations étudiées d'arbousier , construit à partir des marqueurs ISSRs.

La structure génétique des populations naturelles d'arbousier a été analysée davantage avec une approche basée sur un modèle de regroupement bayésien sous logiciel STRUCTURE. La quantité ad-hoc basée sur le taux de changement de second ordre de la fonction de vraisemblance (ΔK) (Evanno et al., 2005) a montré que la représentation la plus plausible de la structure génétique de l'arbousier marocaine a été observée pour $K=4$ ($\Delta K = 19,44$) (Figure 24).

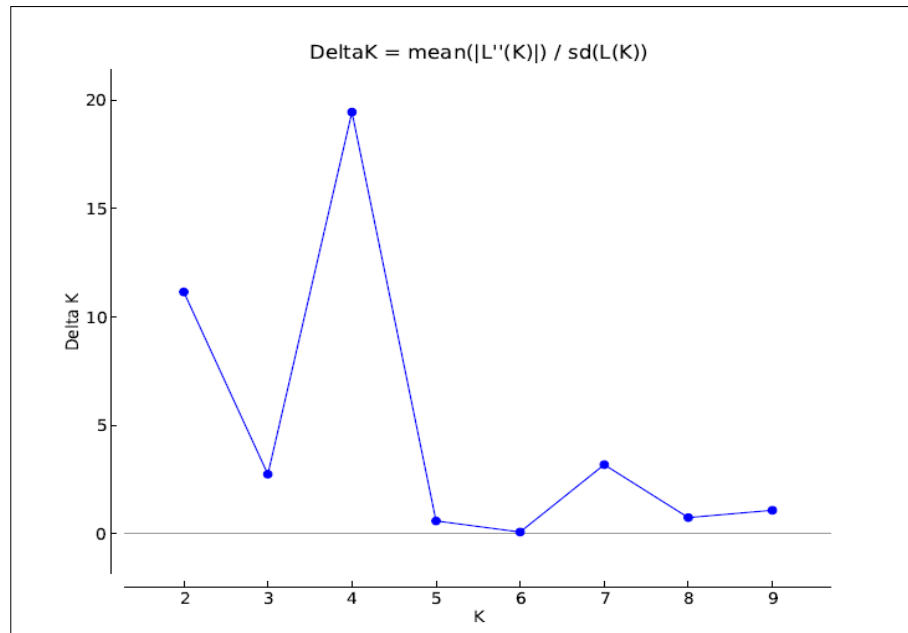


Figure 24 : Détermination du nombre optimal de groupes de populations (K) d'arbousier selon les paramètres d'Evanno et al. (2005). Le nombre optimal de groupes est atteint pour $K=4$.

Sur la base de la matrice Q moyenne permutée générée par Clumpp pour les 10 passages de la structure, la valeur de H' la plus élevée a également été observée pour $K=4$ ($H'=0,99$). Ce modèle a été considéré comme le meilleur pour décrire la structure génétique d'arbousier au Maroc.

Les individus ayant un coefficient d'appartenance inférieur à 0,8 ont été considérés comme admixtures. Ainsi, 36 individus parmi les 66 étudiés (54,54%) ont été assignés à l'un des groupes définis par le modèle $K=4$. Selon ce modèle, les individus d'arbousier marocain ont été affectés à quatre groupes génétiquement différents (Figure 25), ce qui apparaît en ligne avec le dendrogramme NJ. Tous les groupes ont montré un degré relativement intermédiaire de mélange des génotypes. Cependant, les pourcentages des individus purs dans les groupes I (rouge), II (vert), III (bleu) et IV (jaune) étaient respectivement de 58,82 %, 56,26 %, 45 % et 61,53 %.

Le premier groupe (rouge) est constitué des arbres : TZ1, TZ4 provenant du semi-aride, et de : ZZ1, ZZ2, ZZ4, ZZ6, IK3, IK4, IK5 et IK6 du subhumide avec un coefficient d'assignation de 0,856 à 0,979, alors que les autres arbres : AT6, ZZ3, TZ2, AT5, AT1, TZ3 et TZ5 considérés comme admixtures présentant un coefficient d'appartenance compris entre 0,425 à 0,662.

Le deuxième groupe (vert) est composé de : BZ4, BZ5, KS1, KS3, KS4, KS5 et KS6 originaires du Nord-Ouest et DB6 issue du Rif Occidental ayant un coefficient d'affectation oscillant entre 0,869 et 0,965, le reste de ce groupe contient : OS1, OS3 et OS4 du Moyen Atlas, IK1, IK2 et BZ1 du Rif, et DB2 du Nord-Ouest, qui pourraient être considérés comme admixtures (coefficients de 0,516 à 0,781). Le troisième groupe (bleu) comprend neuf individus appartenant aux différents groupes d'altitude tels que : OL1, OL3, OL6, GT1, GT2 et GT3 de basse altitude et OB2, OB5, OB6 d'altitude moyenne avec un coefficient d'appartenance allant de 0,846 à 0,961, alors que le reste des arbres constituant ce groupe : GT4, GT5, GT6, OL2, OL4 et OL5 de basse altitude, OB1, OB3 et OB4 d'altitude moyenne et AT2 et KS2 de très basse altitude se sont révélés comme étant des admixtures avec un coefficient d'assignation allant de 0,540 à 0,777. Le quatrième groupe renferme les individus : BZ6 du Nord-Ouest, DB1 du Rif Occidental, TZ6 du Haut Atlas, ZZ5 du Pré-Rif, AT3 et AT4 du Plateau Central, OS2, OS5 et OS6 du Moyen Atlas, avec un coefficient d'appartenance de 0,823 à 0,977, les autres arbres qui restent, notamment : DB3, DB4 et DB5 des zones humides et BZ2, BZ3 du subhumide présentent une probabilité d'assignation inférieure à 0,80%. Par conséquent, la structuration génétique des arbres d'arbousier étudiés en quatre groupes principaux n'a pas été opérée en fonction de leur altitude ou d'origine bioclimatique et géographique.

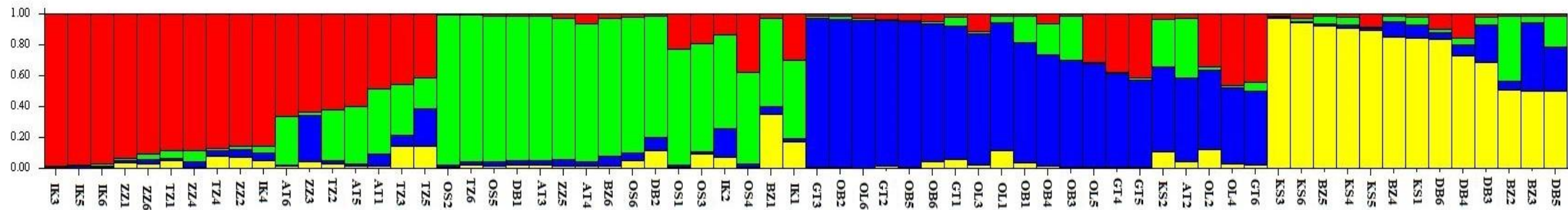


Figure 25 : Structure génétique des populations d'arbousier obtenue à partir de l'analyse STRUCTURE (N =66 ; K=4; $\Delta K=19,44$; $H'=0,99$) .

3. Discussion

Dans cette partie d'étude, nous avons examiné à grande échelle la diversité génétique et la structure des populations d'arbousier en utilisant un panel de 134 bandes polymorphes ISSRs. L'étude de la diversité génétique des populations sauvages d'arbousier marocain n'avait, à notre connaissance, jamais été réalisée.

L'évaluation de la diversité génétique intra et inter-population d'arbousier joue un rôle crucial pour minimiser l'érosion génétique et pour établir des programmes de sélection et d'amélioration ainsi que de définir des stratégies efficaces de conservation des ressources génétiques dans des conditions *ex-situ* et *in-situ* de cette espèce. En général, l'utilisation des marqueurs ISSRs s'est avérée très efficace et donne un taux de polymorphisme élevé. En effet, le pourcentage de bandes polymorphes obtenues dans la présente étude (94,06 %) était plus élevé à celui rapporté sur l'arbousier portugais par [Rodrigues de Sà \(2010a\)](#) en utilisant des marqueurs RAPD (83,9%) et ISSRs (86,7%) et par [Gomes et al. \(2012\)](#) basés sur des marqueurs RAPD (57,3%) et des microsatellites SSRs (80%), et dans l'arbousier tunisien par [Takrouni et Boussaid \(2010\)](#) en utilisant des RAPD (65 %) et [Takrouni et al. \(2012\)](#) à l'aide des isozymes (63,33%).

En outre, la valeur moyenne de PIC (0,47) a indiqué que les marqueurs ISSRs ont présenté une haute performance dans l'identification génétique de cette espèce. Cette valeur est inférieure à celle obtenue par [Gomes et al. \(2012\)](#) dans le germoplasme de l'arbousier portugais en utilisant des marqueurs microsatellites SSRs (0,71). En effet, le polymorphisme enregistré est confirmé par la valeur de l'indice de Shannon (0,51).

La valeur multi-locus élevée de Ht (0,34) suggère la présence d'un niveau élevé de polymorphisme d'arbousier étudié. Cette valeur était supérieure à celle obtenue par [Rodrigues de Sà \(2010a\)](#) (Ht=0,329) chez la même espèce au Portugal en utilisant des marqueurs RAPD et ISSRs. La forte diversité génétique obtenue chez l'arbousier marocain est en accord avec la tendance générale pour toutes les espèces végétales (Ht=0,30), les espèces pérennes ligneuses (Ht=0,28) et pour les espèces angiospermes (Ht=0,28) ([Hamrik et al., 1992](#)). Cette grande diversité des génotypes d'arbousier marocain pourrait s'expliquer par la migration des graines et du pollen entre les populations ([Mesléard et Lepart, 1991](#)). Le coefficient de différenciation génétique entre les populations était très élevé (Gst=0,28). Cette valeur indique que les populations d'arbousier marocain étaient largement différenciées. Ce résultat est inférieur à celui trouvé par [Takrouni et Boussaid \(2010\)](#) (Gst=0,314) chez l'arbousier tunisien, et supérieur

à celui obtenu par [Rodrigues de Sà \(2010a\)](#) chez l'arbousier portugais ($G_{st}=0,26$). Mais il est similaire avec celui détecté par [Ribeiro et al. \(2017\)](#) ($G_{st}=0,29$) en utilisant des microsatellites pour l'arbousier portugais. Le niveau élevé de différenciation entre les populations est en accord avec le flux de gène limité entre les populations (0,97) qui peut être causé par la présence de barrières géographiques. Des travaux précédents ont montré que si le flux génétique (Nem) <1 , la dérive génétique est le principal facteur affectant la structure génétique de la population, tandis que si $Nem >1$, le flux de gène est suffisant pour contrecarrer l'effet de la dérive génétique, et aussi pour empêcher l'apparition de la différenciation génétique entre populations ([Levin, 1984](#)).

Dans l'étude actuelle, l'AMOVA globale a révélé une grande diversité génétique au sein des populations (79,30%) qu'entre-populations (20,70%). Nos résultats sont donc similaires à ceux rapportés par [Takrouni et Boussaid \(2010\)](#), utilisant des RAPD sur neuf populations d'arbousier tunisien et indiquant que 80,67% de la variation génétique est répartie au sein des populations. De plus, notre valeur de $F_{ST}=0,207$ est supérieure à celle trouvée par [Takrouni et al. \(2012\)](#) sur quinze populations d'arbousier en Tunisie en se basant sur des marqueurs isozymes ($F_{ST} = 0,031$). Cependant, la valeur de F_{ST} observée dans l'étude actuelle est en contraste avec celle attendue pour les plantes pérennes autogames où la variation génétique entre les populations peut atteindre 70% ([Hovmalm et al., 2004](#)). Ce qui pourrait être s'expliquer par le fait que l'arbousier est une espèce à pollinisation entomogame ([Bruniau, 2015](#)). Les espèces végétales diffèrent fortement dans la manière dont la diversité génétique est répartie entre les populations et entre les individus au sein d'une même population. Le modèle de répartition est lié au système de reproduction et aux caractéristiques du cycle de vie ([Hamrick et Godt 1990](#)).

