

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université de Batna 1 - Hadj Lakhdar



Institut des Sciences Vétérinaires et Sciences Agronomiques
Département des Sciences Agronomiques

Laboratoire d'amélioration des productions agricoles et protection des
Ecosystèmes en zones arides (LAPAPEZA)

THESE

En vue de l'obtention du diplôme de DOCTORAT

TROISIEME CYCLE

Présentée par Monsieur

Merouane ELMIR

Filière

Sciences Agronomiques

Spécialité

Sciences Forestières

Thème

Etude taxonomique de l'espèce
***Juniperus phoenicea* L. en Algérie**

Membres de Jury :

Président	Salah ABDESSELAM	Professeur	U.Batna 1 Hadj Lakhdar
Directeur de thèse	Yassine BEGHAMI	Professeur	U.Batna 1 Hadj Lakhdar
Examinatrice	Dalila KHERCHOUCHE	Professeur	U.Batna 1 Hadj Lakhdar
Examineur	Hamada HABA	Professeur	U.Batna 1 Hadj Lakhdar
Examinatrice	Nassima YAHI	Professeur	USTHB, Alger
Examinatrice	Ghania BELHAJ	Professeur	ENSF, kenchela

**L'eau du ciel fait jaillir la richesse de la terre, révélant les
signes de la création divine. Les plantes, poèmes que la terre
écrit pour les cieux**

À mes chers parents,

Ce travail est le fruit de votre soutien inébranlable, de vos encouragements constants et de votre amour infini. Sans Dieu et sans vous, ce rêve n'aurait jamais pu se réaliser. Votre sagesse, votre patience et votre foi inébranlable en moi ont été mes guides tout au long de ce parcours. Vous avez été mon ancre et ma lumière, m'aidant à traverser les moments les plus difficiles et à célébrer les succès avec gratitude.

À mes frères,

Votre présence et votre soutien ont été des sources précieuses de force et de réconfort. Vous avez toujours cru en moi et m'avez encouragé à poursuivre mes ambitions avec détermination. Votre amitié et votre solidarité ont enrichi mon voyage, et je vous suis profondément reconnaissant pour votre soutien constant.

Avec toute ma gratitude et mon affection.

REMERCIEMENTS

Au nom de Dieu, le plus Miséricordieux et le plus Clément, Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à ceux qui ont rendu cette thèse possible. Mes remerciements vont tout d'abord à Dieu Tout-Puissant pour m'avoir accordé la force et la persévérance nécessaires pour mener à bien ce travail.

À mon encadrant, le Pr. Yassine BEGHAMI, je suis profondément reconnaissant pour son soutien inébranlable, ses conseils avisés et son engagement constant. Sa patience, son expertise et sa capacité à inspirer m'ont été d'une valeur inestimable dans le développement de ce travail de recherche. Ses encouragements, sa vision et son dévouement ont été des facteurs déterminants dans l'aboutissement de ce projet académique. Je tiens à exprimer ma gratitude pour son rôle crucial et pour avoir toujours été une source de motivation et d'inspiration tout au long de ce parcours.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers le Pr. Salah ABDESLAM, à la fois président de mon jury de soutenance et directeur du laboratoire LAPAPEZA. Sa remarquable expertise et sa direction éclairée ont été cruciales tout au long de la préparation et de la soutenance de ce travail. Ses conseils critiques et ses encouragements m'ont non seulement permis de repousser les limites de ma recherche, mais aussi de croître en tant que chercheur. En tant que directeur de notre laboratoire, ses orientations stratégiques ont joué un rôle déterminant dans le développement de notre équipe de recherche et la concrétisation de ce projet.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers le Pr. Dalila KHERCHOUCHE, à la fois chef de notre formation doctorale et examinatrice de ma thèse, pour son soutien indéfectible tout au long de notre parcours académique. Ses conseils avisés, sa bienveillance et son engagement inébranlable envers l'excellence académique ont été d'une valeur inestimable.

Je tiens à exprimer toute ma gratitude au Pr. Hamada HABA, doyen de la Faculté des Sciences de la Matière, pour avoir généreusement accepté d'examiner ce travail. Sa collaboration active et son soutien précieux tout au long de ce projet de recherche ont été inestimables. Ses conseils éclairés et sa vision ont joué un rôle crucial dans l'orientation et le développement de notre travail. Sa volonté de partager son expertise a enrichi notre compréhension du sujet et a renforcé la qualité de notre contribution scientifique.

Je tiens à exprimer ma sincère reconnaissance au Pr. Nassima YAHY de l'Université Houari Boumediene à Alger pour avoir accepté d'examiner ce travail. Sa participation active lors des séminaires et discussions académiques a significativement enrichi notre compréhension des enjeux complexes de notre domaine d'étude. Ses précieux conseils et son expertise ont été d'une aide précieuse, tant sur le plan direct que dans sa contribution indirecte à notre équipe de recherche.

Je souhaite exprimer toute ma gratitude à la Pr. Ghania BELHAJ, directrice de l'École Nationale Supérieure des Forêts à Khenchela, pour avoir généreusement accepté d'examiner ce travail. Son expertise reconnue et son engagement envers l'éducation et la recherche scientifique dans le domaine de la gestion des ressources forestières ont été des éléments essentiels. Sa contribution en tant qu'examinatrice enrichit de manière significative l'évaluation de ce travail et renforce sa pertinence.

Un sincère merci à mes collègues doctorantes au laboratoire, Dr. Dorea AMEUR et Dr. Safia BELKHIR, pour notre collaboration fructueuse, nos échanges enrichissants et leur soutien amical tout au long de cette passionnante aventure de recherche. Leurs idées novatrices et leur esprit de collaboration ont joué un rôle essentiel dans mon développement académique.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude au Dr. Małgorzata Mazur de l'Université de Kazimierz Wielki à Bydgoszcz, Pologne, pour son accueil chaleureux et son soutien pendant mon stage de courte durée. Sa collaboration précieuse et ses conseils éclairés ont grandement enrichi mon expérience de recherche. Merci, Dr. Mazur, pour votre hospitalité et votre générosité, qui ont été inestimables pour la progression de mes travaux.

Je tiens à exprimer ma gratitude au Pr. Malik LAAMARI, directeur du laboratoire LATPPAM, pour m'avoir accordé l'accès à ses installations. Son soutien et la mise à disposition des ressources du laboratoire ont été d'une grande aide dans la réalisation de mes analyses. Je le remercie sincèrement pour sa disponibilité et son accueil.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers mes collègues de promotion de la formation doctorale pour leur soutien moral et matériel, particulièrement au cours des premières années de cette formation exigeante. Leur encouragement constant, leur camaraderie et leur soutien désintéressé ont été des éléments essentiels qui m'ont aidé à surmonter les défis initiaux et à progresser dans mes recherches.

Un immense merci à mes amis, Malek, Aziz, Sami, Housseem, Tameur, Djaber, Salim, Amine, et à tous ceux qui ont été présents pour moi en dehors de l'université. Leur soutien amical et leur présence ont été un véritable soutien moral durant cette période intense de ma vie académique.

Je souhaite exprimer ma profonde gratitude à la Conservation des Forêts Algérienne dans toutes les wilayas où j'ai eu le privilège de participer à des sorties sur le terrain. Leur engagement exemplaire dans la préservation et la gestion durable de nos écosystèmes naturels est une source d'inspiration constante.

Je tiens à exprimer ma gratitude au personnel de l'Institut des Sciences Vétérinaires et des Sciences Agronomiques (ISVSA) et à toute l'équipe de l'Université de Batna 1 pour leur soutien et leur assistance précieuse.

Enfin, merci à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de cette thèse, par leur soutien ou leur présence.

RESUME

Cette thèse se consacre à l'étude approfondie de la taxonomie et de la systématique du complexe *Juniperus phoenicea* en Algérie, avec une attention particulière portée à *Juniperus turbinata*. Le premier chapitre a clarifié la présence de *J. turbinata* en Algérie en écartant le statut de *J. phoenicea* s.s., grâce à une réévaluation minutieuse des données taxonomiques et nomenclaturales.

Le deuxième chapitre présente une analyse morphométrique détaillée, révélant des différences significatives entre les populations maritimes et continentales de *J. turbinata*. Cette étude a permis de classer les populations maritimes sous le nom de *J. turbinata* var. *occidentalis* et les populations continentales sous *J. turbinata* var. *montana*, en soulignant les variations morphologiques distinctives entre ces deux groupes.

Dans le troisième chapitre, une exploration approfondie de la diversité chimiotaxonomique des populations de *J. turbinata* a mis en lumière des distinctions notables dans les teneurs en anthocyanes entre les deux variétés. Cette analyse a renforcé les résultats morphométriques précédents, validant ainsi les différences chimiques et confirmant la classification des variétés.

Le quatrième chapitre a intégré les données morphologiques et phytochimiques dans une analyse multidimensionnelle pour confirmer les distinctions taxonomiques et clarifier les ambiguïtés. Cette approche combinée a révélé des schémas de différenciation plus complexes et a fourni une vision plus précise des mécanismes d'adaptation des populations à leurs environnements. Les résultats ont validé la ségrégation entre les populations côtières et continentales et ont conduit à la formulation d'une clé taxonomique précise. Cette clé utilise des critères morphologiques et phytochimiques tels que la forme des galbules et la teneur en cyanidine et en delphinidine, offrant ainsi un outil pratique pour l'identification des variétés de *J. turbinata* en Algérie.

En conclusion, cette thèse a non seulement clarifié le statut taxonomique de *Juniperus turbinata* en Algérie, mais a également démontré l'efficacité d'une approche intégrée combinant morphométrie et chimie pour surmonter les défis de la taxonomie des espèces complexes. Les résultats obtenus offrent une base solide pour des recherches futures et fournissent des perspectives importantes pour la conservation et la gestion des populations de *Juniperus* dans leurs habitats naturels.

Mots clés : Algérie, Monts d'Atlas, *Juniperus phoenicea*, *Juniperus turbinata*, chimiotaxonomie, morphométrie, ACP.

ABSTRACT

This thesis focuses on the in-depth study of the taxonomy and systematics of the *Juniperus phoenicea* complex in Algeria, with a particular emphasis on *Juniperus turbinata*. The first chapter clarified the presence of *J. turbinata* in Algeria by excluding *J. phoenicea* s.s., through a detailed reassessment of existing taxonomic nomenclatural data.

The second chapter presented a comprehensive morphometric analysis, revealing significant differences between maritime and continental populations of *J. turbinata*. This study allowed the classification of maritime populations as *J. turbinata* var. *occidentalis* and continental populations as *J. turbinata* var. *montana*, highlighting the distinctive morphological variations between these groups.

In the third chapter, an in-depth exploration of the chemotaxonomic diversity of *J. turbinata* populations revealed notable distinctions in anthocyanin contents between the two varieties. This analysis reinforced the previous morphometric results, validating the chemical differences and confirming the proposed classification.

The fourth chapter integrated morphometric and phytochemical data into a multidimensional analysis to confirm taxonomic distinctions and clarify ambiguities. This combined approach revealed more complex differentiation patterns and provided a clearer understanding of how populations adapt to their environments. The results validated the segregation between coastal and continental populations and led to the development of a precise taxonomic key. This key uses morphological and phytochemical criteria, such as the shape of the cones and the content of cyanidin and delphinidin, offering a practical tool for identifying *J. turbinata* varieties in Algeria.

In conclusion, this thesis not only clarified the taxonomic status of *Juniperus turbinata* in Algeria but also demonstrated the effectiveness of an integrated approach combining morphometry and chemistry to address the challenges of taxonomy in complex species. The findings provide a solid foundation for future research and offer valuable insights for the conservation and management of *Juniperus* populations in their natural habitats.

Key words: Algeria, Atlas Mountains, *Juniperus phoenicea*, *Juniperus turbinata*, chemotaxonomy, Biometry, PCA.

الملخص

تمثل هذه الأطروحة دراسة معمقة للتصنيف والنظامية لمجموعة العرعار الفينيقي *Juniperus phoenicea* في الجزائر، مع التركيز على العرعار من صنف *Juniperus turbinata*. في الفصل الأول، تم توضيح وجود العرعار *Juniperus turbinata* في الجزائر، مستبعدين العرعار الفينيقي الأصلي *Juniperus phoenicea*، وذلك من خلال إعادة تقييم دقيقة للبيانات التصنيفية والمعايير النباتية المتاحة.

قدم الفصل الثاني تحليلاً مورفومترياً شاملاً أظهر اختلافات ملحوظة بين تجمعات العرعار *Juniperus turbinata* في المناطق الساحلية والقارية. هذه الدراسة أدت إلى تصنيف التجمعات البحرية تحت اسم *Juniperus turbinata var. occidentalis* والتجمعات القارية تحت اسم *Juniperus turbinata var. montana*، مما أبرز الفروقات المورفومترية المميزة بين هذين المجموعتين.

استكشف الفصل الثالث التنوع الكيميائي التصنيفي لتجمعات العرعار *Juniperus turbinata*، وكشف عن تباينات ملحوظة في محتوى الأنثوسيانين بين الأنواع المختلفة. عززت هذه التحليلات النتائج المورفومترية السابقة، مؤكدة الفروقات الكيميائية ومصادقة التصنيف المقترح.

في الفصل الرابع، تم دمج البيانات المورفومترية والكيميائية في تحليل متعدد الأبعاد لتأكيد التمايزات التصنيفية وتوضيح أي غموض. كشفت هذه الطريقة المدمجة عن أنماط تمايز أكثر تعقيداً ووفرت فهماً أوضح لكيفية تكيف التجمعات مع بيئاتها. النتائج صادقت على التمايز بين التجمعات الساحلية والقارية وأدت إلى تطوير مفتاح تصنيفي دقيق. يستخدم هذا المفتاح معايير مورفومترية وكيميائية مثل شكل الأقماع ومحتوى السيانيدين والديلفينيدين، مما يوفر أداة عملية لتحديد أنواع العرعار في الجزائر.

في الختام، لم تقم هذه الأطروحة فقط بتوضيح الوضع التصنيفي للعرعار *Juniperus turbinata* في الجزائر، بل أظهرت أيضاً فعالية النهج المتكامل الذي يجمع بين المورفومترية والكيمياء لمواجهة تحديات التصنيف في الأنواع المعقدة. توفر النتائج أساساً قوياً للبحث المستقبلي وتقدم رؤى قيمة للحفاظ على تجمعات العرعار في بيئاتها الطبيعية.

الكلمات المفتاحية: الجزائر، جبال الأطلس، العرعار الفينيقي، الكيمياء التصنيفية، البايومترية، التحليل بالمكونات الرئيسية

Table des figures

1.1	Dendrogramme simplifié des genres de la famille des <i>Cupressaceae</i> montrant la relation de <i>Juniperus</i> avec <i>Cupressus</i> et <i>Hesperocyparis</i> modifiée à partir Mao et al. 2010 (Adams, 2014).....	25
1.2	Types de feuilles au sein des trois sections du genre <i>Juniperus</i> ; A : section <i>Caryocedrus</i> , B : section <i>Juniperus</i> , C : section <i>Sabina</i> ; modifié à partir de Adams (2014).....	26
1.3	Types de feuilles au sein des <i>Juniperus</i> : A : feuilles aciculaires, présentes uniquement dans les sections <i>Juniperus</i> et <i>Caryocedrus</i> ; B : feuilles décurrentes, présentes chez les jeunes plants et les semis de la section <i>Sabina</i> ; C : feuilles écailleuses, feuillage adulte de la section <i>Sabina</i> ; modifié à partir de Adams (2014).....	26
1.4	Jeune plant de <i>J. phoenicea</i> avec des feuilles décurrentes et squamiformes à la fois (Pavon et al, 2020).	27
1.5	Feuilles à bord denté chez les <i>J. phoenicea</i> s.l. (Adams, 2014)	29
1.6	Sens de migration du complexe <i>Juniperus phoenicea</i> selon (Lebreton & Rivera, 1989)	32
1.7	La différence génétique entre <i>Juniperus phoenicea</i> et <i>Juniperus turbinata</i> (Adams et al, 2013).....	33
1.8	<i>Juniperus phoenicea</i> s.l. topotypes (Pavon et al, 2020)	36
1.9	Carte de La distribution géographique du <i>Juniperus turbinata</i> (Pavon et al, 2020).....	37
1.10	Carte de la distribution géographique de <i>J. phoenicea</i> s.s. et <i>J. canariensis</i> (Pavon et al, 2020).....	37
1.11	<i>Juniperus phoenicea</i> ; 1 - habitude ; 2 - branche avec feuilles et galbule ; 3, 4 - une branche couverte de feuilles écailleuses (grossissement x 15) ; 5 - bout de la feuille (zoom x 30) ; 6 - microstrobile (grossissement x 10) ; 7, 8 - cône « galbule » (grossissement x 3) ; 1-3, 5, 6, 8 - <i>Juniperus phoenicea</i> s.s. ; 4, 7 - <i>Juniperus turbinata</i> (modifié à partir de Farjon 2005 : planche 92)	39

TABLE DES FIGURES

1.12	<i>Juniperus phoenicea</i> , feuilles avec gouttes de pollinisation. B : <i>Juniperus phoenicea</i> , cône au moment de la pollinisation avec trois paires fertiles d'écailles de cônes. C : <i>Juniperus phoenicea</i> , cônes matures. D : Diagramme de cône (marron = écailles de cône, vert foncé = feuilles). E : <i>Juniperus squamata</i> , cône à écailles en verticille de trois au moment de la pollinisation avec un seul ovule terminal. F : <i>Juniperus squamata</i> , diagramme en cône selon E (marron = écailles du cône, vert foncé = feuilles) (Jagel et Dörken, 2015)	41
1.13	Développement chez <i>Juniperus turbinata</i> , a- Chaton mâle à la floraison. b- Coupe longitudinale médiane du cône mâle à la floraison montrant les cellules-mères du pollen (CMP). c Tétrades des microspores, d Fleurs femelles à la floraison montrant la pollinisation, e Coup e longitudinale de la fleur femelle montrant deux ovules et des écailles bractéales. f Section d'ovule montrant l'intégument (I), le nucelle (N) et les cellules nucellaires sécrétoires (flèche). g Section d'ovule à la fin de décembre montrant la cellule mère de mégaspore. h Section d'ovule avec tube pollinique (flèche) se développant dans le nucelle, i Section d'ovule montrant le stade précoce de développement du Gamétophyte à noyaux libres (Arista, Ortiz & Talavera, 1997)	42
1.14	Expression sexuelle chez le <i>Juniperus phoenicea</i> (s.l.)	45
2.1	Les populations de <i>Juniperus phoenicea</i> étudiées par une approche morphométrique exhaustive (Mazur et al, 2018)	52
2.2	Les positions géographiques des populations de <i>Juniperus turbinata</i> analysées par une approche morphométrique échantillonnées dans son aire de distribution en Algérie	55
2.3	Illustration des caractères mesurés : A - LC : longueur de cône, CL : largeur de cône ; B - DC : diamètre de cône ; C - LG : longueur de la graine, GL : largeur de la graine ; D - NF : nombre de feuilles sur une section de 5 mm des branches latérales, LB : largeur des branches ; E – les écailles du cône (marron), les graines (jaune), nombre des recta-ligne des écailles par cône (rouge) = 4 ; F - nombre des recta-ligne des écailles par cône = 6	58
2.4	Diagramme en boîte à moustaches des caractéristiques causant la différenciation entre les populations maritimes et continentales de <i>Juniperus turbinata</i> dans son aire de répartition en Algérie	66
2.5	Résultats de l'ACP entre les populations algériennes de <i>Juniperus turbinata</i> sur la base des caractères des cônes, des graines et des branches : populations maritimes (noir), populations continentales (rouge). Acronymes des populations et des variables comme indiqués dans les Tableaux 2.1 et 2.2	68

2.6	Classification hiérarchique basée sur l'ACP des 15 populations de <i>Juniperus turbinata</i> en Algérie.....	69
2.7	Résultats de l'ACP entre les sous-ensembles géographiques algériens du <i>Juniperus turbinata</i> (continentales et maritimes) de l'étude actuelle et les données bibliographiques de <i>Juniperus phoenicea</i> s.l., décrites par Mazur et al. (2016, 2018), basées sur les caractéristiques des cônes, des graines et des branches ; acronymes des variables comme dans le Tableau 2.2.....	70
3.1.	Les positions géographiques des populations de <i>Juniperus turbinata</i> analysé par une approche phytochimique échantillonné dans son aire de distribution en Algérie Algérien.....	79
3.2.	Structure chimique de la delphinidine en gauche et de la cyanidine à droite.....	82
3.3.	Profil typique du contenu en anthocyanes de <i>Juniperus turbinata</i> , avec un temps de rétention de la delphinidine à 2,27 minutes et un temps de rétention de la cyanidine à 2,8 minutes.....	84
3.4.	Boîte à moustaches du contenu en anthocyanes dans neuf populations de <i>Juniperus turbinata</i> , en Algérie.....	87
3.5.	Résultats de l'ACP de 90 individus de <i>Juniperus turbinata</i> en Algérie, analysées en utilisant les contenus en anthocyanes.....	90
3.6.	Résultats de l'ACP des neuf populations de <i>Juniperus turbinata</i> en Algérie, analysées en utilisant les contenus en anthocyanes.....	91
3.7.	Boîte à moustaches du contenu en anthocyanes entre les deux variétés de <i>Juniperus turbinata</i> (<i>J. turbinata</i> var. <i>montana</i> Vs. <i>J. turbinata</i> var. <i>occidentalis</i>) en Algérie.....	94
3.8.	Résultats de l'ACP de 90 individus de <i>Juniperus turbinata</i> en Algérie, analysées en utilisant les contenus en anthocyanes.....	95
4.1.	Les positions géographiques des populations de <i>Juniperus turbinata</i> analysé par une approche chimiotaxonomique et morphométrique échantillonné dans son aire de distribution en Algérie phytochimique.....	105
4.2.	Résultats de l'ACP entre neuf populations Algériennes de <i>Juniperus turbinata</i> en utilisant la combinaison entre les variables morphologique et phytochimiques.....	108
4.3.	Circle de corrélation de l'ACP entre neuf populations Algériennes de <i>Juniperus turbinata</i> en utilisant la combinaison entre les variables morphologique et phytochimiques.....	109
4.4.	Dendrogramme des neuf populations de <i>Juniperus turbinata</i> analysée par la combinaison des variables morphologique et chimiotaxonomique.....	111
4.5.	ACP des 50 individuée de <i>Juniperus turbinata</i> analysée par la combinaison des approches morphométrique et Chimiotaxonomique.....	112

Liste des tableaux

1.1	La phénologie de l'ovule, de l'embryon et de la graine chez <i>J. phoenicea</i> s.s. et <i>turbinata</i> (Arista, Ortiz & Talavera, 1997)	41
1.2	Les différences ontogénétiques entre <i>J. phoenicea.</i> , <i>J. turbinata</i> Guss. et <i>J. canariensis</i> (Mazur et al, 2003-2018 ; Arista & Ortiz, 1995 ; Adams et al, 2013 ; Lebreton & Perez de Paz, 2001 ; Romo et al, 2019)	44
2.1	Les populations échantillonnées de <i>Juniperus turbinata</i> à partir de son aire de distribution en Algérie.....	56
2.2	Les Caractères des cônes, graines et branches de <i>Juniperus turbinata</i> analysés par une approche morphométrique dans son aire de distribution en Algérie.....	57
2.3	Coefficients de corrélation entre les 10 caractères mesurés des cônes, des graines et des branches des populations algériennes de <i>Juniperus turbinata</i>	61
2.4	Valeurs moyennes des caractères morphologiques et résultats de leur analyse à l'aide de tests post hoc (Kruskal-Wallis et test de Tukey HSD), évaluant l'importance des caractères dans la variation entre les 15 populations de <i>Juniperus turbinata</i> au niveau de signification $p \leq 0,05$. Les acronymes des populations et des caractères sont les mêmes que dans les Tableaux 2.1 et 2.2, respectivement.....	63
2.5	Nombre de caractères présentant des différences statistiquement significatives ($P \leq 0,05$) entre les populations algériennes de <i>Juniperus turbinata</i> , selon les tests post-hoc (test t de Tukey et test de Kruskal-Wallis). Les cellules légèrement ombrées pour indiquer 6 à 9 caractères différents entre les populations, et ombrées foncées pour indiquer 10 caractères ou plus différenciant les populations.....	64
2.6	Comparaison morphométrique entre les agrégations maritimes et continentales (Monts de l'Atlas) de <i>Juniperus turbinata</i> dans son aire de distribution en Algérie.....	65
3.1	Populations de <i>Juniperus turbinata</i> en Algérie analysées par une approche phytochimique	80
3.2	Valeurs moyennes \pm écart-type du contenu en anthocyanes des populations de <i>Juniperus turbinata</i> d'Algérie	86
3.3	Coefficient de corrélation parmi les contenus en anthocyanes de <i>Juniperus turbinata</i> d'Algérie (* - niveau de signification $P \leq 0.05$; ** - niveau de signification $P \leq 0.01$).....	88

LISTE DES TABLEAUX

3.4 Comparaison entre les deux variétés de *Juniperus turbinata*
(*occidentalis* vs. *montana*) en Algérie.....93

Table des matières

Dédicace	3
Remerciements	4
Résumé	6
Abstract	7
الملخص	8
Table des figures	9
Liste des tableaux	12
Table des matières	14
Introduction générale	17
Analyse nomenclaturale et synthèse Taxonomique	21
1.1 Introduction.....	22
1.2 Description du modèle biologique.....	24
1.2.1 Systématique.....	24
1.2.1.1 Systématique du genre <i>Juniperus</i>	24
1.2.1.2 Taxonomie du complexe <i>Juniperus phoenicea</i> « <i>Juniperus phoenicea</i> sensu lato (s.l.)»	28
- Systématique et analyse nomenclaturale.....	28
A- Taxonomie de <i>J. phoenicea</i> au sein de la section Sabina et proposition systématique.....	28
B- Taxonomie des agrégation <i>J. phoenicea</i> (agg.).....	30
C- Indice des synonymes nomenclaturaux du <i>Juniperus phoenicea</i> s.l.....	34
- Distribution géographique.....	36
- Description botanique.....	38
- Floraison, phénologie et fructification.....	41
- Ecologie.....	43
1.2.1.3. Plasticité sexuelle au sein du <i>Juniperus phoenicea</i> (s.l.).....	44
1.3. Conclusion.....	45

2	Taxonomie par une approche morphométrique	47
2.1	Introduction.....	48
2.2	Matériel et méthodes.....	53
2.2.1	Matériel végétal.....	53
2.2.2	Mesures morphométriques.....	53
2.2.3	Méthodes statistiques.....	59
2.3	Résultats	60
2.3.1	Coefficient de variation	60
2.3.2	Corrélations.....	60
2.3.3	Variabilité intraspécifique et morphologique.....	61
2.3.4	Structure géographique (Geographic patterns of variation).....	67
2.4	Discussion.....	71
2.4.1	Variabilité et corrélation des caractères.....	71
2.4.2	Variabilité morphologique.....	71
2.4.3	Structure géographique de variation.....	72
2.5	Conclusion.....	73
3	Taxonomie par une approche chimiotauxonomique	75
3.1	Introduction.....	76
3.2	Matériel et méthodes.....	79
3.2.1	Matériel végétal.	79
3.2.2	Analyse biochimique	80
	- hydrolyse acide (Extraction solide-liquide).....	80
	- Extraction des anthocyanes (Extraction liquide-liquide).....	81
	- Dosage global des anthocyanes.....	81
	- Chromatographie Liquide à Haute Performance (HPLC).....	81
3.2.3	Méthodes statistiques.....	82
3.3	Résultats.....	83
	Dosage global des anthocyanes.....	83
	Identification des anthocyanes (delphinidine et cyanidine) par HPLC.....	83
3.3.1	Variabilité chimique et intraspécifique.....	84
3.3.2	Profils chimiques et sous-ensembles géographiques.....	88
	-Evaluation statistique.....	92
3.4	Discussion	96
	Dosage global des anthocyanes.....	96
	Identification des anthocyanes (delphinidine et cyanidine) par HPLC.....	96
3.4.1	Variabilité chimique et intraspécifique.....	96
3.4.2	Profil chimiques et sous-ensembles géographiques.....	97
3.5	Conclusion.....	99

4 Taxonomie par une approche combinée	101
4.1 Introduction.....	102
4.2 Matériel et Méthodes.....	104
4.3 Résultats et discussion	105
4.4 Conclusion.....	113
Conclusion générale	115
Bibliographie	117
Annex	127

INTRODUCTION GENARALE

Introduction générale

Le genévrier de Phénicie, également connu sous le nom de genévrier rouge, Arar en arabe, ou Zimba en chaoui, est scientifiquement reconnu sous le nom de *Juniperus phoenicea* s.l. (sensu lato), un complexe taxonomique qui s'étend à travers les régions floristiques méditerranéenne, macaronésienne et saharo-arabique.

L'idée d'aborder la problématique taxonomique de cette espèce est née à la suite d'observations effectuées sur la rive nord de la Méditerranée (Beghami, com. pers.). La comparaison de la morphologie de ces individus avec ceux observés dans nos régions, ainsi que de nombreuses discussions et échanges avec des spécialistes de la flore méditerranéenne, ont renforcé cette réflexion. En particulier, le V^e Colloque sur le genévrier thurifère et les autres conifères menacés du bassin méditerranéen, tenu à Saint-Crépin (Alpes françaises), la participation à des ateliers organisés par l'UICN en Espagne en 2016, la visite des populations de genévrier de Phénicie in situ, et un atelier organisé par un groupe de spécialistes des genévriers à Marseille en 2017, ont mis en lumière les ambiguïtés concernant la classification de cette espèce controversée dans la littérature (Maire, 1952 ; Quézel & Santa, 1962 ; Lebreton & Thivend, 1981 ; Farjon, 2005 ; Adams et al, 2013 ; Adams, 2014).

De plus, des différences phénotypiques notables ont été observées entre les populations du littoral français et celles rencontrées lors de nos explorations botaniques en Algérie, en particulier dans la région des Aurès. Ces observations rejoignent la reconnaissance, par la communauté scientifique algérienne, de l'hétérogénéité des connaissances taxonomiques dans le pays et de la nécessité de réviser la dernière flore publiée sur l'Algérie, celle de Quézel & Santa (1962-1963), également appelée 'Nouvelle flore d'Algérie'. Cette prise de conscience coïncide avec le lancement du projet d'actualisation et de numérisation de cette flore.

Ainsi, le complexe *Juniperus phoenicea* se caractérise par un statut taxonomique complexe et ambigu. Il inclut désormais trois espèces distinctes reconnues : *J. phoenicea* sensu stricto, *J. turbinata* Gussone (Guss.) et *J. canariensis* Guyot ex Gordon. Toutefois, leur identification sur le terrain reste

difficile, notamment dans les zones où plusieurs de ces taxons coexistent. De plus, de nombreuses erreurs de citation subsistent dans diverses flores, monographies et articles, ce qui renforce la confusion entourant ce groupe taxonomique (Mazur et al., 2018 ; Sánchez-Gómez et al., 2018 ; Romo et al., 2019).

Une source supplémentaire d'ambiguïté réside dans l'affiliation taxonomique de *J. phoenicea* à la section *Sabina*. Bien que ce taxon partage certaines caractéristiques avec les groupes de cette section, notamment les feuilles squamiformes, les analyses moléculaires ont montré que son ADN est suffisamment distinct pour qu'il ne puisse être intégré de manière satisfaisante à aucun des trois groupes actuellement reconnus au sein de la section *Sabina* (Adams, 2014). Cette divergence génétique et morphologique suggère que *J. phoenicea* pourrait représenter un quatrième groupe distinct au sein de cette section, complexifiant ainsi davantage sa classification taxonomique.

Depuis les premières descriptions de *Juniperus phoenicea* par Linné (1753) et *J. turbinata* par Gussone (1844), le statut taxonomique de ce groupe dans son aire méditerranéenne a fait l'objet de multiples redéfinitions et réévaluations. Selon Adams (2014), ce complexe inclut *J. phoenicea* subsp. *phoenicea* et *J. phoenicea* subsp. *turbinata*, bien que *Juniperus canariensis* ait été traité comme une variété au sein de *J. turbinata* (Lebreton & Perez de Paz, 2001).

En Algérie, ce complexe est mentionné sous le nom de *J. phoenicea* dans la *Nouvelle Flore d'Algérie* de Quézel & Santa (1962). Cela n'est pas surprenant, car les auteurs précisent dans leur préface la nécessité de consulter des ouvrages plus détaillés pour les taxons de rang inférieur et les espèces complexes, notamment la *Flore d'Afrique du Nord* de Maire (1952). Par ailleurs, bien que des études morphométriques aient été réalisées sur certaines espèces du genre *Juniperus* en Algérie, comme *J. oxycedrus*, l'analyse morphométrique de *J. phoenicea* reste limitée. Hafsi (2018) a étudié trois populations, mais cette approche demeure restreinte en termes de couverture géographique et de critères discriminants utilisés.

Pour aborder les problèmes taxonomiques complexes du *Juniperus phoenicea* s.l., et explorer les questions soulevées par les différences phénotypiques et les ambiguïtés observées dans la littérature, il était essentiel d'adopter une approche méthodique et rigoureuse. C'est dans ce cadre que ce document a été structuré en quatre chapitres, chacun de ces chapitres aborde un

aspect clé de cette problématique. Cette organisation vise à répondre de manière systématique aux questions posées par la classification et l'identification de *J. phoenicea* s.l. en Algérie.

Le premier chapitre Analyse nomenclaturale et synthèse Taxonomique : décrit en détails la systématique de l'espèce en mettant en évidence les confusions nomenclaturales et les erreurs systématiques courantes, ainsi que l'écologie et la biologie du modèle biologique.

Le deuxième chapitre traite la taxonomie de l'espèce à travers une approche morphométrique, en se concentrant sur une étude approfondie de *J. phoenicea* en Algérie. En couvrant 386 individus répartis sur 15 populations naturelles, cette étude met en évidence l'importance de comprendre la diversité intraspécifique ainsi que les schémas géographiques associés.

Le troisième chapitre sera consacré à une approche chimiotauxonomique. Il traitera les contenus en anthocyanes de l'espèce afin d'apporter des éclaircissements sur sa taxonomie

Enfin, le quatrième chapitre propose une approche combinée, intégrant les résultats des chapitres précédents pour proposer des recommandations pratiques pour la classification de *Juniperus phoenicea* s.l.

Chapitre 1

**Analyse nomenclaturale et synthèse
Taxonomique**

Chapitre 1

Analyse nomenclaturale et synthèse Taxonomique

1.1. Introduction

L'examen minutieux des données bibliographiques sur le complexe *Juniperus phoenicea* révèle une grande diversité taxonomique et nomenclaturale, particulièrement marquée dans les travaux des phytochimistes, phytoécologues, chercheurs en agroalimentaire et même parfois des taxonomistes. Cette diversité pose un défi majeur dans la caractérisation précise de ce complexe. Sans une analyse biosystématique approfondie, de nombreuses confusions nomenclaturales persistent, nécessitant une attention scrupuleuse à la littérature. Il est notable que cette confusion est fréquemment observée chez les auteurs francophones.

Parmi les facteurs contributifs, la dépendance totale vis-à-vis de la *Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales* de Quézel et Santa (1962) a joué un rôle significatif. Bien que cette source mentionne généralement l'existence de *J. phoenicea* sans fournir de détails précis, il est impératif de consulter des ouvrages plus complets et précis pour comprendre la complexité réelle de ce taxon, notamment la *flore de l'Afrique du Nord* par Maire (1952). Ces ouvrages soulignent la nécessité d'une approche plus exhaustive pour les espèces complexes, ce qui est crucial pour dissiper les ambiguïtés taxonomiques et clarifier la nomenclature au sein de la communauté scientifique.

Un exemple concret concerne *Juniperus thurifera* L., une espèce souvent considérée comme un taxon de la région Ouest Méditerranéenne, comprenant deux variétés ou sous-espèces : *J. thurifera* subsp. *thurifera* L. en Europe et *J. thurifera* subsp. *africana* Maire (Maire, 1926), qui englobe les populations marocaines et algériennes. Les populations algériennes ont été affiliées à *J. thurifera* subsp. *africana* par déduction plutôt que par une analyse biosystématique poussée. René Maire (1926) a assimilé dans sa description les populations algériennes et marocaines ensemble, bien que biogéographiquement parlant, les populations de cette espèce situées aux monts des Aurès soient plus proches de leurs homologues

européennes que marocianes. À la suite d'une révision taxonomique réalisée par Vela et Schäfer en 2013, les populations algériennes de l'Aurès ont été classées comme *J. thurifera* var. *aurasiaca* Vela & P. Schäf. Cette révision illustre l'importance de mener des analyses approfondies pour établir la classification taxonomique précise des espèces, en prenant en compte à la fois des critères Taxonomiques et biogéographiques.

De plus, les botanistes algériens ont parfois omis les contributions des auteurs anglophones, qui ont pourtant largement travaillé sur cette thématique. Ces travaux contiennent souvent des informations précieuses pouvant aider à éclaircir les débats entourant la taxonomie de *J. phoenicea*, soulignant ainsi l'importance d'une approche inclusive dans la recherche scientifique.

La synthèse taxonomique se base sur les conclusions de différentes études ayant pour objectif la classification taxonomique, phylogénétique et/ou biogéographique des espèces. Elle englobe l'ensemble de la répartition géographique de l'espèce en question.

Dans cette étude, nous utiliserons plusieurs abréviations couramment employées en taxonomie pour clarifier la nomenclature et la classification des espèces du complexe ***Juniperus phoenicea***. L'expression **complexe *J. phoenicea*** fait référence au groupe global des taxons liés à cette espèce, y compris les espèces distinctes mais étroitement apparentées, ainsi que leurs variétés, formes et écotypes. L'abréviation **sensu lato (s.l.)** fait référence au complexe dans son ensemble, incluant les trois espèces reconnues : ***J. phoenicea sensu stricto (s.s.)***, ***J. turbinata (Guss.)***, et ***J. canariensis***. Par ailleurs, nous utiliserons ***J. phoenicea agg.*** pour désigner les populations ou les agrégats de ce complexe dont la nomenclature exacte n'est pas encore clairement établie au sein du groupe. Cette terminologie est supportée par la pratique botanique, où **agg.** (abréviation de "**aggregatum**") est couramment employé pour désigner un groupe d'espèces très proches et souvent difficiles à distinguer individuellement, permettant ainsi de les traiter ensemble de manière pratique même si elles ne sont pas nécessairement taxonomiquement unifiées. Cette terminologie nous permettra de discuter des taxons de manière précise et cohérente, tout en tenant compte des ambiguïtés taxonomiques existantes.