Concernant le résultat de l'AMOVA hiérarchique, la différenciation entre les groupes d'altitude, d'origine géographique et bioclimatique des populations d'arbousier marocain était respectivement de $F_{CT}= 0,032$, $F_{CT}= 0,021$ et $F_{CT}=-0,023$. La même constatation a été faite par [Takrouni et Boussaid \(2010\)](#) chez neuf populations d'arbousier provenant de trois contextes bioclimatiques de la Tunisie (subhumide, humide inférieur et semi-aride supérieur) indiquant que la différenciation entre ces groupes écologiques étant très faible ($F_{CT} = 0,001$). Ces auteurs ont conclu que le type de bioclimat n'avait aucun effet sur la structure des populations et qu'il n'y avait pas d'adaptation locale des populations étudiées.

Les indices de différenciation génétique (FST) entre les populations sont tous élevés et très significatifs, suggérant une forte divergence des populations étudiées. Ces forts indices de différenciation indiquent qu'il n'y a pas ou très peu de flux de gènes entre populations.

La structuration des populations d'arbousier marocain en quatre groupes principaux, en se basant sur un modèle de regroupement bayésien et le dendrogramme NJ peut s'expliquer par l'existence d'une large base génétique commune entre les différentes populations d'arbousier, ou l'adaptation de ces populations à des habitats écologiquement différents n'est pas liée aux marqueurs ISSRs étudiés. Les distances génétiques entre les paires des populations variaient de 0,020 à 0,325. Ce polymorphisme élevé reflète une grande variabilité génétique historique qui n'est pas surprenante, puisque son niveau dépend fortement des traits de l'histoire de vie de la plante (Hamrick et Godt, 1990 ; Nybom et Bartish, 2000). D'ailleurs, la différenciation génétique entre les populations d'arbousier n'était pas liée à leurs distances géographiques, comme le montre le test de Mantel ($r = 0,055$, $t = 0,381$, $p = 0,648$), ce qui suggère que les distances géographiques n'ont pas d'influence sur la variation génétique. L'absence d'une telle association suggère donc un rôle important de la dérive génétique chez l'arbousier et que la structure génétique des populations n'a pas suivi un modèle d'isolement par distance. De même, les tests de Mantel exécutés dans l'étude portugaise de Ribeiro et al. (2017) pour la même espèce, ont montré une absence de corrélation entre les distances génétiques et géographiques. En outre, aucune corrélation entre les distances géographiques et génétiques n'a été trouvée par Gomes et al. (2012) sur l'arbousier portugais ($r=0,01$, $p<0,57$). En revanche, une autre étude sur l'arbousier réalisée en Portugais par Rodrigues de Sà (2010a), ressorte qu'il y a eu une corrélation positive entre les distances géographiques et génétiques, et que le regroupement des populations est en accord avec leurs positions géographiques.

D'une manière générale, la différenciation entre les populations d'arbousier pourrait résulter de nombreux facteurs tels que la longueur de la période végétative de l'espèce, la fragmentation récente d'une grande population initiale et la dispersion des graines sur de longues distances facilitée par l'intervention de frugivores, principalement des oiseaux (Debussche et Isenmann, 1989 ; Aparicio et al., 2008). Ainsi, l'espèce devrait être moins sensible à la fragmentation des habitats que les autres espèces autogames qui n'ont pas cette possibilité. La dispersion des graines sur de longues distances influence la colonisation de nouveaux habitats, la capacité de migration de l'espèce et la structuration génétique spatiale des populations (Aparicio et al., 2008). Comme chez de nombreuses espèces autogames, la différenciation entre les populations d'*Arbutus unedo* du Maroc n'était pas liée à la distance

géographique (Hamrick et Godt, 1989). Ainsi, la structure génétique n'était pas significativement affectée par les barrières géographiques. Cette caractéristique est toujours observée pour de nombreuses espèces autogames dont les graines sont dispersées sur de longues distances (Hamrick et Godt, 1996). D'autres auteurs suggèrent que la structure génétique est liée à des facteurs écologiques tels que l'altitude et la pluviométrie qui influencent le temps de floraison, la longévité de la repousse, la production et la germination de graines. Nos observations personnelles suggèrent que la floraison est asynchrone entre les régions bioclimatiques et que le nombre de graines par fruit diffère entre les populations en fonction de leur provenance (Faïda et al., 2021). Aradhya et al. (1993) ont également signalé que la distribution de la variation génétique le long des gradients altitudinaux est connue pour être le résultat de l'interaction entre le flux de gènes et la dérive génétique. Néanmoins, il est possible qu'il existe une différenciation génétique entre les groupes écologiques de populations qui n'est pas liée aux marqueurs ISSRs.

Conclusion

L'analyse de la diversité génétique des populations marocaines d'arbousier fournit des informations utiles pour guider initialement la stratégie de la conservation et la sélection des génotypes. Selon les valeurs des paramètres de la diversité génétique étudiée, toutes les populations ont montré une variation génétique importante, ce qui suggère que ces populations constituent un germoplasme précieux pour les travaux de conservation et d'amélioration. Les résultats de la présente étude ont permis d'identifier quatre groupes de populations sur les onze analysées, indépendamment de leur altitude et de leur origine géographique ou bioclimatique. Cependant, les populations peuvent développer un potentiel d'adaptation à ces trois groupes qui ne peut pas être détecté par les marqueurs ISSRs. Ainsi, toute stratégie de conservation *in situ* et toute action de sélection devraient viser à inclure des populations de chaque groupe. Le haut niveau de variation génétique attribué à l'intérieur des populations implique la collecte des graines au sein des populations plutôt qu'entre-elles. L'arbousier étant une espèce autogame à pollinisation entomogame, l'échantillonnage devrait prendre en compte ces critères. Les individus au sein des populations étaient très hétérogènes et la collecte d'un maximum d'individus serait nécessaire pour capturer la plus grande diversité. Des analyses complémentaires incluant la variation des traits adaptatifs (morphologiques, pomologiques) en relation avec celle des marqueurs génétiques sont nécessaires pour améliorer nos conclusions et sélectionner des génotypes intéressants pour la culture.

Conclusion générale

L'arbousier (*Arbutus unedo*) est considéré actuellement comme une plante concurrente de point de vue de sa valeur nutritionnelle et sa richesse en composés bioactifs. Sa caractérisation écologique, morphologique, phytochimique et génétique se voit indispensable pour sa valorisation et son amélioration pour répondre à la demande croissante de ses produits dans le marché national et international.

Les missions de prospection réalisées nous a permis de collecter le maximum d'informations sur la répartition géographique, écologique et sur le contexte bioclimatique d'arbousier au Maroc. Cette espèce pousse spontanément dans les garrigues des zones forestières et pré-forestières appartenant aux séries végétales à chêne vert, chêne-liège ou pin d'Alep et des maquis élevés et denses de l'étage thermo-méditerranéen et méso-méditerranéen dans différentes régions biogéographiques (Nord-Ouest, Plateau Central, Pré-Rif, Rif Central et Rif Occidental, Haut et Moyen Atlas) et dans trois zones bioclimatiques (semi-aride, subhumide et humide). Ces régions géographiques de répartition naturelle de l'arbousier au Maroc sont caractérisées par des températures moyennes annuelles et des précipitations entre 12,4 °C et 18,4 °C et entre 337 mm et 1115 mm respectivement. Sa tranche altitudinale se situe entre 150 m et 1613 m. Par ailleurs, les résultats des enquêtes ethnobotaniques montrent que l'arbousier est considéré parmi les plantes médicinales les plus utilisées dans les régions étudiées. En médecine traditionnelle, les feuilles de cette espèce représentent les parties de la plante majoritairement utilisées. La décoction est la forme galénique la plus pratiquée par la population locale dont la voie orale constitue la voie d'administration la plus utilisée. Ainsi, la valorisation de son fruit est encore limitée à l'apiculture pour la production du miel et de confiture d'arbousier. Donc il est impératif de sensibiliser la population locale sur le savoir-faire de la valorisation du fruit de cette espèce, et de développer la commercialisation, la conservation et la transformation des fruits et des sous-produits à des fins thérapeutiques, alimentaires et industrielles.

Notre travail, sur la variabilité morphologique des populations naturelles d'arbousier issues de plusieurs régions du Maroc constitue une étape primordiale à tout programme de gestion rationnelle et de conservation des ressources génétiques de cette espèce. Les résultats ont montré une variabilité phénotypique significative au sein et entre les populations naturelles de l'arbousier pour la plupart des caractères morphologiques étudiés qui pourraient être expliqués par l'effet de la provenance (Nord-Ouest, régions du Rif (Pré-Rif, Rif central et Rif

occidental), Plateau Central, Moyen et Haut Atlas). La provenance est caractérisée par des variations extrêmes des conditions environnementales, notamment climatiques, qui affectent le phénotype de cette espèce. Les populations Ikaouen (IK) et Dardara-Bab-Taza (DB) du Rif Central et Occidental présentent des valeurs élevées pour le poids des fruits contrairement aux autres populations étudiées. Ainsi des corrélations significatives ont été observées entre les traits du fruit et ceux de l'arbre, de la feuille ou de la graine, ce qui aidera à établir des critères de sélection des individus plus performants pour l'amélioration génétique.

L'étude du polymorphisme biochimique du fruit de l'arbousier montre l'existence d'une variabilité appréciable entre les populations étudiées, particulièrement pour les flavonoïdes, les protéines, les polyphénols, la matière sèche, le taux de cendres, l'activité antioxydante (EC50), les sucres et l'acidité titrable. L'effet de provenance s'est révélé significatif pour ces caractères biochimiques du fruit d'arbousier. Cet effet pourrait être lié aux facteurs écologiques (e.g. climatiques, édaphiques, exposition, répartition géographique), physiologiques (e.g. l'âge de la plante, la période du cycle végétatif, le processus de maturation des fruits) ou génétiques.

L'évaluation de la diversité génétique des populations naturelles de l'arbousier via les marqueurs moléculaires ISSRs s'est avérée très efficace et donne un taux de polymorphisme élevé. Ces marqueurs ont généré 142 bandes d'ADN discernables et reproductibles, dont 134 (94,06%) étaient polymorphes. Les résultats de l'AMOVA globale ont révélé que la différenciation entre les populations est large ($F_{ST}=0,207$) indiquant que 20,70% de la variabilité génétique totale est distribuée entre les populations et 79,30% est répartie au sein des populations. Cette large différenciation des populations a été attribuée aux flux de gène limités ($N_{em}=0,97$). En outre, l'AMOVA hiérarchique a révélé une très faible différenciation génétique entre les groupes altitudinaux, bioclimatiques et géographiques ($F_{CT} = 0,032$; $F_{CT} = -0,023$ et $F_{CT}= 0,021$ respectivement). Néanmoins, il est possible qu'il existe une différenciation génétique entre ces groupes qui n'est pas liée aux marqueurs ISSRs. De même, le test de Mantel a montré l'inexistence de corrélation entre les matrices de distances géographiques et génétiques. Par conséquent, l'isolation par distance n'a pas eu un effet sur la structure génétique de cette espèce.

L'analyse du polymorphisme (morphologique, biochimique et génétique) d'arbousier pourrait être utile comme une base de données pour des études ultérieures sur son amélioration, sa valorisation et sa conservation.

Perspectives

Les résultats de ce travail ouvrent une fenêtre pour d'autres volets de recherche afin d'accomplir la caractérisation de l'arbousier comme une nouvelle filière agronomique, et pour cela nous suggérons les perspectives suivantes :

- ✓ Après avoir prouvé la bonne qualité nutritionnelle de ce fruit sauvage, il est nécessaire de poursuivre cette étude pour la confirmation des résultats obtenus et pour une caractérisation plus large incluant d'autres critères de qualité (vitamines, tanins, anthocyanes, caroténoïdes, etc.) afin de démontrer leur potentiel thérapeutique et promouvoir leur utilisation potentielle dans l'industrie alimentaire.
- ✓ Mettre en vigueur des testes de domestication de différents géotypes de l'arbousier dans le but de garantir sa conservation et sa productivité.
- ✓ Promouvoir une culture extensive des populations d'arbousier ayant des caractères plus prometteurs et à intérêt économique et écologique.
- ✓ La mise au point des techniques d'exploitation de diverses potentialités de la plante dont notamment, l'extraction d'huile à partir de ses graines.
- ✓ Faire des tests biologiques *in vivo* et *in vitro* (activité antimicrobienne, anticancéreuse, anti-inflammatoire).
- ✓ Evaluer l'effet de la saison de collecte sur la composition phytochimique et sur l'aspect phénotypique de l'espèce.
- ✓ Procéder à une sélection à l'intérieur des populations de l'arbousier où le poids du fruit et des graines est moyennement plus élevé.
- ✓ Nos perspectives envisagent aussi d'utiliser d'autres marqueurs (SSRs) avec un nombre accru d'arbres pour déterminer correctement l'étendue de sa diversité génétique.

Références bibliographiques

A

- Aabdousse, J. 2021. Etude ethnobotanique, écologique, morphologique et chimique des populations naturelles du myrte (*Myrtus communis* L.) au Maroc. Thèse de doctorat. Faculté des Sciences et Techniques, Université Sultan Moulay Slimane, Béni Mellal, Maroc.
- Aabdousse, J., Faïda, R., Boulli, A., Hasib, A., Wahid, N. 2020. Ethnobotanical study of commercialized medicinal plants in the Beni Mellal- Khenifra region (Morocco), with special reference to *Myrtus communis* L. *Ethnobotany Research & Applications*, 19 (27): 1-13.
- Aabdousse, J., Wahid, N., Faïda, R., Boulli, A., Hasib, A. 2021. Effect of Provenance on Morphological Variability within and between Natural Populations of Moroccan *Myrtus communis* L. *Phytomorphology*, 71(1&2):1-14.
- Aafi, A., Taleb, M.S., Fechtal, M. 2002. Espèces remarquables de la flore du Maroc. Centre national de la recherche forestière, Rabat, Maroc.
- Aarons, D.H., Rossi, G.V., Orzechowski, R.F. 1997. Cardiovascular actions of three *Harmala alcaloides*: harmine, harmaline and harmol. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 66 :1244-1248.
- Abadome, F. 1998. Contribution à l'étude du traitement par la vitamine K1 des moutons intoxiqués par *Ferula communis* et essais de mise à profit de sa toxicité comme raticide. INA Hassan II, Rabat, Maroc.
- Abbas. 2015. Caractérisation physico-chimique du fruit de l'arbousier (*Arbutus unedo* L.) du nord Algérienne et de la datte (Mech-Degla). Thèse de doctorat. Faculté des Sciences, Université M'hamed Bougara-Boumerdes, Algérie. pp:1-9.
- Abdalla, S., Abu-Zarga, M., Sabri, M. 1994. Effects of the flavones luteolin, isolated from *Colchicum richii* on guinea-pig isolated smooth muscle and heart and on blood pressure and blood flow. *Phytherapy Research*, 8:265-270.
- Aberoumand, A. Deokule, S.S. 2009. Studies on Nutritional Values of Some Wild Edible Plants from Iran and India. *Pakistan Journal of Nutrition*, 8:26-31.
- Aganga, A.A., Mosase, K.W. 2003. Tannins content, nutritive value and dry matter digestibility of *Lonchocarpus capassa*, *Ziziphus mucronata*, *Sclerocarya birrea*, *Kirkia acuminata* and *Rhus lancea* seeds. *Animal Feed Science and Technology*, 91 : 107-113.
- Agoumi, S. 1983. Les plantes médicinales à usage anthelminthique dans la province de Fès. Thèse de Doctorat. Faculté de Médecine et de Pharmacie, Rabat, Maroc.
- Ait Bella, Y., Bouda, S., Khachtib, Y., Haddioui, A. 2021. Genetic variability of cultivated plum (*Prunus domestica* L. & *Prunus salicina* Lindl.) in Morocco assessed by ISSR markers. *Australian Journal of Crop Sciences*, 15(06):948-954.
- Aït Igri, M., Holeman, M., Il Idrissi, A. 1990. Contribution à l'étude chimique des huiles essentielles des rameaux et du bois de *Tetraclinis articulata*. *Plantes Médicinales et Phytothérapie*, 24 : 36-43.

Aitken, S.N., Yeaman, S., Holliday, J.A., Wang, T. 2008. Adaptation migration or extirpation: climate change outcomes for tree populations. *Evolutionary Applications*, 1:95-111.

Ait Ihaj, Z., Bchitou, R., Gaboun, F., Abdelwahd, R., Benabdelouahab, T., Kabbour, M.R., Pare, P., Diria, G., Bakhy, K. 2021a. Moroccan Strawberry Tree (*Arbutus unedo* L.) Fruits : Nutritional Value and Mineral Composition. *Foods*, <https://doi.org/10.3390/foods10102263>.

Ait Ihaj, Z., Taghzouti, K., Bouyahya, A., Diria, G., Bakhy, K., Bchitou, R. 2021b. Phenolic Composition and Antioxidant Activity of Leaves of Strawberry Tree (*Arbutus unedo* L.) Populations from Morocco. *Phytothérapie*, <https://doi.org/10.3166/phyto-2021-0296>.

Akbulut, M., Ercisli, S., Jurikova, T., Mlcek, J., Gozlekci, S. 2016. Phenotypic and bioactive diversity on medlar fruits (*Mespilus germanica* L.). *Erwerbs-Obstbau*, 3:185-191.

Akhmisse, M. 1991. Histoire de la médecine au Maroc (des origines au protectorat), (Ed) Imprimeries Eddar El Beida, Casablanca, Maroc.

Alarcão-E-Silva, M.L.C.M.M., Leitão, A.E.B., Azinheira, H.G., Leitão, M.C.A. 2001. The *Arbutus* berry: studies on its color and chemical characteristics at two mature stages. *Journal of Food Composition and Analysis*, 14: 27-35.

Allane, T., Benamara, S. 2010. Antioxydant activities of some common and wild fruits from Algeria. *Phytotherapie*, 8: 171-175.

Amellal, H. 2008. Aptitudes technologiques de quelques variétés communes de dattes : formulation d'un yaourt naturellement, sucré et aromatisé. Thèse de Doctorat en Technologie Alimentaire. Université M'hamed Bougara, Boumédres, Algérie.

AOAC. 2002. Official Methods of Analysis. 17th Ed. Gaithersburg, USA. p:480.

Aparicio, A., Albaladejo, R.G., Olalla-Tarraga, M.A., Carrillo, L.F., Rodriguez, M.A. 2008. Dispersal potentials determine responses of woody plant species richness to environmental factors in fragmented Mediterranean landscapes. *Forest Ecology and Management*, 255:2894-2906.

Aradhya, K.M., Mueller-Dombois, D., Ranker, T. 1993. Genetic structure and differentiation in *Metrosideros polymorpha* (Myrtaceae) along altitudinal gradients in Maui. *Genetical Research* 61:159-170.

Audigie, L., Figarella, J., Zonszain, F. 1978. Manipulation biochimique. Ed. Doin. Paris. p :274.

Ayaz, F.A., Kucukislamoglu, M., Reunanen, M. 2000. Sugar, non-volatile and phenolic acids composition of *Arbutus* tree (*Arbutus unedo* L. var. *ellipsoidea*) fruits. *Journal of Food Composition and Analysis*, 13: 171-177.

B

Babu, S.S.V., Shareef, M.M., Shetty, P.K.A., Shetty, T.K. 2002. HPLC method for amino acids profile in biological fluids and inborn metabolic disorders of aminoacidopathies. *Indian Journal of Clinical Biochemistry*, 17 :7-26.

- Bachar, M., Zidane, L., Rochdi, A. 2016. Ethnomedicinal and traditional Phytotherapy of plants used in Bouhachem Natural Regional Park (Rif of Morocco). *Journal of Materials and Environmental Science*, 11: 4175-4204.
- Bahassan, A., Zidane, L., El Yacoubi, H., Rochdi, A. 2014. Ethnobotanique et taxonomie des plantes médicinales utilisées pour le traitement des pathologies du système digestif à Hadramaout (Yémen). *Phytothérapie*, 12(6): 399-416.
- Bammi, J., Douira, A. 2002. Les plantes médicinales dans la forêt de l'Achach (Plateau Central du Maroc). *Acta Botánica Malacitana*, 27 :131-145.
- Bammoui, M., Daoudi, A., Slimani, I. 2015. Valorisation du lentisque *Pistacia lentiscus* L. : Étude ethnobotanique, Screening phytochimique et pouvoir antibactérien. *Journal of Applied Biosciences*, 86:7966-7975.
- Barros, L., Carvalho, A., Morais, J., Ferreira, I. 2010. Strawberry-tree, blackthorn and rose fruits: Detailed characterization in nutrients and phytochemicals with antioxidant properties. *Food Chemistry*, 120:247-254.
- Bebek Markovinovic, A., Brčić Karačonji, I., Jurica, K., Lasić, D., Skendrović Babojelić, M., Duralija, B., Šić Žlabur, J., Putnik, P., Bursać Kovačević, D. 2022. Strawberry Tree Fruits and Leaves (*Arbutus unedo* L.) as Raw Material for Sustainable Functional Food Processing: A Review. *Horticulturae*. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8100881>.
- Bell, D.J., Rowland, L.J., Polashock, J.J., Drummond, A.A. 2008. Suitability of EST-PCR markers developed in highbush blueberry for genetic fingerprinting and relationship studies in lowbush blueberry and related species. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 133:701-707.
- Bellakhdar, J. 1997. La pharmacopée marocaine traditionnelle. Médecine arabe ancienne et savoirs populaires. (Ed) Le Fennec, Casablanca/ Ibis Press, Paris. p:764
- Benkhigne, O., Zidane, L., Fadli, M., Elyacoubi, H., Rochdi, A., Douira, A. 2011. Etude ethnobotanique des plantes médicinales dans la région de Mechraâ Bel Ksiri (Région du Gharb du Maroc). *Acta Botanica Barcelona*, 53 :191-216.
- Bertsouklis, K.F., Papafotiou, M. 2016. Morphometric and molecular analysis of the three *Arbutus* species of Greece. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Na*, 44: 423-430.
- Bézanger-beauquesne, L., Pinkas, M., Torck, M.1990. Plantes médicinales des régions tempérées, (Ed) Maloine, Paris, France.
- Bizouard, P., Favier, J.C. 1992. Contribution à l'étude de la valeur nutritive de quelques plantes naturellement abondantes en Corse. *Corse Historique*, 8:3-14.
- Blanco, E., Casado, M.A., Costa, M., Escribano, R., García, M., Génova, M. 2005. Los bosques ibéricos. Una interpretación geobotánica. 4th edn. Planeta, Barcelona, Spain.
- Bonnefont-Rousselot, D. 2020. Dossier Scientifique: Les marqueurs de l'oxydation des lipides. *Revue francophone des laboratoires*, 522: 47-55.