1.2. Description du modèle biologique

1.2.1. Systématique

1.2.1.1. Systématiques du genre *Juniperus*

La famille des Cupressaceae, incluant le genre *Juniperus*, se caractérise souvent par une phyllotaxie opposée et verticillée. Cette organisation concerne la formation des galbules (ou cônes charnus) ainsi que l'arrangement des feuilles sur les rameaux. Les jeunes plants présentent généralement des feuilles en forme d'aiguilles, tandis que chez les individus matures, les feuilles peuvent se transformer en écailles serrées contre les rameaux (squamiformes) ou rester aciculaires en aiguilles. Les espèces de ce genre peuvent être monoïques ou dioïques. Les cônes, portant les strobiles mâles et femelles, se forment généralement sur de courts rameaux latéraux (Maire, 1952 ; Quézel & Santa, 1962 ; Seneta & Dolatowski, 2000, Farjon, 2005).

La classification actuelle de la famille des *Cupressaceae* (Figure 1.1) en trois sous-familles (*Cupressoideae*, *Juniperoideae* et *Thujoideae*) n'est pas basée sur des critères phylogénétiques. En effet, elle repose principalement sur des caractéristiques morphologiques des feuilles et des cônes, qui sont de nature ontogénétique (Farjon & Ortiz Garcia, 2002). Une caractéristique distinctive de la sous-famille *Juniperoideae*, qui ne comprend qu'un seul genre, *Juniperus*, est la fusion secondaire des écailles de graines après la pollinisation (Seneta & Dolatowski, 2000).

Le genre *Juniperus* comprend des arbres et des arbustes toujours verts et aromatiques, avec des feuilles opposées ou verticillées en aiguille (aciculaires) ou en écaille. Les cônes mâles sont petits, terminaux ou axillaires. Les cônes femelles, formés d'un petit nombre d'écailles charnues plus ou moins concrescentes à maturité, donnent naissance à une sorte de baie charnue (Quézel & Santa, 1962 ; Adams, 2014).

Le genre *Juniperus* occupe une place prépondérante parmi les genres les plus diversifiés de l'embranchement des conifères, comptant 75 espèces. Il se classe au deuxième rang après la famille des Pinacées et représente le plus grand des 30 genres de la famille des *Cupressaceae* (Adams & Demeke, 1993 ; Farjon, 2005 ; Adams & Schwarzbach, 2013 ; Adams, 2014). Les espèces de ce genre sont cosmopolites, déployant une large amplitude écologique, depuis le niveau de la mer (comme *J. virginiana* var. *silicicola*, *J. taxifolia* var. *lutchuensis*, *J. procumbens*) jusqu'aux sommets boisés des montagnes (*J. zanonii*). Certaines espèces sont

adaptées aux régions désertiques, telles que *J. osteosperma*, tandis que d'autres se retrouvent dans des zones marécageuses, comme *J. communis* var. *charlottensis*. Bien que de nombreuses espèces du genre préfèrent les sols calcaires, elles peuvent également être trouvées dans des environnements variés tels que les dunes, les falaises maritimes et les sols granitiques (Adams, 2014).

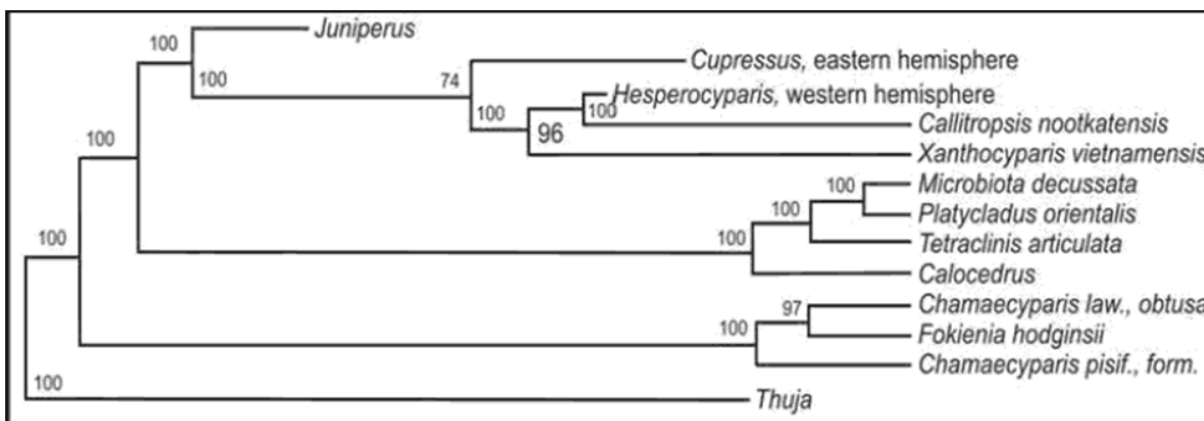


Figure 1.1. Dendrogramme simplifié des genres de la famille des *Cupressaceae* montrant la relation de *Juniperus* avec *Cupressus* et *Hesperocyparis* modifiée à partir Mao et al. 2010 (Adams, 2014)

Notons que, le genre *Juniperus* est classé en trois sections distinctes :

- 1- Section *Caryocedrus* (inclue seulement le *J. drupacea*)
- 2- Section *Juniperus* (14 espèces méditerranéennes et le *J. communis* circumboréal),
- 3- Section *Sabina* (60 espèces en méditerrané, Asie, Afrique, sud-ouest de l'Amérique du Nord).

Les types de feuilles dans les trois sections du genre *Juniperus* sont présentés dans les figures 1.2 et 1.3. Les feuilles aciculaires sont le seul type de feuilles trouvées dans les sections *Caryocedrus* et *Juniperus*. Les feuilles décurrentes se trouvent uniquement chez les jeunes plants et les semis de la section *Sabina*, et parfois sur les branches latérales des individus adultes lorsque le feuillage croît rapidement (figure 1.4). Les feuilles squamiformes (écailleuses) apparaissent uniquement chez les arbres matures de la section *Sabina*, généralement après 3 à 5 ans. Il est notable que, dans la section *Sabina*, les feuilles décurrentes sont présentes aux stades juvéniles. Après quelques années (3 à 5 ans), la majorité des espèces de cette section transforment leurs feuilles en écailles squamiformes.

Cependant, quelques exceptions demeurent en stade juvénile avec des feuilles décurrentes (néoténie) (Adams, 2014).

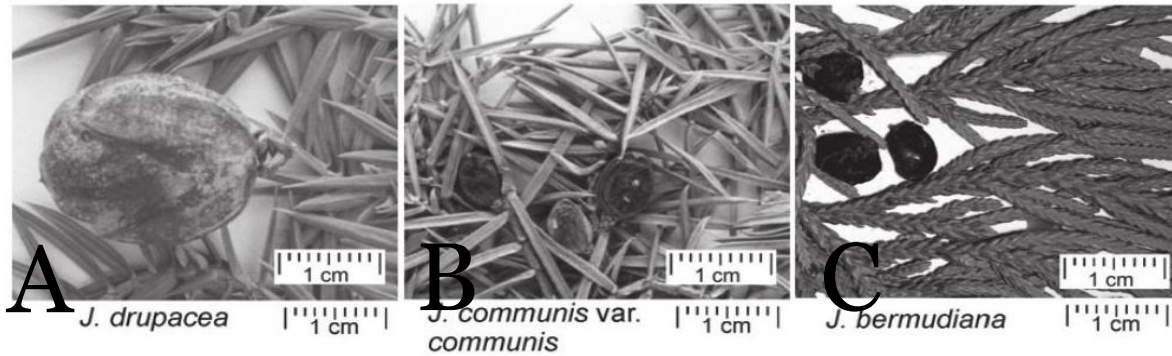


Figure 1.2. Types de feuilles au sein des trois sections du genre *Juniperus* ; A : section *Caryocedrus*, B : section *Juniperus*, C : section *Sabina* ; modifié à partir de Adams (2014).

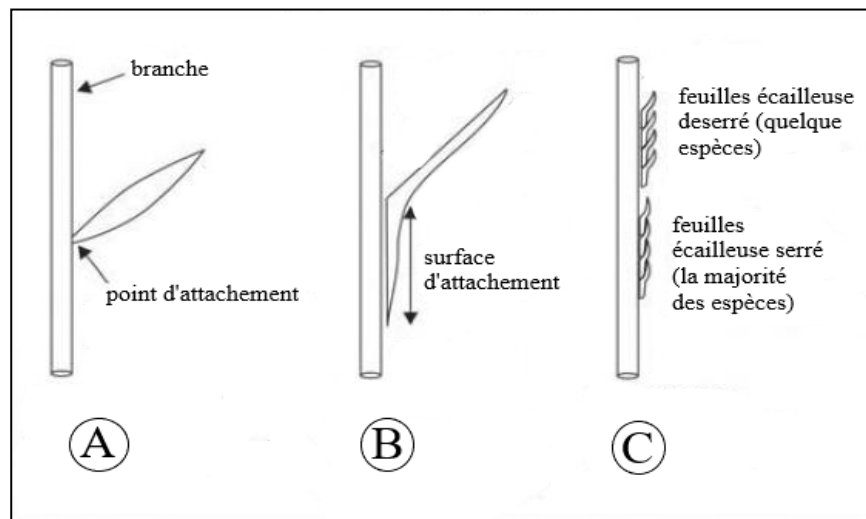


Figure 1.3. Types de feuilles au sein des *Juniperus* : A : feuilles aciculaires, présentes uniquement dans les sections *Juniperus* et *Caryocedrus* ; B : feuilles décurrentes, présentes chez les jeunes plants et les semis de la section *Sabina* ; C : feuilles écailleuses, feuillage adulte de la section *Sabina* ; modifié à partir de Adams (2014).



Figure 1.4. Jeune plant de *J. phoenicea* avec des feuilles décurrentes et squamiformes à la fois (Pavon et al., 2020).

La section *Sabina* est la plus hétérogène de toutes les sections, elle se divise en trois ou quatre groupes majeurs (Mao et al., 2010 ; Adams & Schwarzbach 2013 ; Adams 2014) :

- 1- **Genévriers à feuilles dentées** – Présents en Amérique du Nord, regroupant 21 espèces (Adams & Schwarzbach, 2011, 2013).
- 2- **Genévriers à feuilles entières, cônes turbinés et à une seule graine** – répartis exclusivement dans l'hémisphère Est (16 espèces, Adams & Schwarzbach, 2013).
- 3- **Genévriers à feuilles entières, cônes multi-graines** – présents dans les hémisphères Est et Ouest.

Deux groupes se distinguent par la formation de feuilles entières : le premier possède une seule graine et des cônes turbinés, originaires de l'hémisphère oriental. Le deuxième groupe est composé des genévriers à plusieurs graines, présents dans les hémisphères Est et Ouest (*J. excelsa*, *J. foetidissima*, *J. thurifera* et *J. sabina*). Le groupe restant comprend les genévriers à feuilles dentées d'Amérique du Nord (hémisphère occidental). Les trois groupes sont regroupés dans des clades bien soutenus.

En Algérie, cinq espèces de genévriers sont recensées, chacune appartenant à l'une des sections ou groupes mentionnés ci-dessus. *Juniperus drupacea*, appartenant à la section *Caryocedrus*, est absent du territoire. Les genévriers présents en Algérie se répartissent entre les sections *Juniperus* et *Sabina*. Au sein de la section *Juniperus*, deux espèces sont présentes en Algérie : *J. communis* et *J. oxycedrus*. La section *Sabina*, plus diversifiée, inclut trois espèces : *J. thurifera* var. *aurasica*, endémique des monts des Aurès, *J. phoenicea* s.l., comprenant *J. turbinata*, et enfin *J. sabina*, dont la seule population en Afrique se trouve dans les monts des Djurdjura. Toutes ces trois espèces appartiennent au groupe des genévriers à cônes multi-graines et à feuilles entières, à l'exception de *J. phoenicea*, pour lequel des réserves subsistent concernant son inclusion dans ce groupe. Cette répartition illustre la diversité biogéographique du genre *Juniperus* en Algérie, en accord avec la classification systématique actuelle.

La variabilité des genévriers méditerranéens de la section *Sabina* est liée à leurs migrations tertiaires et pléistocènes ainsi qu'à leurs isolements de longue durée. Leur diversité contemporaine, tant taxonomique que géographique, a été influencée par des événements majeurs tels que la dérive des plaques continentales (à partir du jurassique, il y a environ 150 millions d'années), la disparition de la Téthys (vers 5 millions d'années), les mouvements orogéniques (principalement au cours du tertiaire, entre 65 et 2,5 millions d'années) et la crise de salinité messinienne (entre 5,96 et 5,33 millions d'années) (Mazur, 2021).

1.2.1.2. Taxonomie du complexe *Juniperus phoenicea* « *Juniperus phoenicea* sensu lato (s.l.) »

- Systématique et analyse nomenclaturale

A- Taxonomie de *J. phoenicea* au sein de la section *Sabina* et proposition systématique

Ce complexe est faiblement affilié aux trois groupes de la section *Sabina*. Ces taxons présentent de petites dentelures sur les marges des feuilles (figure 1.5), mais sont désignés comme "pseudodentelés". Il est notable que les espèces à feuilles dentelées (*J. phoenicea* s.l.) présentes dans l'hémisphère oriental aient un ADN si différent qu'elles ne peuvent être regroupées de manière satisfaisante avec aucun autre groupe. À l'heure actuelle, il semble approprié de considérer *J. phoenicea* s.l. comme des "pseudodentelés" faisant partie d'une lignée distincte des genévriers

dentelés d'Amérique du Nord et de les grouper avec les genévriers à feuilles entières et multigraines de l'hémisphère oriental et occidental. Si les feuilles dentelées de *J. phoenicea* s.l. ne sont pas homologues aux feuilles dentelées des genévriers en Amérique du Nord, alors aucune espèce actuelle (ou fossile connue) de genévrier véritablement dentelé n'existe dans l'hémisphère oriental. Il semble peu probable que les marges des feuilles dentelées dans les hémisphères oriental et occidental soient des caractères homologues, mais qu'elles soient apparues indépendamment, car *J. phoenicea* s.l. ne fait pas partie du clade des genévriers dentelés et semi-arides de l'hémisphère occidental (Adams & Schwarzbach, 2013 ; Adams, 2014).

La classification actuelle de la famille des Cupressaceae, repose principalement sur des critères ontogénétiques plutôt que phylogénétiques. Toutefois, il semble nécessaire de réexaminer la classification phylogénétique de la section Sabina. Bien que cette classification repose sur des critères phylogénétiques et biogéographiques, le cas de *J. phoenicea* montre ses limites. En particulier, l'absence des enregistrements fossiles dans l'hémisphère oriental pour un ancêtre commun entre *J. phoenicea* et les genévriers à feuilles dentées de l'Amérique du Nord complique cette approche. Si l'on se base plutôt sur des critères morphologiques (ontogénétiques), le problème pourrait être résolu plus facilement en considérant *J. phoenicea* comme un quatrième groupe distinct au sein de la section Sabina, caractérisé par des feuilles dentelées et multigraines de l'hémisphère oriental.

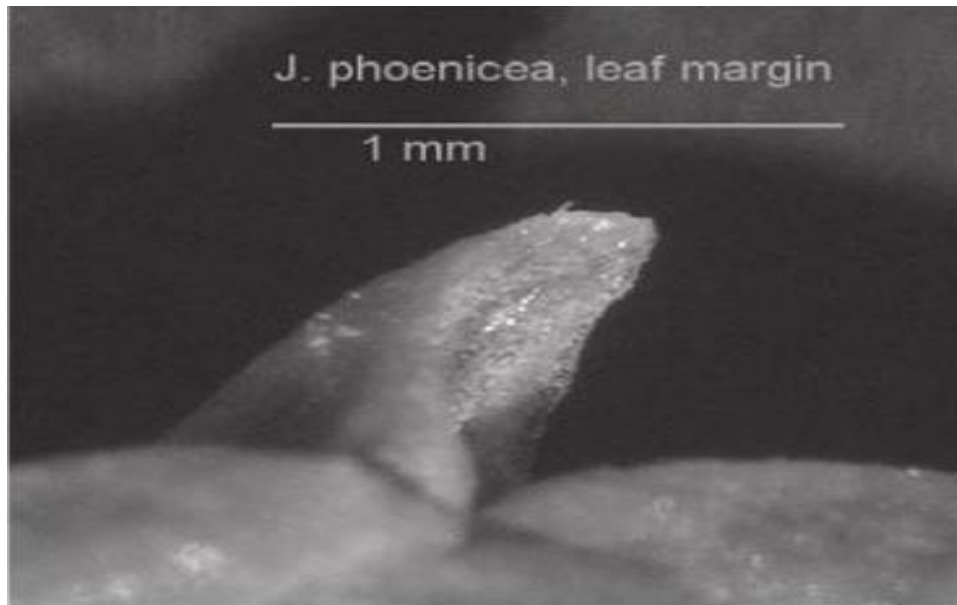


Figure 1.5. Feuilles à bord denté chez les *J. phoenicea* s.l. (Adams, 2014).

B- Taxonomie des agrégation *J. phoenicea* (agg.)

J. phoenicea s.l. inclut une agrégation de taxons connus dans les régions floristiques macaronésienne, méditerranéenne et saharo-arabique. Ils se propagent depuis le Sinaï et la péninsule arabe occidentale à l'est, à travers les rives méditerranéennes, jusqu'aux archipels des Canaries et de Madère à l'ouest, ainsi qu'à l'intérieur des terres dans la région du Maghreb et la péninsule Ibérique (Quézel & Santa, 1962 ; Browicz, 1982 ; Takhtajan, 1986 ; Amaral Franco, 1986 ; Quézel & Médail, 2003 ; Farjon, 2005 ; El-Bana et al., 2010 ; Adams, 2014 ; Mazur et al., 2016, 2018 ; Pavaon et al., 2020 ; Salvà-Catarineu et al., 2021).

Le genévrier de Phénicie, *Juniperus phoenicea* L., a été décrit pour la première fois par Linné en 1753 à partir de spécimens récoltés à Montpellier (Figure A1, page 111). Depuis lors, la position taxonomique de l'espèce a connu plusieurs changements et redéfinitions. La première description de *Juniperus turbinata* par le botaniste sicilien Giovanni Gussone (1787-1866) dans sa flore *Florae Siculae Synopsis* (1844 ; Figure A2, page 111) présente cette espèce comme un nouveau taxon étroitement apparenté à *J. phoenicea*. Cependant, la description de Gussone reste succincte, se basant principalement sur un seul caractère discriminant : « la forme turbinée des jeunes galbules (en forme de toupie ou de cône) ». Plus problématique encore, Gussone reconnaît que cette nouvelle espèce partage en Sicile les mêmes habitats que *J. phoenicea* L.

En 1846, Kunz a décrit *J. oophora* (éventuellement synonyme de *J. turbinata*) à partir des populations situées sur les dunes maritimes de la côte sud-ouest de l'Espagne. Cette confusion taxonomique a influencé les descriptions nomenclaturales de plusieurs auteurs (Battandier & Trabut, 1902 ; Bonnet & Barratte, 1896 ; Briquet, 1910 ; Cuénod et al., 1954 ; Fiori, 1923-1925 ; Fournier, 1946 ; Munby, 1847).

Dans d'autres travaux, *J. turbinata* a été affilié ou mentionné comme une subdivision nomenclaturale de *J. phoenicea* var. *lycia* (Coste, 1937 ; Rouy, 1913), mais aussi dans des classifications plus modernes comme *Juniperus phoenicea* var. *turbinata* (Boissier, 1884 ; Maire, 1952). De plus, certaines formes ou écotypes caractérisés par des galbules plus petits ou plus grands ont été décrits, tels que *J. phoenicea* var. *phoenicea* f. *molis* Maire & Weiller et f. *megalocarpa* Maire (Maire, 1952). Seules quelques flores anciennes citent cette espèce comme distincte (et non

comme une forme ou variété) sous le nom de *J. oophora* en Espagne (Willkomm & Lange, 1861 ; Willkomm, 1893).

Gaussen (1968) a discuté les taxons de rang inférieur de l'espèce cité par les auteurs précédent var. *turbinata*, var. *oophora*, var. *canariensis* var. *lycia* même il a typifié quelque forme au rang de variété par exemple (var. *mollis*, var. *megalocarpa*), plus probablement que toutes ces variétés ne méritent pas la distinction taxonomique, mais indique l'accès limité au spécimen types (topotypes) par les botanistes qui ont décrit des populations locales comme des variétés (Adams, 2014)

Dans les travaux les plus récent, (Lebreton & Thivend, 1981 ; Lebreton, 1983 Lebreton & Rivera, 1988), menant des recherches sur la teneur en proanthocyane (procyanidines et prodelfinidines) dans les feuilles d'individus de *J. phoenicea* s.l., ont montré l'existence de deux sous-espèces – *J. phoenicea* subsp. *phoenicea*, qui se disperse à partir les refuges sud-ouest de la péninsule ibérique, (Portugal) et s'est propagé à l'intérieur des terres et dans la zone côtière, *J. phoenicea* subsp. *eu-mediterranea*, qui a migré le long des côtes à travers le nord-ouest de l'Afrique et la Corse jusqu'en Crète (Figure 1.6). Adams, Barrero & Lara, (1996) ont analysé les huiles essentielles dans les mêmes populations étudiées par l'équipe de Lebreton. Ils confirment la conspécificité entre *J. phoenicea* subsp. *eu-mediterranea* et *J. phoenicea* subsp. *turbinata* puis Adams et al. (2002) Mettre fin à la polémique en utilisant le marqueur génétique RAPD dont ils mentionnent que le *J. phoenicea* subsp. *turbinata* prend la priorité nomenclaturale. Farjon (1998, 2005) a corroboré ces résultats en montrant que *J. phoenicea* subsp. *eu-mediterranea* est le synonyme de *J. phoenicea* subsp. *turbinata* et ne mérite pas d'être reconnait comme une troisième sous espèce, puisque les différences en teneur des anthocyanes ne se combinent pas parfaitement avec les différences morphologiques et phénotypiques, donc ne peuvent pas servir comme des bases pour distinguer des sous espèces.

Les dernières recherches sur les isoenzymes menées par Boratyński et al. (2009) sur 14 populations naturelles ont confirmé l'état actuel des connaissances. Il y avait de grandes différences entre les deux taxons (*J. phoenicea* s.s. et *J. turbinata*). Plus récemment, Adams et al. (2013) ont examiné les séquences d'ADN (nrADN et petN-psbM) de 19 populations de *J. phoenicea* s.l. (figure 1.7) et ont trouvé que la différence entre les deux taxons est comparable à la différence existante entre les

espèces du genre *Juniperus* (98 événements mutationnels). Leur étude a également inclus les formes et variétés décrites par les auteurs cités précédemment, telles que la var. *megalocarpa* dans les dunes maritimes de Essaouira, au Maroc, la var. *mollis* comme espèce commune dispersée à l'intérieur du Maroc, et la var. *canariensis* dans les îles Canaries. Ils ont constaté que seules les populations de Grazalema et Penon se regroupent avec *J. phoenicea* s.s., tandis que les autres formes et variétés (var. *megalocarpa*, var. *mollis*, var. *canariensis*) se regroupent avec *J. turbinata* Guss. et ne sont pas suffisamment différentes pour être considérées comme des variétés distinctes au sein de l'espèce.

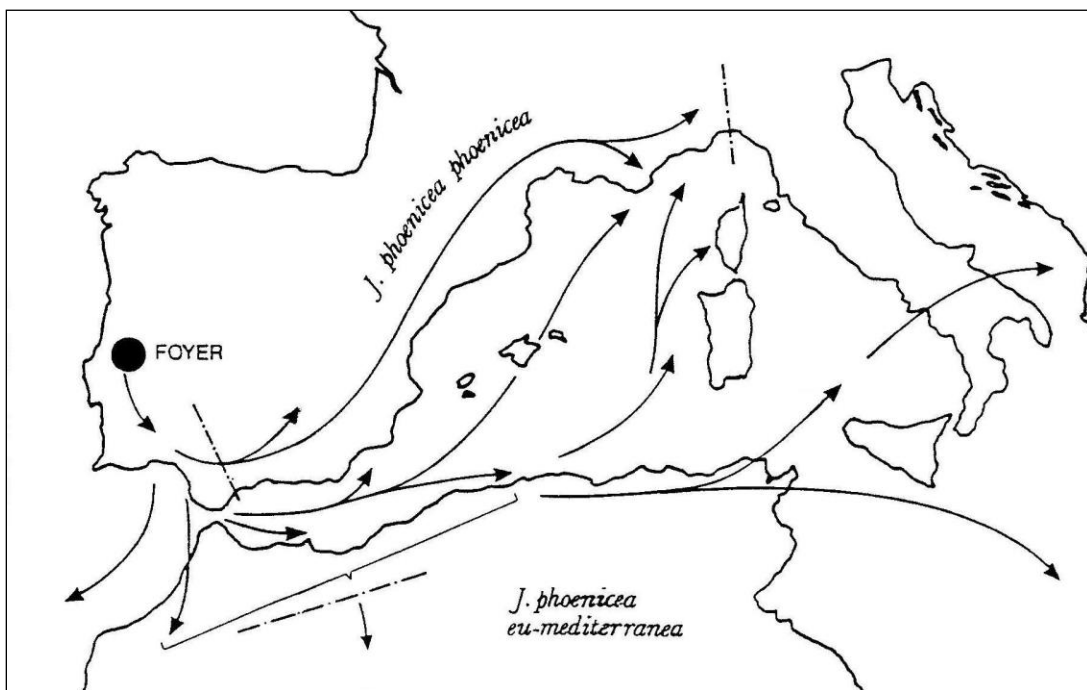


Figure 1.6. Sens de migration du complexe *Juniperus phoenicea* selon (lebreton & Rivera, 1989)

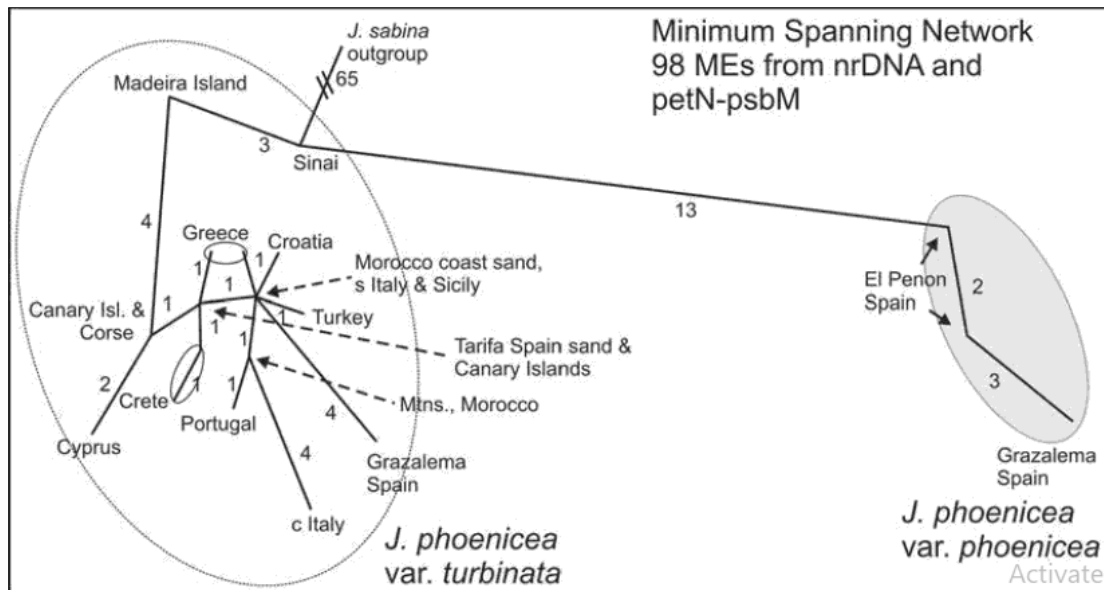


Figure 1.7. La différence génétique entre *Juniperus phoenicea* et *Juniperus turbinata* (Adams et al., 2013)

Malgré le fait que leur travail ait été négligé dans plusieurs études de recherche, Lebreton et Pérez de Paz (2001) ont démontré la ségrégation entre *J. phoenicea* et *J. turbinata* au niveau de l'espèce en utilisant les prodelphinidines comme marqueurs chimiotaxonomiques.

Plus récemment, Romo et al. (2019) ont réévalué *Juniperus canariensis* Guyot au rang d'espèce, en s'appuyant sur des travaux génétiques préalables de Jiménez et al. (2017) et Sánchez-Gómez et al. (2018) ainsi que sur des études morphologiques de Mazur et al. (2016, 2018). Ces travaux ont permis de déduire la position spécifique de *J. canariensis* à partir de différences significatives du point de vue génétique et morphologique (Sánchez-Gómez et al., 2018, voir Fig. 3 ; Mazur et al., 2018, voir Fig. 2).

Enfin, les révisions proposées par Adams et Schwarzbach (2013) et Mazur et al. (2016), où *J. phoenicea* subsp. *turbinata* a été acceptée au rang d'espèce, ont également été validées par l'UICN via le groupe d'experts des conifères (<http://www.iucnredlist.org/details/16349692/0>). Cette révision a conduit à la réduction de *J. phoenicea* s. s. à l'ancienne *J. phoenicea* subsp. *phoenicea*.

En Algérie, l'espèce a été mentionnée par Quézel et Santa (1962) comme *J. phoenicea*. Plusieurs chercheurs ont adopté cette nomenclature sans être conscients de la nécessité de consulter des ouvrages plus détaillés pour les taxons complexes. Dans leur préface, Quézel et Santa soulignent l'importance de se référer à des travaux plus complets, comme ceux de René Maire, pour les taxons complexes tels que *J. phoenicea*. Ils précisent : "Du point de vue de la synonymie et de la compréhension des espèces, nous nous sommes rapportés, du moins pour la première partie de ce travail, à celles qui ont été retenues par R. Maire dans sa 'Flore de l'Afrique du Nord' ; quelques modifications, indiquées dans le texte, ont toutefois été parfois nécessaires. Pour ne pas surcharger le texte, nous nous sommes limités en général à l'étude des espèces et des sous-espèces au sens linnéen du terme. Pour les échelons taxonomiques inférieurs, le spécialiste devra faire appel à des ouvrages plus complets et en particulier à la Flore de l'Afrique du Nord de R. Maire." Cependant, ils ne fournissent pas de détails sur ces taxons. René Maire, dans ses travaux, mentionne clairement l'existence de *J. turbinata* en Algérie. Il décrit cette espèce comme "très répandue sur les montagnes des Hauts Plateaux et dans les Aurès ; rare dans les Babors rochers calcaires au sommet du Mont Takoucht, vers 1.900 m ; assez rare dans les dunes du littoral, très commune dans les montagnes des Hauts Plateaux et de l'Atlas saharien." Cette mauvaise interprétation de la littérature a donc conduit à une confusion taxonomique persistante (Figure 1.8.). Cependant, comme mentionné auparavant, la critique la plus évidente dans la caractérisation de René Maire est l'affiliation de certains écotypes de *J. turbinata* comme des formes au sein de *J. phoenicea*, ce qui ajoute à la complexité et à la confusion taxonomique.

C- Indice des synonymes nomenclaturaux du *Juniperus phoenicea* s.l.

▪ *Juniperus phoenicea* s.s.

Syn.:

Juniperus phoenicea L. Sp. Pl. 2: 1040 (1753)

Juniperus phoenicea L. subsp. *Phoenicea*

J. tetragona Moench, Methodus: 699 (1794)

J. terminalis Salisb., Prodr. Chap. Allerton: 397 (1796)

Sabina phoenicea (L.) Antoine, Cupress.-Gatt.: 42 (1857)

Sabinella phoenicea (L.) Nakai, Chôsen Sanrin Kaihô 165: 14 (1938)

J. lycia L., Sp. Pl. 2: 1039 (1753)

J. phoenicea L. var. *lycia* (L.) Spach, Ann. Sci. Nat. Bot., sér. 2, 16: 302 (1841)

Sabina lycia (L.) Antoine, Cupress.-Gatt.: 4 (1857)

J. phoenicea L. var. *lobelii* Guss., Pl. Rariores: 370, t. 62 (1826)

J. phoenicea L. var. *sclerocarpa* Endl., Syn. Conif.: 30 (1847)
J. phoenicea L. var. *malacocarpa* Endl., Syn. Conif.: 30 (1847)
J. bacciformis Carrière, Traité Gén. Conif.: 56 (1855);
Sabina bacciformis (Carrière) Antoine, Cupress.-Gatt.: 69 (1857)
J. phoenicea L. var. *prostrata* Willk., Suppl. Prodr. Fl. Hispan.: 4 (1893)
J. phoenicea L. subsp. *phoenicea* f. *prostrata* Debreczy & Rácz, Studia Bot. Hung. 29: 87 (1999)

▪ ***Juniperus turbinata* (Guss.), Fl. Sicula Syn. 2: 634 (1844)**

Syn.:

J. oophora Kunze, Flora 29: 637 (1846)
Sabina turbinata (Guss.) Antoine, Cupress.-Gatt.: 41 (1857)
J. phoenicea L. var. *turbinata* (Guss.) Parl., w: Candolle, Prodr. 16 (2) : 487 (1868)
J. phoenicea L. subsp. *turbinata* (Guss.) Nyman, Consp. Fl. Europ. 3: 676 (1881)
J. phoenicea L. subsp. *turbinata* (Guss.) Arcangeli, Comp. Fl. Ital., 637 (1882)
Juniperus phoenicea L. var. *macrocarpa* St.-Lag. In Cariot, Étude Fl., éd. 8, 2: 762 (1889)
J. phoenicea L. var. *galbulis mollibus* (Ball.), Spicilegium Florae Maroccanae, Journ. linn. Soc. (Bot.), 16(94):671 (1878)
J. lycia var. *tarraconensis* Sennen Diagn. Nouv : 272 (1936)
J. phoenicea L. f. *megalocarpa* Maire, Bull. Soc. Hist. Nat. Afrique 32(7) : 224 (1941)
J. phoenicea L. subsp. *eu-mediterranea* P. Lebreton et S. Thivend, Naturalia Monspel., Bot. 47: 8 (1981)

▪ ***Juniperus canariensis* Guyot**

Syn.:

J. canariensis Knight, Syn. Conif.:13 (1850)
J. canariensis Knight ex Gordon, Pinetum: 114. (1858).
J. canariensis Guyot & Mathou, Trav. Lab. Forest. Toulouse T. 1 (3, 20): 7 (1942) *J. turbinata* Guss. subsp. *canariensis* (Guyot & Mathou) Rivas-Martínez *et al.*, Itinera Geobot. 7: 511 (1993)
J. turbinata subsp. *canariensis* (Guyot in Mathou & Guyot) Lebreton & P. Pérez, Bull. Mens. Soc. Linn. Lyon 70(4): 81 (2001)

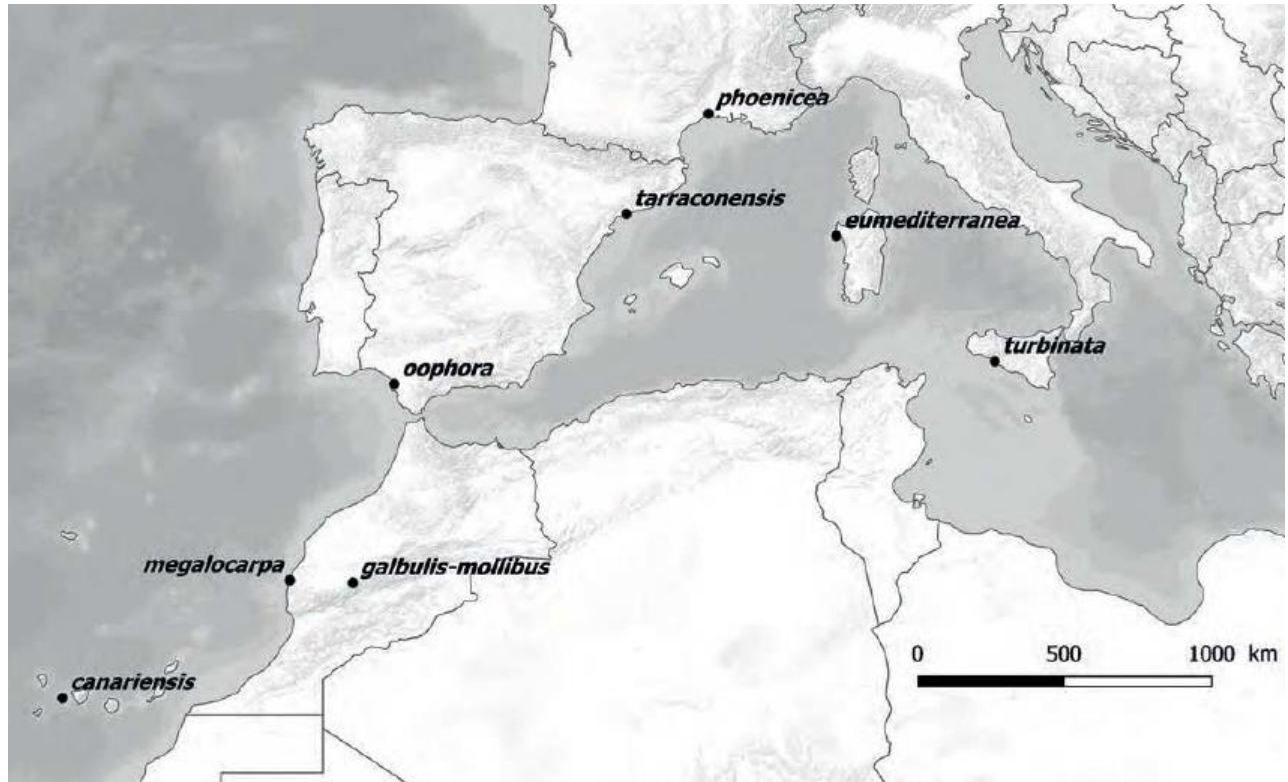


Fig. 1.8. *Juniperus phoenicea* s.l. topotypes (Pavon et al., 2020)

- Distribution géographique

Quoique malgré plusieurs études ont été menées sur le complexe *J. phoenicea*, la répartition géographique de ces taxons restent brouillés par les difficultés de l'identification sur le terrain, l'hétérogénéité de traitements taxonomiques ainsi que par la répétition des citations erronées contenues dans diverses flores ou indexe de référence (Pavon et al., 2020).

Amaral Franco. (1986, 1993) a considéré le *J. turbinata* comme un sous-ensemble géographique du complexe spécifique pour la partie Ouest de la méditerrané. Ensuite lebreton et Pérez de Paz. (2001), Adams et al. (2013) et Mazur et al. (2016) confirme la distribution circumméditerranéenne de l'espèce (Figure 1.9). Contrairement, *J. pheonicea* s.s. désormais considéré comme un taxon Nord-Ouest méditerranéen, qui se confine au Sud de l'Espagne (Figure 1.10).