Bornet, B., Branchard, M. 2001. Nonanchored Inter Simple Sequence Repeat ISSR Markers; reproducible and specific tools for genome fingerprinting. *Plant Molecular Biology Reporter*, 19:209-215.

Boronnikoval, S., V., Kokaeva, Z., G, Gostimsky, S., A., Dribnokhodova, O., P., Tikhomirova, N., N. 2007. Analysis of DNA polymorphism in a relict Uralian species, large-flowered foxglove (*Digitalis grandiflora* Mill.), using RAPD and ISSR markers. *Russian Journal of Genetics*, 43:530-535.

Botstein, W.R.L., Skolnick, K., Davis, R.W. 1980. Construction of a genetic linkage map in man using restriction fragment length polymorphism. *American Journal of Human Genetics*, 32:314-331.

Bougandoura, N., Bendimerad, N. 2012. Evaluation de l'activité antioxydante des extraits aqueux et méthanolique de *Satureja calamintha* ssp. *Nepeta* (L.) Briq. *Nature and Technologie. B- Sciences Agronomiques et Biologiques*, 9 :14-19.

Boulli, A., Baaziz, M., M'hirit, O. 2001. Polymorphism of natural populations of *Pinus halepensis* Mill. in Morocco as revealed by morphological characters. *Euphytica*, 119:309-316.

Boussalah, N., Boussalah, D., Cebadera-Miranda, L., Fernández-Ruiz, V., Barros, L., Ferreira, I.C., Sanchez Mata, M., Madani, K. 2018. Nutrient composition of Algerian strawberry-tree fruits (*Arbutus unedo* L.). *Fruits*, 73 : 283-297.

Bouzabata, A. 2015. Contribution à l'étude d'une plante médicinale et aromatique : *Myrtus Communis* L. Thèse de doctorat. Université Badji Mokhtar Annaba, Algérie.

Bradford, M. 1976. A rapid and sensitive method for quantitative of microgram quantities of protein utilizing the principle of ptoein-dye bynding. *Analytical Biochemistry*, 72: 248-254.

Brand-williams, W., Cuvelier, M.E., Berset, C. 1995. Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensmittel Wissenschaft and Technologie*, 28 (1) : 25-30.

Bretaudeau, J., Fauré, Y. 1992. Atlas d'arboriculture fruitière. Ed. Tec et Doc. Paris. p :289.

Brissonnet, F., Bouix, M., Loiseau, G., Russel, A., Leveau, Y. 1994. Le stress bactérien et ses conséquences en génie de l'hygiène. *Industries Alimentaires et Agricoles*, 3:106-114.

Bruniau, A.S. 2015. *Arbutus unedo* L. (Arbousier) dans : Récolte et mise en culture des principales espèces, 1^{ère} ed. Local végétal. Paris, p : 18.

C

Cai-Huang, H. 1997. The cultural practices for high- and top-quality production of *Arbutus* fruit trees. *China Fruits*, 3:48.

Celikel, G., Demirsoy, L., Demirsoy, H. 2008. The strawberry tree (*Arbutus unedo* L.) selection in Turkey. *Scientia Horticulture*, 118:115-119.

Chaachouay, N. 2020. Etude Floristique et Ethnomédicinale des Plantes Aromatiques et Médicinales dans le Rif (Nord du Maroc). Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences de Kénitra, Maroc.

Chang, C.C., Yang, M.H., Wen, H.M., Chern, J.C. 2002. Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of Food and Drug Analysis*, 10: 178-182.

Chawla, H.S. 2009. *Introduction to plant biotechnology*, 3rd ed. Science Publis., Inc., New Hampshire.

Colak, A.M. 2019. Morphological and Biochemical Diversity in Fruits of *Arbutus unedo* L. from East Aegean Region in Turkey. *Erwerbs-Obstbau*, Springer. <https://doi.org/10.1007/s10341-019-00450-4>.

Cook, I.O., Ladiges, P.Y. 1991. Morphological variation within *Eucalyptus nitens* s.l. and recognition of a new species, *E. denticulate*. *Australian Systematic Botany*, 4:375-390.

Cornara, L., La Rocca, A., Marsili, S., Mariotti, M.G. 2009. Traditional uses of plants in the Eastern Riviera (Liguria, Italy). *Journal of Ethnopharmacology*, 125 : 16-30.

Correia, A.V., Oliveira, A.C. 2002. Principais espécies florestais com interesse para Portugal : zonas de influencia Mediterrânea, (2ème Ed) Direcção Geral das Florestas, Lisboa, Portugal.

D

Dallahi, Y. 2017. Apport de la télédétection spatiale pour l'étude écologique, phytosociologique et cartographique de la Tetracinaie du Site d'Intérêt Biologique et Ecologique (SIBE) de Kharouba (Plateau Central). Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences Mohammed V, Agdal, Rabat, Maroc.

Daoudi, A., Bammou, M., Zarkani, S., Slimani, I., Ibijbijen, J., Nassiri, L. 2015. Étude Ethnobotanique de La Flore Médicinale Dans La Commune Rurale d'Aguelmouss, Province de Khénifra (Maroc). *Phytotherapie*, 14(4) :220-228.

De Souza, V.R., Pereira, P.A., da Silva, T.L., de Oliveira Lima, L.C., Pio, R. ; Queiroz, F. 2014. Determination of the bioactive compounds, antioxidant activity and chemical composition of Brazilian blackberry, red raspberry, strawberry, blueberry and sweet cherry fruits. *Food Chemistry*, 156:362-368.

Debussche, M., Isenmann, P. 1989. Fleshy fruit characters and the choices of bird and mammal seed dispersers in a Mediterranean region. *Oikos*, 56:327-338.

Deepika, R., Singh, J., Kaur, N. 2018. Comparison of Total Phenolic Content, Total Flavonoid Content, Antioxidant capacity and Free Radical Scavenging Activity of Leaves of *Elaeocarpus sphaericus* and Roots of *Pelargonium zonale*. *International Journal Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(2): 2846-2854.

Delgado-Pelayo, R., Gallardo-Guerrero, L., Hornero-Mendez, D. 2016. Carotenoid composition of strawberry tree (*Arbutus unedo* L.) fruits. *Food Chemistry*, 199:165-175.

Demirsoy, H., Demirsoy, L., Celikel, G., Koyuncu, T. 2007. Effects of dried on some properties of strawberry tree fruits. *Asian Journal of Chemistry*, 19:1777-1782.

Devla, M.N, Acharya, S.R, Acharya, N.S. 2011. Dietary supplements: A legal status in India and in foreign countries. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 3: 7-12.

Dib, M.A., Djabou, N., Allali, H., Tabti, B. 2010. Identification of phenolic compounds and antimicrobial activity of roots of *Arbutus unedo* L. *Asian Journal of Chemistry*, 22:4045-4053.

Dib, M.A., Llali, A.H., Tabti, B., Bendiabdellah, A., Djabou, N. 2008. A New Proanthocyanidins from *Arbutus unedo* L. Stems. *Asian Journal of Chemistry*, 20:3926-3934.

Donovan, T.M., Flather, C.H. 2002. Relationships among North American songbird trends, habitat fragmentation, and landscape occupancy. *Ecological Applications*, 12(2): 364-374.

Dorais, M., Papadopoulos, A.P., Gosselin, A. 2001. Influence of electric conductivity management on greenhouse tomato yield and fruit quality. *Agronomie*, 21 :367-383.

Doukani, K., Tabak, S. 2015. Profil Physicochimique du fruit "Lendj" (*Arbutus unedo* L.). *Nature and Technology*, 12:53-66.

Doyle, J.J., and Doyle, J.L. 1990, Isolation of plant DNA from fresh tissue. *Focus*, 12: 13-15.

Dubois, F., Gilles, X.A., Hamilton, J.K., Rebecs, P.A., Smith, F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical chemistry*, 28:350-356.

Duminil, J. 2006. Etudes Comparatives de la Structure Génétique des plantes. Thèse de doctorat. Faculté des Sciences et Techniques, Nancy I, France. p :215.

E

Earl, D.A., 2012. STRUCTURE HARVESTER: a website and program for visualizing STRUCTURE output and implementing the Evanno method, *Conservation genetics resources*, 4 (2):359-361.

El Haouari, M., Assem, N., Changan, S., Kumar, M., Durna, S., Das, T., J Rajkovic, J., Taheri, Y., Sharifi-Rad, J. 2021. An Insight into Phytochemical, Pharmacological, and Nutritional Properties of *Arbutus unedo* L. from Morocco. *Hindawi Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine Volume 2021, Article ID 1794621, 19 pages* <https://doi.org/10.1155/2021/1794621>.

El Haouari, M., López, J.J., Mekhfi, H., Rosado, J.A., Salido, G.M. 2007. Antiaggregant effects of *Arbutus unedo* extracts in human platelets. *Journal of Ethnopharmacology*, 113:325-331.

El-Hilaly, J., Hmammouchi, M., Lyoussi, B. 2003. Ethnobotanical studies and economic evaluation of medicinal plants in Taounate province (Northern Morocco). *Journal of Ethnopharmacology* ,86:149-158.

Ercisli, S. Orhan, E., Esitken, A., Yildirim, N., Agar, G. 2008. Relationships among some cornelian cherry genotypes (*Cornus mas* L.) based on RAPD analysis. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 55:613-618.

Ercisli, S., Yilmaz, S.O., Gadze, J., Dzubur, A., Hadziabulic, S., Aliman, J. 2011. Some fruit characteristics of conelian cherry (*Cornus mas* L.). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 39:255-259.

Eriksson, G., Ekberg, I., Clapham, D. 2006. An introduction to forest genetics. SLU. <http://vaxt.vbbsg.slu.se/forgen/>, Uppsala.

Etienne, A., Génard, M., Lobit, P., Mbéguié-A-Mbéguié, D., Bugaud, C. 2013. What controls fleshy fruit acidity? A review of malate and citrate accumulation in fruit cells. *Journal of Experimental Botany*, 64:1451-1469.

Evanno, G., Regnaut, S. Goudet, J. 2005. Detecting the number of clusters of individuals using the software STRUCTURE: a simulation study. *Molecular Ecology*, 14: 2611-2620.

Excoffier, L., Laval, G., Schneider, S. 2005. Arlequin ver 3.0: An integrated software for population genetics data analysis. *Evolutionary bioinformatics online*, 1: 47-50.

F

Faida, R., Aabdousse, J., Boulli, A., Bouda, S., Wahid, N. 2019. Ethnobotanical uses and distribution status of *Arbutus unedo* L. in Morocco. *Ethnobotany Research and Applications*, 18(30): 1-12. <http://dx.doi.org/10.32859/era>.

Faida, R., Wahid, N., Aabdousse, J., Boulli, A., Bouda, S. 2021. Variation of Morphological Traits in Natural Populations of *Arbutus unedo* L. (Ericaceae) in Morocco. *Phytomorphology*, 71(1&2):27-40.

Favier, J.C., Ireland-Ripert, J., Laussucq, C., Feinberg, M. 1993. Répertoire général des aliments. Table de composition des fruits exotiques, fruits de cueillette d'Afrique. Ed. Tec et doc. INRA. ORSTOM. France. p :269.

Fazenda, P., Jesus, M. 2013. Identificação de marcadores SSR e de SNPs em medronheiro (*Arbutus unedo* L.) por sequenciação massiva paralela, Instituto superior de Agronomia, Universidade de Lisboa.

Fazenda, P., Pereira, R., Fonseca, M., Carlier, J., Leitão, J. 2019. Identification and validation of microsatellite markers in Arbutus tree (*Arbutus unedo* L.). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 43: 430-436.

Feyssa, D.H., Njoka, J.T., Asfaw, Z., Nyangito, M.M. 2011. Wild Edible Fruits of Importance for Human Nutrition in Semiarid Parts of East Shewa Zone, Ethiopia: Associated Indigenouse Knowledge and Implications to Food Security. *Pakistan Journal of Nutrition*, 10:40-50.

Floris, F., Prota, R.1989. Sul miele amaro di Sardegna. *Apicoltore Moderno*: 80:55-67.

G

Galego, L. 2006. Valorização da aguardente de medronho. Jornadas do Mel, Medronho e Medronheira. C.M. da Pampilhosa da Serra, DRABL, LOUSAMEL, Pampilhosa da Serra, pp: 1-5.

Galego, L., Martins, A.N., Jesus, J.P., Nunes, J.P., Reis, E.P., 2001. Aguardente de medronho já tem legislação. 11º Congresso do Algarve, Albufeira, pp: 1-6.

Ganhao, R., Morcuende, D., Estevez, M. 2010. Protein oxidation in emulsified cooked burger patties with added fruit extracts: Influence on colour and texture deterioration during chill storage. *Meat Science*, 85(3):402-409.

Gatel, R. 1982. L'aliment à l'humidité intermédiaire : concept fondamental et fonction scientifique. Ed. APRIA. Paris. pp: 39-50.

GBIF. 2020. Map of *Arbutus unedo*.

Gecer, M.K., Kan, T., Gundogdu, M., Ercisli, S., Ilhan, G., Sagbas, H.I. 2020. Physicochemical characteristics of wild and cultivated apricots (*Prunus armeniaca* L.) from Aras valley in Turkey. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 67:935-945.

George, E.F., Debergh, P.C. 2008. Micropropagation: uses and methods. In: George, E.F., Hall, M.A., De Klerk, G.J. (Eds.), *Plant propagation by tissue culture*, 3rd ed. Springer, Dordrecht, pp :29-64.

Giddey, C. 1982. Les produits à humidité intermédiaire : Cas particulier du problème de la conservation des produits à humidité intermédiaire. Ed. APRIA. Paris. pp : 21-28.

Godinho-Ferreira, P.G., Azevedo, A.M., Rego, F. 2005. Carta da tipologia florestal de Portugal Continental. *Silva Lusitana*, 13:1-34.

Gomes, F., Canhoto, J.M. 2003. Micropropagation of *Eucalyptus nitens* Maiden (Shining gum). *In Vitro Cellular and Developmental Biology- Plant*, 39 :316-321.

Gomes, F., Canhoto, J.M. 2009. Micropropagation of strawberry tree (*Arbutus unedo* L.) from adult plants. *In Vitro Cellular and Developmental Biology- Plant*, 45 :72-82.

Gomes, F., Costa, R., Ribeiro, M.M, Figueiredo, E., Canhoto, J.M. 2012. Analysis of genetic relationship among *Arbutus unedo* L, genotypes using RAPD and SSR markers. *Journal of Forestry Research*, 24:227-236.

Gomes, F., Lopes, M.L., Santos, T., Canhoto, J.M. 2009. Micropropagation of selected trees of *Arbutus unedo* L. through axillary shoot proliferation and somatic embryogenesis. *Acta Horticulturae*, 839:111-116.

Gomes, F., Simões, M., Lopes, M.L., Canhoto, J.M. 2010. Effect of plant growth regulators and genotype on the micropropagation of adult trees of *Arbutus unedo* L. (strawberry tree). *New Biotechnology*, 27:882-892.

Gomes, M.F.F.N., 2011. Strategies for the Improvement of *Arbutus unedo* L. (Strawberry Tree): In vitro Propagation, Mycorrhization and Diversity Analysis. Universidade de Coimbra.

Gonçalves, J.C., Roseiro, R.J. 1994. Establishment and *in vitro* multiplication of *Arbutus unedo* L. seedlings. VIII International Congress of Plant Tissue and Cell Culture, Firenze, Italy, p. Abst 20.

González, E.A., Agrasar, A.T., Castro, L.M.P., Fernández, I.O., and Guerra, N.P. 2011. Solid-state fermentation of red raspberry (*Rubus idaeus* L.) and *Arbutus* berry (*Arbutus unedo* L.) and characterization of their distillates. *Food Research International*, 44:1419-1426.

Gozlekci, S., Alkaya, C.E., Yas, D. 2003. Antalya çevresinde doğal olarak yayılış gösteren c ilek ağacı (*Arbutus andrachne* L.) nin bazı fenolojik ve pomolojik özelliklerinin incelenmesi. *Uzumsu Kivive Uzumsu Meyveler Sempozyumu*, 472-475.

Gull, J., Sultana, B., Anwar, F., Naseer, R. Ashraf, M., Ashrafuzzaman, M. 2012. Variation in Antioxidant Attributes at Three Ripening Stages of Guava (*Psidium guajava* L.) Fruit from Different Geographical Regions of Pakistan. *Molecules*, 17: 3165-3180.

Grivet Laurent, Noyer Jean-Louis. 1999. Les méthodes de marquage biochimique et moléculaire. In : Diversité génétique des plantes tropicales cultivées = Genetic diversity of cultivated tropical plants. Hamon Perla (ed.), Seguin Marc (ed.), Perrier Xavier (ed.), Glaszmann Jean-Christophe (ed.). Montpellier : CIRAD, 13-41. ISBN 2-87614-344-8.

H

Hachi, M. 2015. Contribution to the study and floristic ethnobotany flora medicinal use at the city of khenifra (Morocco). *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 11:750-755.

Hamilton, A.C. 2004. Medicinal plants, conservation and livelihoods. *Biodiversity and Conservation*, 13:1477-1517.

Hamrick, J.L, Godt, M.J.W, Sherman-Broyles, S.L. 1992. Factors influencing levels of genetic diversity in woody plant species. *New Forest*, 6: 95-125.

Hamrick, J. L., Godt, M. J. W. 1990. Allozyme diversity in plant species. In: Brown, A. H. D., Clegg, M. T., Kahler, A. L. and Weir, B. S. (eds): *Plant population genetics, breeding, and genetic resources*. Sinauer, Sunderland, MA, pp:43-63.

Hamrick, J.L., Godt, M.J.W. 1996. Effects of life history traits on genetic diversity in plant species. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Série B*, 351:1291-1298.

Han, Y., Wang, H. Y. 2010. Genetic diversity and phylogenetic relationships of two closely related northeast china *Vicia* species revealed with RAPD and ISSR markers. *Biochemical Genetic*, 48:385-401.

Harrak, H., Hamouda, A., Boujnah, M. Gaboune, F. 2005. Teneur en sucres et qualités technologique et nutritionnelle des principales variétés de dattes marocaines. Actes du Symposium International sur le Développement Durable des Systèmes Oasiens du 08 au 10 mars 2005. Eds. B. Boulanouar & C. Kradi. Erfoud, Maroc.

Hartman, H.T., Kester, D.E., Davies, J.F.T., Geneve, R.L. 1997. *Plant propagation: principles and practices*, 6th ed. Prentice-Hall, Inc., New Jersey.

Hebi, M., Eddouks, M., 2015. Évaluation de l'activité antioxydante de *Stevia rebaudiana*. *Phytothérapie*. DOI 10.1007/s10298-015-0999-y.

Hegazy, A.K., Al-Rowaily, S.L., Faisal, M., Alatar, A.A., EL-Bana, M.I., Assaeed, A.M. 2014. Nutritive value and antioxidant activity of some edible wild fruits in the Middle East. *Journal of Medicinal Plant Research*, 7(15): 938-946.

Heinrich, M. 2005. Understanding local Mediterranean diets: a multidisciplinary pharmacological and ethnobotanical approach. *Pharmacological Research*, 52(4): 353-366.

Heinrich, V., Leung, A., Evans, E. 2005 .Nano-tomicroscale mechanical switches and fuses mediate adhesive contacts between leukocytes and the endothelium. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 45 (6): 1482-1490.

Hmamouchi, I. 2012. Use of Moroccan herbal products among patients of rheumatology. *Revue Marocaine de Rhumatologie*, 22 :52-56.

Hovmalm, H.A.P., Jeppsson, N., Bartish, I.V., Nybom, H. 2004. RAPD analysis of diploid and tetraploid populations of *Aronia* points to different reproductive strategies within the genus. *Hereditas* 141, 301–312. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.16.110185.002141>.

Huang, D., Ou, B., Prior, R.L. 2005. The Chemistry behind antioxidant capacity assays. *Agricultural Food Chemistry*, 53(6): 1841-1856.

Huang, J. C., Sun, M. 2000. Fluorescein PAGE analysis of microsatellite-primed PCR: a fast and efficient approach for genomic fingerprinting. *Biotechniques*, 28 : 1069-1072.

Huberson, M. 2008. Evolution du pH pendant la fermentation alcoolique de moûts de raisins : modélisation et interprétation métabolique. Thèse de Doctorat. Institut National Polytechnique de Toulouse, Paris, France.

Hudina, M., Stampar, F. 2006. Influence of frost damage on the sugars and organic acids contents in apple and pear flowers. *European Journal of Horticultural Science*, 71 : 161-164.

I

IPGRI. 1997. Descripteurs du pistachier (*Pistacia vera* L.). Institut International des Ressources Phytogénétiques. Rome, Italie.

Isbilir, S.S., Orak, H.H., Yagar, H., Ekinci, N. 2012. Determination of antioxidant activities of strawberry tree (*Arbutus unedo* L.) flowers and fruits at different ripening stages. *Acta Scientiarum Polonorum-Hortorum Cultus*, 11(3):223-237.

J

Jihua, H., Zuyou, L., Tianrong, X., Xianjun, Z. 1997. Study on the characteristics of flower formation and fruit set of Dongkui arbutus variety in western part of Hubei. *South China Fruits*, 26 (5):33-34.

Joshi, S.P., Ranjekar, P.K., Gupta, V. 2009. Molecular markers in plant genome analysis (1-19). In: Yeatman, C.W. (Ed.), *In Plant Genetic Resources: a conservation imperative* Plant Molecular Biology Group.

K

Kabiri, G., Bouda, S., Elhansali, M., Haddioui, A. 2019. Genetic diversity and structure of walnut (*Juglans regia* L.) genotypes from middle and high atlas mountains of Morocco as investigated by Inter-Simple Sequence Repeat (ISSR) markers. *Australian Journal of Crop Sciences*,13(12):1983-1991.

Kachkoul, R., Housseini, T.S., Mohim, M., El Habbani, R., Miyah, Y., Lahrichi, A. 2019. Chemical compounds as well as antioxidant and litholytic activities of *Arbutus unedo* L. leaves against calcium oxalate stones. *Journal of Integrative Medicine*,17 :430-437.

Kahouadji, M.S. 1995. Contribution á une étude ethnobotanique des plantes médicinales dans le Maroc Oriental. Thèse de doctorat, Faculté des Sciences Mohammed I, Oujda, Maroc.

Karadeniz, T., Kurt, H., Kalkısım, O. 1996. Yomra (Trabzon) çevresinde yetisen kocayemis, (*Arbutus unedo* L.) tiplerinin meyve ozellikleri uzerinde calısmalar. *YYUZF Dergisi*. 6 (4):65-70.

Khabbach, A., Libiad, M., Ennabili, A. 2012. Medicinal and cosmetic use of plants from the province of Taza, Northern Morocco. *Boletín Latino americano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 11:46-60.