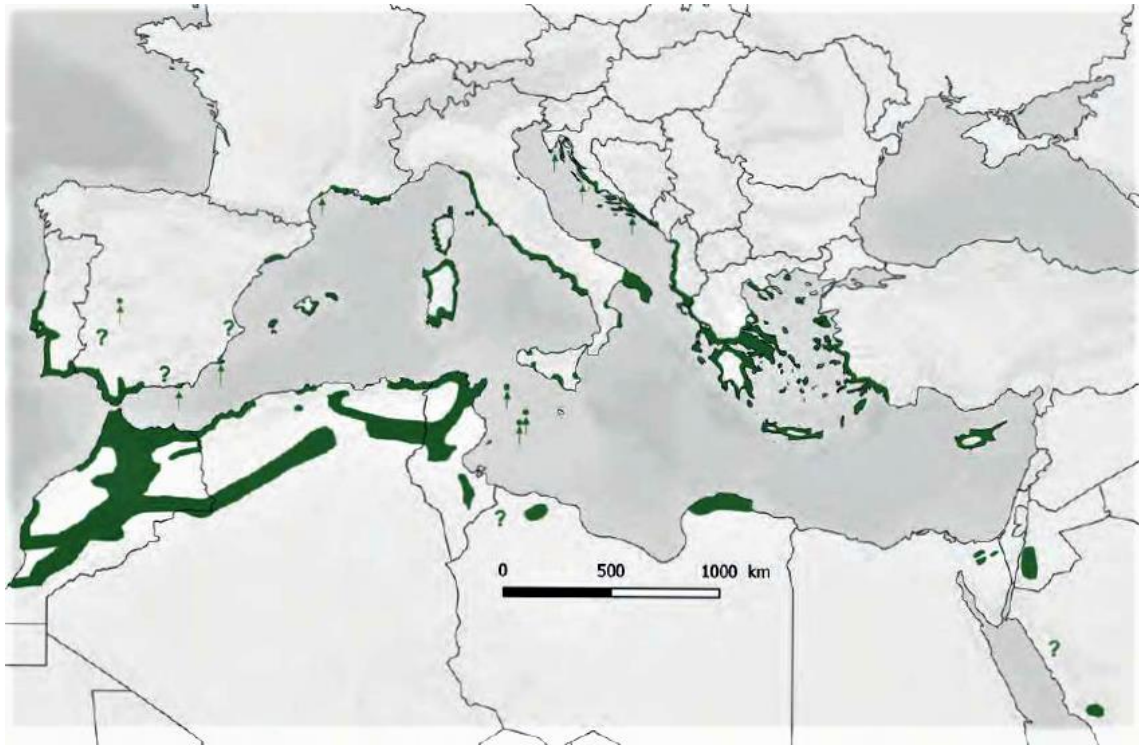


Fig. 1.9. Carte de La distribution géographique du *Juniperus turbinata* (Pavon et al., 2020)

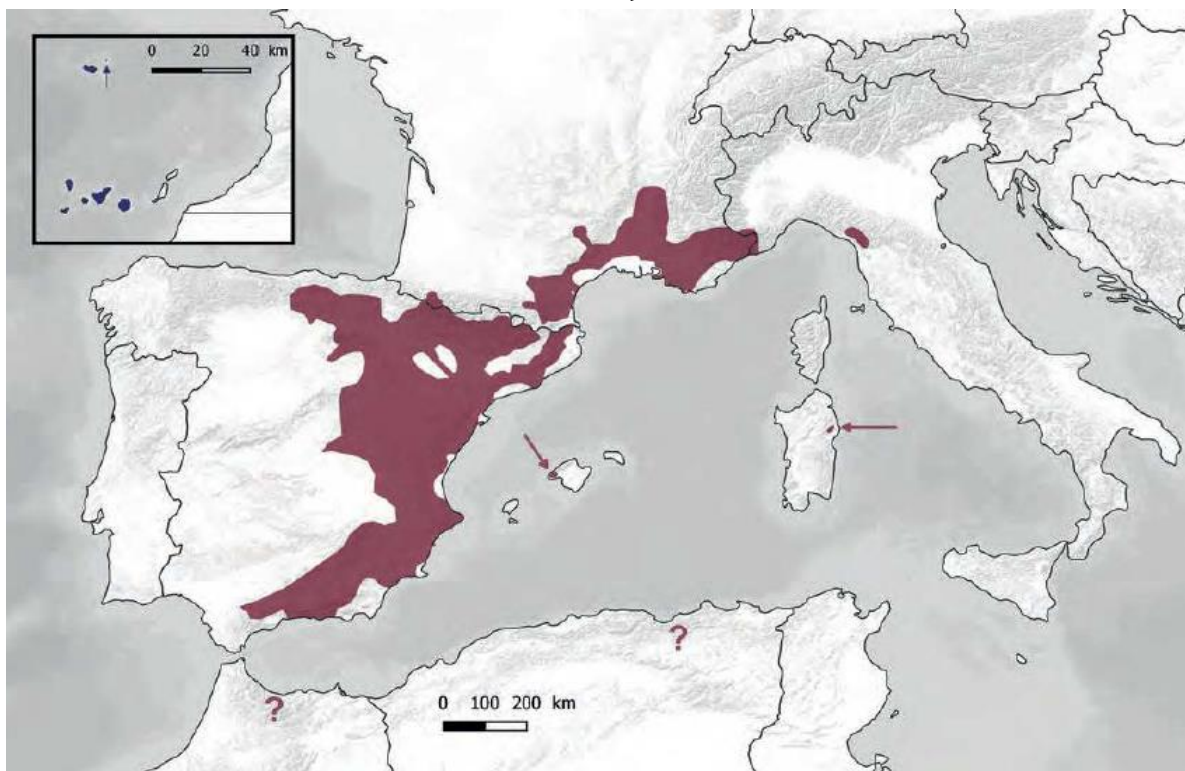


Fig. 1.10. Carte de la distribution géographique de *J. phoenicea* s.s. et *J. canariensis* (Pavon et al., 2020)

- Description botanique

J. phoenicea s.l. est une espèce complexe d'arbres ou arbustes sempervirents méditerranéens pouvant atteindre 8 à 12 m de hauteur. Cet arbuste érigé, parfois prostré, se trouve dans divers biotopes et est essentiellement composé d'individus bisexués et femelles, avec quelques individus mâles. Avec un tronc de 0,60 m de diamètre et une ramification très dense, les jeunes rameaux sont cylindriques à écorce brune cannelle, tandis que les rameaux âgés et le tronc ont un rhytidome gris brun écailleux. Il possède une cupule conique-fastigiée et les sommets des branches ne dépassent pas beaucoup les branches latérales immédiates (Figure 1.11).

Les feuilles de cette espèce présentent des marges finement denticulées visibles sous le microscope (Figure 1.5). Elles sont verticillées par trois, imbriquées sur quatre ou six rangs, sauf sur les ramules les plus fins où elles sont souvent opposées et imbriquées sur quatre rangs. Les feuilles des jeunes semis sont aciculaires (décurrentes), glauques ; les feuilles de l'adulte sont squamiformes, de 1 à 2 mm, ovales triangulaires, apprimées, ordinairement obtusiuscules au sommet, avec un dos arrondi portant une grosse glande à résine. Les feuilles juvéniles mesurent 5–14 x 0,5–1 mm, sont généralement ternes, aiguës et mucronées ; les feuilles adultes, de 0,7 à 1 mm, sont en forme d'écailles, ovales-rhomboidales, densément imbriquées, obtuses ou subaiguës, appliquées, avec des marges scarieuses.

Les individus adultes possèdent des cônes charnus, sphériques à turbinés. Les galbules mûres sont bruns rouges luisants avec une chair fibreuse, mesurant 8 à 12 mm, mûrissent tous les deux ans et deviennent rougeâtres foncés (Figure 1.12). Ils contiennent de 3 à 9 graines. Cette espèce se trouve dans des formations arbustives et des fourrés xérophiles, préférant les substrats calcaires et dolomitiques, à des altitudes de 0 à 1850 m. Elle est présente dans les régions méditerranéennes et macaronésiennes, atteignant même la péninsule Arabique (Maire, 1952 ; Quézel & Santa, 1962 ; Blanca et al., 2011 ; Blanca et al., 2014 ; Adams, 2014).

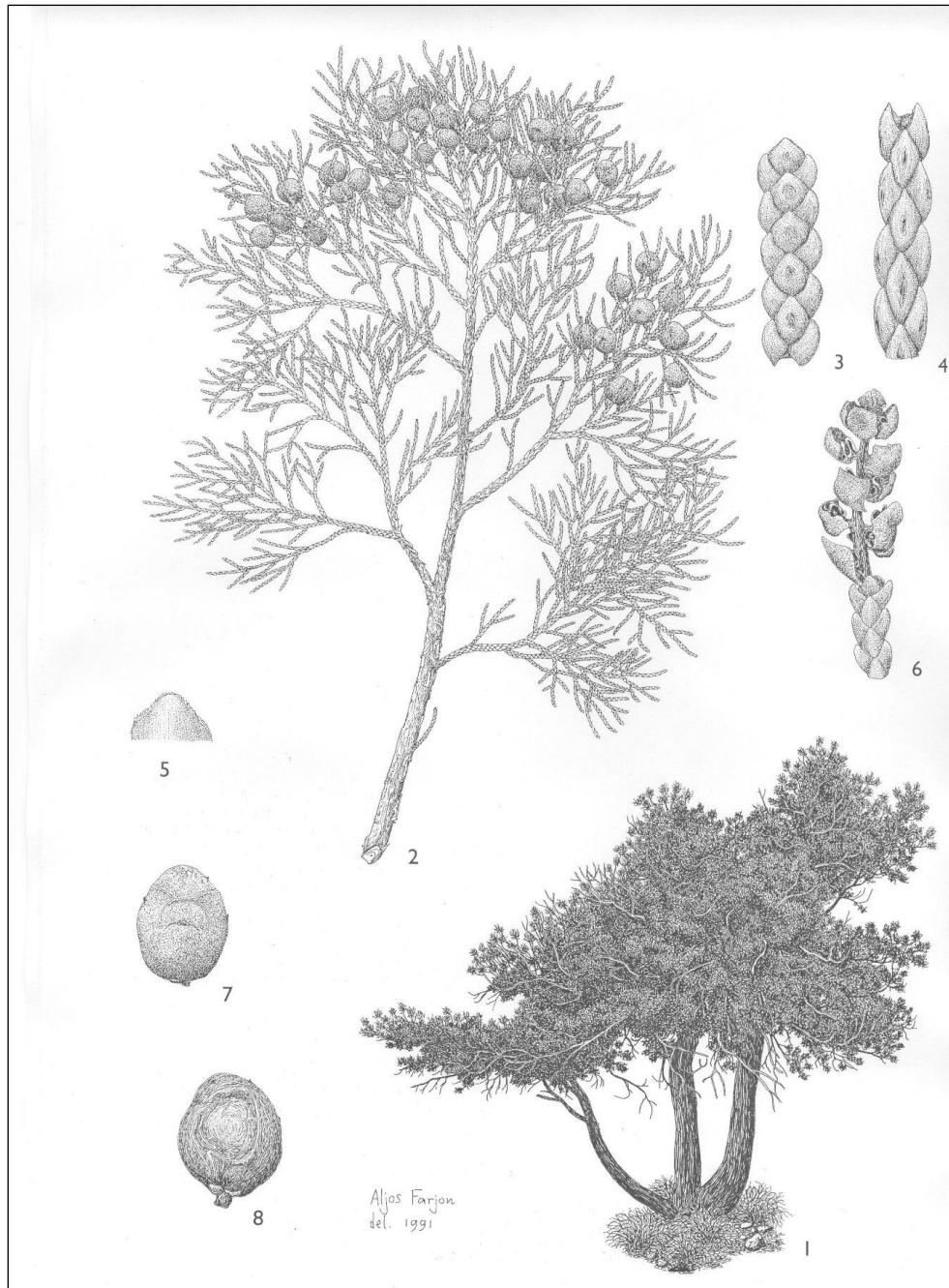


Figure 1.11. *Juniperus phoenicea* ; 1 - habitude ; 2 - branche avec feuilles et galbule ; 3, 4 - une branche couverte de feuilles écailleuses (grossissement x 15) ; 5 - bout de la feuille (zoom x 30) ; 6 - microstrobile (grossissement x 10) ; 7, 8 - cône « galbule » (grossissement x 3) ; 1-3, 5, 6, 8 - *Juniperus phoenicea* s.s. ; 4, 7 - *Juniperus turbinata* (modifié à partir de Farjon (2005) : planche 92)

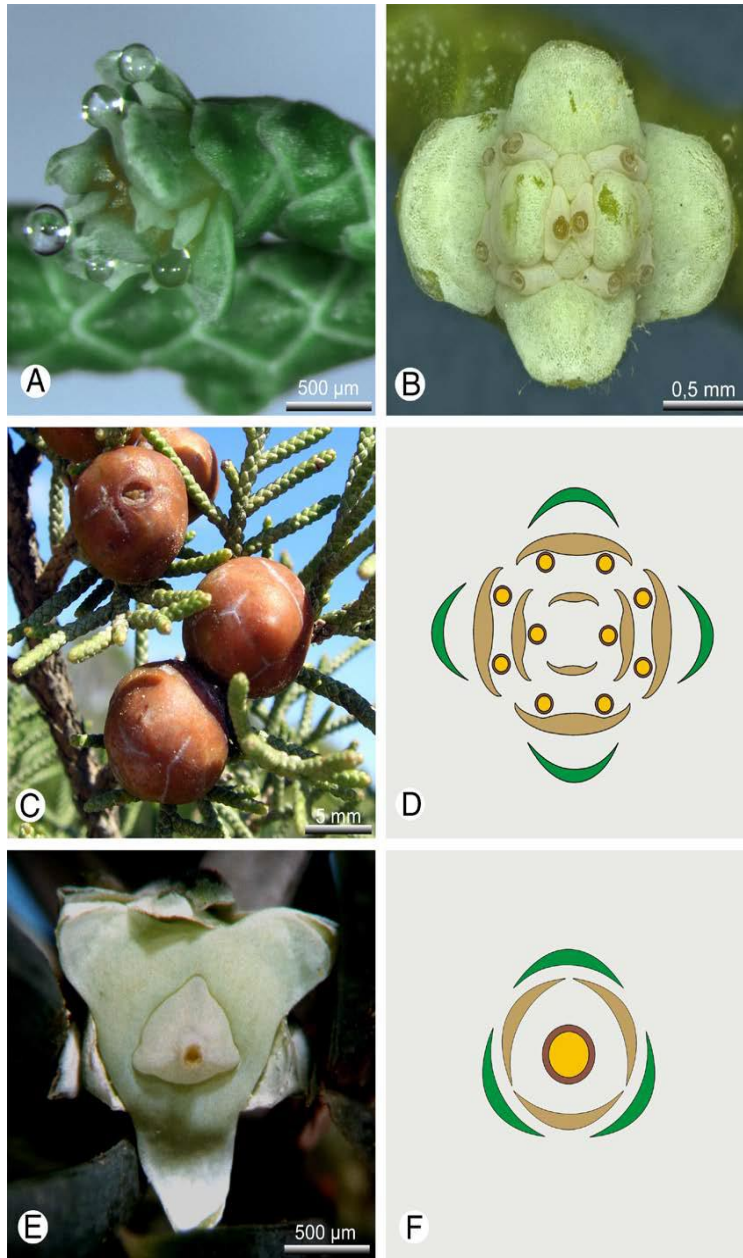


Figure 1.12. A : *Juniperus phoenicea*, feuilles avec gouttes de pollinisation. B : *Juniperus phoenicea*, cône au moment de la pollinisation avec trois paires fertiles d'écailles de cônes. C : *Juniperus phoenicea*, cônes matures. D : Diagramme de cône (marron = écailles de cône, vert foncé = feuilles). E : *Juniperus squamata*, cône à écailles en verticille de trois au moment de la pollinisation avec un seul ovule terminal. F : *Juniperus squamata*, diagramme en cône selon E (marron = écailles du cône, vert foncé = feuilles) (Jagel & Dörken, 2015)

- Floraison, phénologie et fructification

La différence entre les deux taxons se manifeste également dans la période de dispersion du pollen, automnale chez *J. turbinata* et printanière chez *J. phoenicea*. Dans les deux espèces, les chatons mâles (Figure 1.13) se développent avant les fleurs femelles. Chez *J. turbinata*, les chatons mâles commencent à se développer à la fin d'août, tandis que les bourgeons femelles apparaissent juste avant la floraison, qui a lieu en octobre-novembre (Tableau 1.1). Cette floraison automnale a été confirmée par des observations directes menées sur les populations algériennes lors d'explorations botaniques sur le terrain. La période de floraison est très courte et ne dépasse pas 10 jours dans la majorité des cas. Quant aux chatons mâles de *J. phoenicea* s.s., ils se forment en octobre, mais le pollen ne se disperse qu'en février, en synchronisation avec la réceptivité des cônes femelles. Les bourgeons femelles apparaissent également juste avant la floraison, en février-mars, avec une période de floraison plus courte ne dépassant pas 7 jours (Arista, Ortiz & Talavera, 1997).

Tableau 1.1. La phénologie de l'ovule, de l'embryon et de la graine chez *J. phoenicea* s.s. et *turbinata* (Arista, Ortiz & Talavera, 1997)

Stage de développement	<i>Juniperus turbinata</i> Guss	<i>Juniperus phoenicea</i> (s.s)
Floraison, réceptivité des cônes, goutte pollinique	Fin Octobre-Novembre	Fin Février-début Mars
Méiose de la cellule mère du mégaspore	Fin Decembre	début Mars
Phase de la division nucléaire des gamétophytes	Fin Decembre-début Juin	Avril-début Juin
Maturation des gamétophyte et formation du membrane cellulaire	début Juin	Début Juin
Maturation de l'archégone et fertilisation	Mi-Juin	Mi-Juin
Élongation du suspenseur	Juillet-Janvier	Juillet-Janvier
Initiation cotylédonaire de l'embryon	début Mars	début Mars
Stage cotylédonaire tardif de l'embryon	Avril	Avril
Maturation de l'embryon	Juin	Juin
Dispersion des galbules	Octobre-Février	Octobre-Février

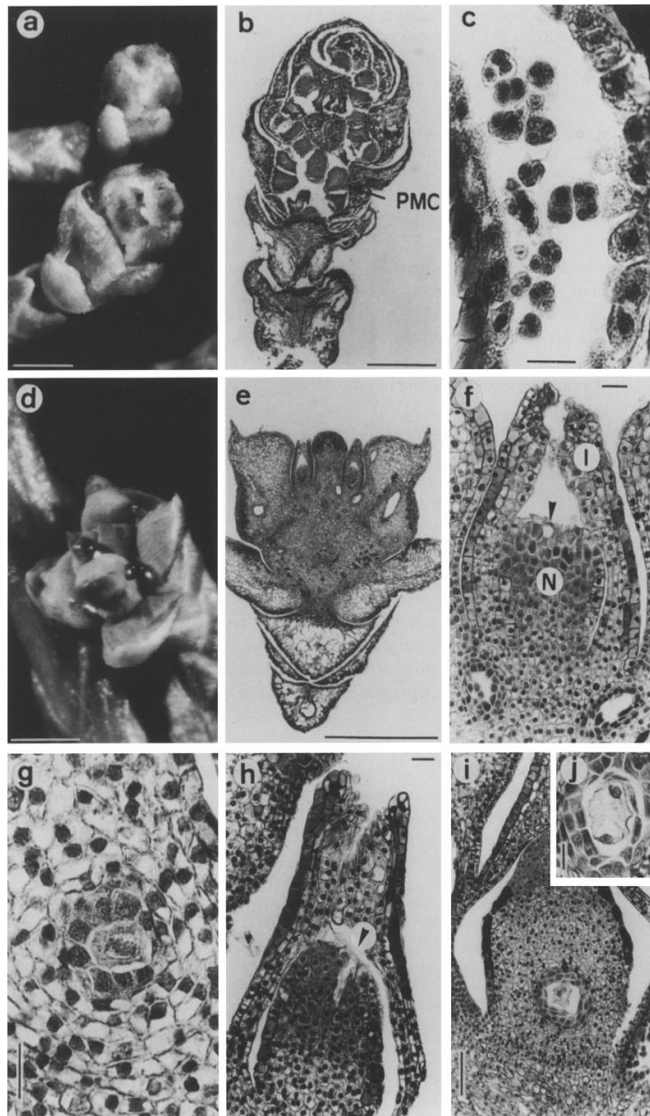


Figure 1.13. Développement chez *Juniperus turbinata*, a- Chaton mâle à la floraison. b- Coupe longitudinale médiane du cône mâle à la floraison montrant les cellules-mères du pollen (CMP). c Tétrades des microspores, d Fleurs femelles à la floraison montrant la pollinisation, e Coupe longitudinale de la fleur femelle montrant deux ovules et des écailles bractéales. f Section d'ovule montrant l'intégument (I), le nucelle (N) et les cellules nucellaires sécrétoires (flèche). g Section d'ovule à la fin de décembre montrant la cellule mère de mégaspore. h Section d'ovule avec tube pollinique (flèche) se développant dans le nucelle, i Section d'ovule montrant le stade précoce de développement du gamétophyte à noyaux libres (Arista, Ortiz & Talavera, 1997)

- Ecologie

J. phoenicea s.l. est une espèce pionnière photophile des climats meso- et thermo-méditerranéens. Il pousse sur des sites sableux ou rocheux, principalement sur des sols calcaires mais aussi sur des sols silicatés. C'est une espèce xérophyte, adaptée à un climat aride avec des étés chauds et secs, et pouvant tolérer des précipitations de seulement 200 mm par an. Ce genévrier appartient typiquement à la végétation de garrigue et de maquis et aux bois clairs, formant des broussailles et des bosquets avec d'autres espèces sclérophylles. Le genévrier de Phénicie pousse principalement sur les zones côtières, mais on peut également le trouver sur des falaises intérieures et dans des zones montagneuses. Sur les dunes stables du littoral, il développe des formations de broussailles, parfois avec le genévrier oxycèdre (*J. oxycedrus* spp. *macrocarpa*) et d'autres espèces sclérophylles, comme le lentisque (*Pistacia lentiscus*), le myrte (*Myrtus communis*), la filaire à feuilles étroites (*Phillyrea angustifolia*), les cistes (*Cistus* sp.), etc., formant les communautés végétales appartenant au *Pistacio lentisci-Rhamnetalia alaterni*. Il peut être associé aux pins (*Pinus pinea*, *Pinus pinaster*, *Pinus brutia* et *Pinus halepensis*) le plus souvent dans les plantations, mais aussi dans les habitats naturels.

Sur les falaises, *J. phoenicea* forme des broussailles typiques, prospérant sur des substrats secs, rocheux et souvent calcaires, caractérisés par des conditions difficiles et appelés maquis arborescents. Sur les falaises côtières, les plantes sont exposées aux vents marins et aux tempêtes hivernales sévères suivies d'étés secs, se développant en arbustes courts et façonnées par le vent. En revanche, les populations de montagne peuvent atteindre des altitudes élevées et sont adaptées à un climat plus continental. Généralement, elles poussent sur Versants sud avec d'autres espèces chasmophytes. Les espèces associées de la végétation des falaises sont très variables, selon le substrat, la géomorphologie et dans de nombreux cas, les impacts anthropiques. Les formations de genévrier de Phénicie peuvent constituer le premier stade de succession des recolonisations (souvent post-incendie), évoluant vers les chênaies sclérophylles (*Quercus ilex*, *Q. suber*, *Q. rotundifolia*, *Q. coccifera*) dans les climats mésoméditerranéens, ou vers la forêt sempervirente thermophile (*Olea europaea*, *Ceratonia siliqua*, *Pistacia lentiscus*) dans les climats thermo-méditerranéens (M. Arista, P. L. Ortiz, S. Talavera, 1997 ; Mazzoleni et al, 2004 ; Farjon, 2010 ; Farjon et Filer, 2013 ; Caudullo et de Rigo, 2016). Le *J. turbinata* Peuple les dunes maritimes du bassin méditerranéen, les falaises littorales, les pentes et les montagnes à partir de l'étage bioclimatique Infra-

supraméditerranéenne aride jusqu'au l'étage humide (Asensi et al, 2007). Cette espèce existe à la fois dans les zone côtières et continental, dans le continent il se développe dans les sols calcaires et siliceuses. Cette espèce se développe dans des formations arbustives sur dunes, falaises littorales, et dans des environnements calcaires et marneux gypseux intérieurs, à des altitudes de 0 à 800 m

Tableau 1.2. Les différences ontogénétiques entre *J. phoenicea.*, *J. turbinata* Guss. et *J. canariensis* (Mazur et al., 2003-2018 ; Arista & Ortiz, 1995 ; Adams et al., 2013 ; Lebreton & Perez de Paz, 2001 ; Romo et al., 2019)

	<i>J. phoenicea</i>	<i>J. turbinata</i>	<i>J. canariensis</i>
Cônes (galbule)	Sphérique à globulaire, petite de 5-9 mm de long	Allongée ou turbinée (lorsqu'ils sont immatures), presque sphérique (lorsqu'ils sont matures) dans certaines populations. Taille : plus grands, de 7-11 mm de long.	Allongée ou turbinée (lorsqu'ils sont immatures), presque sphérique (lorsqu'ils sont matures) dans certaines populations. Taille : plus grands, de 7-11 mm de long
Nombre de graines	plus nombreuses, 3(7-9)13	moins nombreuses, 3(4-7)10	moins de 3
Période de dispersion du pollen	Printemps (Février - mars)	Automne (octobre - novembre)	Automne (octobre - novembre).
Branches	Plus épaisses	Plus fines	Plus fines
Ecorce	Grise à brune	Rougeâtre	Brune
Habitat	Sol dolomitique	Sable, calcaire cambrien, roche volcanique	Sable, calcaire cambrien, roche volcanique

1.2.1.3. Plasticité sexuelle au sein du *Juniperus phoenicea* (s.l)

J. phoenicea (s.l.) peut se présenter dans la nature comme une espèce monoïque ou dioïque, strictement femelle ou y peut avoir quelques individus males, (Minissale & Sciandrello, 2013 ; Mandin, 2013). L'état sexuel d'un individu peut changer d'une

année à l'autre, probablement en fonction des conditions environnementales (Mandain, 2013) Très souvent, il y a une alternance interannuelle entre tendance mâle et tendance femelle. Quelques individus peuvent même changer totalement leur sexe d'une année à l'autre. Dans leur grande majorité, les individus bisexués passent par un état mâle, où ils n'expriment pas leur sexe féminin. L'année qui suit la fructification, le plus probables à cause de la grande dépense énergétique dans l'année de fructification (Figure 1.14).

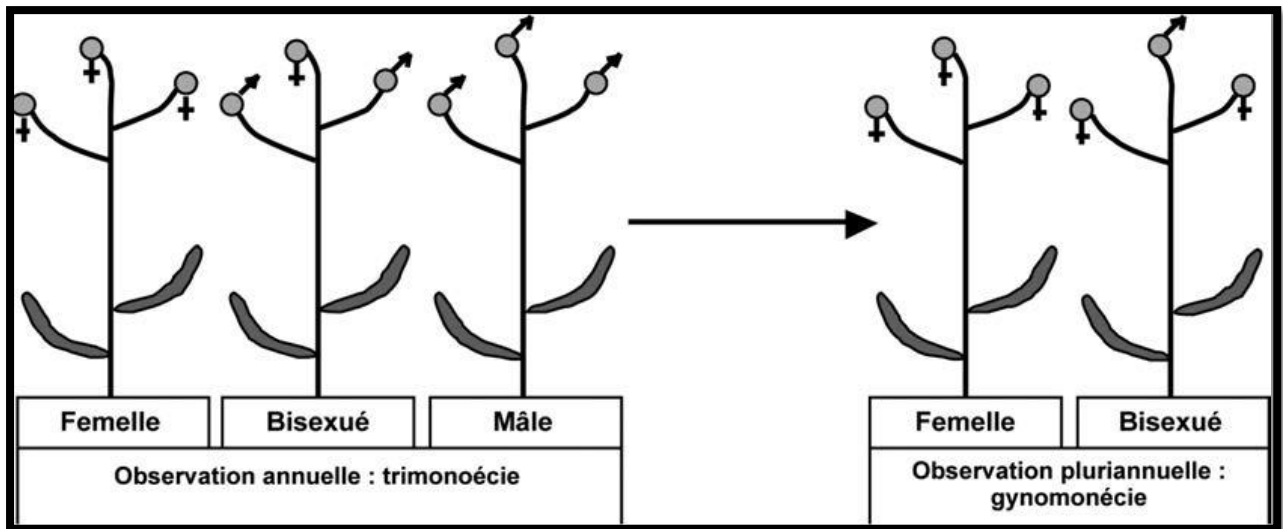


Figure 1.14. Expression sexuelle chez le *Juniperus phoenicea* (s.l)

1.3. Conclusion

En conclusion, l'analyse exhaustive de la bibliographie concernant le complexe *J. phoenicea* dans la région du Maghreb, en particulier en Algérie, a permis de dissiper les ambiguïtés taxonomiques persistantes. Ce chapitre ne se limite pas à une simple synthèse bibliographique, mais constitue plutôt une révision taxonomique approfondie de cette espèce, notamment en Algérie. Malgré le fait que l'Algérie soit le pays le plus vaste en Méditerranée, elle demeure la pièce manquante dans la caractérisation complète de cette espèce.

Dans le cadre de cette étude, nous avons examiné la complexité de la classification taxonomique de *J. phoenicea* au sein de la section *Sabina*. Notre analyse met en lumière les défis rencontrés dans l'application des critères phylogénétiques à cette espèce, en particulier en raison du manque de données

fossiles dans l'hémisphère oriental pour ses ancêtres communs avec les genévriers à feuilles dentelées de l'Amérique du Nord. Ce constat souligne la nécessité d'adopter une approche plus intégrative, prenant en compte à la fois des critères morphologiques et ontogénétiques, pour une classification plus précise et complète de cette espèce. En considérant *J. phoenicea* comme un quatrième groupe distinct de la section Sabina, caractérisé par des feuilles dentelées et multigraines de l'hémisphère oriental, nous pourrions ainsi contribuer à une meilleure compréhension de la systématique des genévriers dans différentes régions du monde.

L'analyse nomenclaturale de ce chapitre souligne les conséquences des citations erronées causées par une interprétation incorrecte de la littérature. Les travaux de Quézel et Santa (1962) ont mentionné l'espèce comme *J. phoenicea*, sans fournir de détails sur ces taxons. René Maire (1926), dans ses travaux, mentionne clairement l'existence de *J. turbinata* en Algérie, illustrant ainsi les conséquences de la manipulation incorrecte de la littérature dans l'identification.

Il semble désormais évident que l'adoption du statut *J. turbinata* pour les populations algériennes pourrait être confirmée par cette analyse bibliographique approfondie. Ainsi, il pourrait être proposé que le nom *J. phoenicea* s.s. soit réservé aux populations situées dans la péninsule ibérique, au sud de la France et dans une petite partie de l'Italie, tandis que *J. turbinata* pourrait être considéré comme une espèce circum-méditerranéenne, susceptible de coexister avec *J. phoenicea* s.s. De plus, il conviendrait de noter que *J. canariensis* est une espèce macaronésienne présente dans les îles Canaries."

Dans les chapitres à venir, le statut de *J. turbinata* Guss. sera étudié plus en détail, notamment à travers une approche morphométrique, chimiotaxonomique, et une combinaison de ces approches. En somme, ce premier chapitre constitue une pierre angulaire dans la caractérisation taxonomique du complexe *J. phoenicea* en Algérie et dans la région méditerranéenne dans son ensemble, jetant ainsi les bases solides pour les investigations approfondies à suivre dans les chapitres subséquents.

Chapitre 2

Taxonomie par une approche morphométrique

2.1. Introduction

Dans le chapitre précédent, nous avons examiné la complexité de la classification taxonomique de *Juniperus phoenicea* au sein de la section *Sabina*, mettant en évidence les limites de l'approche phylogénétique dans certains cas. En particulier, le manque de données fossiles dans l'hémisphère oriental a mis en lumière les défis auxquels nous sommes confrontés dans l'application stricte des critères phylogénétiques. Cette observation souligne l'importance d'adopter une approche plus intégrative, qui prend en compte à la fois des critères morphologiques et ontogénétiques, dans la classification des espèces. Dans ce contexte, le présent chapitre se penchera sur l'utilisation d'une approche morphométrique pour aborder les défis taxonomiques et pour enrichir notre compréhension de la systématique du complexe *J. phoenicea*.

La morphologie des plantes a traditionnellement été un pilier de la taxonomie végétale, permettant aux chercheurs de classer et d'identifier les espèces en se basant sur leurs caractéristiques externes. Bien que les avancées en biologie moléculaire aient élargi nos outils d'analyse, la morphologie reste un élément crucial dans la description et la classification des plantes. En effet, les caractéristiques morphologiques telles que la forme des feuilles, la structure des fleurs et la disposition des organes reproducteurs fournissent des indices précieux sur la taxonomie des espèces. Par conséquent, la morphologie joue un rôle essentiel en complément des données moléculaires, offrant une approche holistique dans la classification des plantes.

La morphologie et la biométrie des plantes était traditionnellement considérée fondamentale pour la classification botanique. Désormais son importance a progressivement diminué au fur et à mesure que les approches de la biologie moléculaire et le séquençage de l'ADN se sont développés rapidement. Surtout pour l'analyse de la variabilité intraspécifique et l'identification des taxons de rang inférieur (Levin, 2001). Cependant, malgré cette évolution, il est essentiel de reconnaître que la morphologie peut parfois soulever des problèmes qui ne peuvent pas être abordés par les méthodes moléculaires. Un exemple notable est celui des travaux biométriques, notamment ceux menés par l'équipe de chercheurs dirigée par le professeur Adam Boratyński, qui continuent de fournir des résultats fiables et solides pour de nombreux travaux génétiques. Les recherches récentes ont confirmé que ces travaux biométriques ont apporté une contribution significative et ont influencé diverses solutions taxonomiques contemporaines (Marcysiak, 2021).

La détermination de la position taxonomique des espèces est très importante, surtout pour les taxons complexe. Par exemple le cas du pin des montagnes européen *Pinus mugo* sensu lato (s.l.) (*Pinus mugo* Turra sensu. Sticto (s.s) et *P. uncinata*) ou leur systématique a été plus compliquée à cause des hybrides potentiels dans les régions d'existence mutuel (Marcysiak, 2021 ; Christensen, 1987) des fois même inclue le *P. uliginosa* dans le complexe (Amaral Franco, 1986 ; Businský, 1999), les travaux biométriques réalisé par Boratyńska & Boratyński. (2007), Marcysiak & Boratyński. (2007), et Boratyńska et al. (2015) dont, le protocole expérimental consiste a analysé un grand nombre de matériel végétal dans toute l'aire de distribution de l'espèce, dont ils combinent des caractères à la fois générative (cônes) et végétative (feuilles) pour qu'ils déduisent à la fin que *P. uncinata* n'est pas un taxon séparé de la région Ouest Européen du complexe *P. mugo* mais se rassemble au *P. mugo* s.s de la région central et oriental du continent européen. La position systématique du *P. uliginosa* était plus difficile à interpréter en raison de la forte variabilité inter-population et les résultats non cohérents obtenus pour différents ensembles de traits, néanmoins la combinaison des caractères végétatifs et génératifs permettaient de le distinguer de *P. mugo*, *P. uncinata*, et de *P. sylvestris* (Marcysiak, 2021).

Le cas des espèces de cyprès méditerranéens illustre l'utilité des approches biométriques pour clarifier des ambiguïtés taxonomiques. Actuellement, trois espèces de cyprès méditerranéens (**Cupressus**) sont reconnues : *Cupressus sempervirens*, *C. atlantica* et *C. dupreziana*, bien que leur systématique soit également controversée. Divers auteurs ont distingué ces trois espèces distinctes, tandis que d'autres traitent ce complexe comme deux espèces avec plusieurs sous-espèces (Sękiewicz et al., 2016). Grâce à l'étude biométrique réalisée par Sękiewicz et al. (2016), qui comparait des populations de *C. sempervirens* et de *C. atlantica* dans toute leur aire de distribution, des différences morphologiques précises ont été obtenues pour la première fois, confirmant leur ségrégation. *C. sempervirens* s'est avéré plus différencié, ce qui était lié aux différentes régions d'origine des populations.

Des études biométriques ont également confirmé les ressemblances morphologiques entre *J. thurifera* et *J. excelsa* subsp. *excelsa*, ainsi que la divergence de l'espèce *J. foetidissima* (Marcysiak, 2021).

J. drupacea une espèce avec un aire de distribution restreinte mais il se partage entre le continent Européen (Péloponnèse) et Asiatique (les monts de Liban et Taurus). L'investigation biométrique de l'espèce en accordance avec les analyses génétique indique une grande divergence morphologique entre les agrégation

Européenne et Asiatique (Boratyński & Browicz, 1982 ; Sobierajska et al. 2016 ; Marcysiak. 2021)

La critique la plus répandue concernant le choix des traits biométriques comme outil de taxonomie est leur dépendance aux fluctuations climatiques (température, précipitation, ensoleillement...) (Huber et Wiggerman 1997, Marcysiak 2021). Pour contourner ce problème, plusieurs auteurs ont proposé l'utilisation de caractères synthétiques pour décrire la forme et la structure des plantes au lieu de leur taille, car ils sont considérés plus stables (Kremer et al, 2002 ; Marcysiak, 2012). Malgré cela, les caractères de taille restent une information très utile et discriminative pour plusieurs taxons. Une méthode efficace pour éviter l'impact environnemental sur les objets examinés consiste aussi à faire une sélection rigoureuse des populations et des individus à étudier. Dans plusieurs études menées sur la famille des Cupressacées, une grande attention a été accordée à la sélection des individus. Par exemple, Boratyńska et al. (2014) ont collecté le matériel végétal auprès d'individus espacés d'environ 30 à 40 mètres les uns des autres pour éviter les prélèvements en double. Aussi dans le travail de Mazur et al. (2003), Les échantillons ont été récolté aux parties sud des individus, à une hauteur environ 1,0 à 2,5 m au-dessus du sol. La fiabilité et l'objectivité des analyses morphologiques sont également assurée par l'application des principes de la taxonomie numérique, principalement l'utilisation d'un grand nombre de caractères différents dans la recherche, et fondant la recherche sur un large nombre d'unités analysées, qui étaient généralement des individus (c'est-à-dire des arbres) de taxons (Sneath & Sokal 1973).