Kıvçak, B., Mert, T., Denizci, A.A. 2001. Antimicrobial activity of *Arbutus unedo* L. *Fabad Journal of Pharmaceutical Sciences*,26:125-128.

Kopelman, N.M, Mayzel, J., Jakobsson, M., Rosenberg, N.A., Mayrose, I. 2015, Clumpak: a program for identifying clustering modes and packaging population structure inferences across K. *Molecular Ecology Resources*, 15(5):1179-1191.

Kreif, S. 2003. Métabolites secondaires des plantes et comportement animal : surveillance sanitaire et observations de l'alimentation des chimpanzés (*Pan troglodytes schweinfurthii*) en Ouganda. Activités biologiques et étude chimique de plantes consommées. Thèse de Doctorat, Muséum national d'histoire naturelle.

L

Lahsissene, H., Kahouadji, A., Tijane, M. 2009. Catalogue des Plantes Médicinales Utilisées dans la Région De Zaër (Maroc Occidental). *Revue de Botanique*, 186:26-52.

Lahsissene, H., Kahouadji, A. 2010. Analyse ethnobotanique des plantes médicinales et aromatiques de la flore marocaine : cas de la région de Zaër. *Phytothérapie*, 8 :202-209.

Leonti, M., Casu, L., Sanna, F., Bonsignore, L. 2009. A comparaison of medicinal plant use in Sardinia and Sicily-De Materia Medicarevisited. *Journal of Ethnopharmacology*, 121:255-267.

Lefèvre, F., Boivin, T., Bontemps, A., Courbet, F., Davi, H., Durand-Gillmann, M., Fady, B., Gauzere, J., Gidoin, C., Karam, M.J., Lalagüe, H., Oddou-Muratorio S., Pichot, C. 2014. Considering evolutionary processes in adaptive forestry. *Annals of Forest Science*, 71:723-739.

Levin, D. A. 1984. Immigration in plants: an exercise in the subjunctive. In: Dirzo, R. and Sarukhan, J. (eds): *Perspectives on plant population biology*. Sinauer, Sunderland, Massachusetts, USA, pp : 242-260.

Linden. 1981. Technique d'analyse et contrôle dans les industries agroalimentaires:Principe des techniques d'analyse vol.II. Paris : Collection Science et Technique Agroalimentaire. p: 434.

Lopes, L., Rodrigues de Sà, O., Pereira, J.A., Baptista, P. 2012. Genetic diversity of Portuguese *Arbutus unedo* L. populations using leaf traits and molecular markers: An approach for conservation purposes. *Scientia Horticulturae*, 142: 57-67.

Louati, M., Khoujab, A., Ben Abdelkrima, A., Salhi Hannachia, A., Baraket, G.2019. Adaptation of *Argania spinosa* L. in Northern Tunisia: Soil analysis and morphological traits variability. *Scientia Horticulturae*, 255:220-230.

M

Markovinovi'c, A.B, Kara'conji, I.B, Jurica, K., Lasi'c, D., Babojelic, M.S., Duralija, B., Žlabur, J.S., Putnik, P. Kova'cevi'c, D.B. Strawberry Tree Fruits and Leaves (*Arbutus unedo* L.) as Raw Material for Sustainable Functional Food Processing: A Review. *Horticulturae*

Maberley, D.J. 1987. The Plant-book. A portable dictionary of the higher plants. Cambridge University Press Cambridge.

Maieves, H.A., Ribani, R.H., Morales, P., Sánchez-Mata, M.d.C. 2015. Evolution of the nutritional composition of *Hovenia dulcis* Thunb. Pseudo fruit during the maturation process. *Fruits*, 70:181-187.

Maleš, Z., Sarić, D., Bojić, M. 2013. Quantitative Determination of Flavonoids and Chlorogenic Acid in the Leaves of *Arbutus unedo* L. Using Thin Layer Chromatography. *Journal of Analytical Chemistry*, doi: 10.1155/2013/385473.

Maleš, Ž., Plazibat, M., Vundać, V.B., Žuntar, I. 2006. Qualitative and quantitative analysis of flavonoids of the strawberry tree-*Arbutus unedo* L. (Ericaceae). *Acta Pharmaceutica*, 56:245-250.

Mantel, N. 1967. The detection of disease clustering and a generalized regression approach. *Cancer Research*, 27 : 209-220.

MAPM. 2014. Produits du terroir du Maroc, (Ed) Catalogue National, Direction de Développement des Filières de Production, Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime Rabat, Maroc.

Marc, F., Davin, A., Deglène-Benbrahim, L., Ferrand, C., Baccaunaud, M., Fritsch, P. 2004. Méthodes d'évaluation du potentiel antioxydant dans les aliments. *Médecine Sciences*, 20(4): 1-24.

Mariotto, S., Esposito, E., Di Paola, R. 2008. Protective effect of *Arbutus unedo* aqueous extract in carrageenan-induced lung inflammation in mice. *Pharmacological Research*, 57:110-124.

Martins, A.N. 2006. Produção de aguardente de medronho: resultados do trabalho realizado no Algarve. *Jornadas do Mel, Medronho e Medronheira*. C.M. da Pampilhosa da Serra, DRABL, LOUSAMEL, Pampilhosa da Serra, pp: 1-2.

Martins-Lopes, P., Gomes, S., Santos, E., Guedes-Pinto, H. 2008. DNA markers for portuguese olive oil fingerprinting. *Journal Agricultural Food Chemistry*, 56:11786-11791.

- McComb, J.A., Bennett, I.J. 1986. Eucalypts (*Eucalyptus* spp.). In: Bajaj, Y.P.S. (Ed.), *Biotechnology in Agriculture and Forestry*. Springer-Verlag, Berlin, pp: 350-362.
- Meireles, C., Gonçalves, P., Rego, F., Silveira, S. 2005. Estudo da regeneração natural das espécies arbóreas autóctones na Reserva Natural da Serra da Malcata. *Silva Lusitana*, 13 :217-231.
- Mehdioui, R., Kahouadji, A. 2007. Etude ethnobotanique auprès de la population riveraine de la forêt d'Amsittène : cas de la Commune d'Imi n'Tlit (Province d'Essaouira). *Bulletin de l'Institut Scientifique Rabat*, 29 :11-20.
- Mendes, L. 2010. Estudo do efeito protector da folha e fruto da especie *Arbutus unedo* L. nadanificacao oxidative emeritrocitos humanos. Universidade Fernando, Pessoa Porto.
- Mendes, L., De Freitas, V., Baptista, P., Carvalho, M. 2011. Comparative antihemolytic and radical scavenging activities of strawberry tree (*Arbutus unedo* L.) leaf and fruit. *Food and Chemical Toxicology*, 49:2285-2291. doi: 10.1016/j.fct.2011.06.028.
- Mereti, M., Grigoriadou, K., Nanos, G.D. 2002. Micropropagation of the strawberry tree, *Arbutus unedo* L. *Scientia Horticulturae*. 93 :143-148.
- Mesleard, F., Lepart, J., 1991. Germination and seedling dynamics of *Arbutus unedo* and *Erica arborea* on Corsica. *Journal of Vegetation Science*, 2:155-164.
- Metaxas, D.J., Syros, T.D., Yupsanis, T., Economou, A.E. 2004. Peroxidases during adventitious rooting in cuttings of *Arbutus unedo* and *Taxus baccata* as affected by plant genotype and growth regulator treatment. *Plant Growth Regulation*, 44 : 257-266.
- Meziane, M. 2003. Origines de la médecine traditionnelle marocaine : Enquête de terrain dans la région d'Oujda. Thèse de Doctorat, Faculté de Pharmacie, Nantes, France.
- Miguel, M.G., Faleiro, M.L., Guerreiro, A.C., Antunes, M.D. 2014. *Arbutus unedo* L.: Chemical and biological properties. *Molecules*, 19:15799-15823.
- Minyaka, E. 2009. Métabolisme du soufre et embryogenèse somatique chez *Theobroma cacao* L (Malvaceae). Thèse de Doctorat/Ph.D. Université de Yaoundé I. Université de Cocody, Abidjan.
- Mohammedi, Z. 2020. Étude de l'évolution de la capacité anti-radicalaire du fruit de l'*Arbutus unedo* L. à différents stades de maturation. *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*, 89 :130-146.
- Mokhtari, N., Mrabet, R., Lebailly, P., Bock L. 2013. Spatialisation des bioclimats, de l'aridité et des étages de végétation du Maroc. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaire*, 2 (1) :50-66.
- Molina, M., Pardo-de-santayana, M., Aceituno, L., Morales, R., Tardío, J. 2011. Fruit production of strawberry tree (*Arbutus unedo* l.) in two Spanish forests. *Forestry*, 84 (4): 421-429. doi:10.1093/forestry/cpr031.
- Morales, P., Ferreira, I.C.F.R., Carvalho, A.M., Fernández-Ruiz, V., Sánchez-Mata, M.C., Câmara, M., Morales, R., Tardio, J. 2013. Wild edible fruits as a potential source of

phytochemicals with capacity to inhibit lipid peroxidation. *European Journal of Lipid Science and Technology*,115:176-185.

Morecroft, M.D., Keith, S.A. 2016. Chapter 15 - Plant Ecology. *Climate Change* (Second Edition), Elsevier B.V, <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63524-2.00015-4>.

Mulas, M., Deidda, P. 1998. Domestication of woody plants from Mediterranean maquis to promote new crops for mountain lands. *Acta Horticulturae*,457:295-302.

Müller, L., Gnoyke, S., Popken, A.M, Böhm, V. 2010. Antioxidant capacity and related parameters of different fruit formulations. *Food Science and Technology*, 43:992-999.

Munier, P. 1973. *Le palmier dattier*.Ed. Maisonneuve. Paris. p : 221.

Murrieta-Pazos, I., Gaiani, C., Galet, L. 2012. Food powders: surface and form characterization revisited. *Journal of Food Engineering*, 112 :1-21.

Mylona, P., Dolan, L. 2002. The root meristem. In: McManus, M.T., Weit, B.E. (Eds.), *Meristematic Tissues in Plant Growth and Development*. Sheffield Academic Press, Sheffield, pp : 279-292.

N

Nabli, M.A. 1995. Essai de synthèse sur la végétation et la phyto-écologie tunisiennes. II & III. Le milieu physique et la végétation. *Ecologie végétale appliquée*. Faculte des Sciences, Tunis, I.O.R. Tunisie, pp : 457-487.

Naceiri Mrabti, H. 2018. Étude Pharmacologique Toxicologique de l'*Arbutus unedo* L. au Maroc. Thèse de doctorat. Centre d'Études Doctorales des Sciences de la Vie et de la Santé. Faculté de Médecine et de Pharmacie de Rabat. Université Mohammed V de Rabat, Rabat, Maroc.

Naceiri Mrabti, H., Marmouzi, I., Sayah, K., Chemlal, L., El Ouadi, Y., Elmsellem, H., Cherrah, Y., Faouzi, M.A. 2017. *Arbutus unedo* L. aqueous extract is associated with in vitro and in vivo antioxidant activity. *Journal of Materials and Environmental Science*, 8: 217-224.

Naceiri Mrabti, H., Bouyahya A., Ed-Drac, A., Kachmar, M.R., Naceiri Mrabti, N., Benali, T., Shariati, M.A., Ouahbi, A., Doudachh, L., Faouzi, M.E. 2021. Polyphenolic profile and biological properties of *Arbutus unedo* root extracts. *European Journal of Integrative Medicine*. <https://doi.org/10.1016/j.eujim.2020.101266>.

Nazarudeen, A. 2010. Nutritional composition of some lesser-known fruits used by ethnic communities and local folks of Kerela. *Indian Journal of Traditional Knowledge*, 9:398-402.

Nicotra, A.B., Atkin, O.K., Bonser, S.P., Davidson, A.M., Davidson, Finnegan, E.J., Mathesius, U., Poot, P., Purugganan, M.D., Richards, C.L., Valladares, F., Van Kleunen M. 2010. Plant phenotypic plasticity in a changing climate. *Trends in Plant Science*, 12: 684-692.

Nielsen, S.S. 2010. *Food Analysis*. 4 éme Ed. Springer. USA. p : 602.

Nixon, R.W., Carpenter, B. 1978. Growing dates in United States. United States department of Agriculture. Information bulletin prepared by science and education administration.USA. pp: 44-45.

Nunes, R.J.D.S. 2017. Micromedronho: Design of Microencapsulated *Arbutus unedo* Leaves and Fruits by Spray Drying for Supplements and Functional Foods; Universidade do Algarve: Faro, Portugal.

Nyanga, L.K., Gadaga, T.H., Nout, M.J., Smid, E.J., Boekhout, T., Zwietering, M.H. 2013. Nutritive value of masau (*Ziziphus mauritiana*) fruits from Zambezi Valley in Zimbabwe. Food Chemistry, 138: 168-172.

Nybom, H., Bartish, I. V. 2000. Effects of life history traits and sampling strategies on genetic diversity estimates obtained with RAPD markers in plants. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics, 3: 93-164. <https://doi.org/10.1078/1433-8319-00006>.

O

Oliveira, I., Baptista, P., Bento, A., Pereira, J.A., 2011a. *Arbutus unedo* L. and its benefits on human health. Journal of Food and Nutrition Research, 50(2):73.

Oliveira, I., Baptista, P., Malheiro, R., Casal., S., Bento, A., Pereira, J.A. 2011b. Influence of strawberry tree (*Arbutus unedo* L.) fruit ripening stage on chemical composition and antioxidant activity. Food Research International, 44:1401-1407.

Oliveira, I., Coelho, V., Baltasar, R., Pereira, J.A., Baptista, P. 2009. Scavenging capacity of strawberry tree (*Arbutus unedo* L.) leaves on free radicals. Food and Chemical Toxicology, 47:1507-1511.

Orak, H.H., Aktas, T., Yagar, H., SelenIsbilir, S., Ekinici, N., Sahin, F.H. 2011. Antioxidant activity, some nutritional and colour properties of vacuum dried strawberry tree (*Arbutus unedo* L.) fruit. Acta Scientiarum Polonorum Technolgia Aliment, 10 : 327-338.

Orch, H., Douira, A., Zidane, L. 2015. Étude ethnobotanique des plantes médicinales utilisées dans le traitement du diabète, et des maladies cardiaques dans la région d'Izarène (Nord du Maroc). Journal of Applied Biosciences, 86: 7940-7956.

Orch, H., Douira, A., Zidane, L. 2017. Ethnobotanical study of the plants used in the treatment of the digestive diseases by the riverine population of the forest of izarène. International Journal of Recent Scientific Research, 1:15213-15220.

Özcan, M.M., Haciseferogulları, H. 2007. The strawberry (*Arbutus unedo* L.) fruits: Chemical composition, physical properties and mineral contents. Journal of Food Engineering, 78:1022-1028.

P

Pabuccuoglu, A., Kivcak, B., Bas, M., Mert, T.2003. Antioxidant activity of *Arbutus unedo* leaves. Fitoterapia, 74 :597-599.

- Pallauf, K., Rivas-Gonzalo, J.C., Del Castillo, M.D., Canob, M.P., De Pascual-Teresab, S. 2008. Characterization of the antioxidant composition of *Arbutus unedo* L. fruits. *Journal of Food Composition and Analysis*, 21: 273-278.
- Passioura, J.A., Ash, J.E. 1993. Phenotypic, genetic and ecological variation in the *Eucalyptus saligna*-*E. botryoides* complex. *Australian Journal of Botany*, 41:393-412.
- Pavlović, D.R., Lakušić, B., Došlov-Kokoruš, Z., Kovačević, N. 2009. Arbutin content and antioxidant activity of some Ericaceae species. *Pharmazie*, 64:656-659.
- Pawlowska, A.M., Marinella, D.L., Braca, A. 2006. Phenolics of *Arbutus unedo* L. (Ericaceae) fruits: identification of anthocyanins and gallic acid derivatives. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54:10234-10238.
- Pecchioni, N., Faccioli, P., Monetti, A., Stanca, A.M., Terzi, V. 1996. Molecular markers for genotype identification in small grain cereals. *Journal of Genetics and Breeding*, 50:203-219.
- Pedneault, K., Leonharts, A., Gosselin, A., Ramputh, A., Arnason, J.T. 2001. Influence de la culture hydroponique de quelques plantes médicinales sur la croissance et la concentration en composés secondaires des organes végétaux. Texte de conférence. Canada. pp : 1-5.
- Pedro, J. 1994. Carta da distribuição de figueira e medronheiro-Notícia Explicativa, Ministério do Ambiente e Recursos Naturais, Direcção Geral do Ambiente, Lisboa, Portugal, p:34.
- Penuelas, J., Sardans, J., Ogaya, R., Estiarte, M. 2008. Nutrient stoichiometric relations and biogeochemical niche in coexisting plant species: Effect of simulated climate change. *Polish Journal of Ecology*, 56:613-622.
- Pimpão, R.C., Dew, T., Oliveira, P.B., Williamson, G., Ferreira, R.B., Santos, C. 2013. Analysis of phenolic compounds in Portuguese wild and commercial berries after multienzyme hydrolysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61:4053-4062.
- Piotto, B., Piccini, C., Arcadu, P., 2001. La ripresa della vegetazione dopo gli incendi nella regione mediterranea. In : Piotto, B., Noi, A. (Eds.), Propagazione per seme di alberi e arbusti della flora mediterranea. Dipart. Prev. Risanam. Ambient., Manuale ANPA (Agenc. Naz. Per la Protezi. Dell' Ambiente), pp: 32-38.
- Popovici, C., Saykova, I., Tylkowski, B. 2009. Evaluation de l'activité antioxydant des composés phénoliques par la réactivité avec le radical libre DPPH. *Revue de génie industriel*, 4: 25-39.
- Prevost, A., Wilkinson, M.J. 1999. A new system of comparing PCR primers applied to ISSR fingerprinting of potato cultivars. *Theoretical and Applied Genetics*, 98:107-112.
- Prévot, A.C, Geijzendorffer, I. 2016. Biodiversité, services écosystémiques et bien-être. Anne-caroline Prévot, Ilse Geijzendorffer. Dans Valeurs de la biodiversité et services écosystémiques (2016). pp : 89-99.
- Pritchard, J.K., Stephens, M., Donnelly, P. 2000. Inference of population structure using multilocus genotype data. *Genetics*, 155: 945-959.

Q

Qian, W., Ge, S. and Hong, D., Y. 2001. Genetic variation within and among populations of a wild rice *Oryza granulata* from China detected by RAPD and ISSR markers. *Theoretical and Applied Genetics*, 102:440-449.

R

Rahman, M. 2007. Allicin and other functional active components in garlic: Health benefits and bioavailability. *International Journal of Food Properties*, 10: 245-268.

Rankevich, D., Lavie, B., Nevo, E., Beilles, A., Arad., Z. 1996. Genetic and physiological adaptations of the prosobranch landsnail *poematias olivieri* to microclimatic stresses on Mount Carmel, Israel. *Israel Journal of Ecology and Evolution*, 42(4): 425-441.

Reddy, M., P., Sarla, N. and Reddy, E., A. 2002. Inter Simple Sequence Repeat (ISSR) polymorphism and application plant breeding. *Euphytica*, 128 : 9-17.

Reis, M.S. 1996. Dinâmica da movimentação dos alelos : subsídios para conservação e manejo de populações naturais de plantas. *Brazilian Journal of Genetics*, 19: 37-47.

Rhattas, M., Douira, A., Zidane, L. 2016. Étude ethnobotanique des plantes médicinales dans le Parc National de Talassemtane (Rif occidental du Maroc). *Journal of Applied Biosciences*, 97 : 9187- 9211.

Ribeiro, M.M., Piotti, A., Ricardo, A., Gaspar, D., Costa, R., Parducci L., Vendramin, G.G. 2017. Genetic diversity and divergence at the *Arbutus unedo* L. (Ericaceae) western most distribution limit. *PLoS ONE*, 12(4): e0175239. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0175239>.

Ricardo, C.P., Veloso, M.M. 1987. Features of seed germination in *Arbutus unedo* L. In: Tenhunen, *et al.* (Eds.), *Plant response to stress, functional analysis in Mediterranean ecosystems*. Springer- Verlag, Berlin. pp : 565-572.

Rodier J. 1997. *L'analyse de l'eau, eau naturelle, eau résiduaire, eau de mer* .8ème Ed. Dunod, France. pp : 57-65.

Rodrigues de Sá, O. 2010a. *Caracterização Morfológica, Molecular e Química de Arbutus unedo L. com vista à seleção de genótipos de superior qualidade*, Instituto Plitécnico, Escola Superior Agrária de Bragança, Espagne.

Rodrigues de Sá, O., Malheiro, R., Baltasar, J.L., Pereira, J.A., Baptista, P. 2010b. *Actividade antioxidante de folhas de medronheiro (Arbutus unedo L.) de 19 genótipos provenientes da região de Bragança*. *Actas Portuguesas Horticultura*, 16 :179-183.

Rodrigues de Sá, O, Pereira, J.A, Baptista, P. 2011. *Optimization of DNA extraction for RAPD and ISSR analysis of Arbutus unedo L. leaves*. *International Journal of Molecular Sciences*, 12: 4156-4164.

Rodriguez, P.J., Traverset, A.A. 2001. *Multi-scale approach in the study of plant regeneration: Finding bottlenecks is not enough*. *Perspectives in plant Ecology. Evolution and Systematics*, 9:1-13.

Rohlf, F.J. 2001. *Comparative methods for the analysis of continuous variables: geometric interpretations*. *Evolution*, 55(11):2143-2160.