En dehors de son rôle dans la classification taxonomique, la morphologie revêt une importance particulière dans la conservation des plantes. Les caractéristiques morphologiques peuvent être utilisées pour identifier les espèces menacées, délimiter les populations distinctes et guider les efforts de conservation et de gestion des habitats. Par exemple, les variations morphologiques au sein des espèces peuvent révéler des adaptations locales et des diversités génétiques importantes, fournissant ainsi des informations cruciales pour la conservation de la biodiversité. Par conséquent, une compréhension approfondie de la morphologie des plantes est essentielle pour une conservation efficace des écosystèmes et des espèces végétales.

D'un point de vue biométrique, le complexe *J. phoenicea* s.l. n'a pas été étudié intensément par de nombreux auteurs. Un premier travail mené par Amaral Franco (1986) a intégré des caractères concernant les feuilles et leur arrangement, considérés comme très importants pour la distinction entre les sous-espèces. Ensuite, Lebreton et Rivera (1989) ont réalisé une étude portant uniquement sur les mesures des galbules, notamment la longueur, la largeur, le diamètre, et le nombre

de graines par galbule. Cependant, cette étude n'a échantillonné qu'un seul spécimen dans quelques populations dispersées. Après avoir analysé les galbules de 13 populations en Europe et en Afrique, ils ont montré l'existence de deux sous-espèces distinctes de *J. phoenicea*. La première, continentale, nommée *J. phoenicea* subsp. *phoenicea*, présente en Espagne et en France, et la seconde, côtière, nommée *J. phoenicea* subsp. *eu-mediterranea* (éventuellement synonyme de *J. turbinata*), qui couvre le Portugal, le Maghreb, la Corse et la Crète. Les auteurs ont observé des différences notables entre ces sous-espèces, notamment en ce qui concerne le diamètre, le volume, et le poids des galbules, ainsi que le nombre de graines par cône.

Les travaux de Mazur et al. (2003 ; 2010 ; 2016 ; 2018) sont les premiers à intégrer des caractères à la fois génératifs et végétatifs dans la caractérisation de *J. phoenicea* s.l., en ajoutant des proportions entre ces caractères pour contourner les problèmes liés aux fluctuations climatiques. Mazur et al. (2003) ont examiné les galbules et les branches de trois populations en Espagne et une au Portugal. Ils ont constaté des différences nettes entre la population montagnarde espagnole, classée comme *J. phoenicea*, et les deux populations côtières d'Espagne et du Portugal, classées comme *J. turbinata*. Les principales caractéristiques permettant de distinguer ce qui étaient alors des sous-espèces incluaient le nombre et la taille des graines, le nombre d'écailles de cône (qui donne naissance aux graines) et le nombre de feuilles sur la dernière section de cinq millimètres de la dernière branche ramifiée.

Dans les années suivantes, Mazur et al. (2010 ; 2016 ; 2018) ont élargi leur étude en échantillonnant des populations supplémentaires autour du bassin méditerranéen, couvrant ainsi presque l'intégralité de l'aire de distribution de *J. phoenicea* agg. (Figure 2,1). Cependant, leur caractérisation reste incomplète sans les populations de certaines régions clés, notamment l'Algérie, la Tunisie, et la Libye, qui représentent des maillons manquants dans la compréhension complète de la distribution et de la variation morphologique de cette espèce.

En Algérie, la morphométrie de l'espèce *J. phoenicea* n'a pas été étudiée de manière exhaustive couvrant l'ensemble du territoire national. La thèse de doctorat de Hafsi (2018) mentionne l'étude de seulement trois populations (Dayet Belkhir, Massad à Djelfa et Boutaleb à Sétif), probablement en raison des efforts considérables déployés pour l'étude d'autres espèces de genévriers algériens, notamment *J. oxycedrus*. De plus, certains caractères très discriminatifs au sein de *J. phoenicea* s.l., comme le nombre de graines par galbule, n'ont pas été utilisés dans cette étude. L'influence des citations de la flore de Quézel et Santa (1962) et celle de René Maire s'est avérée influente dans la discussion de l'auteur. Comme mentionné au premier chapitre, en Algérie, *J. turbinata* a été classé dans la flore de Quézel et

Santa (1962) comme *J. phoenicea*, mais Maire (1952) dans la Flore de l'Afrique du Nord a décrit plusieurs formes et variétés, de sorte que l'existence de *J. phoenicea* s.s. n'était pas exclue. Actuellement, cette hypothèse est négligée, même si Pavon et al. (2020) ont mentionné que l'existence de *J. phoenicea* s.s. vaut la peine d'être découverte sur la base d'observations sur le terrain, surtout lorsque l'on considère qu'une grande partie des études taxonomiques sur *J. phoenicea* s.l. n'incluent pas le territoire algérien.

Par conséquent, la présente étude vise à fournir une caractérisation morphologique de *J. turbinata* (statut justifié au premier chapitre) dans son aire de répartition en Algérie, qui constitue l'une des dernières zones où les enquêtes taxonomiques sur l'espèce n'ont pas été exhaustives, offrant ainsi une compréhension globale de sa position taxonomique, de sa variabilité morphologique et de ses schémas (modèle) de variation géographique.

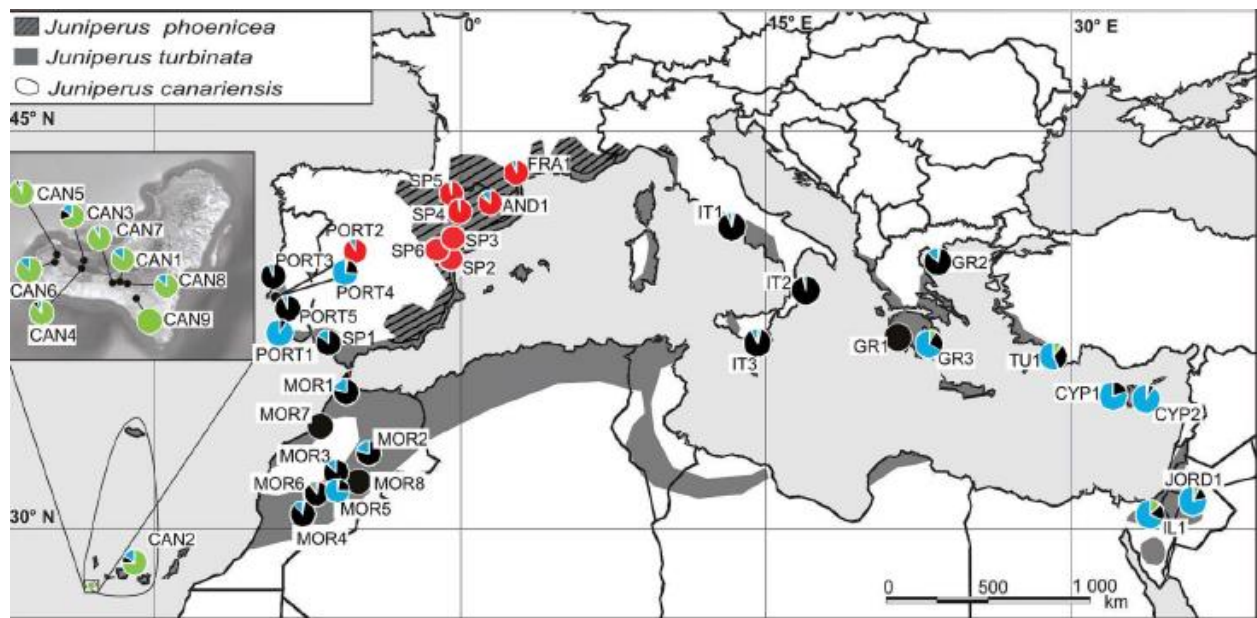


Figure 2.1. Les populations de *Juniperus phoenicea* s.l. étudiées par une approche morphométrique exhaustive (Mazur et al, 2018).

2.2. Matériel et méthodes

2.2.1. Matériel végétal

Le matériel végétal a été récolté à partir des populations algériennes de *J. turbinata*, couvrant la majeure partie de sa répartition géographique. Les échantillons ont été collectés depuis l'ouest du pays jusqu'aux frontières orientales, incluant les dunes maritimes au nord et l'extrême sud des monts de l'Atlas Saharien. En tout, 386 individus issus de 15 populations naturelles ont été échantillonnés, avec chaque population représentée par 20 à 30 individus. Dix cônes mûrs ainsi que des rameaux avec des feuilles ont été prélevés du côté sud des couronnes des arbres, incluant le sud-Ouest et le sud-Est (voir Figure 2.2 et Tableau 2.1). 1 927 cônes, 1 927 graines et 1 927 sections apicales des branches de la dernière ramification de 5 mm de long ont été analysés. De plus, 10 465 graines ont été comptées (voir Figure 2.3 et Tableau 2.2). Ces parties de l'arbre sont cruciales pour distinguer *J. phoenicea* des autres espèces de la section Sabina, ainsi que pour déterminer leur affiliation à un agrégat de *J. phoenicea* s.l. (Amaral Franco, 1986 ; Farjon, 2005 ; Mazur, 2021). Leur structure a été caractérisée par 17 traits distincts, comptés, mesurés ou calculés (Tableau 2.2). Cette analyse morphologique détaillée revêt une importance cruciale pour comprendre la variabilité et la classification taxonomique des populations étudiées.

2.2.2. Mesures morphométriques

Les caractéristiques de *J. turbinata* ont été mesurées à l'aide d'un stéréomicroscope (loupe binoculaire de type Motic DM-143®) équipé d'une caméra numérique offrant un grossissement de 4 fois : cinq caractéristiques des galbules, trois caractéristiques des graines et deux caractéristiques des branches (Figure 2.3 et Tableau 2.2). Les mesures ont été effectuées avec une précision de 0,01 mm, chaque caractéristique ayant été mesurée cinq fois pour chaque individu. Après la mesure des cônes, ces derniers ont été immergés dans de l'eau chaude et laissés à tremper pendant 24 heures afin de les ramollir, facilitant ainsi l'extraction et le nettoyage des graines.

Sept caractères synthétiques de *J. turbinata* ont été obtenus à partir des calculs (voir Tableau 2.2). Les deux premiers (LC/DC, LC/CL) décrivent la forme du cône (indice de sphéricité), tandis que la forme des graines est décrite par LG/GL. Les caractères suivants (DC/NG et DC/GL) montrent l'influence de la taille du cône sur la graine. LC/NEC décrit la relation entre la taille du cône et le nombre d'écaillés qui le composent, et NG/NEC décrit la relation entre le nombre de graines par cône et le

nombre d'écaïlles par cône. Toutes ces caractéristiques ont déjà été testées par Mazur et al. (2003), et se sont révélées statistiquement significatives pour différencier les taxons au sein de *J. phoenicea* et pour distinguer entre ses différentes populations.

Les caractères des cônes (galbules) et des graines (LC, DC, LG, GL, LC/DC, LG/GL) ont été analysés pour les genres *Juniperus*, *Cupressus* et *Pinus*. En général, ces caractéristiques présentent une distribution unimodale et offrent une excellente différenciation et caractérisation entre les taxons. En particulier, la longueur des cônes (LC), ainsi que la longueur et la largeur des graines (LG et GL), se révèlent très utiles pour distinguer les populations, étudier la variabilité intraspécifique et différencier les espèces sympatriques appartenant au même groupe, tel que *J. phoenicea* agg. (Mazur et al. 2003 ; 2010 ; 2016 ; 2018), *J. excelsa* (Douaihy et al., 2012), *J. oxycedrus* (Klimko et al., 2007 ; Boratyński et al., 2014), le genre *Cupressus* (Sękiewicz et al., 2016) et le genre *Pinus* (Marcysiak, 2005 ; Marcysiak et Boratyński, 2007).

Le nombre de recta-lignes des écaïlles par cône (NRE) s'est avéré être utile pour différencier les taxons de rang inférieur dans le complexe *J. phoenicea* (Mazur, 2018). En revanche, le nombre de graines par cône a clairement contribué à la distinction des espèces du genre *Juniperus* (Marcysiak, 2007 ; Adams, 2014). Le nombre d'écaïlles par cône (NEC) a été moins utilisé en raison de la méthode ambiguë de son calcul, notamment en raison de la présence de très petites écaïlles à la base du cône qui peuvent fausser leur décompte. Cependant, ce caractère s'est révélé très utile dans la discrimination entre les espèces du genre *Pinus* (Marcysiak, 2021).

Les travaux biométriques achevés par Mazur et al. (2005), Marcysiak et al. (2007), Douaihy et al. (2012), Boratyński et al. (2013), et Mazur et al. (2018), sur les espèces de la section *Sabina* (*Juniperus thurifera* subsp. *thurifera* et subsp. *africana*, *J. foetidissima*, *J. excelsa* s.str., complexe *J. phoenicea*, et *J. sabina* var. *sabina* et var. *balkanensis*), montrent que les caractères qui permettent de différencier les populations d'un même taxon sont la largeur des branches (LB) et le diamètre des cônes (DC). En revanche, la différenciation entre les différents taxons de la même section (*Sabina*) se manifeste clairement par le rapport entre le diamètre des cônes et la largeur des graines (DC/GL), ainsi que par le nombre de graines (Mazur, 2021).

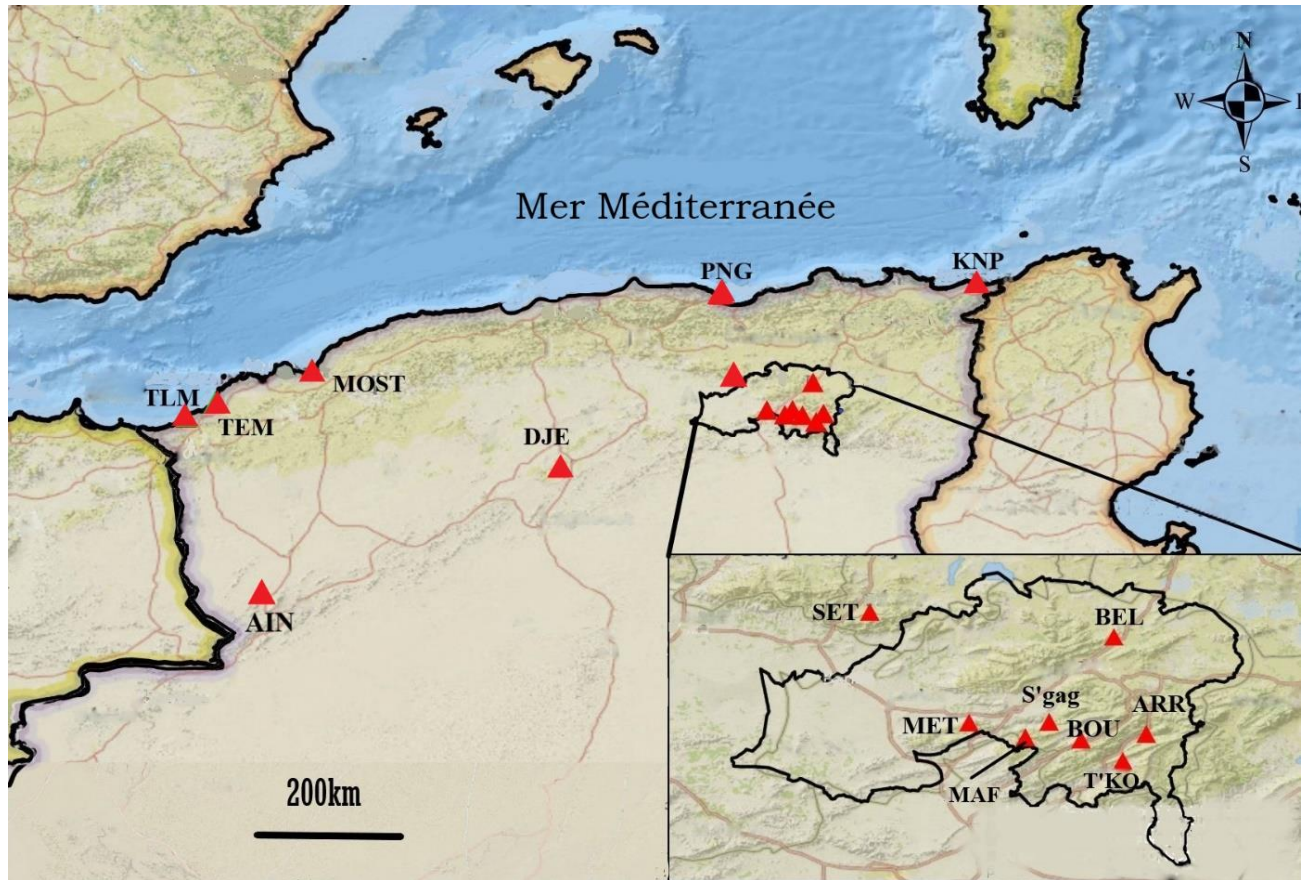


Figure 2.2. Les positions géographiques des populations de *Juniperus turbinata* analysées par une approche morphométrique échantillonnées dans son aire de distribution en Algérie.

Tableau 2.1. Les populations échantillonnées de *Juniperus turbinata* à partir de son aire de distribution en Algérie.

N	Acronym	Localités	Groupe	Nombre d'individué	Coordonnées géographiques	Altitude [m]
1	BEL	Batna, Le parc national de Belezema	A	29	35,666	1013
					6,278	
2	ARR	Aurès, Batna, Arris	A	30	35,275	1293
					6,408	
3	T'KO	Aurès, Batna, T'kout	A	20	35,168	1200
					6,314	
4	S'gag	Aurès, Batna, beni fedala, S'gag	A	20	35,323	1080
					6,018	
5	MAF	Aurès, Batna Mafaa	A	27	35,262	1086
					5,922	
6	BOU	Aurès, Batna, Bouzina	A	25	35,253	1410
					6,146	
7	MET	Batna, Ain touta, Segana, Metlili	A	25	35,320	1019
					5,696	
8	SET	Sètif, Djbel boutaleb	A	27	35,766	1243
					5,296	
9	DJE	Djelfa, La forêt de Senalba chergui	A	30	34,591	1339
					3,080	
10	AIN	Ain Sefra, Haraza	A	23	33,017	823
					-0,667	
11	KNP	El Taref, le parc national El Kala, La veille calle	M	29	36,917	10
					8,333	
12	PNG	Béjaia, Le parc national de Goraya,	M	21	36,769	10-100
					5,105	
13	TLE	Tlemcen, Les monts de Trara, Honaine, foret El m'khaled	M	20	35,219	110
					-1,606	
14	TEM	Ain Temouchent, welad kihel	M	30	35,396	65-74
					-1,250	
15	MOST	Mostaganem, Estidia	M	30	35,817	22
					-0,037	

Tableau 2.2. Caractères des cônes, graines et branches de *Juniperus turbinata* analysés par une approche morphométrique dans son aire de distribution en Algérie.

No	Character	Acronym	précision
1	Nombre des recta-lignes des écailles par cône	NRE	specimen
2	Longueur de cône	LC	0,01 mm
3	Largeur de cône	CL	0,01 mm
4	Diamètre de cône	DC	0,01 mm
5	Nombre d'écailles par cône	NEC	specimen
6	Nombre des graines par cône	NG	specimen
7	Longueur de la graine	LG	0,01 mm
8	Largeur de la graine	GL	0,01 mm
9	Nombre des feuilles par une section de 5 mm des branches latéral	NF	specimen
10	Largeur des branches	LB	0,01 mm
11	Longueur du cône / largeur du cône	LC/CL	
12	Longueur du cône / Diamètre du cône	LC/DC	
13	Longueur du graine / Largeur du graine	LG/GL	
14	Diamètre du cône / Nombre des graines par cône	DC/NG	
15	Diamètre du cône / Largeur du graine	DC/GL	
16	Longueur du cône / Nombre d'écailles par cône	LC/NEC	
17	Nombre des graines par cône / Nombre d'écailles par cône	NG/NEC	

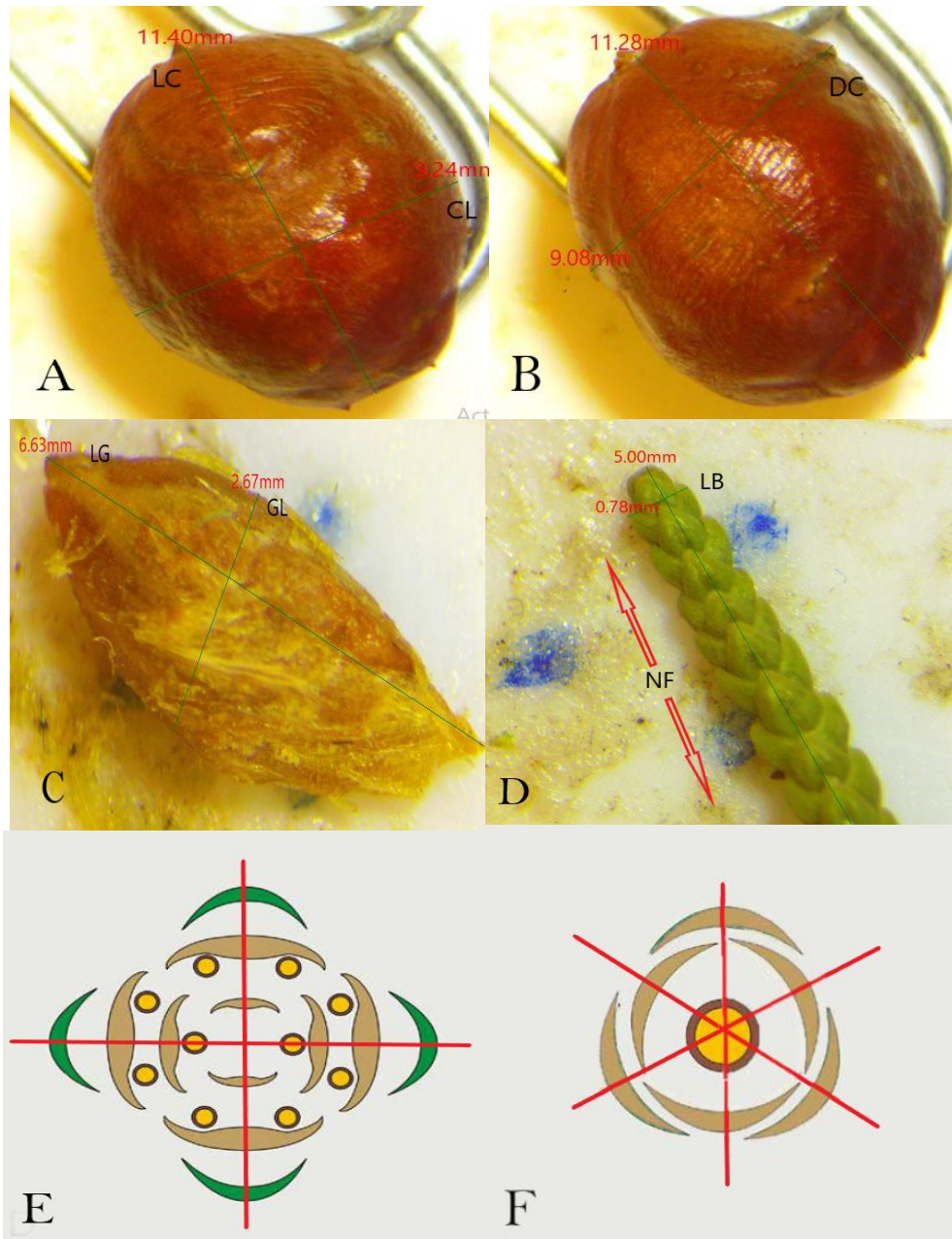


Figure 2.3. Illustration des caractères mesurés : A – LC : longueur de cône, CL : largeur de cône ; B – DC : diamètre de cône ; C – LG : longueur de la graine, GL : largeur de la graine ; D – NF : nombre de feuilles sur une section de 5 mm des branches latérales, LB : largeur des branches ; E – les écailles du cône (marron), les graines (jaune), nombre des recta-ligne des écailles par cône (rouge) = 4 ; F – nombre des recta-ligne des écailles par cône = 6

2.2.3. Méthodes statistiques

Les statistiques descriptives (moyenne, coefficient de variation, écart type, minimum et maximum) ont été calculées pour les 15 populations de *J. turbinata* ainsi que pour l'ensemble des agrégats maritimes et continentaux (Monts de l'Atlas)

Les tests de normalité ont été effectués sur les variables pour évaluer la possibilité de mener des tests statistiques paramétriques. À cette fin, le test de Shapiro-Wilk a été appliqué aux variables de chaque population ainsi qu'aux variables des deux groupes maritimes et continentaux. Des transformations logarithmiques vers la normalité ont été effectuées sur les données ne suivant pas la loi normale. Après transformation, les variables dont la distribution ne s'ajustait pas à une distribution gaussienne ont été soumises à des tests statistiques non paramétriques (Dagnelie, 1975).

Le test de Spearman-Rank et le coefficient de corrélation de Pearson ont été utilisés pour évaluer les relations entre les caractères morphologiques et pour éliminer les variables redondantes, susceptibles de fausser les analyses multidimensionnelles (Dagnelie, 1975).

L'analyse de la variance (ANOVA), suivie par les tests post-hoc (test t HSD de Tukey), a été effectuée pour les variables suivant une distribution normale. Le test de Kruskal-Wallis a été appliqué aux variables à distribution non normale afin d'évaluer les différences entre les caractéristiques des différentes régions géographiques. Le test de Mann-Whitney pour deux échantillons indépendants et les tests de Wilcoxon ont été utilisés (en fonction de la distribution des données) pour évaluer les différences entre les agrégats maritimes et ceux des monts de l'Atlas continentaux (Zar, 2010).

L'analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée pour réduire la dimensionnalité de l'ensemble de données, déduire les modèles géographiques de la variabilité morphologique et indiquer l'influence des caractères morphologiques sur la différenciation entre les populations et les modèles géographiques (Kassambara, 2017a). Les valeurs moyennes des caractéristiques des populations maritimes et continentales ont été analysées à l'aide de l'ACP ainsi qu'avec les données de référence de *J. phoenicea* s.l. (Mazur et al., 2016 ; 2018 ; Tableau A4) pour déduire la position taxonomique des populations algériennes. Une classification hiérarchique sur l'analyse en composantes principales (HCPC) a été effectuée pour résumer le résultat de la discrimination entre les populations et pour déterminer les tendances de regroupement des populations et leur modèles géographiques (Kassambara,

2017b). Les analyses de données ont été réalisées avec le logiciel R 4.1.0 (Rcommander/FactoMineR) et SPSS 26.

2.3. Résultats

2.3.1. Coefficients de Variation

Le rapport du nombre de graines sur le nombre d'écailles de cône (NG/NEC) est la variable la plus hétérogène, avec des coefficients de variation supérieurs à 27% dans 6 populations (voir Tableau A.1). Le nombre de graines (NG) présente également une hétérogénéité, avec des coefficients de variation allant de 21 à 28%, le plus élevé parmi les caractéristiques mesurées. Presque tous les autres caractères mesurés ont montré des coefficients de variation faibles à modérés. Les caractéristiques des cônes (LC, CL et DC) ainsi que la forme du cône (LC/DC) étaient les plus homogènes, avec des coefficients de variation compris entre 9% et 11%. Les populations de S'GAG, BEL, ARR et AIN se distinguaient par leur homogénéité. En moyenne, les populations maritimes affichaient un coefficient de variation de 17,37%, tandis que pour les populations continentales, il était de 16,88%. La moyenne pour l'ensemble du groupe algérien était de 17,12%.

2.3.2. Corrélations

La plupart des variables mesurées étaient corrélées à $p < 0,01$ entre elles (Tableau 2.3). La corrélation positive la plus forte a été observée entre les caractéristiques des cônes (LC, CL et DC) : la largeur du cône par rapport au diamètre du cône et à la longueur du cône ($r = 0,91$ et $r = 0,66$, respectivement) ; la longueur du cône par rapport au diamètre du cône ($r = 0,63$) ; et la longueur de la graine par rapport à la longueur du cône ($r = 0,68$). Ces mêmes caractéristiques étaient fortement corrélées au sein des deux groupes, avec une légère amélioration (voir Tableau A3). Par conséquent, la largeur du cône (CL) a été retirée des analyses dimensionnelles en raison de sa redondance avec le diamètre du cône (DC ; $r = 0,91$, $p < 0,01$).

Tableau 2.3. Coefficients de corrélation entre les 10 caractères mesurés des cônes, des graines et des branches des populations algériennes de *Juniperus turbinata*.

	NRE	LC	CL	DC	NEC	NG	LG	GL	NF	LB
NRA	1									
LC	0,018	1								
CL	0,110**	0,660**	1							
DC	0,162**	0,634**	0,913**	1						
NEC	0,504**	0,083**	0,155**	0,183**	1					
NG	0,245**	0,190**	0,405**	0,451**	0,248**	1				
LG	-0,013	0,688**	0,463**	0,420**	-0,053*	-0,017	1			
GL	-0,029	0,442**	0,521**	0,514**	0,026	0,023	0,405**	1		
NF	0,126**	-0,123**	0,027	0,035	0,067**	0,070**	-0,117**	0,022	1	
LB	0,034	0,007	0,064**	0,069**	0,082**	0,140**	0,003	0,069**	-0,063**	1

2.3.3. Variabilité intraspécifique et morphologique

La combinaison des tests ANOVA et de Kruskal-Wallis a révélé l'existence de différences significatives entre les 15 populations au seuil de $p \leq 0,05$. Les résultats des tests post hoc (le test de Tukey HSD et le test de Kruskal-Wallis) dans le Tableau 2.4 montrent que le nombre d'écaïlles de cône (NEC) différait le plus, suivi par les ratios décrivant la forme et la longueur des cônes (LC/DC, LC/CL et LC, respectivement). Les populations du groupe maritime différaient les unes des autres en moyenne de 5,2 (0-10) caractères, et les populations continentales différaient entre elles en moyenne de 5,7 (1-10). Les deux groupes se distinguaient l'un de l'autre par un nombre moyen de 8,5 (1-14) caractères. Toutes les populations différaient en moyenne de 7,1 caractères (0-14) (Tableau 2.5). Lorsque les moyennes des groupes maritime et continentales (Tableau 2.6) ont été comparées, presque toutes les caractéristiques différaient statistiquement à $p \leq 0,01$, à l'exception de la largeur des graines (LG).

Les cônes les plus longs en moyenne (LC ; Tableau 2.4, et A.2) ont été enregistrés dans les populations KNP, MOST et SET ($10,63 \pm 1,38$, $10,50 \pm 0,99$, et $10,46 \pm 0,94$ mm, respectivement). Les populations de l'Aurès MAF, MET, S'gag, T'KO, BOU et ARR présentent des valeurs moyennes très élevées pour le nombre de feuilles (NF = 29,26–30,95 ; Tableau 2.4), tandis que les cônes les plus turbinés (LC/DC = $1,27 \pm$

0,11) ont été enregistrés dans les populations de TEM, suivies des populations PNG, MOST, et TLM ($1,19 \pm 0,15$, $1,18 \pm 0,64$, et $1,15 \pm 0,13$, respectivement). La population SET avait les cônes les plus épais ($DC = 9,88 \pm 0,93$) et la plus longue moyenne de graines ($LG = 6,22 \pm 0,61$; Tableau 2.4 et A.2). Les populations maritimes avaient des cônes plus longs, tandis que dans les populations continentales, les cônes étaient plus larges et plus épais, ce qui influençait directement leur forme : dans les groupes continentaux, ils étaient plus sphériques ($LC/DC = 1,06 \pm 0,10$), et dans les populations côtières, ils étaient plus allongés (turbinés, $1,18 \pm 0,13$). À l'exception de MOST, le nombre de graines était plus faible dans les populations côtières ($NG = 4,80 \pm 1,30$) par rapport aux populations continentales ($NG = 5,75 \pm 1,44$). Plus de feuilles sur la section terminale de 5 mm des branchettes (NF) étaient présentes dans le groupe continental ($NF = 29,00$ vs $NF = 27,87$; Tableau 2.6, Figure 2.4).

Tableau 2.4. Valeurs moyennes des caractères morphologiques et résultats de leur analyse à l'aide de tests post hoc (Kruskal-Wallis et test de Tukey HSD), évaluant l'importance des caractères dans la variation entre les 15 populations de *Juniperus turbinata* au niveau de signification $p \leq 0,05$. Les acronymes des populations et des caractères sont les mêmes que dans les Tableaux 2.1 et 2.2, respectivement.

Acronym	AIN	ARR	BEL	BOU	DJE	KNP	MAF	MET	MOST	PNG	SET	S'gag	TEM	TLM	T'KO	Post Hoc test
NRE4																
(%)	92,1	80	93,8	93,6	93,3	96,6	76,3	70,4	93,3	95,1	84,4	90	93,3	92	93	37
LC	9,71	9,94	9,30	8,29	9,02	10,63	9,13	8,79	10,50	9,02	10,46	9,39	9,59	9,02	8,46	50
CL	9,31	9,73	9,30	8,73	8,44	9,78	9,13	9,47	9,66	8,15	10,33	9,30	8,09	8,50	8,77	47
DC	8,87	9,26	8,66	8,34	7,94	9,22	8,66	9,08	9,05	7,71	9,88	8,74	7,55	7,91	8,31	47
NEC	9,64	9,46	9,06	9,18	9,09	8,69	9,48	10,12	9,04	8,74	9,29	9,64	8,60	8,61	9,06	64
NG	5,53	6,14	5,47	5,05	5,45	4,82	6,34	6,35	5,17	4,96	6,09	5,81	4,73	4,13	5,16	46
LG	5,94	5,69	5,55	4,90	5,62	6,00	5,37	5,21	6,43	5,45	6,22	5,63	5,93	5,73	4,91	31
GL	3,25	3,27	3,44	3,04	3,04	3,31	3,05	3,31	3,45	2,98	3,54	3,13	3,04	3,05	3,05	43
NF	25,58	30,46	28,72	30,45	26,25	26,12	29,27	30,95	29,55	28,02	29,26	29,26	28,03	27,54	29,97	45
LB	0,87	0,82	0,87	0,84	0,88	0,77	0,87	0,85	0,85	0,73	0,86	0,85	0,78	0,78	0,89	36
LC/CL	1,04	1,03	1,00	0,95	1,08	1,10	1,01	0,93	1,09	1,12	1,01	1,01	1,19	1,07	0,97	55
LC/DC	1,10	1,08	1,08	1,00	1,14	1,19	1,06	0,97	1,18	1,19	1,06	1,08	1,27	1,15	1,02	62
LG/GL	1,85	1,76	1,64	1,63	1,88	1,84	1,78	1,59	1,88	1,88	1,77	1,80	1,97	1,89	1,64	42
DC/NG	1,67	1,59	1,66	1,80	1,55	2,03	1,43	1,49	1,83	1,64	1,68	1,57	1,72	2,06	1,70	40
DC/LG	2,75	2,86	2,56	2,78	2,65	2,80	2,86	2,77	2,64	2,63	2,81	2,80	2,51	2,61	2,78	32
DC/NEC	1,02	1,09	1,05	0,92	1,02	1,24	0,99	0,90	1,18	1,05	1,15	1,00	1,13	1,07	0,95	38
NG/NEC	0,58	0,66	0,61	0,56	0,61	0,56	0,69	0,64	0,58	0,58	0,67	0,61	0,56	0,49	0,58	26

Tableau 2.5. Nombre de caractères présentant des différences statistiquement significatives ($P \leq 0,05$) entre les populations algériennes de *Juniperus turbinata*, selon les tests post-hoc (test t de Tukey et test de Kruskal-Wallis). Les cellules légèrement ombrées pour indiquer 6 à 9 caractères différents entre les populations, et ombrées foncées pour indiquer 10 caractères ou plus différenciant les populations.

	AIN	ARR	BEL	BOU	DJE	KNP*	MAF	MET	MOST*	PNG*	SET	S'gag	TEM*	T'KO	TLM*
AIN															
ARR	2														
BEL	3	4													
BOU	9	10	7												
DJE	4	8	6	8											
KNP*	6	8	11	12	8										
MAF	6	3	4	8	7	12									
MET	8	6	8	7	10	11	3								
MOST*	6	8	7	9	8	2	11	10							
PNG*	8	10	7	9	2	6	9	13	7						
SET	3	1	8	9	9	10	7	9	5	13					
S'gag	1	1	2	4	2	9	1	3	8	7	5				
TEM*	8	11	6	9	6	8	14	12	10	0	11	9			
T'KO	8	6	7	1	6	11	4	5	9	6	10	5	9		
TLM*	7	10	10	10	3	5	10	13	9	2	10	7	3	8	

Note : Les populations signalées par un astérisque (*) correspondent aux habitats maritimes, tandis que les autres appartiennent aux milieux continentaux.

Tableau 2.6. Comparaison morphométrique entre les agrégations maritimes et continentales (Monts de l'Atlas) de *Juniperus turbinata* dans son aire de distribution en Algérie.