- Rohlf, F. J. 1998. NTSYS-pc: Numerical taxonomy and multivariate analysis system. Version 202. Applied Biostatistics, New York. <https://www.exetersoftware.com/downloads/ntsysguide21.pdf>.
- Roldàn-Ruiz, I., Dendauw, J., Van Bockstaele, E., Depicker, A., De Loose, M. 2000. AFLP markers reveal high polymorphic rates in ryegrasses (*Lolium* spp.). *Molecular breeding*, 6(2):125-134.
- Ruiz-Rodríguez, B.M., Morales, P., Fernández-Ruiz, V., Sánchez-Mata, M.C., Camara, M., Díez-Marqués, C., Pardo-de-Santayana, M., Molina, M., Tardío, J. 2011. Valorization of wild strawberry-tree fruits (*Arbutus unedo* L.) through nutritional assessment and natural production data. *Food Research International*, 44 : 1244-1253.
- Ruiz-Rodríguez, M.B., de Ancos, B., Sánchez-Moreno, C., Fernández-Ruiz, V., de Cortes Sánchez-Mata, M., Cámara, M., Tardío, J. 2014. Wild blackthorn (*Prunus spinosa* L.) and hawthorn (*Crataegus monogyna* Jacq.) fruits as valuable sources of antioxidants. *Fruits*, 69 :61-73. <https://doi.org/10.1051/fruits/2013102>.
- Sagbas, H.I, İlhan, G., Zitouni, H., Anjum, M.A., Hanine, H., Necas, T., Ondrasek, I. Ercisli, V. 2020. Morphological and Biochemical Characterization of Diverse Strawberry Tree (*Arbutus unedo* L.) Genotypes from Northern Turkey. *Agronomy*. doi:10.3390/agronomy10101581.
- Salhi, S., Fadli, M., Zidane, L., Douira, A. 2010. Etudes floristique et ethnobotanique des plantes médicinales de la ville de Kénitra (Maroc). *Lazaroa*,13:133-146.
- Santillo, A., Ciliberti, M.G., Ciampi, F., Luciano, G., Natalello, A., Menci, R., Caccamo, M., Sevi, A., Albenzio, M. 2022. Feeding tannins to dairy cows in different seasons improves the oxidative status of blood plasma and the antioxidant capacity of cheese. *Journal of Dairy Science*, 105 (11): 8609-8620.
- Saradhuldhat, P., Paull, R.E. 2007. Pineapple organic acid metabolism and accumulation during fruit development. *Scientia Horticulturae*, 112:297-303.
- Sarang, S., S., Sastry, K., Knipe, L. 2008. Electrical conductivity of fruits and meats during ohmic heating. *Journal of Food Engineering*, 873:351-356.
- Sawaya, W.N., Khalil, J.K., Safi, W.M., Al-Shalat, A. 1983. Physical and chemical characterization of three Saudi date cultivars at various stages of development. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 16:87-93.
- Schlötterer, C. 2004. The evolution of molecular markers - just a matter of fashion? *Nature Reviews Genetics*, 5: 63-69.
- Seidemann, J. 1995. Knowledge of little-known exotic fruits: Strawberry tree (*Arbutus unedo* L.). *Deutsche Lebensmittel-Rundschau*, 91:110-113.
- Şeker, M., Toplu, C. 2010. Determination and Comparison of Chemical Characteristics of *Arbutus unedo* L. and *Arbutus andrachnae* L. Family Ericaceae Fruits. *Journal of Medicinal Food*, 13:1013-1018. doi:10.1089/jmf.2009.0167.

Seker, M., Yucel, Z., Nurdan, E. 2004. Canakkale yo resi dogal florasında bulunan Kocayemis, (*Arbutus unedo* L.) populasyonunun morfolojik ve pomolojik özelliklerinin incelenmesi. AU., Ziraat Fak. Tarım Bilimleri Dergisi, 10 : 422-427.

Serce, S., Ozgen, M., Torun, A.A., Ercisli, S. 2010. Chemical composition, antioxidant activities and total phenolic content of *Arbutus andrachne* L. (Fam. Ericaceae) (the Greek strawberry tree) fruits from Turkey. Journal of Food Composition and Analysis, 23:619-623.

Serdar, U., Mercan, L., Okumus, A., Soylu, A. 2014. Morphological and molecular comparison of selected chestnut (*Castanea sativa* Mill.) genotypes from black sea region of Turkey. Anadolu Journal of Agricultural Sciences, 29 : 54-62.

Sijelmassi, A. 1993. Les plantes médicinales de Maroc, 3ème Ed Fennec, Casablanca, Maroc.

Silva, S., Harrison, S.P. 2010. Humans, climate and land cover as controls on European fire regimes. In: S. Silva, J., Rego, F., Fernandes, P., Rigolot, E. (Eds.), Towards integrated fire management – outcomes of the European project fire paradox. European Forest Institute, Joensuu, pp: 49-59.

Simonetti, M., Damiani, V., Gabrielli, L. 2008. Characterization of triacylglycerols in *Arbutus unedo* L. seeds. Italian Journal of Food Science, 20:49-56.

Slatkin, M. and Barton, N. H. 1989. A comparison of three indirect methods for estimating average levels of gene flow. Evolution, 43:1349-1368.

Slimani, I., Najem, M., Belaidi, R., Bachiri, L., Bouiamrine, E., Nassiri, L. Ibjibjen, J. 2016. Étude ethnobotanique des plantes médicinales utilisées dans la région de Zerhoun -Maroc. International Journal of Innovation and Applied Studies, 15 :846-863.

Smiris, P., Pipinis, E., Aslanidou, M., Mavrokordopoulou, O., Milios, E., Kouridakis, A. 2006. Germination study on *Arbutus unedo* L. (Ericaceae) and *Podocytisus caramanicus* Boiss. & Heldr. (Fabaceae). Journal of Biological Research, 5: 85-91.

Smith, J., S., C., Smith, O.S. 1992. Fingerprinting crop varieties. Advances in Agronomy, 47:85-140.

Songlin, M., Yuejian, Z., Senmiao, L., Huang, X.G., Wang, S.F., Miao, S.L., Zhang, Y.J., Liang, S.M. 1995. Zaose, a promising new *Arbutus* cultivar. China Fruits, 4:3-4.

Soro, A., Paxton, R.J. 1999. Strawberry tree: a significant source of nectar around the Mediterranean basin. Bee World, 80:140-144.

Souci, S.W., Fachmann, W., and Kraut, H. 1994. Food Composition and Nutrition Tables, 5th edn. (Stuttgart: Medpharm Scientific Publishers).

Sun, M., Wong, K.C., Lee, J.S.Y. 1998. Reproduction biology and population genetic structure of *Kandelia candel* (Rhizophoraceae) a viviparous mangrove species. American Journal of Botany, 85:1631-1637.

T

Takrouni, M.M, Boussaid, M. 2010. Genetic diversity and population's structure in Tunisian strawberry tree (*Arbutus unedo* L.). *Scientia Horticulturae*, 126: 330-337.

Takrouni, M.M., Ben El Haj Ali, I., Messaoued, C., Boussaid, M. 2012. Genetic variability of Tunisian wild strawberry tree (*Arbutus unedo* L.) populations interfered from isozyme markers. *Scientia Horticulturae*, 146 :92-98. doi: 10.1016/j.scienta.2012.08.005.

Tardío, J., Pardo-de-Santayana, M., Morales, R. Ethnobotanical review of wild edible plants in Spain. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 152:27-71.

Tavares, L., Fortalezas, S., Carrilho, C., McDougall, G.J., Stewart, D., Ferreira, R.B. 2010. Antioxidant and antiproliferative properties of strawberry tree tissues. *Journal of Berry Research*, 5:3-12.

Tawaha, K., Alali, F., Gharaibeh, M. 2007. Antioxidant activity and total phenolic content of selected Jordanian plant species. *Food Chemistry*, 104:1372-1378.

Teofrasto. 1988. *Historia de Las plantas*. Spanish translation of the original Greek work written by Theophrastus in the 3rd century B.C. Madrid: Editorial Gredos.

Torres, J.A, Valle, F., Pinto, C., Garcia-Fuentes, A., Salazar, C., Cano, E. 2002. *Arbutus unedo* communities in southern Iberian Peninsula Mountains. *Plant Ecology*, 160:207-223.

Türkdogan, M.K., Kilicel, F., Kara, K., Tuncer, I., Uygan, I. 2003. Heavy metals in soil, vegetables and fruits in the endemic upper gastrointestinal cancer region of Turkey. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 13:175-179.

U

UPOV. 2011. Descripteur de cerise de cayenne (*Malpighia emarginata* DC.). Union Internationale pour la Protection des Obtentions Végétales. Genève, Suisse, p : 39.

V

Valadeau, C. 2010. De l'ethnobotanique à l'articulation du soin : une approche anthropologique du système nosologique chez les yanessa de Haute Amazonie péruvienne, Toulouse, France.

Van Staden, J., Zazimalova, E., George, E.F. 2008. Plant growth regulators II: cytokinins, their analogues and inhibitors. In: George, E.F., Hall, M.A., De Klerk, G.J. (Eds.), *Plant propagation by tissue culture*, 3rd ed. Springer, Dordrecht. pp:205-226.

Veilleux, C., King, SR. 1996. *An introduction to ethnobotany*, Linda Morgenstem Editor.

Vidrihrt, R., Hribar, J., Prgomet, Z., PoklarUlrih, N. 2013. The physico-chemical properties of strawberry tree (*Arbutus unedo* L.) fruits. *Croatian Journal of Food Science and Technology*, 5(1):29-33.

Vines, G. 2004. Herbal harvests with a future: towards sustainable sources for medicinal plants, *Plantlife International*; www.plantlife.org.uk.

W

Wahid, N., Aabdousse, J., Chkhichekh, A., EL Aboudi, A., Lamhamedi, M. S., Bakry, M. 2018. Prospection et modalités d'échantillonnage pour capturer la diversité génétique des populations naturelles : cas du *Myrtus communis* L. au Maroc. *Ecologia mediterranea*, 44(1) : 85-96.

Wahid, N., André, R., Lamhamedi, M.S., Beaulieu, J., Margolis, H.A., DeBlois, J. 2012. Genetic parameters and performance stability of white spruce somatic seedlings in clonal tests. *Forest Ecology and Management*, 270: 45-53.

Wahid, N., Chkichekh, A., Bakry, M. 2016. Morphological traits and essential oil yield variation of three *Myrtus communis* L. populations: implication for domestication. *Direct Research Journal of Agriculture and Food Science*, 4: 199-207.

Wahid, N., González-Martínez, C., El Hadrami, S.I., Boulli, A. 2005. Variation of morphological traits in natural populations of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) in Morocco. *Annals of Forest Science*, 63: 83-92.

Wang, X.R., Szmidt, A.E. 2001. Molecular markers in population genetics of forest trees. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 16:199-220.

White, T.L., Adams, W.T., Neale, D.B. 2007. *Forest Genetics*. CAB International Oxfordshire.

Williams, G.M. 1994. Interventive prophylaxis of liver cancer. *European Journal of Cancer Prevention*, 3:89-100.

Wills, R.B.H., Bone, K., Morgan, M. 2000. Herbal products: active constituents, modes of action and quality of control. *Nutrition Research Reviews*, 13: 47-77.

Y

Young, A.G., Clarke, G. M. 2000. *Genetics, demography and viability of fragmented populations*. Centre for Plant Biodiversity Research, CSIRO Division of Plant Industry, UK. Cambridge University Press. Cambridge.

Z

Zietkiewicz, E., Rafalski, A., Labuda, D. 1994. Genome fingerprinting by simple sequence repeat (SSR) anchored polymerase chain reaction amplification. *Genetics*, 20:176-183.

Ziyyat, A., Boussairi, E. 1998. Cardiovascular effects of *Arbutus unedo* L. in spontaneously hypertensive rats. *Phytotherapy Research*, 12:110-113.

Ziyyat, A., Mekhfi, H., Bnouham, M. 2002. *Arbutus unedo* induces endothelium-dependent relaxation of the isolated rat aorta. *Phytotherapy Research*, 16:572-575.

Zizzo, G., Aprile, S., La Mantia, A., S., L. 2010. The biodiversity of *Arbutus unedo* L. (Ericaceae Fam.) to develop new floricultural crops for the temperate areas. 28th International Horticultural Congress, Science and Horticulture for People, ISHS, Lisboa, p. *Abst* 417.

Annexe 1

Fiche questionnaire de la prospection des sites et de l'enquête ethnobotanique sur l'arbousier

Localisation biogéographique du site visité

Région administrative : Province/cercle :

Latitude : Longitude : Altitude :

Date de collecte :

Type de sol : Exposition/versant :

Précipitation annuelle moyenne : Température annuelle moyenne :

Température maximale de mois le plus chaud : Température minimale de mois le plus froid :

Date de collecte :

Densité : Etat :

Cortège floristique :

Méthode : Nombre d'individu récolté :

Composition de l'échantillon (fruit/feuille) :

Utilisation traditionnelle par la population locale

Nom scientifique : Nom vernaculaire.....

- Partie utilisée :
- Mode d'utilisation :
- Mode de préparation :
- Voie d'administration :
- Dose utilisée :
- Maladies traitées :
- Autres :

.....
.....