Character	Maritime agg.					Continental agg.					Statistical significance*
	MIN	MAX	M	SD	V	MIN	MAX	M	SD	V	
NRE	4,00	6,00	4,12	0,47	11,43	4,00	6,00	4,27	0,72	16,82	0,000
LC	6,73	13,55	9,85	1,26	12,80	6,06	12,55	9,28	1,16	12,46	0,000
CL	5,28	13,48	8,90	1,37	15,36	6,17	12,8	9,26	1,06	11,49	0,003
DC	5,05	12,11	8,38	1,36	16,22	5,74	12,6	8,78	1,06	12,11	0,000
NEC	6,00	12,00	8,75	1,24	14,14	6,00	15,0	9,39	1,64	17,45	0,000
NG	1,00	9,00	4,80	1,30	26,99	2,00	12,0	5,75	1,44	24,97	0,000
LG	3,30	8,55	5,96	0,75	12,62	3,10	8,06	5,52	0,75	13,52	0,000
GL	1,68	4,80	3,19	0,47	14,87	2,02	6,05	3,22	0,46	14,27	0,361
NF	16,00	40,0	27,87	4,01	14,41	18,0	42,0	29,00	4,01	13,84	0,001
LB	0,60	1,13	0,79	0,07	9,11	0,7	1,23	0,86	0,08	9,54	0,000
LC/CL	0,83	1,55	1,12	0,12	11,07	0,74	1,43	1,00	0,10	9,52	0,000
LC/LD	0,86	1,69	1,19	0,13	11,24	0,80	1,66	1,06	0,10	9,74	0,000
LG/GL	1,21	3,28	1,88	0,27	14,42	0,67	2,76	1,74	0,26	15,07	0,000
DC/NG	0,27	7,06	1,85	0,57	30,59	0,79	4,38	1,61	0,41	25,69	0,000
DC/GL	0,37	4,73	2,64	0,39	14,61	1,28	4,43	2,76	0,36	13,17	0,000
LC/NEC	0,69	1,92	1,14	0,19	16,32	0,48	1,64	1,01	0,19	19,23	0,000
NG/NEC	0,10	1,13	0,55	0,16	28,34	0,17	1,67	0,62	0,16	26,24	0,000

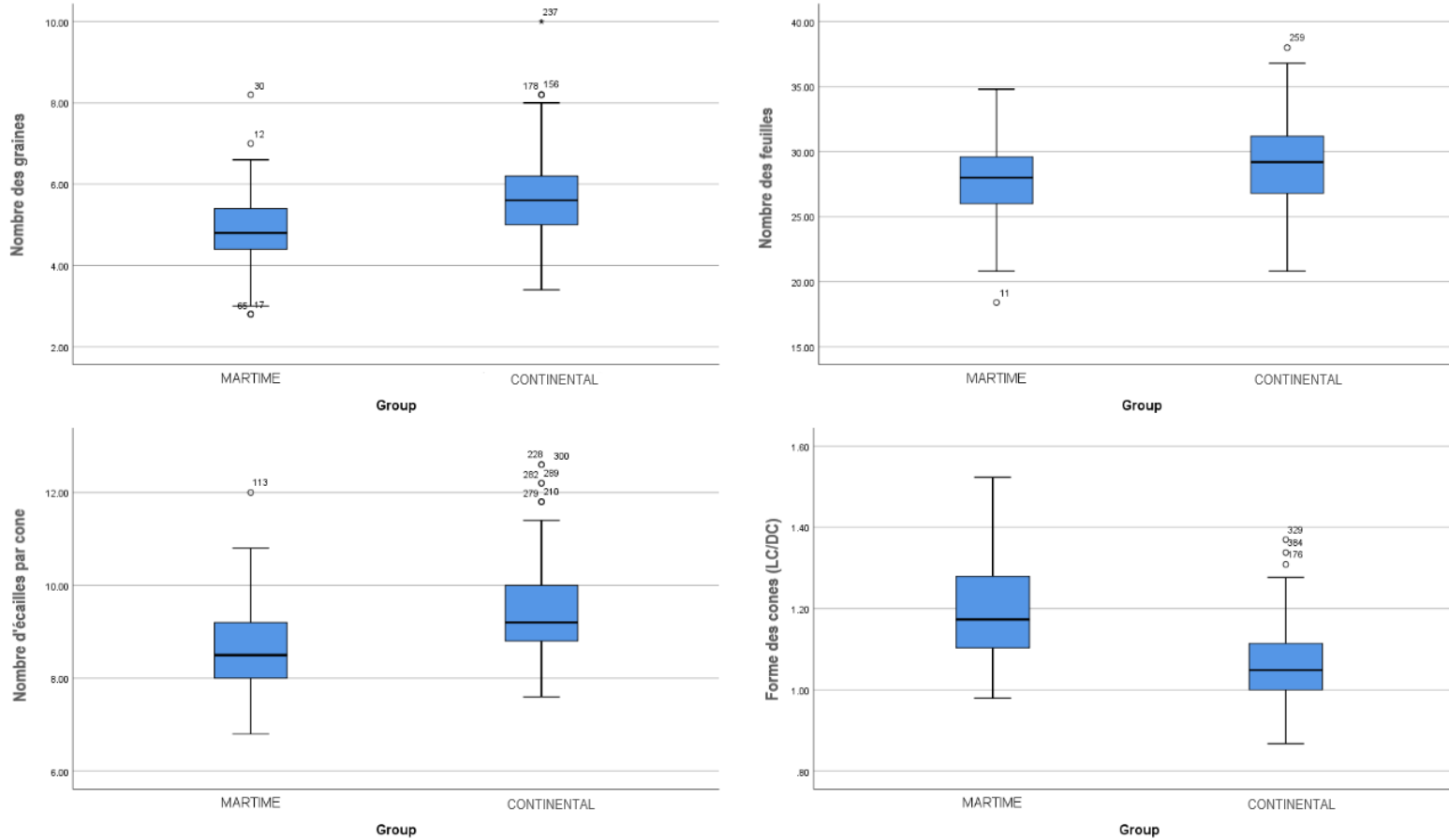


Figure 2.4. Diagramme en boîte à moustaches des caractéristiques causant la différenciation entre les populations maritimes et continentales de *Juniperus turbinata* dans son aire de répartition en Algérie.

2.3.4. Structure géographique (Geographic patterns of variation)

L'analyse en composantes principales (ACP) des 15 populations a révélé que les deux premières composantes principales (PC1 et PC2) expliquaient 72,72 % de la variation totale (Figure 2.5). La première composante (PC1), qui expliquait 46,31 % de la variation, était fortement corrélée positivement avec le nombre de graines par cône (NG), le nombre d'écaillés de cône (NEC) et le nombre de recta-lignes des écaillés par cône (NRE), et corrélée négativement avec les ratios décrivant la forme des cônes et des graines (LC/DC et LG/GL) (Figure 2.5). La deuxième composante (PC2) était bien corrélée avec les caractéristiques de dimension des cônes et des graines (LC, LG, CL et GL).

La classification hiérarchique basée sur les analyses en composantes principales des 15 populations a montré une nette séparation entre les groupes maritimes et continentales (Figure 2.6). Toutes les populations maritimes se sont regroupées dans un même cluster, tandis que les populations continentales se sont regroupées dans un autre cluster distinct. Cette distinction claire souligne les différences morphologiques significatives entre les populations maritimes et continentales de *J. turbinata* en Algérie.

L'utilisation de l'analyse en composantes principales (ACP) pour comparer les populations algériennes dans cette étude avec *J. phoenicea* s.l. étudié par Mazur et al. (2016 ; 2018) a montré que les deux premières composantes (PC1 et PC2) expliquaient 86,93 % de la variation totale (Figure 2.7). PC1 expliquait 57,17 % de la variation, avec une corrélation très positive avec les caractéristiques des graines (LG et GL) et la longueur des cônes (LC), et une corrélation négative avec NG, NG/NRE et DC/GL (Figure 2.7). La deuxième composante (PC2), expliquant 29,76 % de la variation, était fortement positivement corrélée avec les ratios décrivant la forme des cônes et des graines (LC/DC et LG/GL), et négativement corrélée avec NEC et DC.

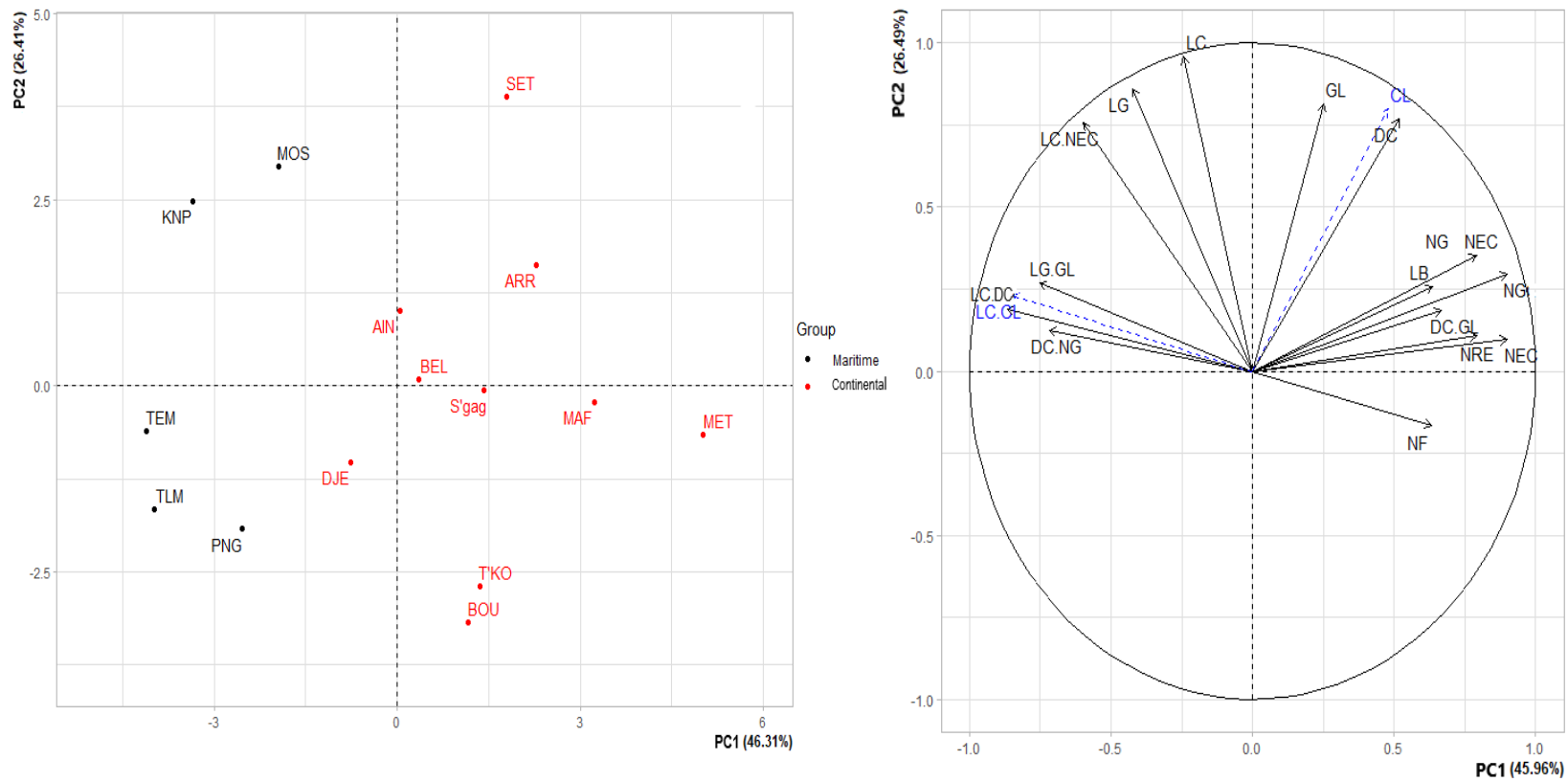


Figure 2.5. Résultats de l'ACP entre les populations algériennes de *Juniperus turbinata* sur la base des caractères des cônes, des graines et des branches : populations maritimes (noir), populations continentales (rouge). Acronymes des populations et des variables comme indiqués dans les Tableaux 2.1 et 2.2.

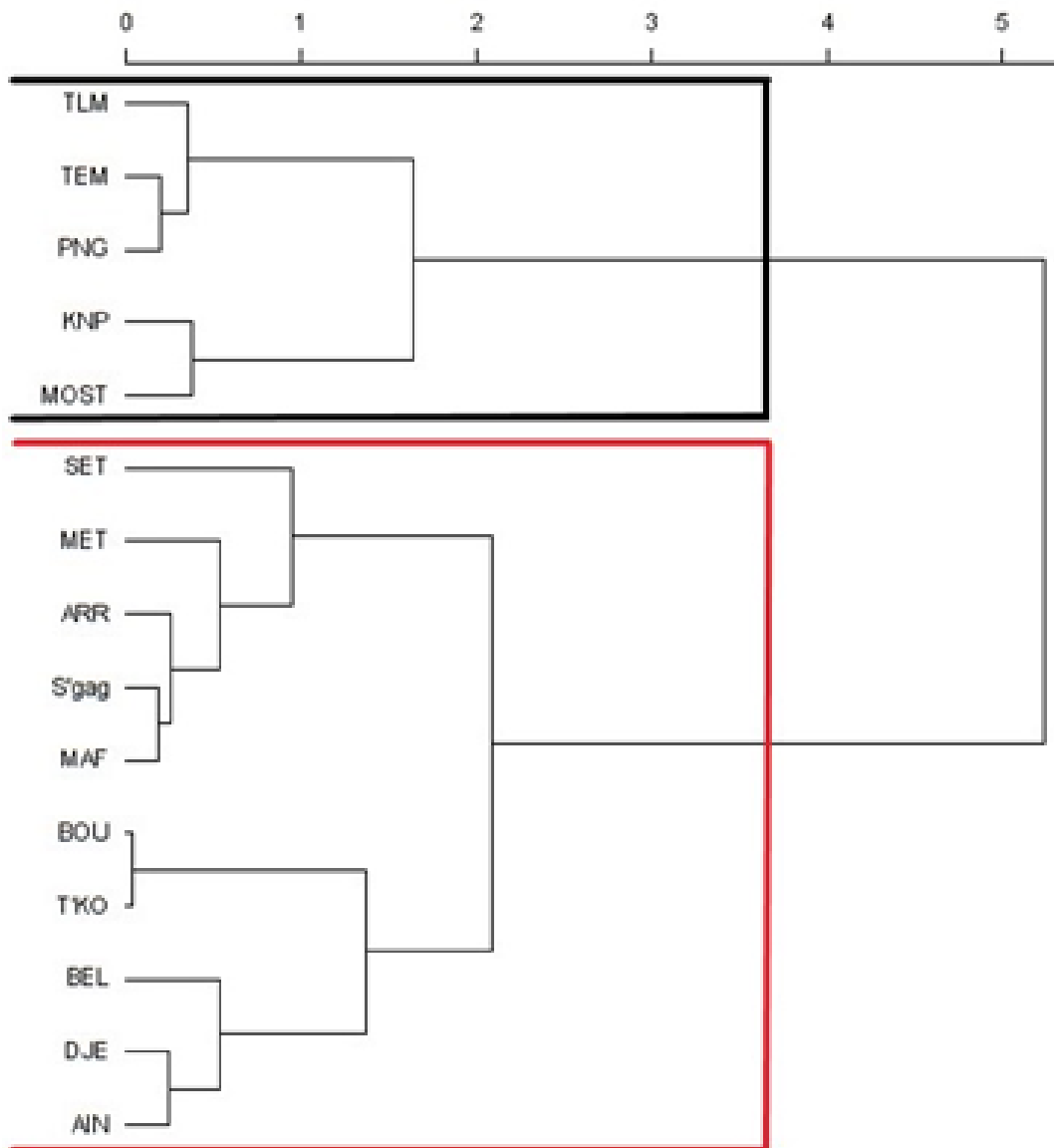


Figure 2.6. Classification hiérarchique basée sur l'ACP des 15 populations de *Juniperus turbinata* en Algérie

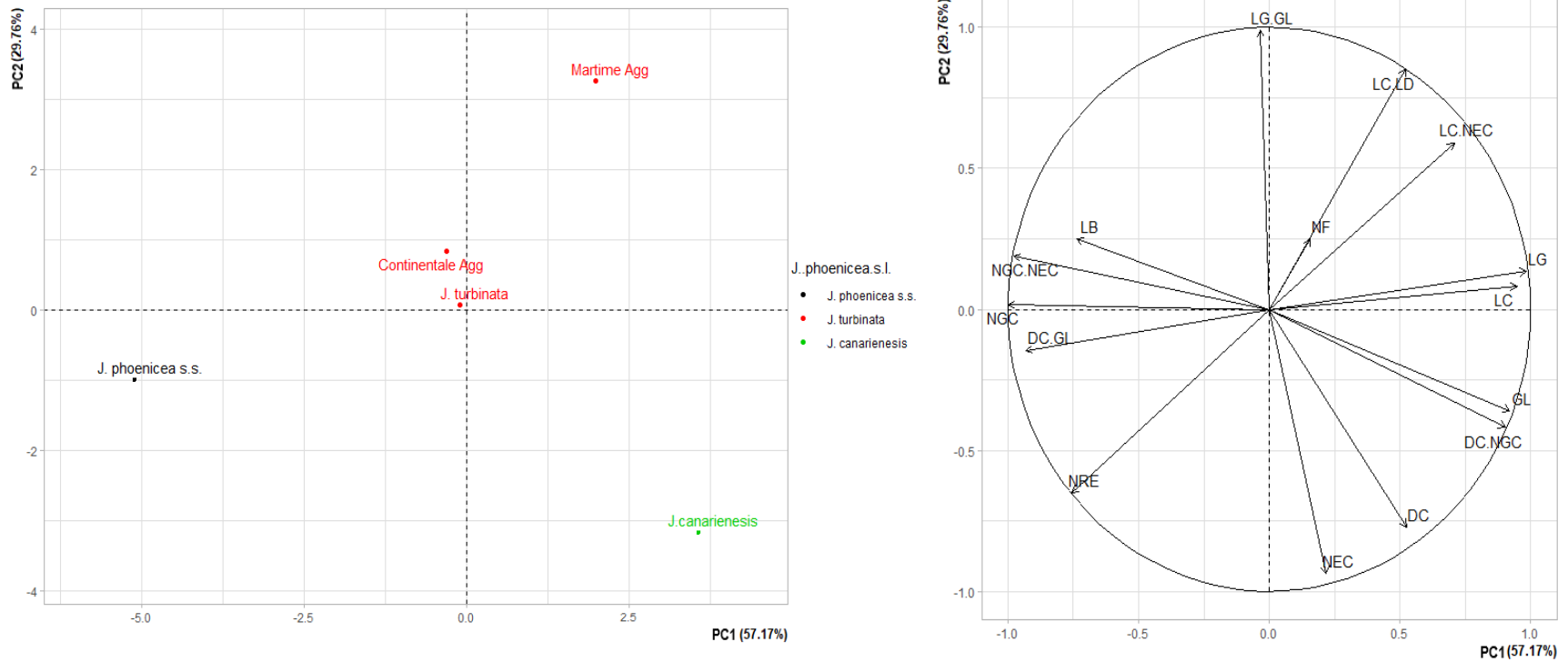


Figure 2.7. Résultats de l'ACP entre les sous-ensembles géographiques algériens du *Juniperus turbinata* (continentales et maritimes) de l'étude actuelle et les données bibliographiques de *Juniperus phoenicea* s.l., décrites par Mazur et al. (2016, 2018), basées sur les caractéristiques des cônes, des graines et des branches ; acronymes des variables comme dans le Tableau 2.2.

2.4. Discussion

2.4.1. Variabilité et corrélation des caractères

Les coefficients de variation pour les populations algériennes sont similaires à ceux rapportés par Mazur et al. (2018) pour *J. phoenicea* s.s. et *J. turbinata* (17,4 % et 17,8 %, respectivement). Comme dans d'autres études menées sur les espèces de conifères et la famille des Cupressaceae, une forte corrélation a été trouvée entre les dimensions des cônes et des graines (Marcysiak et al. 2007 ; Douaihy et al. 2012 ; Boratyński et al. 2013 ; Sękiewicz et al. 2016).

2.4.2. Variabilité morphologique

Dans la présente étude, les valeurs moyennes des caractéristiques des cônes LC (9,47 mm) et DC (8,64 mm) sont cohérentes avec la description générale de *J. phoenicea* s.l. (Mazur et al. 2003 ; Farjon, 2005 ; Blanca et al. 2011 ; Adams, 2014). Cependant, l'analyse des descriptions plus exhaustives montre que LC est similaire à celle de *J. turbinata* et DC est légèrement plus petite (Arista et Ortiz 1995 ; Mazur et al. 2016 ; 2018 ; Romo et al., 2019).

La valeur moyenne de NG ($5,43 \pm 1,32$) confirme le statut de *J. turbinata*, ce caractère étant crucial pour son identification. Cette moyenne est cohérente avec les données des populations de *J. turbinata* rapportées par Mazur et al. (2016) et Lebreton et Perez de Paz (2001), tandis que *J. phoenicea* s.s. présente généralement entre 7 et 8 graines. Dans cette étude, la nette différence du nombre de graines (NG) entre les populations côtières ($4,80 \pm 1,3$ graines) et les populations continentales ($5,75 \pm 1,44$ graines) corrobore également les observations de Lebreton et Perez de Paz (2001) dans leur description de *J. turbinata*. Cependant, ces auteurs ont signalé un nombre légèrement plus élevé de graines par cône pour les populations côtières (5 graines), probablement en raison du petit nombre d'individus échantillonnés. En effet, leur étude a inclus seulement 13 individus, répartis entre l'Algérie et le Maroc, avec une majorité provenant du Maroc. Il est notable qu'ils ont rapporté 4 graines par cône dans la région méditerranéenne orientale (Crète et Chypre) et 5 graines par cône dans la région occidentale (monts de l'Atlas).

Le nombre de feuilles sur la section terminale de 5 mm des branches latérales (NF) a été fréquemment utilisé comme caractéristique diagnostique chez les Cupressaceae, en particulier pour les genévriers à feuilles écailleuses (Mazur et al. 2004 ; Marcysiak et al. 2007 ; Douaihy et al. 2012 ; Sękiewicz et al. 2016 ; Mazur et

al. 2018). Les valeurs moyennes suivantes ont été enregistrées : *Cupressus sempervirens* L. (NF = 22), *C. atlantica* Gaussen (NF = 24), *J. excelsa* M. Bieb. (NF = 20-22), *J. thurifera* L. (NF = 20), *J. phoenicea* (NF = 26), et *J. turbinata* (NF = 24). Dans notre étude, les valeurs moyennes de NF pour les populations algériennes variaient entre 25,58 et 30,95, avec une valeur moyenne de NF = 28,61. Les populations côtières ont une valeur moyenne de NF = 27,87. Ce résultat est comparable à *J. canariensis*, qui a une valeur moyenne de NF = 27. De manière intéressante, les populations des monts de l'Aurès ont une moyenne de NF = 29-30, ce qui est supérieur aux autres populations de *J. phoenicea* s.l. et aux autres genévriers à feuilles écailleuses et espèces étudiées des Cupressaceae. Les populations continentales occidentales (AIN et DJE), avec une moyenne de NF = 25,91, sont plus similaires aux populations marocaines (Mazur et al. 2010 ; Sahib et al. 2022), qui ont moins de feuilles (NF = 21-24). Cela valide le gradient négatif est-ouest dans le nombre de feuilles parmi les populations continentales.

Dans cette étude, la longueur moyenne des graines (LG) a atteint 5,67 mm. Ce résultat correspond bien aux données antérieures sur *J. turbinata* et est légèrement plus élevé que chez *J. phoenicea* (Mazur et al. 2018). Cela confirme que le faible nombre de graines chez *J. turbinata* est compensé par des graines plus longues, contrairement à *J. phoenicea*, qui produit plus de graines mais de plus petite taille.

Le ratio représentant la forme du cône (LC/DC) dans les populations côtières dépasse notablement celui des autres populations de *Juniperus phoenicea* s.l., indiquant que notre analyse a révélé la valeur la plus élevée pour les cônes turbinés ($1,18 \pm 0,13$). En comparaison, *J. turbinata* présente une valeur de $1,06 \pm 0,08$, *J. phoenicea* s.s. a $0,96 \pm 0,06$, et *J. canariensis* enregistre $0,98 \pm 0,07$ (Mazur et al. 2018).

2.4.3. Structure géographique de variation

Les caractéristiques causant la distinction entre les sous-ensembles géographiques algériens et les populations de *J. phoenicea* s.l. (Mazur et al, 2016 ; 2018) sont résumées dans la figure 2.7. Une forte association a été démontrée entre le groupe maritime et la forme des cônes et des graines (LC/DC, LG/GL), indiquant que le groupe maritime présente les cônes les plus turbinés parmi *J. phoenicea* s.l. Les populations continentales ont le nombre moyen de feuilles le plus élevé. *J. phoenicea* s.s. se distingue des autres taxons du groupe par un nombre plus élevé de graines et de recta ligne d'écailles ainsi que par ses rameaux plus larges. *J. canariensis* se distingue par le plus petit nombre de graines au sein du complexe.

Cependant, ses cônes sont les plus épais et ses graines sont les plus grandes (LG, GL). Ces résultats confirment l'affiliation des populations algériennes à *J. turbinata* plutôt qu'à *J. phoenicea* s.s. En utilisant l'analyse en composantes principales (ACP), il apparaît que les cônes plus turbinés et un nombre réduit de graines sont des caractéristiques typiques de *J. turbinata*. Les populations continentales, se distinguant par un nombre élevé de feuilles, alignent également avec les descriptions de *J. turbinata*. Ainsi, l'ensemble des données morphologiques, comparées aux résultats de Mazur et al. (2016 ; 2018) indique clairement que les agrégats algériens appartiennent à *J. turbinata* et non à *J. phoenicea* s.s.

La séparation phénotypique entre les populations maritimes et continentales s'aligne avec la chimiotaxonomie des composés phénoliques rapportée par Lebreton & Perez de Paz (2001), qui ont mentionné une distinction similaire entre les deux groupes en raison de la concentration de prodelphinidine. Les auteurs cités ont proposé les noms *J. turbinata* var. *occidentalis* pour les populations situées sur les côtes méditerranéennes du nord-ouest de l'Afrique et *J. turbinata* var. *montana* pour les populations des monts de l'Atlas (continentales). Les résultats des analyses des huiles volatiles vont dans le même sens. Bekhechi et al. (2012) ont analysé 50 échantillons de *J. turbinata* en Algérie et ont constaté que presque tous les spécimens maritimes étaient regroupés dans un groupe caractérisé par une teneur plus faible en α -pinène, contrairement à l'autre groupe qui incluait presque tous les échantillons continentaux.

Ces résultats mettent en évidence une corrélation entre les caractéristiques phénotypiques et chimiques, soutenant ainsi la distinction taxonomique proposée par les études antérieures. Cette convergence de données morphologiques et chimiques confirme l'affiliation des populations algériennes aux *J. turbinata*, tout en soulignant les adaptations écologiques distinctes entre les habitats côtiers et montagnards.

Adams et al. (2014) ont rapporté des résultats similaires. Leur analyse des huiles essentielles des feuilles pour 16 populations de *J. turbinata* dans son aire méditerranéenne a révélé un schéma géographique mosaïque plutôt qu'un schéma continu. Ils ont observé que les populations côtières algériennes étaient étroitement liées à celles d'Italie, de Grèce, de Sicile, de Croatie, de Turquie et de Madère, représentant ainsi le profil géographique méditerranéen. En revanche, les populations algériennes et marocaines des monts de l'Atlas forment un groupe distinct, en partie cohérent avec les résultats d'autres études, qui montrent que les populations côtières algériennes sont liées aux populations méditerranéennes

centrales (Burban & Petit, 2003 ; Terrab et al., 2008 ; Linares, 2011 ; Sánchez-Gómez et al., 2018).

Ces résultats corroborent ceux de Farjon (1998, 2005), qui ont émis l'hypothèse que *J. turbinata* s'est propagé du Portugal aux côtes méditerranéennes de l'Afrique du Nord, de la Corse et de la Crète. Mazur (2009) a fourni des informations supplémentaires (Figure 12 et 24), proposant que *J. turbinata* migré de la péninsule ibérique vers l'Afrique à travers deux ou trois routes. La première route de migration traverse la côte méditerranéenne du Maroc et de l'Algérie en direction de l'Italie et de la Grèce. La deuxième route passe par les parties marocaine et algérienne des monts de l'Atlas en direction de la région méditerranéenne orientale.

2.5. Conclusion

Les avancées taxonomiques grâce aux approches morphométriques montrent qu'une collecte exhaustive d'échantillons, le choix approprié des populations et la sélection différenciée des caractéristiques morphométriques permettent de générer des résultats taxonomiques fiables, étroitement corrélés avec les critères génétiques et chimiotaxonomiques. Les résultats de cette étude confirment la présence de *J. turbinata* en Algérie et précisent son positionnement taxonomique. Les modèles géographiques de variation, basés sur les caractères des cônes, des graines et des branches, concordent bien avec la chimiotaxonomie. Des différences morphologiques ont été identifiées entre le groupe côtier et continentales. Ces modèles sont en accord avec les voies migratoires suggérées par plusieurs auteurs, soutenant ainsi la proposition de reconnaissance de *J. turbinata* var. *occidentalis* et *J. turbinata* var. *montana*, avec des analyses complémentaires développées dans les chapitres suivants.

Chapitre 3

Taxonomie par une approche chimiotaxonomique

Chapitre 3

Taxonomie par une approche chimiotaxonomique

3.1 Introduction

Le principe de la chimio-taxonomie repose sur l'enchaînement causal ADN/ARN/protéines enzymatiques/substrats primaires/métabolites secondaires (Lebreton, 1990). Cette approche permet d'établir des relations systématiques basées sur les profils chimiques des organismes. En étudiant les métabolites secondaires produits par des voies métaboliques spécifiques, les chimio-taxonomistes peuvent identifier et différencier les espèces, sous-espèces, ou variétés au sein d'un même genre.

De point de vue phytochimie des huiles essentielles, le complexe *Juniperus phoenicea* a été largement étudié par plusieurs auteurs, que ce soit en région méditerranéenne ou en Algérie, mettant en lumière la diversité chimique de cette espèce. De nombreuses études ont analysé les huiles essentielles de *J. phoenicea*, soulignant leur diversité et leur potentiel en tant qu'indicateur de variabilité géographique et écologique. Cependant, peu d'auteurs ont utilisé cette diversité comme critère de classification botanique, à l'exception notable d'Adams et al. (1996, 2014). En Algérie, la plupart des études utilisent la nomenclature *J. phoenicea*, avec quelques travaux, comme celui de Bekhechi et al. (2012), adoptant une classification plus précise sous le nom *J. phoenicea* subsp. *turbinata*.

En revanche, la phytochimie des composés non volatils, tels que les alcaloïdes, les flavonoïdes, les tanins, les saponines, les anthocyanes et les glycosides, a été beaucoup moins explorée. Les travaux de l'équipe de Lebreton (1978-2001) sont particulièrement remarquables pour leur focus sur les flavonoïdes. Leur recherche est la seule à avoir étudié en profondeur les anthocyanes (delphinidines et cyanidines) comme critères de

classification taxonomique. En utilisant ces composés, Lebreton et ses collègues ont démontré des distinctions claires entre les différentes populations de *J. phoenicea* s.l., soulignant l'importance des flavonoïdes dans la classification botanique. Ce manque d'études sur ces composés contraste avec la fréquence des études sur les huiles essentielles et souligne la nécessité d'une exploration plus approfondie pour une meilleure compréhension de la diversité chimique et taxonomique de cette espèce.

Les anthocyanes sont des pigments hydrosolubles les plus répandus dans le règne végétal, responsables des colorations vives rencontrées chez de nombreux végétaux (Statoua, 1982). Ces composés jouent un rôle crucial dans les interactions écologiques des plantes, notamment en attirant les pollinisateurs et en protégeant contre les stress environnementaux.

Lebreton (1978) a signalé l'existence de nettes différences dans les teneurs relatives des leucoanthocyanidines entre les différents spécimens de *J. phoenicea* récoltés à l'état sauvage, soulignant la nécessité d'élargir l'étude des leucoanthocyanidines à un plus grand nombre d'échantillons pour mieux sectionner l'espèce dans son aire géographique.

Lebreton & Thivend (1981) ont mis en évidence que l'utilisation du contenu en anthocyanes (delphinidine/cyanidine) au sein de *J. phoenicea* s.l. permet de démontrer que la différenciation est principalement d'origine géographique plutôt qu'écologique. Ils ont observé que les échantillons de *J. phoenicea* prélevés en France et en Espagne continentale se distinguent par leurs niveaux extrêmement faibles à négligeables de prodelphinidine. En revanche, la variété *J. phoenicea* L. eu-méditerranéenne, possible synonyme de *J. turbinata*, présente en Afrique du Nord et dans la Méditerranée occidentale, se caractérise par des niveaux significativement élevés de prodelphinidine. À l'intérieur de cette espèce, deux formes distinctes ont été identifiées : *Littoralis* et *Montana*, cette dernière présentant une concentration plus faible de prodelphinidine. Toutefois, il convient de noter que cette recherche est limitée par le nombre restreint de spécimens collectés dans la région du Maghreb, comprenant seulement deux individus d'Algérie et trois du Maroc.

Lebreton & Rivera (1988) ont non seulement étudié les composés phénoliques, mais ont également montré une distinction claire entre les populations maritimes et continentales basée sur la concentration de prodelphinidine, proposant ainsi une classification chimique de *J. turbinata*.

Dans une synthèse ultérieure, Lebreton & Perez de Paz (2001) ont étendu les travaux précédents en incluant des échantillons de Chypre, de Crète et des îles Canaries, ainsi que d'autres individus des régions méditerranéennes. Ils ont adopté le statut de *J. phoenicea* s.s. pour les individus ne présentant pas de contenu en prodelphinidine dans leurs feuilles. *J. turbinata* est une espèce circum-méditerranéenne qui s'est répandue le long de la côte méditerranéenne, à l'exception des pays du Maghreb (Algérie, Maroc et Tunisie), où elle peut être trouvée dans les zones intérieures. Dans le même travail, Lebreton & Perez de Paz (2001) ont distingué deux variétés en Algérie, *J. turbinata* var. *occidentalis* et *J. turbinata* var. *montana*, mettant en évidence une différenciation écologique au sein de l'espèce. Toutefois, les statuts de *J. turbinata* var. *chimiovar*, var. *occidentalis* et var. *orientalis* n'ont pas été retenus dans les études ultérieures et ne figurent pas dans l'Index synonymique de la flore d'Afrique du Nord d'Alain Dobignard et Cyrille Chatelain (2010), principalement en raison de leur absence dans les principales flores et monographies. Cette situation rend difficile la vérification systématique de ces nomenclatures. En plus, le nombre restreint d'individus (26) étudiés dans la région du Maghreb (Algérie, Tunisie et Maroc) ne suffit pas pour généraliser les résultats. Les auteurs n'ont même pas donné de précision sur les régions exactes de la récolte de ces échantillons, plus probablement la grande majorité provient des populations marocaines.

Pour cela, ce chapitre vise à compléter la caractérisation taxonomique de *J. turbinata* en utilisant les mêmes approches chimotaxonomiques employées par Lebreton et son équipe, tout en incluant un plus grand nombre d'individus afin de pouvoir généraliser des résultats fiables et discriminatifs. Leur recherche a démontré des distinctions claires entre les différentes populations de *J. phoenicea* s.l., soulignant l'importance des (pro)anthocyanes dans la classification botanique. En utilisant des échantillons supplémentaires et une approche plus large, ce chapitre entend affiner ces distinctions et fournir une base plus solide pour la taxonomie de *J. turbinata*.

Ces approches permettent non seulement de comprendre les adaptations écologiques des populations à leurs environnements spécifiques, mais aussi de renforcer la classification taxonomique par des preuves biochimiques solides, en complément des analyses morphométriques du chapitre précédent. Cette méthodologie offre une vision plus complète de la diversité chimique et taxonomique de cette espèce, et aide à clarifier les relations entre les différentes populations et variétés de *J. phoenicea* s.l. Ainsi, ce chapitre contribuera à la connaissance et à la reconnaissance taxonomique de *J. turbinata*, en élargissant les recherches précédentes et en fournissant des données nouvelles et plus inclusives sur les variations chimiques à travers son aire de répartition.

3.2 Matériel et méthodes

Prendre en considération que les travaux de l'équipe de Lebreton (1978-2001), notamment ceux de Lebreton (1978), Lebreton & Thivend (1981), Lebreton & Rivera (1988), et Lebreton & Pérez de Paz (2001) restent les seuls à traiter la chimio-taxonomie du complexe *J. phoenicea* en utilisant les anthocyanes comme marqueurs phytochimiques. Une réplication du protocole adopté par les auteurs a été réalisée.

3.2.1. Matériel végétal

Le matériel végétal a été récolté à partir des populations algériennes de *J. turbinata*, couvrant la majeure partie de sa répartition géographique. Les échantillons ont été collectés depuis l'ouest du pays jusqu'aux frontières orientales, incluant les dunes maritimes au nord et les régions les plus méridionales des monts de l'Atlas Saharien. Au total, 90 individus provenant de neuf populations naturelles ont été échantillonnés, chaque population étant représentée par 10 individus. Les feuilles ont été prélevées du côté sud des couronnes des arbres, incluant les secteurs sud-ouest et sud-est (voir Figure 3.1 et Tableau 3.1).

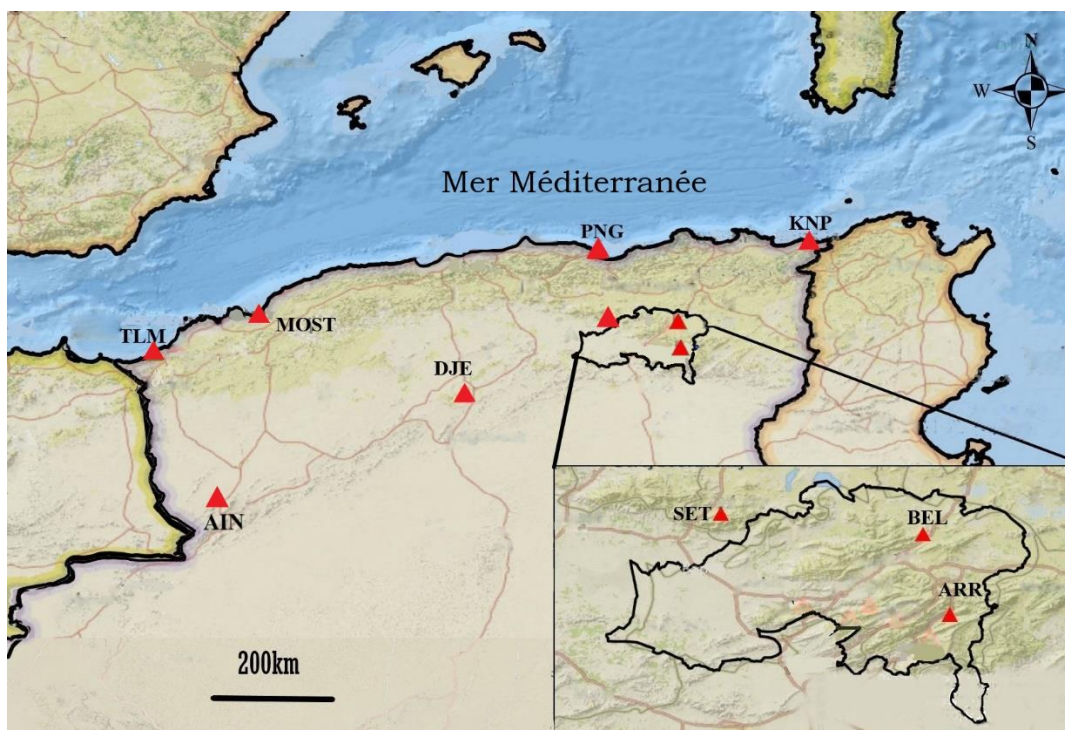


Figure 3.1. Les positions géographiques des populations de *Juniperus turbinata* analysée par une approche phytochimique échantillonnée dans son aire de distribution en Algérie

Tableau 3.1. Populations de *Juniperus turbinata* en Algérie analysées par une approche phytochimique (groupe A : populations continentales, M : populations maritimes)

N	Acronyme	Localité	Groupe	Nombre d'individus	Coordonnées géographiques	Altitude [m]
1	BEL	Parc national de Belezema	A	10	35,666 6,278	1013
2	ARR	Aurès, Arris	A	10	35,275 6,408	1293
3	SET	Djbel boutaleb Sètif	A	10	35,766 5,296	1243
4	DJE	Djelfa, Eastern Sen Elba	A	10	34,591 3,080	1339
5	AIN	Ain sefra, Haraza	A	10	33,017 -0,667	823
6	KNP	La veille kalle, Parc national El Kalla	M	10	36,917 8,333	10
7	PNG	Parc national de Gouraya	M	10	36,769 5,105	10–100
8	TLM	Tlemcen, Monts de Trara, Honaine, forêt El m'khaled	M	10	35,219 -1,606	110
9	MOST	Mostaganem, estidia	M	10	35,817 -0,037	22

3.2.2. Analyse biochimique

Hydrolyse acide (Extraction solide-liquide)

Une première extraction solide-liquide a été réalisée. Pour ce faire, 2 g de feuilles sèches broyées de *J. turbinata* ont été placées dans des erlenmeyers contenant 200 ml d'acide chlorhydrique (HCl 2N). Le mélange a été chauffé au bain-marie bouillant pendant 40 minutes, avec agitation et insufflation d'air toutes les 10 minutes. L'hydrolyse acide permet la transformation des proanthocyanidines en anthocyanes et la libération des aglycones flavonoïques de leurs formes O-hétérosidiques (Lebreton et al., 1978 ; Heimeur et al., 2004 ; Lebreton & Pérez de Paz, 2001).

Extraction des anthocyanes (Extraction liquide-liquide) :

Après filtration la phase aqueuse acide résiduelle a subi une deuxième extraction liquide-liquide avec le n-butanol (2x20 ml) à l'aide des ampoules à décanter (Figure A3), Ce solvant entraîne les anthocyanes colorés en rouge provenant de l'oxydation des pro-anthocyanes.

Dosage global des anthocyanes

La densité optique des solutions n-butanoliques a été mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre ultraviolet/visible (UV-1600PC). Un balayage de 480 à 600 nm a permis de déterminer la longueur d'onde d'absorption maximale, nécessaire pour le dosage global en anthocyanes (mg/g) (Lebreton et al., 1967 ; Lebreton, 1978 ; Porter et al., 1986).

$$\mathbf{T.anthocyanes = (DO / e). M. V. d / p (mg / g)}$$

$$\text{T.anthocyanes \%} = 5,2.10^{-2}. \text{DO. V/P}$$

- DO : Densité optique à la longueur d'onde d'absorption maximale
- e : Coefficient d'absorption molaire de la cyanidine (=34700)
- M : Masse molaire de la procyanidine (=306)
- V : Volume de la solution butanolique
- d : Facteur de dilution
- p : Poids sec de matériel végétal hydrolysé

Chromatographie Liquide à Haute Performance (HPLC)

Une séparation des anthocyanes par Chromatographie Liquide à Haute Performance (HPLC) permet d'obtenir les pourcentages des deux substances principales (delphinidine et cyanidine). La séparation a été réalisée sur une colonne C18 avec une granulométrie de 10 μm , une longueur de 30 cm et un diamètre de 0,4 cm. Le solvant utilisé était un mélange de l'eau, de méthanol et d'acide acétique dans un rapport de 6/3/1, avec un débit de 1 ml/min. La détection a été effectuée à 546 nm, et les temps de rétention pour les deux molécules étaient de 5 minutes.

- La structure chimique de la delphinidine (Figure 3.2) est caractérisée par trois groupes hydroxyle (OH) sur le noyau B, situés en position 3', 4', et 5'. Ces groupes hydroxyle contribuent à la stabilité et à la couleur des pigments delphinidine.

- La cyanidine, un autre type d'anthocyane, possède deux groupes hydroxyle sur le noyau B, en position 3' et 4'. La cyanidine est également un pigment végétal, responsable des couleurs rouges et pourpres observées dans divers fruits et fleurs.

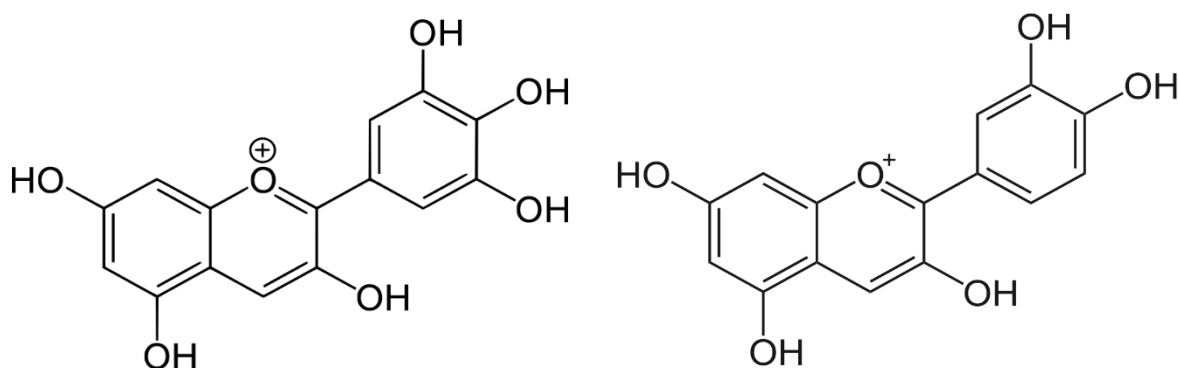


Figure. 3.2 Structure chimique de la delphinidine en gauche et de la cyanidine à droite

3.2.3. Méthodes statistiques

Les statistiques descriptives ont été calculées pour les données des neuf populations de *J. turbinata* ainsi que pour les profils chimiques potentiels, conformément aux méthodes énoncées par Zar (2010). Les tests de normalité ont été effectués pour évaluer la pertinence de l'utilisation de tests paramétriques. Le test de Shapiro-Wilk a été appliqué à chaque population ainsi qu'aux variables des profils chimiques trouvés. Les données présentant une distribution non normale ont été soumises à des tests statistiques non paramétriques (Dagnelie, 1975).

Les coefficients de corrélation entre les variables ont été calculés en utilisant à la fois le test de Spearman-Rank et le coefficient de corrélation de Pearson. Cette double approche permet de détecter les relations potentielles entre les variables avec une précision accrue. Le test de Spearman-Rank, adapté pour les variables non paramétriques, évalue les relations monotones sans supposer de distribution normale. Le coefficient de Pearson, quant à lui, mesure la force et la direction des relations linéaires entre les variables paramétriques. En combinant ces deux

méthodes, nous avons pu identifier et éliminer les redondances susceptibles de compromettre les analyses multidimensionnelles ultérieures, assurant ainsi une interprétation plus fiable et robuste des données (Zar, 2010).

L'analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée pour réduire la complexité des données, identifier les modèles géographiques de la variabilité chimique potentielle, et évaluer l'influence des caractéristiques en anthocyanes sur la différenciation entre les populations ainsi que sur les modèles géographiques (Kassambara, 2017). Cette méthode a permis de mieux comprendre la distribution des anthocyanes à travers les différentes populations étudiées, en mettant en évidence les facteurs géographiques qui pourraient influencer leur variation chimique.

Pour évaluer la différence entre les deux profils chimiques obtenus à partir de l'analyse en composantes principales (ACP), des tests t de Student pour deux échantillons indépendants ainsi que des tests de Wilcoxon ont été réalisés, en fonction de la distribution des données (Zar, 2010). Ces tests statistiques permettent de déterminer s'il existe des différences significatives entre les deux groupes de données. Le test t de Student est utilisé lorsque les données suivent une distribution normale, tandis que le test de Wilcoxon est appliqué lorsque les hypothèses de normalité ne sont pas respectées (voir tableau A5).

Toutes les analyses ont été effectuées à l'aide du logiciel R 4.1.0, avec les packages Rcommander et FactoMineR.

3.3. Résultats

Dosage global des anthocyanes

Le dosage global par spectrophotométrie du contenu en anthocyanes dans les populations algériennes de *J. turbinata* a révélé une longueur d'onde d'absorption maximale à 555 nm.

Identification des anthocyanes (delphinidine et cyanidine) par HPLC

Le dosage des extraits n-butanoliques par HPLC permet d'accéder au pourcentage et au temps de rétention des deux molécules (Figure 3.3).

- **Identification de la cyanidine** : La cyanidine a été confirmée par des références bibliographiques (Lebreton, 1978 ; Lebreton & Pérez de Paz, 2001). Cette molécule, majoritaire au sein des échantillons de *J. phoenicea* s.l. (Figure 3.3), est facilement identifiable grâce à la coloration rouge des échantillons.

- **Identification de la delphinidine** : La delphinidine a été confirmée par l'utilisation d'un standard (delphinidine chloride) et par la comparaison des facteurs de rétention entre le pic du standard et celui des échantillons (Figure A4).

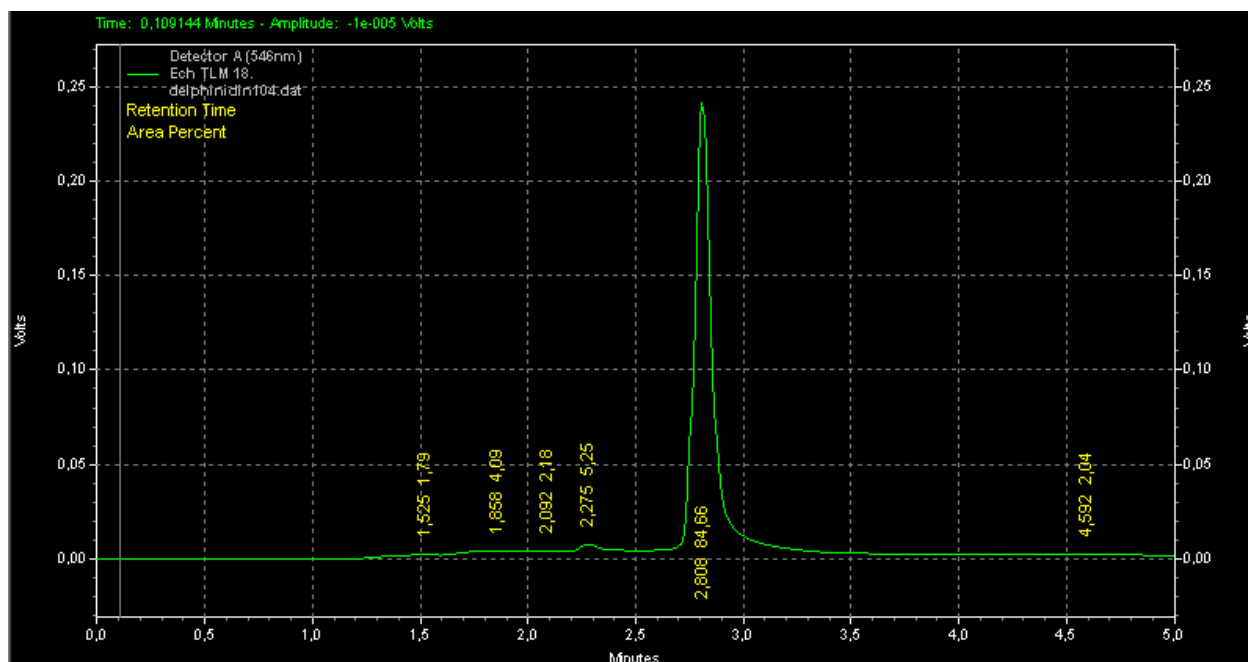


Figure 3.3. Profil typique du contenu en anthocyanes de *Juniperus turbinata*, avec un temps de rétention de la delphinidine à 2,27 minutes et un temps de rétention de la cyanidine à 2,8 minutes

3.3.1. Variabilité chimique et intraspécifique

Les valeurs moyennes du contenu en anthocyanes global rapportées dans le Tableau 3.2 indiquent que la population la plus septentrionale de cette étude (KNP) présente la plus grande quantité d'anthocyanes à ($6,40 \pm 0,77$ mg/g), suivie des populations (MOS, TLM et BEL) avec des valeurs de (5,9, 5,19 et 5,6 mg/g) respectivement. En revanche, la population de DJE montre le contenu en anthocyanes le plus bas à (4,34 mg/g).

Dans le Tableau 3.2 et la Figure 3.4, nous observons deux modèles distincts de contenu absolu en delphinidine. Le premier groupe, comprenant les populations AIN, ARR, BEL et SET, affiche des concentrations significatives de delphinidine allant de 0,42 à 0,63 mg/g, représentant de 9 % à 13 % du contenu relatif. En revanche, le deuxième groupe, comprenant KNP, TLM, MOS, PNG et DJE, présente généralement une absence de delphinidine, à quelques exceptions près pour KNP et DJE, où un individu de chaque groupe montre une faible présence de delphinidine.

La cyanidine, en tant qu'anthocyane majeure dans les échantillons algériens de *J. turbinata*, suit également un schéma distinct. Les populations côtières (KNP, MOS, TLM et PNG) présentent des concentrations plus élevées de cyanidine, avec des valeurs respectives de 5,25 mg/g, 4,79 mg/g, 4,35 mg/g et 4,06 mg/g. En revanche, les populations de BEL, SET, DJE, ARR et AIN affichent des concentrations inférieures de 3,62 mg/g, 3,57 mg/g, 3,57 mg/g, 3,45 mg/g et 3,31 mg/g respectivement.

Les boîtes à moustaches du contenu en anthocyanes dans les populations de *J. turbinata* d'Algérie (Figure 3.4) confirment la présence de deux groupes distincts de différenciation. Les populations continentales (AIN, ARR, BEL et SET) se caractérisent par la présence de delphinidine dans leurs feuilles, ainsi que par des niveaux plus faibles de cyanidine et de sa proportion relative. En revanche, les populations côtières (MOS, PNG, KNP et TLM) ne présentent pas de delphinidine dans leurs feuilles, mais affichent des niveaux plus élevés de cyanidine et de contenu total en anthocyanes, ainsi que des proportions relatives plus élevées. Une exception notable est la population de DJE, qui, bien que située dans une région continentale, présente des caractéristiques chimiques similaires à celles des populations côtières.

Tableau 3.2. Valeurs moyennes \pm écart-type du contenu en anthocyanes des populations de *Juniperus turbinata* d'Algérie.

	Absorbance	T. A. mg/g	delphinidine %	cyanidin %	Delphinidine mg/g	Cyanidin mg/g
AIN	0,89 \pm 0,11	4,72 \pm 0,6	13,22 \pm 5,1	70,12 \pm 4,52	0,62 \pm 0,26	3,31 \pm 0,47
ARR	0,92 \pm 0,12	4,87 \pm 0,62	12,91 \pm 1,41	70,78 \pm 2,83	0,63 \pm 0,11	3,45 \pm 0,46
BEL	0,96 \pm 0,11	5,06 \pm 0,57	12,57 \pm 1,73	71,34 \pm 2,25	0,63 \pm 0,06	3,62 \pm 0,47
SET	0,91 \pm 0,12	4,79 \pm 0,64	8,97 \pm 5,00	74,54 \pm 5,52	0,42 \pm 0,24	3,57 \pm 0,55
DJE	0,82 \pm 0,15	4,34 \pm 0,82	1,66 \pm 5,23	82,64 \pm 4,96	0,09 \pm 0,28	3,57 \pm 0,62
MOS	1,12 \pm 0,10	5,90 \pm 0,53	0,00 \pm 0,00	81,14 \pm 2,24	0,00 \pm 0,00	4,79 \pm 0,42
PNG	0,95 \pm 0,16	5,01 \pm 0,85	0,00 \pm 0,00	81,06 \pm 2,7	0,00 \pm 0,00	4,06 \pm 0,7
KNP	1,21 \pm 0,15	6,40 \pm 0,77	1,25 \pm 3,96	82,07 \pm 2,65	0,09 \pm 0,30	5,25 \pm 0,63
TLM	0,98 \pm 0,12	5,19 \pm 0,66	0,00 \pm 0,00	83,80 \pm 2,01	0,00 \pm 0,00	4,35 \pm 0,58

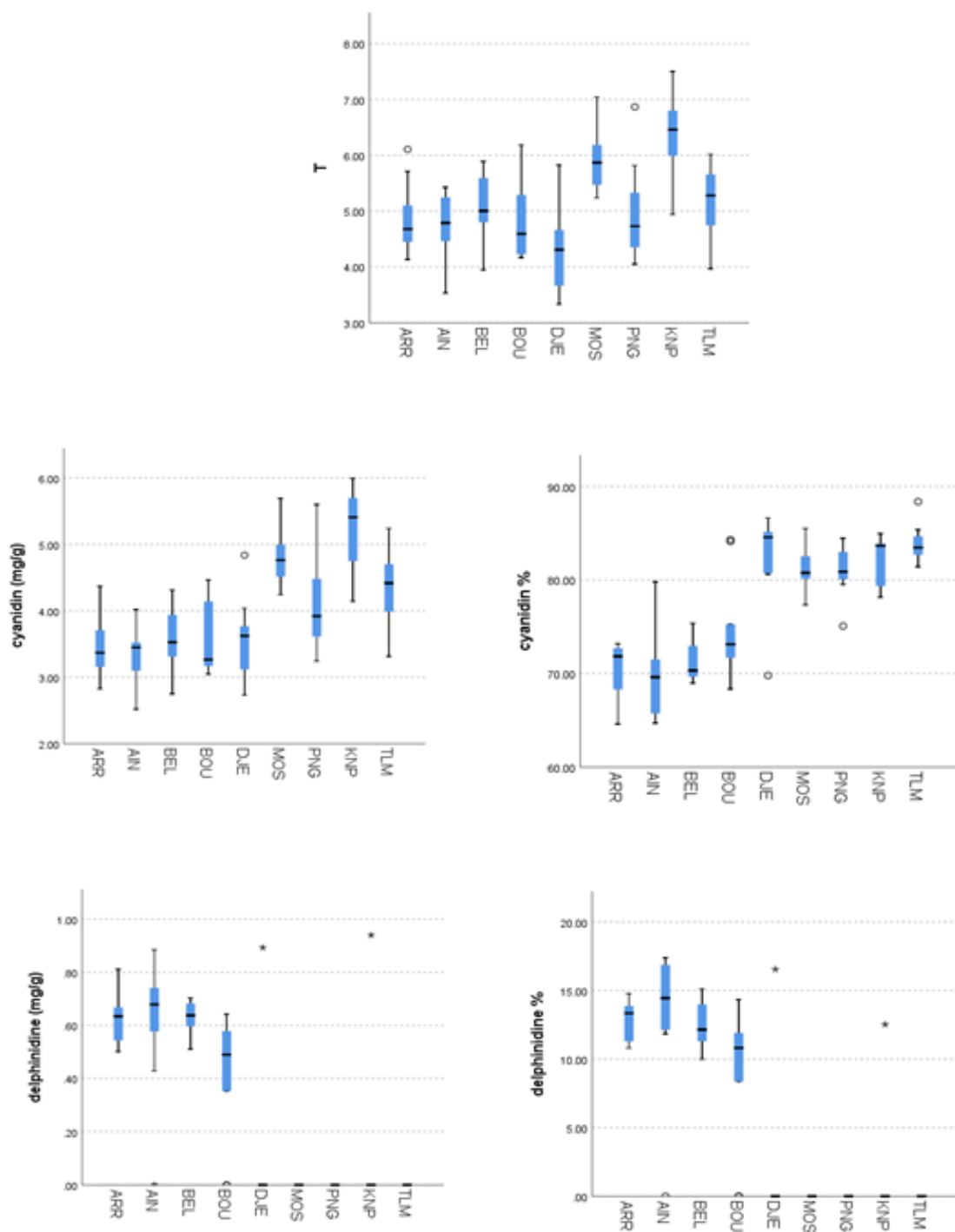


Figure. 3.4. Boîte à moustaches du contenu en anthocyanes dans neuf populations de *Juniperus turbinata*, en Algérie

3.2.2. Profils chimiques et sous-ensembles géographiques

L'absorbance a été retirée des analyses multidimensionnelles en raison de ses redondances avec le contenu global en anthocyanes (Tableau 3.3 ; Figure 3.5). Les résultats ont montré que les valeurs d'absorbance étaient fortement corrélées avec les concentrations d'anthocyanes, rendant l'absorbance une variable redondante qui pourrait fausser les analyses si elle était incluse. Cette décision a permis de simplifier les analyses et de se concentrer sur les variables les plus informatives pour la différenciation chimique des populations de *J. turbinata*.

Tableau 3.3. Coefficient de corrélation parmi les contenus en anthocyanes de *Juniperus turbinata* d'Algérie (* – niveau de signification $P < 0,05$; ** – niveau de signification $P < 0,01$).

	Absorbance	T	delphinidine %	cyanidine %	delphinidine (mg/g)	cyanidine (mg/g)
Absorbance	1					
T	1,000**	1				
delphinidine %	-.246*	-.246*	1			
cyanidine %	0,152	0,152	-.922**	1		
delphinidine (mg/g)	-0,118	-0,118	.982**	-.893**	1	
cyanidine (mg/g)	.908**	.908**	-.535**	.543**	-.443**	1

L'analyse en composantes principales (ACP) pour les 90 individus étudiés (Figure 3.5) montre que les deux premières composantes, PC1 et PC2, expliquent 96,34 % de la variation totale. PC1 est en forte corrélation positive avec la concentration absolue de cyanidine et son contenu relatif, et en forte corrélation négative avec la concentration de delphinidine et son contenu relatif, expliquant ainsi 67,41 % de la différenciation. En revanche, PC2 est en forte corrélation positive avec le contenu global en anthocyanes, expliquant 28,93 % de la différenciation totale.

La carte factorielle de l'ACP illustre clairement la ségrégation des 90 individus analysés en deux groupes distincts. Le premier groupe est composé d'individus des populations continentales (BEL, ARR, AIN et SET). Il se caractérise par la présence de delphinidine, comme le montre le cercle de corrélation dans la Figure 3.5. En revanche, le deuxième groupe, marqué par l'absence de delphinidine, comprend tous les individus des populations côtières (KNP, MOS, TLM, PNG). La population de DJE représente une exception dans ce contexte. Malgré son emplacement dans une zone

continentale, elle s'est regroupée avec le groupe caractérisé par l'absence de delphinidine, typique des régions côtières.

L'ACP des valeurs moyennes des populations, analysée en utilisant le contenu en anthocyanes dans la Figure 3.6, démontre que les deux premières composantes, PC1 et PC2, expliquent collectivement 99,44% de la variation totale. PC1, qui présente une forte corrélation positive à la fois avec le contenu absolu de cyanidine et le contenu relatif de cyanidine, tout en affichant une corrélation négative significative à la fois avec le contenu absolu de delphinidine et son contenu relatif, représente 78,55% de la variation totale. En revanche, PC2 est significativement liée au contenu en anthocyanes et explique 20,89% de la variation.

La Figure 3.6 confirme la ségrégation des populations de *J. turbinata* d'Algérie en deux groupes distincts. Le premier groupe comprend les populations situées dans les zones continentales, caractérisées par la présence de delphinidine et des concentrations plus faibles de cyanidine. En revanche, le deuxième groupe est composé de toutes les populations côtières, caractérisées par l'absence de delphinidine et des concentrations plus élevées de cyanidine.

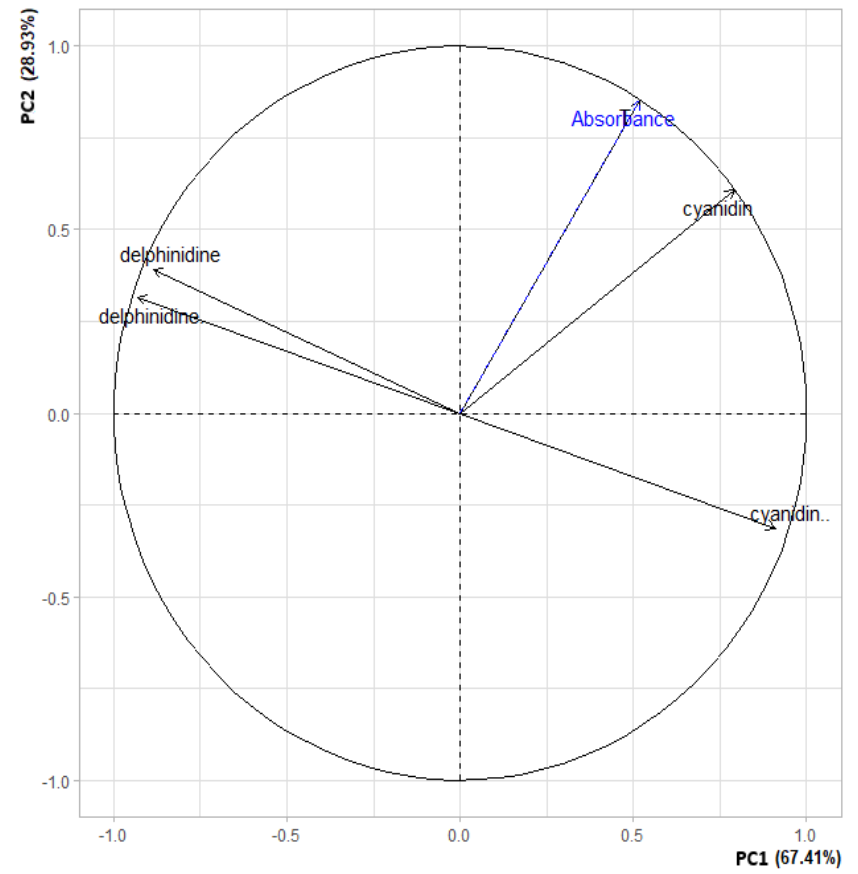
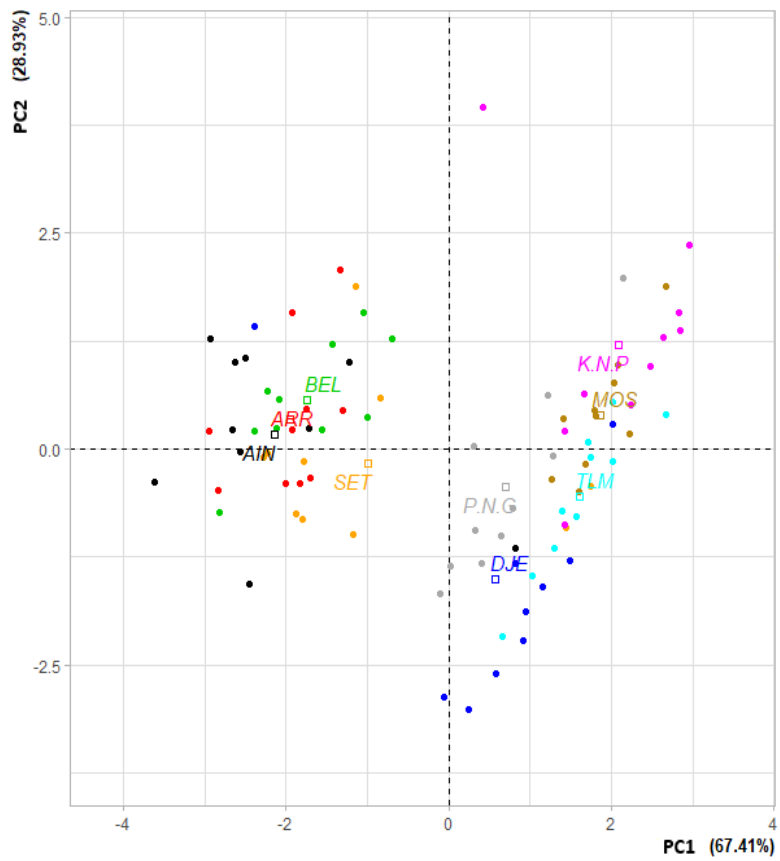


Figure 3.5. Résultats de l'ACP de 90 individus de *Juniperus turbinata* en Algérie, analysées en utilisant les contenus en anthocyanes

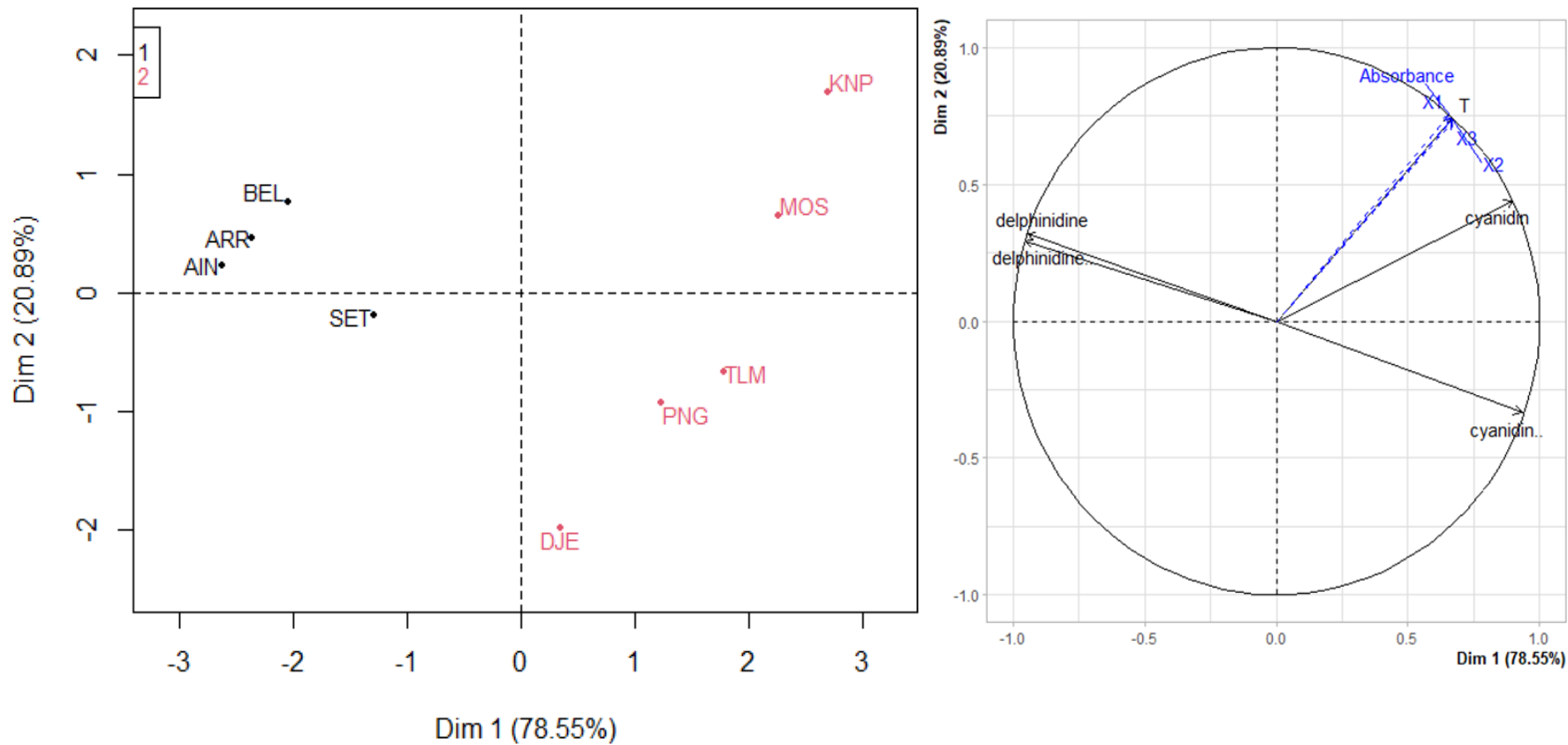


Figure 3.6. Résultats de l'ACP des neuf populations de *Juniperus turbinata* en Algérie, analysées en utilisant les contenus en anthocyanes.

Evaluation statistique

La différence statistique entre les deux groupes identifiés par l'ACP a été évaluée (Tableau 3.4) à l'aide des tests de comparaison, à savoir le test t de Student et le test de Wilcoxon. Ces tests permettent de vérifier la significativité des différences observées entre les groupes. La nomenclature *J. turbinata* var. *occidentalis* et *J. turbinata* var. *montana* a été adoptée (Figure 3.7 et Figure 3.8) d'après le travail de Lebreton & Pérez de Paz (2001), qui ont proposé cette classification basée sur les variations chimiques, morphométriques et géographiques observées au sein des populations de *J. turbinata*.

Toutes les variables biochimiques diffèrent statistiquement entre les deux variétés au niveau significatif de $P < 0,01$ (Tableau 3.4).

La teneur globale en anthocyanes (T, Tableau 3.4, Figure 3.7) est plus importante chez *J. turbinata* var. *occidentalis* ($T = 5,46 \pm 0,2$) par rapport à *J. turbinata* var. *montana* ($T = 4,86 \pm 0,59$).

La teneur en delphinidine est retrouvée seulement en trace chez la variété *J. turbinata* var. *occidentalis* ($0,04 \pm 0,2$), avec seulement deux individus sur les 50 étudiés présentant cette molécule (Figures 3,7 et 3,8), ce qui représente 0,76 % de la teneur relative. En revanche, chez *J. turbinata* var. *montana*, des valeurs significatives de delphinidine ont été trouvées ($0,58 \pm 0,19$), représentant 11,91 % de la teneur globale en anthocyanes.

La teneur en cyanidine est plus élevée chez *J. turbinata* var. *occidentalis* ($4,94 \pm 0,83$ mg/g), représentant 82,41 % de la teneur relative. En revanche, les valeurs de cyanidine chez *J. turbinata* var. *montana* sont de $3,48 \pm 0,48$ mg/g, représentant 71,69 % de la teneur relative.

Tableau 3.4. Comparaison entre les deux variétés de *Juniperus turbinta* (*occidentalis* vs. *montana*) en Algérie

Character	Occidentalis					Montana					Statistical significance*
	MIN	MAX	M	Ect	CV	MIN	MAX	M	Ect	CV	
Absorbance	0,63	1,42	1,03	0,19	18,44	0,67	1,17	0,92	0,11	11,95	0,006
T	3,33	7,5	5,46	0,2	3,66	3,53	6,18	4,86	0,59	12,13	0,006
delphinidine %	00	16,5	0,76	-	-	00	17,39	11,91	-	-	6,118 ^{e-15}
cyanidin %	69,78	88,37	82,41	-	-	64,6	84,32	71,69	-	-	4,799 ^{e-13}
delphinidine (mg/g)	00	0,94	0,04	0,2	-	00	0,88	0,58	0,19	3,27	7,253 ^{e-12}
cyanidine(mg/g)	2,73	5,99	4,94	0,83	16,8	2,52	4,46	3,48	0,48	13,79	0,00

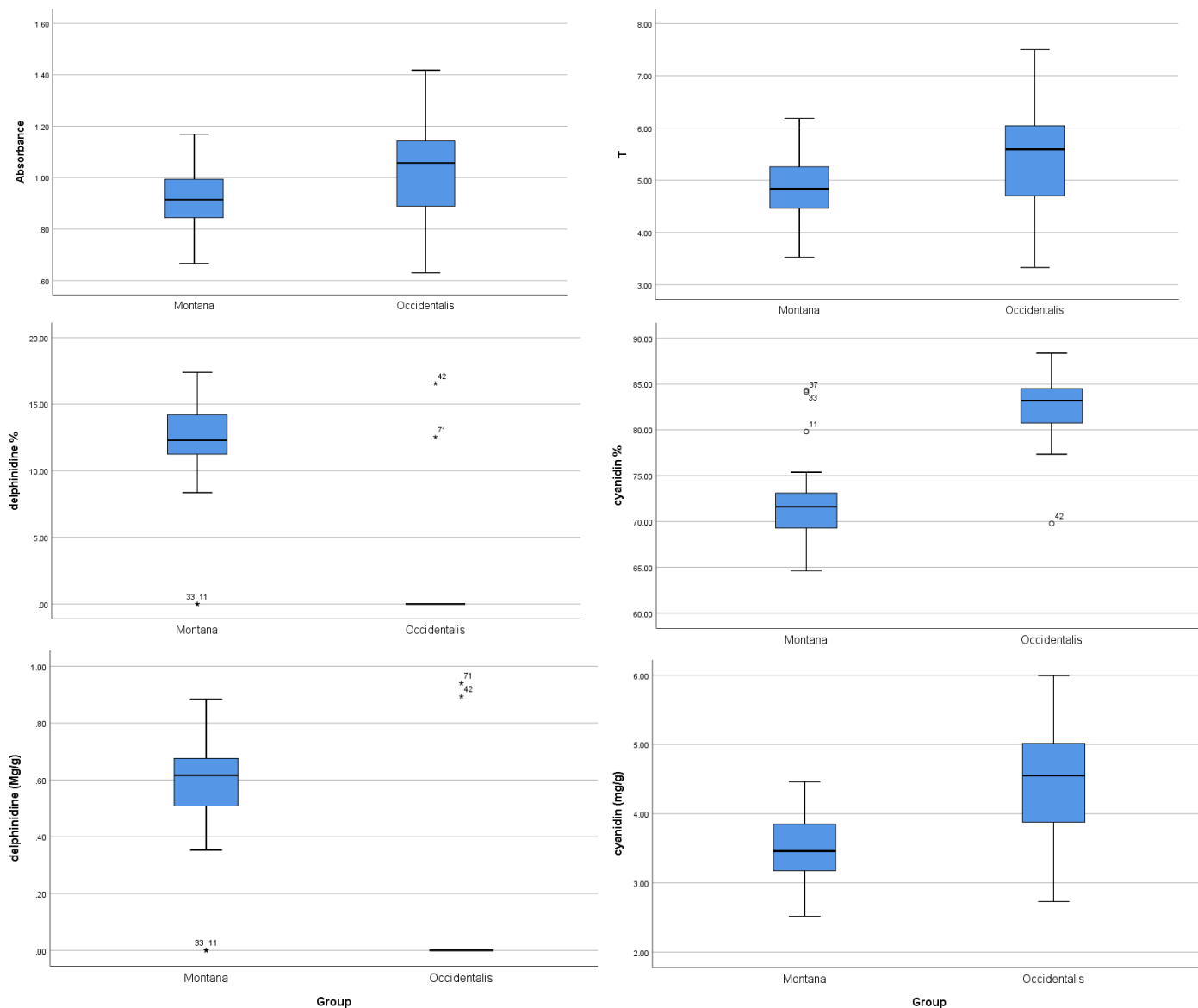


Figure 3.7. Boîte à moustaches du contenu en anthocyanes entre les deux variétés de *Juniperus turbinata* (*J. turbinata* var. *montana* Vs. *J. turbinata* var. *occidentalis*) en Algérie

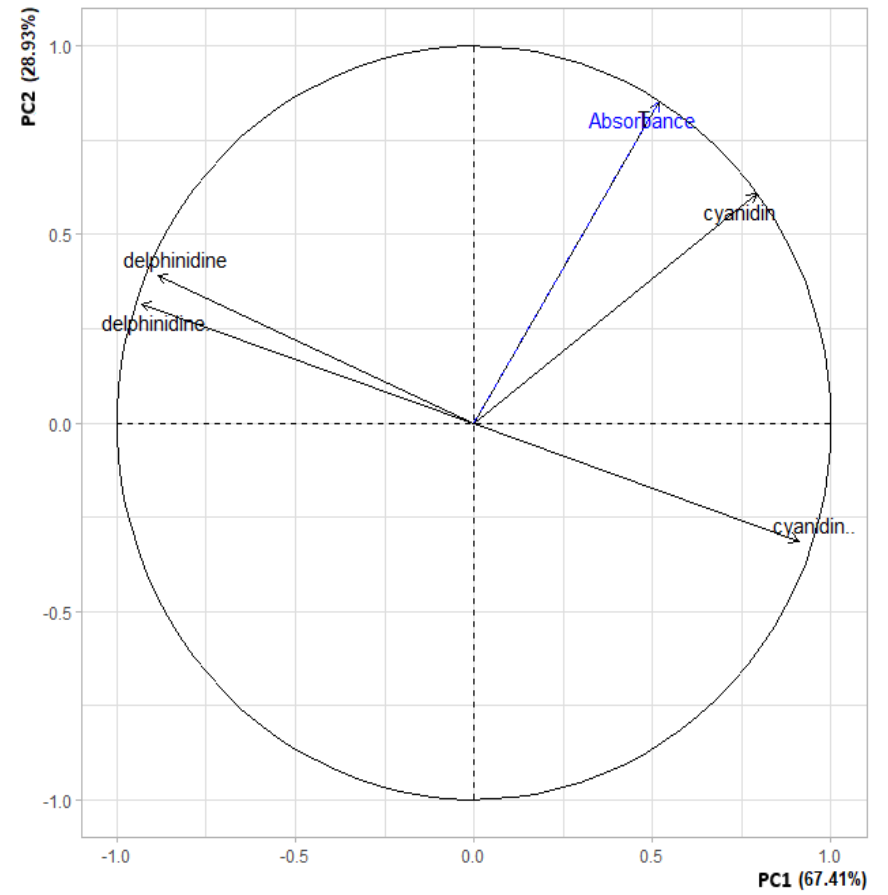
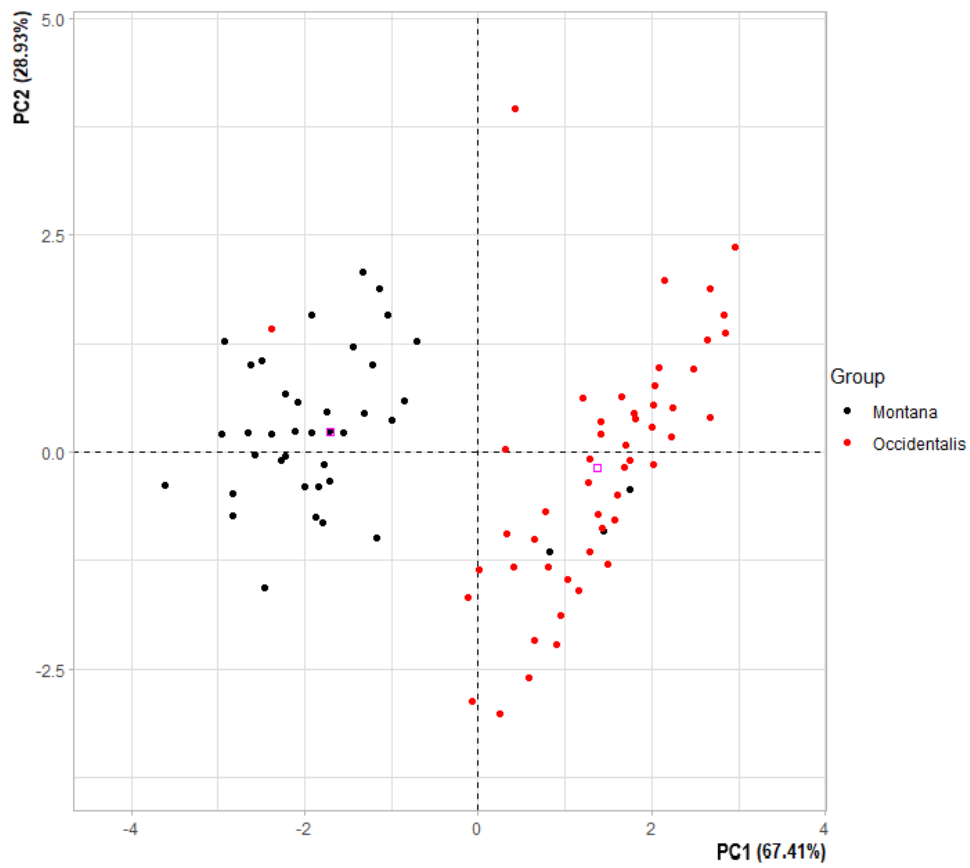


Figure 3.8. Résultats de l'ACP de 90 individus de *Juniperus turbinata* en Algérie, analysées en utilisant les contenus en anthocyanes

3.4. Discussion

Dosage global des anthocyanes

Le dosage global par spectrophotométrie du contenu en anthocyanes dans les populations algériennes de *J. turbinata* a révélé une longueur d'onde d'absorption maximale à 555 nm. Une valeur cohérente avec les résultats rapportés par Lebreton et al. (1978).

Identification des anthocyanes (delphinidine et cyanidine) par HPLC

Le temps de rétention de la delphinidine et de la cyanidine dans cette étude est de $2,27 \pm 0,1$ minute et $2,5 \pm 0,05$ minute, respectivement. Ces valeurs diffèrent de celles rapportées par Lebreton & Pérez de Paz (2001), qui ont trouvé des temps de rétention de six minutes pour la delphinidine et neuf minutes pour la cyanidine. Cette divergence peut être attribuée à deux raisons principales. La première est la différence dans les conditions expérimentales (matériel, colonne, conditions météorologiques, etc.). La seconde est que dans l'étude de Lebreton & Pérez de Paz (2001), les extraits acides ont été dosés sans passer par une deuxième extraction liquide-liquide, probablement dans le but de caractériser les aglycones.

3.4.1. Variabilité chimique et intraspécifique

Les valeurs moyennes du contenu en anthocyanes global (T) s'étendent de 4,34 mg/g à 6,4 mg/g. Ces valeurs sont inférieures à celles rapportées par Lebreton & Pérez de Paz (2001), qui ont signalé une teneur moyenne en anthocyanes globales variant de 7,2 mg/g à 12,6 mg/g. Cependant, elles se rapprochent des valeurs trouvées dans les populations continentales de France et d'Espagne, où une teneur moyenne de 5 mg/g a été signalée.

Les valeurs absolues moyennes de la delphinidine varient d'une absence totale ou des traces dans les populations côtières jusqu'à 0,62 mg/g dans les populations continentales. Ces valeurs sont considérées comme très faibles par rapport à celles rapportées par Lebreton & Pérez de Paz (2001), qui ont signalé des teneurs moyennes en delphinidine significativement plus élevées, allant de 5,7 mg/g à 9,1 mg/g pour les populations désignées comme *J. turbinata*. En revanche, ces auteurs ont également

signalé l'existence de traces de delphinidine uniquement dans les populations intérieures (continentales) en France et en Espagne.

3.4.2. Profils chimiques et sous-ensembles géographiques

La ségrégation observée entre les populations maritimes et continentales, illustrée dans les figures 3.5, 3.6, 3.7 et 3.8 ainsi que dans le tableau 3.4, correspond partiellement aux résultats trouvés par Lebreton & Pérez de Paz (2001). Ces auteurs ont proposé la nomenclature *Juniperus turbinata* var. *occidentalis* pour les populations maritimes de la région du Maghreb et *J. turbinata* var. *montana* pour les populations continentales des monts de l'Atlas. Cependant, une divergence notable a été observée dans nos résultats par rapport à leurs conclusions.

Nous avons trouvé de la delphinidine uniquement dans les populations continentales (*J. turbinata* var. *montana*), avec des valeurs allant jusqu'à 0,62 mg/g, tandis que seules des traces de delphinidine ont été détectées dans les populations maritimes (*J. turbinata* var. *occidentalis*). En revanche, Lebreton & Pérez de Paz (2001) ont signalé des teneurs moyennes en delphinidine de 4,8 mg/g pour *J. turbinata* var. *montana* et de 8,5 mg/g pour *J. turbinata* var. *occidentalis*. Cette différence pourrait être due à la biosynthèse de la delphinidine, qui peut varier au cours de l'année en fonction du cycle phénologique de l'espèce. Ainsi, des récoltes effectuées à différentes périodes de l'année pourraient entraîner des variations significatives de la teneur en delphinidine.

La ségrégation observée entre *J. turbinata* var. *montana* et *J. turbinata* var. *occidentalis* basée sur le contenu en anthocyanes est conforme aux résultats rapportés par Bekhechi et al. (2012). Dans leur étude portant sur les huiles volatiles de 50 échantillons de *J. turbinata* en Algérie, ils ont constaté que presque tous les spécimens maritimes formaient un groupe distinct caractérisé par une teneur plus faible en α -pinène. En revanche, l'autre groupe, composé principalement d'échantillons continentaux, présentait des teneurs en α -pinène significativement plus élevées. Cette tendance de différenciation chimique entre les populations maritimes et continentales de *J. turbinata* reflète une adaptation potentielle à leurs environnements respectifs, similaire à la différenciation observée dans le contenu en anthocyanes.

Cette séparation chimique est également cohérente avec les résultats morphométriques présentés dans le chapitre précédent de cette thèse. Dans cette étude, des différences morphométriques significatives ont été identifiées entre les populations maritimes et continentales, renforçant l'idée d'une différenciation nette entre *J. turbinata* var. *montana* et *J. turbinata* var. *occidentalis*.

Adams et al. (2014) ont rapporté des résultats similaires. Leur analyse des huiles essentielles des feuilles pour 16 populations de *J. turbinata* dans son aire méditerranéenne a révélé un schéma géographique mosaïque plutôt qu'un schéma continu. Ils ont observé que les populations côtières algériennes étaient étroitement liées à celles d'Italie, de Grèce, de Sicile, de Croatie, de Turquie et de Madère, représentant ainsi le profil géographique méditerranéen. En revanche, les populations algériennes et marocaines des monts de l'Atlas forment un groupe distinct, en partie cohérent avec les résultats d'autres études, qui montrent que les populations côtières algériennes sont liées aux populations méditerranéennes centrales (Burban & Petit, 2003 ; Terrab et al., 2008 ; Linares, 2011 ; Sánchez-Gómez et al., 2018).

Ces constats suggèrent que les variations chimiques et morphométriques au sein des populations de *J. turbinata* sont influencées par des facteurs environnementaux et géographiques, soulignant l'importance de ces caractéristiques pour la taxonomie et la compréhension de la diversité au sein de cette espèce.

3.5. Conclusion

L'étude chimiotaxonomique des populations algériennes de *Juniperus turbinata* a mis en évidence une différenciation claire entre les variétés maritimes (*J. turbinata* var. *occidentalis*) et continentales (*J. turbinata* var. *montana*). Cette ségrégation est soutenue par des variations significatives dans le contenu en anthocyanes et en delphinidine. Les résultats montrent une présence notable de delphinidine dans les populations continentales et seulement des traces dans les populations maritimes, confirmant ainsi la validité de cette nomenclature proposée par Lebreton & Pérez de Paz (2001).

Les analyses spectrophotométriques et chromatographiques ont révélé que les populations côtières, caractérisées par *J. turbinata* var. *occidentalis*, présentent une teneur plus élevée en cyanidine et un contenu global en anthocyanes supérieur à celui des populations continentales, représentées par *J. turbinata* var. *montana*. En revanche, la delphinidine, bien que présente en faible quantité chez *J. turbinata* var. *occidentalis*, est significativement plus abondante chez *J. turbinata* var. *montana*.

L'analyse de l'ACP a permis de visualiser la ségrégation nette entre les populations, validant ainsi l'approche chimiotaxonomique pour la discrimination des variétés de *J. turbinata*. Les tests statistiques ont confirmé la significativité des différences observées, renforçant la robustesse des conclusions.

Les tendances observées dans cette étude sont également cohérentes avec celles rapportées concernant les huiles volatiles, où une séparation chimique distincte a été identifiée entre les populations maritimes et continentales. Cette différenciation chimique, reflétant des adaptations potentielles aux environnements respectifs des deux variétés, est en accord avec les résultats morphométriques présentés dans le chapitre précédent, soulignant la robustesse de la différenciation taxonomique entre *J. turbinata* var. *montana* et *J. turbinata* var. *occidentalis*.

En outre, les résultats obtenus concordent avec ceux d'études géographiques et chimiques antérieures, qui ont révélé des schémas géographiques mosaïques parmi les populations méditerranéennes de *J. turbinata*. Les populations algériennes, particulièrement celles des monts de l'Atlas, forment un groupe distinct, soulignant

encore une fois l'influence des facteurs environnementaux et géographiques sur la diversité chimique et morphométrique au sein de cette espèce.

En conclusion, cette étude contribue à une meilleure compréhension de la diversité chimique au sein de *J. turbinata* et démontre l'efficacité des approches chimiotauxonomiques pour la classification taxonomique. Elle fournit des preuves solides pour la reconnaissance des variétés *J. turbinata* var. *occidentalis* et *J. turbinata* var. *montana*, enrichissant ainsi les connaissances sur la distribution géographique et les adaptations écologiques de cette espèce.

Le chapitre suivant explorera les corrélations entre les variables chimiques et morphométriques afin de mieux comprendre les relations entre les caractéristiques chimiques et les adaptations morphologiques des différentes populations de *J. turbinata*. Cette approche intégrative permettra de déterminer comment les variations chimiques influencent les traits morphométriques et vice versa, offrant ainsi une vision plus holistique de la systématique et la diversité de cette espèce. En analysant les interactions entre les données chimiques et morphométriques, nous espérons dévoiler des patterns sous-jacents de différenciation et d'adaptation, renforçant ainsi nos connaissances sur la taxonomie et l'écologie de *J. turbinata*.

CHAPITRE 4

**TAXONOMIE PAR UNE
APPROCHE COMBINEE**

Chapitre 4

Taxonomie par une approche combinée

4.1. Introduction

La taxonomie des Cupressaceae, et en particulier des genres complexes comme *Juniperus*, pose un défi en raison des variations intraspécifiques et des convergences morphologiques qui rendent la distinction entre espèces étroitement apparentées difficile (Farjon, 2005 ; Adams, 2014 ; Mazur, 2021). Les résultats morphométriques présentés au deuxième chapitre ont révélé des différences significatives entre les populations maritimes et continentales de *Juniperus turbinata*. Par ailleurs, les analyses phytochimiques, notamment la teneur en anthocyanes discutée au troisième chapitre, ont permis d'établir une distinction chimiotaxonomique entre la population maritime, désignée comme *J. turbinata* var. *occidentalis*, et la population continentale, *J. turbinata* var. *montana*. Cependant, la population de Djelfa, bien que continentale, a été regroupée avec *J. turbinata* var. *occidentalis*, ce qui introduit une ambiguïté. Cette situation souligne la nécessité d'une approche combinée pour obtenir une classification plus précise et robuste de cette espèce.

L'intégration des données morphologiques et phytochimiques dans une analyse multidimensionnelle permet de confirmer les distinctions observées et de révéler des relations subtiles entre les composés chimiques et les caractéristiques morphologiques. Cette approche est d'autant plus pertinente dans le contexte de la taxonomie des *Juniperus* (Lebreton et Pérez de Paz, 2001 ; Farjon 2005 ; Adams et al., 2014) où les méthodes traditionnelles peuvent échouer à capturer la complexité des variations au sein des populations.

Lebreton & Rivera. (1988) et Lebreton & Pérez de Paz (2001), ont été les premiers à appliquer une combinaison de méthodes morphologiques et chimiques pour l'espèce *J. phoenicea* s.l., démontrant ainsi l'efficacité de cette approche pour une classification plus fine. Cependant, leur inclusion de critères tels que le poids

des galbules n'a pas toujours été utile pour distinguer les taxons, soulignant la nécessité d'une sélection judicieuse des variables à analyser. Leur travail a mis en évidence la capacité de la combinaison des données morphologiques et chimiques à clarifier les ambiguïtés taxonomiques et à fournir des insights sur la systématique et l'écologie des espèces étudiées.

Dans ce chapitre, nous adoptons une approche combinée pour corrélérer les variables chimiques et morphométriques de *J. turbinata*. Les avantages de cette méthode sont multiples :

1. Évaluation plus robuste de la diversité : En intégrant des données issues de différentes disciplines, nous pouvons mieux évaluer la diversité intra- et interspécifique et ses implications taxonomiques.

2. Clarification des ambiguïtés taxonomiques : Lorsque les traits morphologiques ou chimiotaxonomique seuls ne suffisent pas à différencier les populations, la combinaison de ces deux approches peuvent apporter des clarifications essentielles.

3. Compréhension des mécanismes d'adaptation : En corrélant les composés chimiques avec les traits morphologiques, nous pouvons mieux comprendre comment l'espèce s'adaptent à son environnement.

Les populations de *J. turbinata* présentent une grande diversité chimique et morphométrique, influencée par divers facteurs environnementaux et géographiques. En combinant les analyses chimiques, telles que la teneur en anthocyanes avec des mesures morphométriques précises, nous espérons identifier des schémas de différenciation qui peuvent échapper à une approche unidimensionnelle. Des études antérieures ont montré que les variations chimiques peuvent refléter des adaptations écologiques spécifiques, soulignant l'importance d'intégrer ces données pour une compréhension complète de la taxonomie des populations de *J. turbinata*. (Adams et al, 2013 ; Adams, 2014)

Nous utiliserons des méthodes statistiques pour analyser les corrélations entre les variables chimiques et morphométriques, cherchant à déterminer comment ces deux types de données interagissent et se complètent pour offrir une vue d'ensemble plus détaillée et nuancée de la diversité taxonomique. Les résultats obtenus pourront non seulement améliorer notre compréhension de la classification et de l'adaptation de l'espèce, mais aussi fournir des insights précieux pour la conservation et la gestion des populations de *J. turbinata* dans leurs habitats naturels.

En conclusion, l'intégration des approches morphologiques et phytochimiques représente une stratégie puissante pour surmonter les défis taxonomiques chez les Cupressaceae. En exploitant les informations complémentaires fournies par ces deux approches, nous pouvons élaborer une classification plus précise et informative de l'espèce.

4.2. Matériel et méthode

Les populations de *J. turbinata* étudiées dans les chapitres précédents ont été analysées avec une approche combinée intégrant les données des teneurs en anthocyanes et les données morphométriques. Les variables biochimiques et morphométriques recueillies ont été soumises à une Analyse en Composantes Principales (ACP) pour identifier les schémas de variation et de différenciation parmi les différentes populations. La répartition géographique des populations étudiées est illustrée dans la Figure 4.1.

Les tests de Spearman-Rank et les coefficients de corrélation de Pearson ont été utilisés pour analyser les relations potentielles entre les caractéristiques morphologiques. Ces méthodes ont permis d'identifier les influences mutuelles entre les traits et d'éliminer les variables redondantes susceptibles de fausser les analyses multidimensionnelles (Dagnelie, 1975).

L'analyse en composantes principales (ACP) a été utilisée pour réduire la dimensionnalité des données combinées des caractéristiques chimiques et morphométriques. Cette méthode a permis d'identifier les schémas géographiques de la variabilité, d'évaluer l'influence et les corrélations entre ces variables, ainsi que de clarifier les différences entre les populations étudiées (Kassambara, 2017b). Les valeurs moyennes des caractéristiques chimiques et morphométriques des variétés *J. turbinata* var. *occidentalis* et *J. turbinata* var. *montana* ont été analysées en premier lieu pour les neuf populations. Ensuite, un deuxième ACP a été réalisée sur un échantillon de 50 individus de *J. turbinata*, prélevés lors de la même récolte utilisée pour les analyses phytochimiques et morphométriques.

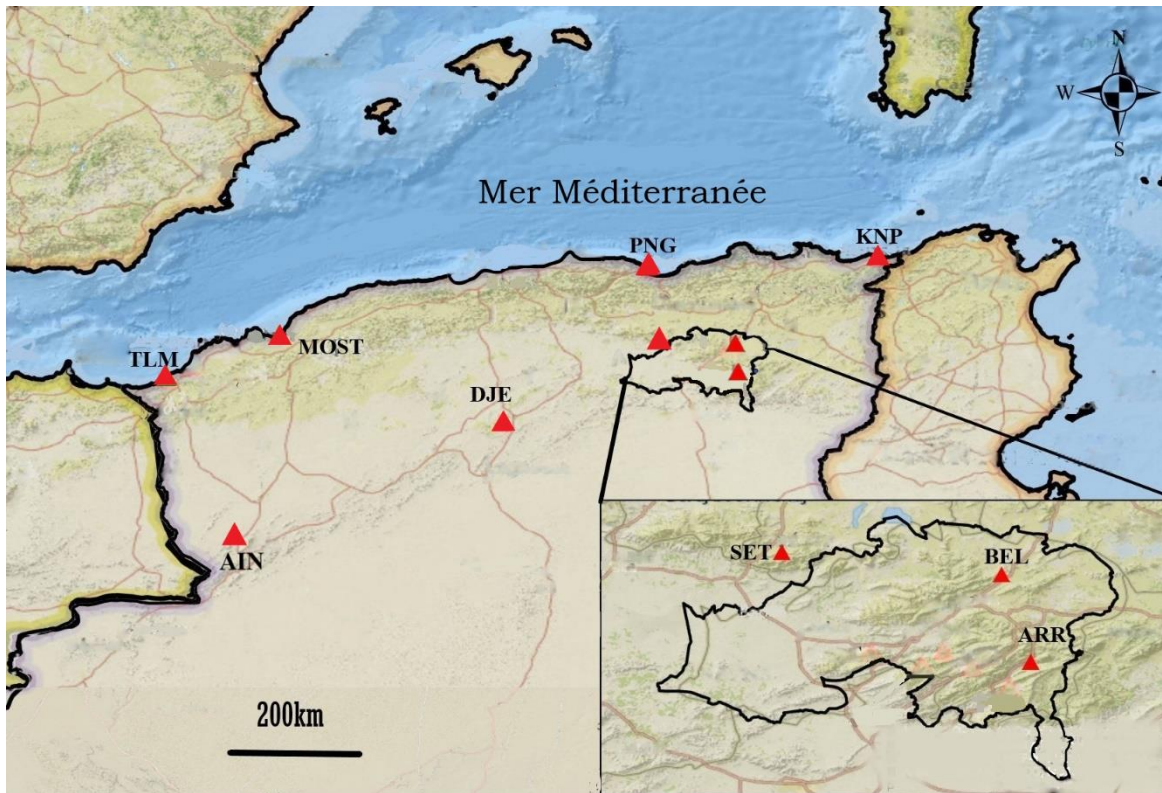


Figure 4.1. Les positions géographiques des populations de *Juniperus turbinata* analysé par une approche chimiotaxonomique et morphométrique échantillonné dans son aire de distribution en Algérie

Une Classification Hiérarchique sur les Composantes Principales (HCPC) a été réalisée pour synthétiser les résultats de l'ACP, permettant ainsi de distinguer les différentes variétés et d'identifier les regroupements au sein de la population ainsi que les modèles géographiques associés (Kassambara, 2017a). Ces analyses ont été effectuées à l'aide du logiciel R version 4.1.0, en utilisant les packages Rcommander et FactoMineR

4.3. Résultats et Discussion

Les résultats des tests de corrélation (Tableau A6) révèlent une corrélation positive significative entre la longueur des galbules (LC) et la teneur globale en anthocyanes (T) ($r = 0,65$). De plus, une forte corrélation positive a été observée

entre la forme des galbules (LC/DC) et la teneur en cyanidine ($r = 0,67$). Par ailleurs, une corrélation négative marquée a été identifiée entre les variables décrivant la forme des graines et des galbules (LC/DC, LG/GL) et les teneurs relatives et absolues de la delphinidine.

L'absorbance a été retirée des analyses multidimensionnelles en raison de sa redondance avec la teneur globale en anthocyanes (T). De même, le ratio LC/CL a été exclu en raison de sa redondance avec LC/DL, et la variable CL a été retirée en raison de sa redondance avec DC. D'autres variables non discriminantes ont également été écartées pour éviter les interférences dans les résultats analytiques (Figure 4.3).

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) a été réalisée en utilisant les moyennes des caractéristiques morphologiques et phytochimiques des populations de *J. turbinata*. Les résultats de l'ACP sont représentés par deux graphiques principaux. Le premier graphique (Figure 4.2) montre la distribution des populations sur les deux premières composantes principales, qui expliquent ensemble 79,73 % de la variance totale. Le deuxième graphique (Figure 4.3) illustre les contributions des variables morphologiques et phytochimiques à ces deux composantes, représentées par des flèches indiquant leur influence sur la structure observée dans le premier graphique.

Le premier axe, expliquant 52,29 % de la variation totale, est fortement corrélé positivement avec les teneurs absolues et relatives en delphinidine et négativement avec les teneurs relatives en cyanidine, ainsi qu'avec les ratios de forme des graines et des galbules (LC/DC et LG/GL). Cette forte corrélation suggère que la présence de delphinidine et la morphologie spécifique des cônes sont des facteurs déterminants dans la différenciation des populations. Le deuxième axe, représentant 27,44 % de la variation totale, est principalement associé à la longueur des cônes et des graines (LC et LG) ainsi qu'à la teneur absolue en anthocyanes (T). Cette composante met en lumière l'importance de la taille des graines et des galbules, et de la concentration (T) pour la distinction entre les populations.

Les populations étudiées sont représentées par des points de couleur, chacun correspondant à un groupe géographique distinct. On observe une tendance nette au regroupement des populations maritimes dans le quadrant gauche et des

populations de montagne de l'Atlas dans le quadrant droit, ce qui révèle une séparation claire entre les populations côtières et continentales.

Les variables les plus déterminantes dans la séparation entre les populations maritimes et continentales sont principalement liées à la morphologie des cônes et aux concentrations en composés chimiques. Cela indique que les différences observées entre les populations de *J. turbinata* sont largement dues à ces caractéristiques, renforçant l'idée d'une distinction taxonomique basée sur des critères morphologiques et chimiques.

Le premier groupe, qui inclut les populations continentales (ARR, BEL, AIN, et SET) désignées comme *J. turbinata* var. *montana*, se caractérise par la présence de delphinidine dans les feuilles, un nombre supérieur de feuilles par rameau (NF), un nombre plus élevé de graines par galbule (NGC), et un plus grand nombre d'écailles par cône (NEC). Le deuxième groupe, comprenant les populations maritimes (MOST, TLM, GNP, et KNP), ainsi que la population de Djelfa, identifiée comme *J. turbinata* var. *occidentalis*, se distingue par des galbules plus turbinés (LC/DC), l'absence de delphinidine dans les feuilles, et des teneurs élevées en cyanidine et en anthocyanes globales (T).

Enfin, le deuxième graphique de l'ACP (Figure 4.3) met en évidence des corrélations significatives entre les variables morphologiques et phytochimiques. On observe des associations positives entre la longueur des cônes et le diamètre des branches avec certaines variables phytochimiques, telles que la concentration en anthocyanes, ainsi qu'entre la forme des galbules et la teneur en cyanidine. De plus, la présence de delphinidine et le nombre de graines par galbule montrent une corrélation notable. Ces résultats suggèrent que certaines caractéristiques morphologiques sont liées à des profils phytochimiques spécifiques, indiquant une différenciation taxonomique distincte au sein des populations de *J. turbinata*.

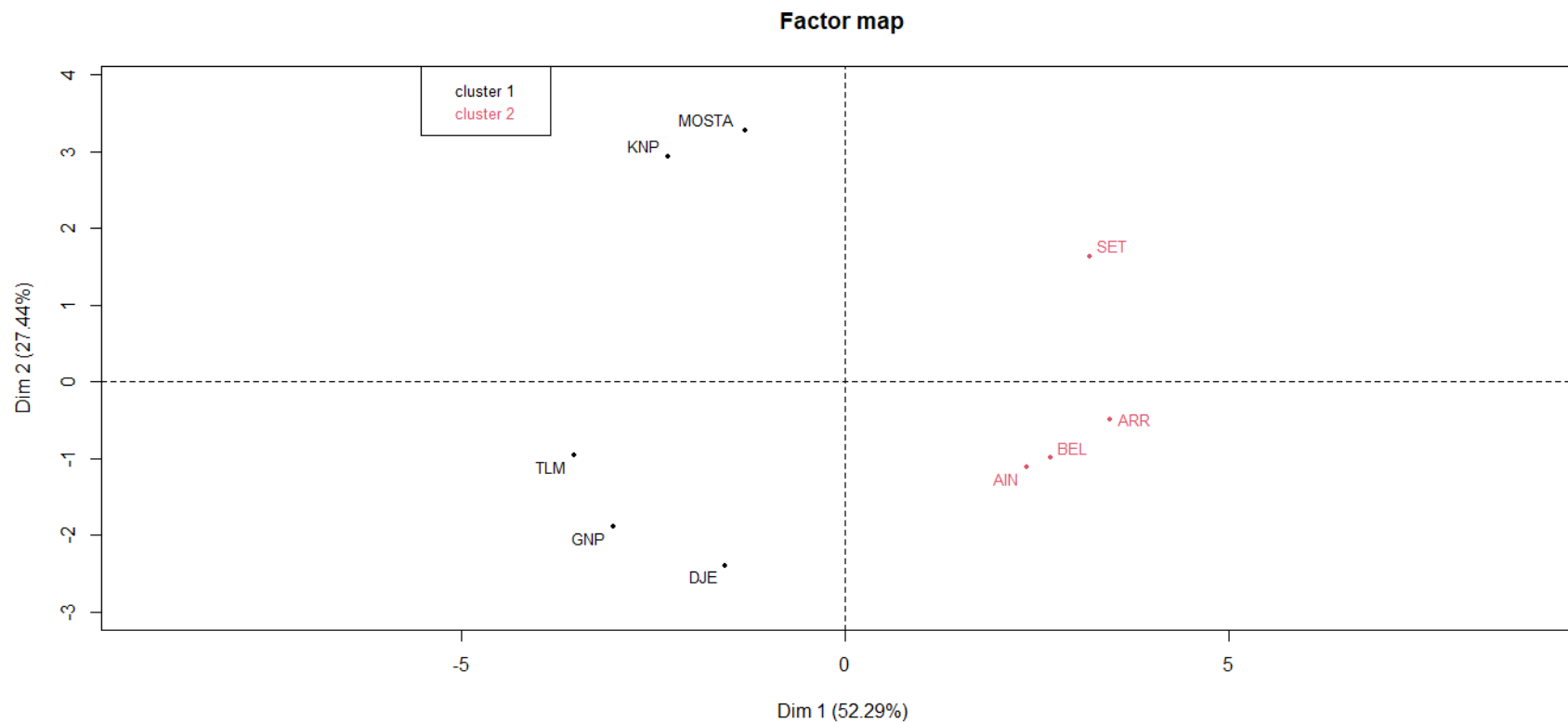


Figure .4.2. Résultats de l'ACP entre neuf populations Algériennes de *Juniperus turbinta* en utilisant la combinaison entre les variables morphologique et phytochimiques

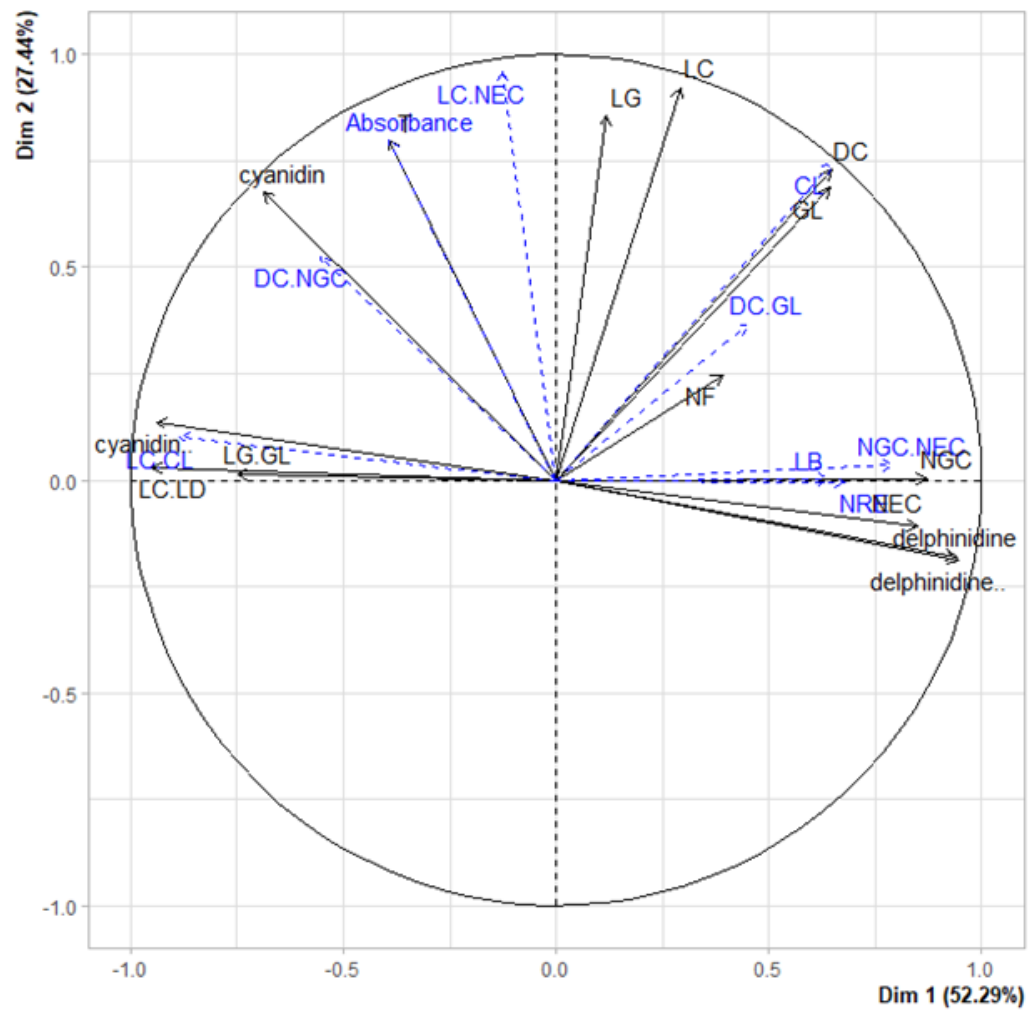


Figure.4.3. Cercle de corrélation de l'ACP entre neuf populations Algériennes de *Juniperus turbinata* en utilisant la combinaison entre les variables morphologique et phytochimiques

Le dendrogramme généré à partir de l'analyse de regroupement des populations de *J. turbinata* (Figure 4.4) illustre la similarité ou la dissimilarité entre les différentes populations en fonction de leurs caractéristiques morphologiques et phytochimiques. Les populations sont regroupées en fonction de leur proximité dans l'espace multidimensionnel des variables étudiées. Les branches du dendrogramme représentent les liens de similarité entre les populations, tandis que la longueur des branches indique le niveau de dissimilarité entre les groupes.

On observe deux grands clusters principaux dans le dendrogramme, correspondant aux populations maritimes et continentales de *J. turbinata*. Les populations maritimes forment un groupe distinct, regroupant les populations côtières dans des sous-clusters plus spécifiques. De même, les populations de montagne de l'Atlas se regroupent également dans un cluster distinct. Cette organisation hiérarchique reflète la variation géographique et écologique des populations étudiées, avec des groupes distincts correspondant à des environnements et des conditions climatiques spécifiques.

En conclusion, le dendrogramme fournit une visualisation informative de la structure des populations de *J. turbinata*, mettant en évidence les relations de similarité et de dissimilarité entre les populations en fonction de leurs caractéristiques morphologiques et phytochimiques.

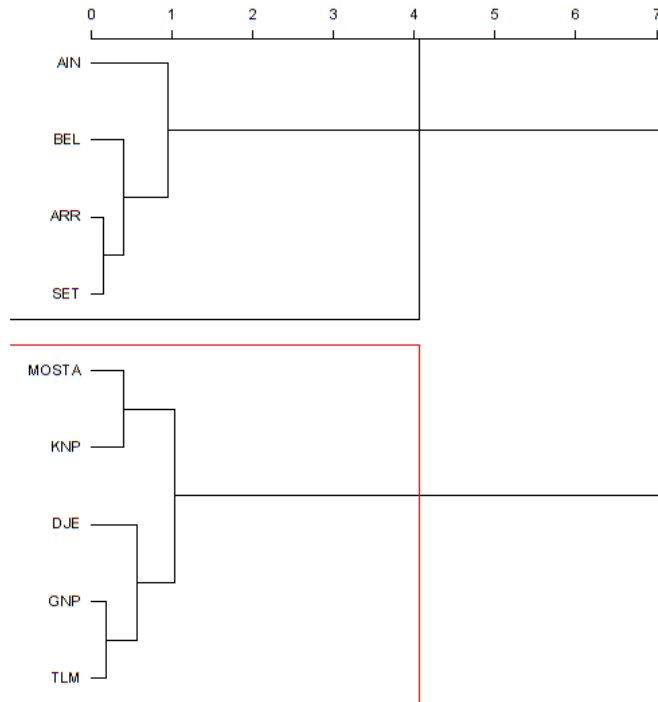


Figure 4.4. Dendrogramme des neuf populations de *Juniperus turbianta* analysée par la combinaison des variables morphologique et chimiotaxonomique

La population de Djelfa présente une particularité intrigante : bien qu'elle soit située dans une région continentale, elle partage des caractéristiques phytochimiques similaires à celles des populations maritimes. Cette ambiguïté a soulevé des questions quant à la classification de cette population, justifiant une analyse plus approfondie.

Pour mieux comprendre cette situation, une deuxième Analyse en Composantes Principales (ACP) a été effectuée (Figure 4.5) sur un échantillon de 50 individus, où les données morphométriques et phytochimiques ont été recueillies sur les mêmes individus, contrairement à la première ACP qui se basait sur les moyennes des populations. Cette méthode a permis de vérifier si les caractéristiques de la population de Djelfa, qui la rapprochaient des populations maritimes, étaient également cohérentes au niveau individuel, et non seulement au niveau des moyennes.

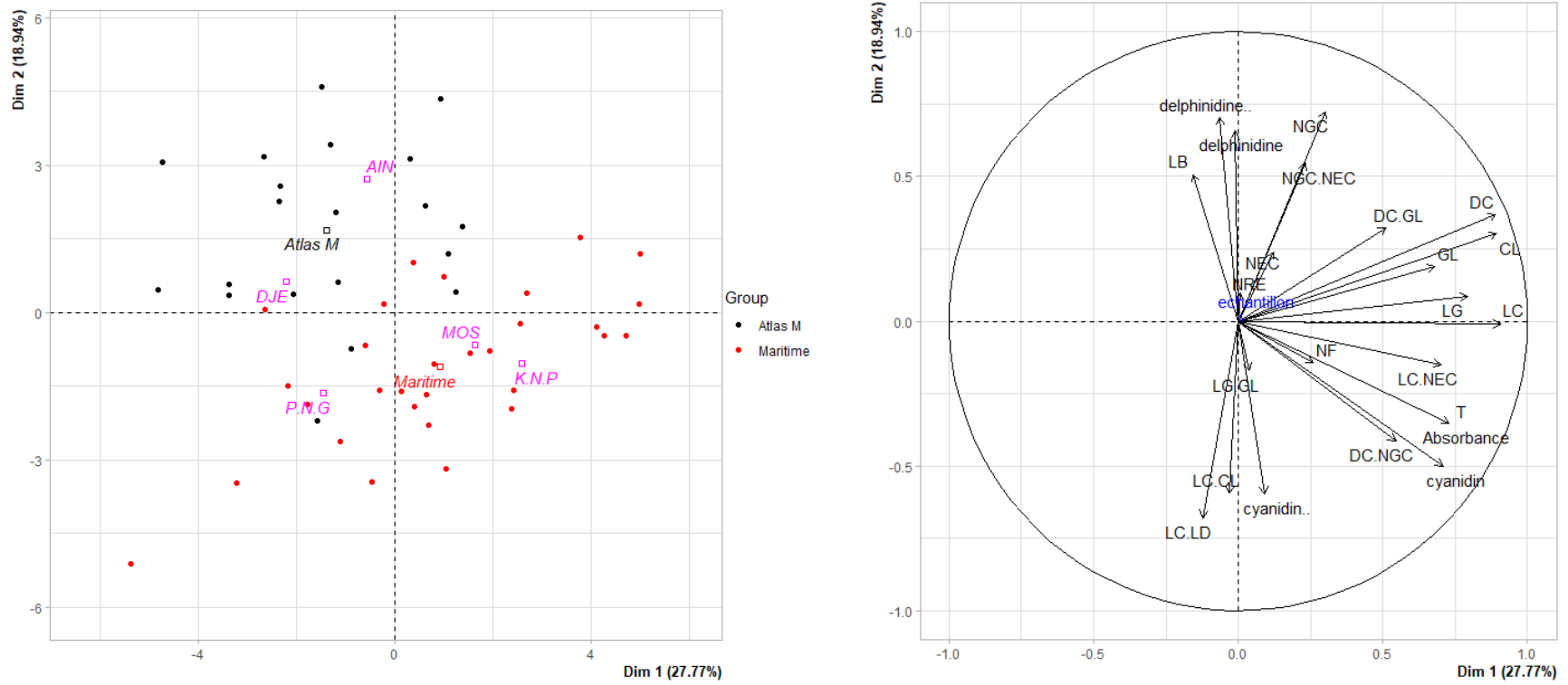


Figure 4.5. ACP des 50 individus de *Juniperus turbinata* analysée par la combinaison des approches morphométrique et chimiotoxonomique

Le premier graphique de cette ACP (Figure 4.5) montre la distribution des individus sur les deux premières composantes principales, expliquant ensemble 46,71 % de la variance totale. Les individus sont classés selon leur origine géographique, avec les populations maritimes (*J. turbinata* var. *occidentalis*) en rouge et les populations de montagne de l'Atlas (*J. turbinata* var. *montana*) en noir. Une séparation nette entre les deux groupes est observée, suggérant des différences morphologiques et phytochimiques significatives entre les populations côtières et continentales. De manière notable, les individus de la population de Djelfa se regroupent désormais avec les populations continentales, dissipant ainsi l'anomalie observée précédemment et permettant une classification taxonomique plus précise de cette population.

La population de Djelfa, initialement considérée comme une anomalie en raison de ses caractéristiques phytochimiques proches des populations maritimes, a été réévaluée grâce à une deuxième Analyse en Composantes Principales (ACP) basée sur un échantillon de 50 individus. Contrairement à la première ACP, qui se fondait sur les moyennes des populations, cette analyse a permis d'examiner les données morphométriques et phytochimiques au niveau individuel. Les résultats ont révélé que, contrairement aux conclusions initiales, les individus de la population de Djelfa se regroupent désormais avec les populations continentales, dissipant ainsi l'ambiguïté précédemment observée. Cette clarification a permis d'affiner la classification taxonomique de la population de Djelfa, confirmant son appartenance aux populations continentales marqué come *J. turbinata* var. *montana*.

4.4. Conclusion

L'intégration des données morphométriques et phytochimiques des populations de *J. turbinata* en Algérie a permis de révéler des distinctions taxonomiques claires entre les différentes populations étudiées. Les analyses en composantes principales (ACP) ont montré une séparation nette entre les populations côtières (*J. turbinata* var. *occidentalis*) et continentales (*J. turbinata* var. *montana*), confirmant ainsi l'importance des caractéristiques morphologiques et chimiques dans la différenciation de ces groupes.

Cependant, la population de Djelfa a initialement présenté une anomalie intrigante en partageant des caractéristiques phytochimiques similaires à celles des populations maritimes, malgré sa localisation continentale. Cette ambiguïté a

conduit à la réalisation d'une deuxième ACP, basée sur un échantillon de 50 individus, où les données morphométriques et phytochimiques ont été recueillies sur les mêmes spécimens. Cette approche plus fine a permis de lever l'ambiguïté, en montrant que la population de Djelfa se regroupe finalement avec les populations continentales, conformément à sa géographie. Ce résultat souligne l'importance d'une analyse détaillée au niveau individuel pour une classification taxonomique précise.

Sur la base de ces analyses, une clé dichotomique est proposée pour différencier les populations de *J. turbinata* en Algérie :

1. Galbules turbinés, teneur élevée en cyanidine, absence de delphinidine

→ *J. turbinata* var. *occidentalis* (populations maritimes : MOST, TLM, GNP, KNP)

2. Galbules moins turbinés, présence de delphinidine, nombre supérieur de feuilles et de graines par galbule

→ *J. turbinata* var. *montana* (populations continentales : ARR, BEL, AIN, SET)

Cette clé taxonomique propose une différenciation plus robuste des populations de *J. turbinata* en Algérie, tenant compte des variations géographiques et écologiques, tout en intégrant les caractéristiques morphologiques et phytochimiques. Les résultats obtenus enrichissent notre compréhension de la systématique du genre *Juniperus* et fournissent des bases solides pour des études futures sur la conservation et la gestion de ces populations dans leur habitat naturel.

Conclusion générale

Cette thèse a exploré en profondeur la taxonomie et la systématique du complexe *Juniperus phoenicea* en Algérie, avec un accent particulier sur *Juniperus turbinata*. Ces investigations ont permis de mettre en lumière la diversité morphologique et phytochimique des populations de cette espèce, révélant des distinctions significatives qui ont des implications taxonomiques directes.

Premièrement, dès le premier chapitre, l'existence de *Juniperus turbinata* en Algérie a été clairement établie, contrairement à *Juniperus phoenicea* s.s. La synthèse bibliographique a révélé la complexité taxonomique du genre *Juniperus*, notamment au sein de la section *Sabina*. Un manque de consensus concernant la distinction entre *J. phoenicea* et *J. turbinata* en Algérie a été constaté, accompagné d'une confusion dans plusieurs ouvrages de référence, dont la Flore de Quézel et Santa (1962-1963), qui n'a pas mentionné *J. turbinata*, probablement pour éviter de surcharger le texte avec des taxons considérés à l'époque comme de rang inférieur. Cette approche a contribué à une compréhension floue de la répartition géographique de l'espèce en Algérie. Une révision taxonomique s'imposait donc pour clarifier cette situation, et la nomenclature adoptée par René Maire (1952) pour *J. turbinata* a été retenue comme référence.

Dans le cadre de cette étude, la complexité de la classification taxonomique de *Juniperus phoenicea* au sein de la section *Sabina* a été examinée en détail. Les défis rencontrés dans l'application des critères phylogénétiques à cette espèce sont principalement attribuables à l'absence de données fossiles dans l'hémisphère oriental concernant ses ancêtres communs avec les genévriers à feuilles dentelées d'Amérique du Nord. Cette situation met en évidence la nécessité d'adopter une approche intégrative, qui prenne en compte à la fois les critères morphologiques et ontogénétiques, afin d'atteindre une classification plus précise et complète de cette espèce. En considérant *J. phoenicea* comme un groupe distinct au sein de la section *Sabina*, caractérisé par ses feuilles dentelées et multigraines de l'hémisphère oriental, il devient possible de contribuer à une meilleure compréhension de la systématique des genévriers dans les différentes régions du monde.

L'analyse morphométrique menée dans le deuxième chapitre a confirmé cette distinction initiale, en mettant en évidence des différences significatives entre les populations maritimes et continentales de *J. turbinata*. Ces résultats ont permis de

classer les populations maritimes sous le statut de *J. turbinata* var. *occidentalis* et les populations continentales sous celui de *J. turbinata* var. *montana*. Les résultats morphométriques, tels que les dimensions des galbules, des graines et des feuilles, ainsi que les formes des branches, se sont avérés être des critères fiables pour distinguer ces deux variétés.

L'analyse chimiotaxonomique approfondie, discutée dans les troisième et quatrième chapitres, a renforcé cette classification en révélant des distinctions chimiques nettes entre les deux variétés. Les teneurs en anthocyanes ont permis de corroborer les résultats morphométriques, en particulier pour la population de Djelfa, qui, bien que continentale, présentait initialement des similitudes chimiques avec les populations maritimes. Une seconde analyse en composantes principales (ACP), plus détaillée et basée sur des données recueillies au niveau individuel, a finalement permis de lever cette ambiguïté et de confirmer l'appartenance de la population de Djelfa au groupe des populations continentales (*J. turbinata* var. *montana*).

La clé taxonomique élaborée à partir de ces résultats, intégrant à la fois les caractères morphologiques et phytochimiques, constitue une avancée significative pour la systématique du genre *Juniperus* en Algérie. Elle permet de différencier de manière précise les populations de *J. turbinata*, en tenant compte des variations géographiques et écologiques.

En conclusion, cette thèse a non seulement clarifié le statut taxonomique des populations de *Juniperus turbinata* en Algérie, mais a également démontré l'importance d'une approche intégrative combinant morphométrie et chimie pour surmonter les défis de la taxonomie des taxons complexes. Les aperçus fournis par ces travaux offrent des perspectives nouvelles pour la conservation et la gestion des populations de *Juniperus* dans leurs habitats naturels, tout en posant les bases pour des recherches futures dans le domaine de la systématique végétale.

Parmi les perspectives futures, il serait pertinent d'étendre ces recherches aux populations tunisiennes et libyennes de *J. turbinata*, afin de mieux comprendre leur relation avec les populations algériennes et méditerranéennes. De plus, la réplication des mêmes approches avec d'autres espèces du genre *Juniperus*, comme *Juniperus thurifera*, offrirait des informations supplémentaires sur la systématique et la diversification de ces taxons dans la région méditerranéenne. L'intégration des études génétiques plus poussées permettrait également de consolider les résultats obtenus et d'affiner les classifications taxonomiques au sein de ce groupe complexe.

Bibliographie

- Adams, R. P., Demeke, T. (1993). Systematic relationships in *Juniperus* based on random polymorphic DNAs (RAPDs). *Taxon* 42: 553-571.
- Adams, R. P., Barrero, A. F., & Lara, A. (1996). Comparisons of the Leaf Essential Oils of *Juniperus phoenicea*, *J. phoenicea* subsp. *eu-mediterranea* Lebr. & Thiv. and *J. phoenicea* var. *turbinata* (Guss.) Parl. *Journal of Essential Oil Research*, 8(4), 367-371.
- Adams, R. P., Pandey, N., Rezzi, S., & Casanova, J. (2002). Geographic variation in the Random Amplified Polymorphic DNAs (RAPDs) of *Juniperus phoenicea*, *J.p.* var. *canariensis*, *Jp* subsp. *eu-mediterranea*, and *Jp* var. *turbinata*. *Biochemical systematics and ecology*, 30(3), 223-229.
- Adams, R. P., & Schwarzbach, A. E. (2011). DNA barcoding a juniper: the case of the south Texas Duval county juniper and serrate junipers of North America. *Phytologia*, 93(1), 146-154.
- Adams, R. P., Boratynski, A., Arista Palmero, M., Schwarzbach, A. E., Leschner, H., Liber, Z., ... & Manolis, A. (2013). Analysis of *Juniperus phoenicea* from throughout its range in the Mediterranean using DNA sequence data from nrDNA and petN-psbM: The case for the recognition of *J. turbinata* Guss. *Phytologia*, 95(2): 202-209.
- Adams, R. P., & Schwarzbach, A. E. (2013). Phylogeny of *Juniperus* using nrDNA and four cpDNA regions. *Phytologia*, 95(2), 179-187.
- Adams, R. P. (2014). *Junipers of the world: the genus Juniperus*. Trafford Publishing.
- Adams, R. P., Arista, M., Boratynski, A., Houari, H. H., Leschner, H., Liber, Z., ... & Mataraci, T. (2014). Geographic variation in the leaf essential oil of *Juniperus turbinata* from throughout its range in the Mediterranean. *Phytologia*, 96, 149-158.
- Asensi, A., Díez-Garretas, B., & Quézel, P. (2007). Plant communities of *Juniperus turbinata* Guss. subsp. *turbinata* in the Mediterranean Region. A biogeographical, bioclimatical and syntaxonomical survey. *Phytocoenologia*, 37(3), 599.

- Arista, M., & Ortiz, P. L. (1995). *Juniperus phoenicea* subsp. *turbinata* en la Sierra de Grazalema. *Acta Botanica Malacitana* 20: 303-304
- Arista, M., Ortiz, P. L., & Talavera, S. (1997). Reproductive isolation of two sympatric subspecies of *Juniperus phoenicea* (Cupressaceae) in southern Spain. *Plant Systematics and Evolution*, 208(3), 225-237.
- Angel romo, małgorzata mazur, montserrat salvà-catarineu3 et adam boratyński, (2019). A re-evaluated taxon: Genetic values and morphological characters support the recognition of the Canary Island juniper of the phoenicea group at a specific level,
- Amaral Franco, J. (1986). *Juniperus* L. In S. Castroviejo, M. Lainz, G. Lopez Gonzalez, P. Montserrat, F. Munoz Garmendia, J. Paiva, & L. Villar (Eds.), *Flora iberica* (Vol. 1, pp. 181–188). Madrid: Real Jardın Botanico.
- Amaral Franco do, J. (1993). *Juniperus* L. In: Tutin et al. (eds), *Flora Europaea*, second edition, vol. 1, pp. 46-48.
- Battandier, J. A., & Trabut, L. (1904). *Flore analytique & synoptique de l'Algérie & de la Tunisie*. Giralt.
- Bekhechi, C., Atik Bekkara, F., Consiglio, D., Bighelli, A., & Tomi, F. (2012). Chemical Variability of the Essential Oil of *Juniperus phoenicea* var. *turbinata* from Algeria. *Chemistry & biodiversity*, 9(12), 2742-2753.
- Bennett, K. D., Tzedakis, P. C., & Willis, K. J. (1991). Quaternary refugia of north European trees. *Journal of biogeography*, 103-115.
- Bonnet, E., & Barratte, G. (1896). *Catalogue raisonné des plantes vasculaires de la Tunisie*. Inprimerie nationale.
- Boratyńska, K., & Boratyński, A. (2007). Taxonomic differences among closely related pines *Pinus sylvestris*, *P. mugo*, *P. uncinata*, *P. rotundata* and *P. uliginosa* as revealed in needle sclerenchyma cells. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 202(7), 555-569.
- Boratyńska, K., Dzialuk, A., Lewandowski, A., Marcysiak, K., Jasinska, A. K., Sobierajska, K., ... & Boratynski, A. (2014). Geographic distribution of quantitative traits variation and genetic variability in natural populations of *Pinus mugo* in Central Europe. *Dendrobiology*, 72.
- Boratyńska, K., Jasińska, A. K., & Boratyński, A. (2015). Taxonomic and geographic differentiation of *Pinus mugo* complex on the needle characteristics. *Systematics and Biodiversity*, 13(6), 581-595.

- Boratyński, A. & Browicz, K. 1982. *Juniperus drupacea* in Greece. *Arboretum Kórnickie* 27: 3–16.
- Boratyński, A., Lewandowski, A., Boratyńska, K., Montserrat, J. M., & Romo, A. (2009). High level of genetic differentiation of *Juniperus phoenicea* (Cupressaceae) in the Mediterranean region: geographic implications. *Plant Systematics and Evolution*, 277, 163-172.
- Boratyński, A., Jasińska, A. K., Marcysiak, K., Mazur, M., Romo, A. M., Boratyńska, K., ... & Iszkuło, G. (2013). Morphological differentiation supports the genetic pattern of the geographic structure of *Juniperus thurifera* (Cupressaceae). *Plant Systematics and Evolution*, 299, 773-784.
- Boratyński, A., Wachowiak, W., Dering, M., Krystyna, B., Katarzyna, S., Sobierajska, K., ... & Didukh, Y. (2014). The biogeography and genetic relationships of *Juniperus oxycedrus* and related taxa from the Mediterranean and Macaronesian regions. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 174(4), 637-653.
- Blanca G., Cabezudo B., Cueto M., Salazar C. & Morales Torres C. (2011, eds.). *Flora Vascular de Andalucía Oriental*. Universidades de Almeria, Granada, Jaen y Malaga, Granada.
- Boissier, E. (1884). *Flora orientalis*. Рипол Классик.
- Briquet, J., & de Litardière, R. (1910). *Prodrome de la flore corse : comprenant les résultats botaniques de six [ie sept] voyages exécutés en Corse sous les auspices de Emile Burnat (Vol. 1)*. Georg.
- Browicz, K. (1982). Chorology of trees and shrubs in South-West Asia and adjacent regions. Vol. 1. *Chorology of trees and shrubs in South-West Asia and adjacent regions. Vol. 1*.
- Burban, C., & Petit, R. J. (2003). Phylogeography of maritime pine inferred with organelle markers having contrasted inheritance. *Molecular Ecology*, 12(6), 1487-1495.
- Businský, R. (1999). Taxonomická studie agregátu *Pinus mugo* a jeho hybridních populace. *Acta Průhoniana* 68: 123–144.
- Caudullo, G., & de Rigo, D. (2016). *Juniperus phoenicea* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. *European Atlas of Forest Tree Species*, 106.

- Carrión, J. S., Yll, E. I., Walker, M. J., Legaz, A. J., Chaín, C., & López, A. (2003). Glacial refugia of temperate, Mediterranean and Ibero-North African flora in south-eastern Spain: new evidence from cave pollen at two Neanderthal man sites. *Global Ecology and Biogeography*, 12(2), 119-129.
- Christensen, K. L. (1987). Taxonomic revision of the *Pinus mugo* complex and *P. rhaetica* (*P. mugo sylvestris*) (*Pinaceae*). *Nordic Journal of Botany*, 7(4), 383-408.
- Cuénod, A., Pottier-Alapetite, G., & Labre, A. (1954). Flore analytique et synoptique de Tunisie : Cryptogames vasculaires. Gymnospermes et Monocotylédones, SEFAN, Tunis.
- Coste, H. (1906). Flore descriptive et illustrée de la France, de la Corse, et des contrées limitrophes (Vol. 3). P. Klincksieck.
- Coquillat, M. (1947). P. Fournier. —Les Quatre Flores de la France. Paul Lechevalier, Paris, 1946. Publications de la Société Linnéenne de Lyon, 16(6), 128-128.
- Dagnelie, P. (1975). Théorie et méthodes statistiques. Applications agronomiques. 1, La statistique descriptive et les fondements de l'inférence statistique. Presses Agronomiques de Gembloux.
- Douaihy, B., Sobierajska, K., Jasińska, A. K., Boratyńska, K., Ok, T., Romo, A., ... & Boratyński, A. (2012). Morphological versus molecular markers to describe variability in *Juniperus excelsa* subsp. *excelsa* (*Cupressaceae*). *AoB Plants*, 2012.
- Dobignard, A., & Chatelain, C. (2010). Index synonymique de la flore d'Afrique du Nord Volume 1 : Pteridophyta, Gymnospermae, Monocotyledonae. *Ville de Genève, Éditions Des Conservatoire Et Jardin Botaniques, Genève*.
- El-Bana, M., Shaltout, K., Khalafallah, A., & Mosallam, H. (2010). Ecological status of the Mediterranean *Juniperus phoenicea* L. relicts in the desert mountains of North Sinai, Egypt. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 205(3), 171-178.
- Fiori, A. 1923-1929. Nuova flora analitica d'Italia. Tipographia del Seminario, Padova, 2.
- Farjon, A. (1998). World checklist and bibliography of conifers. The Royal Botanic Gardens, Kew.

- Farjon A., Ortiz Garcia S. 2002. Towards the minimal conifer cone: ontogeny and trends in *Cupressus*, *Juniperus* and *Microbiota* (Cupressaceae s. str.). *Bot. Jahrb. Syst.* 124 (2): 129-147.
- Farjon, A., & Ortiz Garcia, S. (2003). Cone and ovule development in *Cunninghamia* and *Taiwania* (Cupressaceae sensu lato) and its significance for conifer evolution. *American Journal of Botany*, 90(1), 8-16.
- Farjon, A. (2005). Monograph of Cupressaceae and sciadopitys. Royal Botanic Gardens, Kew.
- Farjon, A. (2010). *A Handbook of the World's Conifers (2 vols.)* (Vol. 1). Brill.
- Farjon, A. & Filer, D. (2013) An Atlas of the World's Conifers. An Analysis of their Distribution, Biogeography, Diversity and Conservation Status. Brill Academic Publishers, Leiden, The Netherlands. 512 pp.
- Jagel, A., & Dörken, V. M. (2015). Morphology and morphogenesis of the seed cones of the Cupressaceae-part II Cupressoideae. *Bulletin CCP*, 4(2), 51.
- Jordano, P., 1991: Gender variation and expression of monoecy in *Juniperus phoenicea* (L.)(Cupressaceae).- *Bot. Gaz.* 152: 476-485.
- Jordano, P., (1993). Geographical ecology and variation of plant-seed disperser interactions: southern Spanish junipers and frugivorous thrushes. - *Vegetatio* 107/108: 85-104.
- Hafsi Z., 2018. Étude ecobotanique et morphologique des feuilles, des surfaces épidermiques et des galbules des espèces du genre *Juniperus* L. en Algérie. Thèse de doctorat en écologie forestière, Université de Djelfa, Algérie, 174 p.
- Heimeur, N., Idrissi Hassani, L. M., & Amine Serghini, M. (2004). Les polyphénols de *Pyrus mamorensis* (Rosaceae). *Reviews in Biology and Biotechnology*, 3(1), 3742.
- Huber, H., & Wiggerman, L. (1997). Shade avoidance in the clonal herb *Trifolium fragiferum*: a field study with experimentally manipulated vegetation height. *Plant Ecology*, 130, 53-62.
- Gausson, H. (1968). Les Gymnospermes actuelles et fossiles, fascicle 10, Les Cupressacées. *Centre National de la Recherche Scientifique, Faculté des Sciences de Toulouse, Toulouse.*
- Gussone, G. (1844). *Florae Siculae Synopsis*. Tramater Neapoli, Italy.

- Kassambara, A. (2017a). Practical guide to principal component methods in R: PCA, M (CA), FAMD, MFA, HCPC, factoextra (Vol. 2). Sthda.
- Kassambara, A. (2017b). Practical guide to cluster analysis in R: Unsupervised machine learning (Vol. 1). Sthda.
- Kremer, A., Dupouey, J. L., Deans, J. D., Cottrell, J., Csaikl, U., Finkeldey, R., ... & Badeau, V. (2002). Leaf morphological differentiation between *Quercus robur* and *Quercus petraea* is stable across western European mixed oak stands. *Annals of Forest Science*, 59(7), 777-787.
- Klimko, M., Boratyńska, K., Montserrat, J. M., Didukh, Y., Romo, A., Gómez, D., ... & Boratyński, A. (2007). Morphological variation of *Juniperus oxycedrus* subsp. *oxycedrus* (Cupressaceae) in the Mediterranean region. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 202(2), 133-147.
- Kunze, G. (1846). *Chloris austro-hispanica: E collectionibus Willkommianis. Flora* (oder botanische Zeitung), Regensburg, 40, 637-638.
- Lebreton, P., Jay, M., Voirin, B., & Bouchez, M. P. (1967). Sur l'analyse qualitative et quantitative des flavonoïdes. *Chim. Anal. Fr*, 49(7), 375-383.
- Lebreton, P. (1978). Biochimie flavonique comparée de conifères du Maroc et de France. *Bull. Inst. Sci., Rabat*, (3), 155-168.
- Lebreton, P. & Thivend, S. (1981). Sur une sous-espèce du genévrier de Phénicie, *Juniperus phoenicea* L., définie à partir de critères biochimiques. *Natur. Monsp., sér. Bot.* 45, 1-12.
- Lebreton, P. (1983). Nouvelles données sur la distribution au Portugal et en Espagne des sous-espèces du genévrier de Phénicie (*Juniperus phoenicea* L.). *Agron. Lusit.*, 42, 55-62.
- Lebreton, P., Rivera, D. (1988). Analyse du taxon *Juniperus phoenicea* L. sur des bases biochimiques et biométriques. *Natur. Monsp., sér. Bot.* 53, 17-41.
- Lebreton, P. (1990). La chimiotaxonomie des Gymnospermes. Bulletin de la Société Botanique de France. *Lettres Botaniques*, 137(1), 35-46.
- Lebreton, P., Pérez de Paz, P.L. (2001). Définition du genévrier de Phénicie (*Juniperus phoenicea*), reconsidéré à ses limites biogéographiques : Méditerranée orientale (Crète et Chypre) et Atlantiques (Îles Canaries). *Bull. mens. Soc. linn. Lyon.*, 70 (4), 73-92.

- Linares, J. C. (2011). Biogeography and evolution of *Abies* (*Pinaceae*) in the Mediterranean Basin: the roles of long-term climatic change and glacial refugia. *Journal of Biogeography*, 38(4), 619-630
- Lemoine-sébastien. C. 1967. L'inflorescence femelle des *Junipereae*: Ontogenèse, structure, phylogenèse. Trav. Lab. Forest. Toulouse. Tom. 1, Vol. 7: 1-455.
- Levin, D. A. 2001. 50 years of plant speciation. In: Marcysiak, K. (2021). Biometry in plant systematics of European and Mediterranean gymnosperms, a review. *Plant and Fungal Systematics*, 66(2), 133-140.
- Maire, M. R. (1906). Contributions à l'étude de la flore mycologique de l'Afrique du Nord. Bulletin de la Société Botanique de France, 53(sup2), CLXXX-CCXV.
- Maire, R. (1926). Notice de la carte phytogéographique de l'Algérie et de la Tunisie.
- Maire, R. (1952). Flore de l'Afrique du Nord. Volume 1. Paul Lechevalier ed., p. 114-115.
- Mandin, J. P. (2013). Plasticité phénotypique de l'expression sexuelle de *Juniperus phoenicea* L. dans les gorges de l'Ardèche (France). *Ecologia Mediterranea*, 39(1), 155-168.
- Marcysiak, K. (2004). Interpopulational variability of *Pinus uncinata* Ramond ex DC. in Lam. & DC. (*Pinaceae*) cone characters. *Dendrobiology*, 51, 43-51.
- Marcysiak, K., & Boratyński, A. (2007). Contribution to the taxonomy of *Pinus uncinata* (*Pinaceae*) based on cone characters. *Plant Systematics and Evolution*, 264(1), 57-73.
- Marcysiak, K. (2012). Calculated characters of leaves are independent on environmental conditions in *Salix herbacea* (*Salicaceae*) and *Betula nana* (*Betulaceae*). *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 81(3).
- Marcysiak, K. (2021). Biometry in plant systematics of European and Mediterranean gymnosperms, a review. *Plant and Fungal Systematics*, 66(2), 133-140.
- Mazur, M., Boratynska, K., Marcysiak, K., Gómez, D., Tomaszewski, D., Didukh, J. A. K. O. V., & Boratynski, A. (2003). Morphological variability of *Juniperus phoenicea* [*Cupressaceae*] from three distant localities on Iberian Peninsula. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 72(1).

- Mazur, M., Boratynska, K., Marcysiak, K., Didukh, Y., Romo, A., Kosinski, P., & Boratynski, A. (2004). Low level of inter-population differentiation in *Juniperus excelsa* M. Bieb. (Cupressaceae). *Dendrobiology*, 52, 39-46.
- Mazur, M., Marcysiak, K., Boratynski, A., Boratynska, K., Romo, A., Montserrat, J. M., & Kosinski, P. (2005). Morphological variation of *Juniperus thurifera* L. [Cupressaceae] from four populations in South-Western Europe. *Seria Biologiczna. Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu*, 72.
- Mazur, M., Klajbor, K., Kielich, M., Sowinska, M., Romo, A., Montserrat, J. M., & Boratynski, A. (2010). Intra-specific differentiation of *Juniperus phoenicea* in the western Mediterranean region revealed in morphological multivariate analysis. *Dendrobiology*, 63.
- Mazur, M., Minissale, P., Sciandrello, S., & Boratyński, A. (2016). Morphological and ecological comparison of populations of *Juniperus turbinata* Guss. and *J. phoenicea* L. from the Mediterranean region. *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 150(2), 313-322.
- Mazur, M., Zielińska, M., Boratyńska, K., Romo, A., Salva-Catarineu, M., Marcysiak, K., & Boratyński, A. (2018). Taxonomic and geographic differentiation of *Juniperus phoenicea* agg. based on cone, seed, and needle characteristics. *Systematics and Biodiversity*, 16(5), 469-482.
- Mazur, M. (2021). Differentiation of Mediterranean species of *Juniperus* from the Sabina section as a result of their migrations. *Plant and Fungal Systematics*, 66(2), 141-154.
- Mazzoleni, S., Di Pasquale, G., Mulligan, M., Di Martino, P., & Rego, F. C. (Eds.). (2004). *Recent dynamics of the Mediterranean vegetation and landscape*. John Wiley & Sons.
- Minissale, P., & Sciandrello, S. (2013). A relic wood of *Juniperus turbinata* Guss. (Cupressaceae) in Sicily: Structural and ecological features, conservation perspectives. *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 147(1), 145-157.
- Munby, G. (1847). *Flore de l'Algérie, ou, Catalogue des plantes indigènes du royaume d'Alger*. Livres.
- Pavon, D., Vela, E., & Médail, F. (2020). Are Mediterranean trees well known?“*Juniperus turbinata*”(Cupressaceae), a common but misunderstood taxon/Les arbres de Méditerranée sont-ils bien connus?“*Juniperus*

turbinata»(Cupressaceae), un taxon commun mais incompris. *ecologia mediterranea*, 46(2), 77-104.

Petit, R. J., Aguinagalde, I., de Beaulieu, J. L., Bittkau, C., Brewer, S., Cheddadi, R., ... & Vendramin, G. G. (2003). Glacial refugia: hotspots but not melting pots of genetic diversity. *science*, 300(5625), 1563-1565.

Porter, L. J., Hrstich, L. N., & Chan, B. G. (1985). The conversion of procyanidins and prodelphinidins to cyanidin and delphinidin. *Phytochemistry*, 25(1), 223-230.

Quézel, P., & Santa, S. (1962). Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales.

Quézel, P., & Médail, F. (2003). *Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen* (Vol. 572). Paris: Elsevier.

Romo, A., Mazur, M., Salva-Catarineu, M., & Boratyński, A. (2019). A re-evaluated taxon: Genetic values and morphological characters support the recognition of the Canary Island juniper of the *phoenicea* group at a specific level. *Phytotaxa*, 406(1), 64-70.

Rouy, G. (1913). *Flore de France ou description des plantes qui croissent spontanément en France, Corse et en Alsace-Lorraine*. Vol. XIV. Soc. Sc. Nat. Charente-Inférieure ed., pp. 372-373.

Sahib, N., Boumediene, M., Abid, M., Mihamou, A., Serghini-Caid, H., Elamrani, A., ... & Addi, M. (2022). Phenotypic Comparison of Three Populations of *Juniperus turbinata* Guss. in North-Eastern Morocco. *Forests*, 13(2), 287.

Sánchez-Gómez, P., Jiménez, J. F., Cánovas, J. L., Vera, J. B., Hensen, I., & Aouissat, M. (2018). Genetic structure and phylogeography of *Juniperus phoenicea* complex throughout Mediterranean and Macaronesian regions: different stories in one. *Annals of Forest Science*, 75, 1-12.

Sękiewicz, K., Boratyńska, K., Dagher-Kharrat, M. B., Ok, T., & Boratyński, A. (2016). Taxonomic differentiation of *Cupressus sempervirens* and *C. atlantica* based on morphometric evidence. *Systematics and Biodiversity*, 14(5), 494-508.

Seneta, W., & Dolatowski, J. (2000). *Dendrologia [Dendrology]* Wydanie III – PWN, Warszawa.

Sobierajska, K., Boratyńska, K., Jasińska, A., Dering, M., Ok, T., Douaihy, B., ... & Boratyński, A. (2016). Effect of the Aegean Sea barrier between Europe and

- Asia on differentiation in *Juniperus drupacea* (Cupressaceae). *Botanical Journal of the Linnean Society*, 180(3), 365-385.
- Sneath, P. H. A. et Sokal, R. R. (1973). The principles and practice of numerical classification. *Numerical taxonomy*, 573.
- Statoua, A. (1982). Apport de la spectrométrie Raman de résonance à l'étude des anthocyanes (Doctoral dissertation).
- Takhtajan, A. (1986) Floristic Regions of the World. University of California Press, Berkeley. 522 pp.
- Terrab, A., Schönswetter, P., Talavera, S., Vela, E., & Stuessy, T. F. (2008). Range-wide phylogeography of *Juniperus thurifera* L., a presumptive keystone species of western Mediterranean vegetation during cold stages of the Pleistocene. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 48(1), 94-102.
- Vela, E., & Schäfer, P. A. (2013). Typification de *Juniperus thurifera* var. *africana* Maire, délimitation taxonomique et conséquences nomenclaturales sur le Genévrier thurifère d'Algérie. *Ecologia mediterranea*, 39(1), 69-80.
- Willkomm, M., & Lange, J. (1861). *Florae Hispanicae*. Vol. 1. Schweizerbart E., Stuttgartiae, p. 21.
- Willkomm, M. (1893). *Supplementum Prodromi Florae Hispanicae*. Schweizerbart E., Stuttgartiae, p. 4.
- Zar, J. H. (1999). *Biostatistical analysis*. Prentice-Hall.

Annex

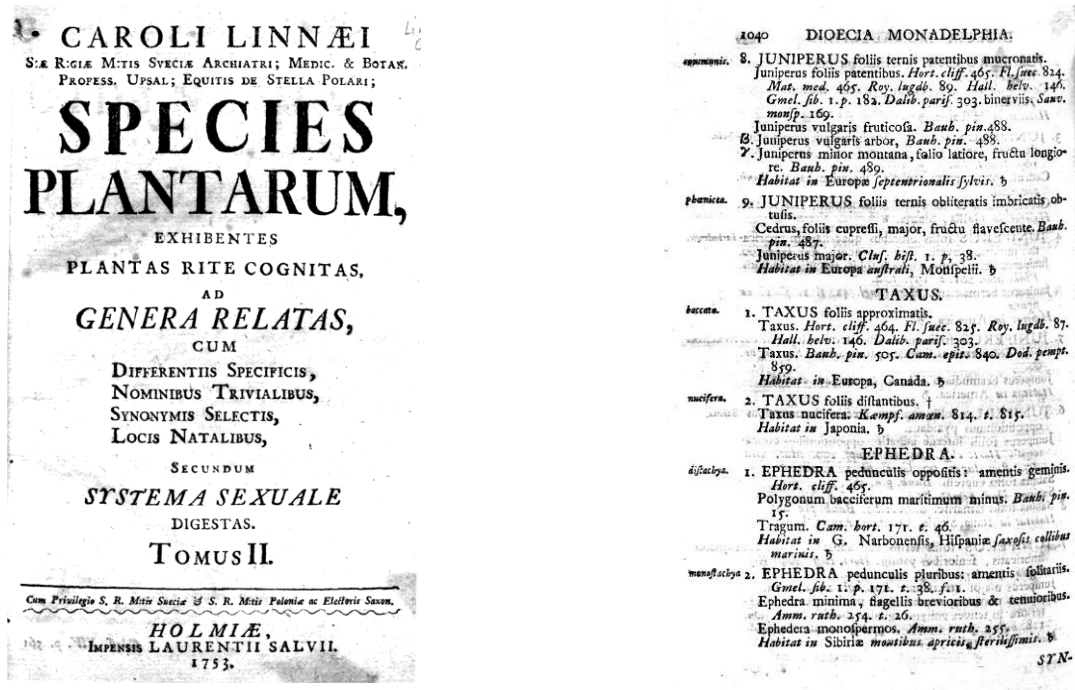


Figure A. 1. La première description de *Juniperus phoenicea* L. Par Carl Linné dans sa flore *Species Plantarum* (Linné, 1753)

1. *J. PHOENICIA*. *Lin. sp. pl.* 1471 — *Ucria H. Pan. p.* 420.
J. foliis ovatis ovalibusque obtusiusculis omnibus quadrifariam arcte imbricatis dorso foveola oblonga notatis, junioribus acutiusculis, baccis globosis.
J. Sabina. Ucria H. Pan. p. 421, non *Lin.*, ex loco — *Sabina folio Tamarisci Dioscoridis, et S. folio Cupressi. Cup. H. Cath. p.* 194.
lc. Duham. arb. ed. 2. v. 6. t. 17 — J. major Dioscoridis. Clus. hist. 1. p. 38; sed *Cedrus phoenicia* altera *Plinii et Theophrasti. Lob. ic. 2. p.* 221 minus exacte hanc nostram refert.
 In arenosis vel lapidosis maritimis, rupibusque vulcanicis calcareisve mari proximis; *Secciara, Castellammare, Montallegro, Siculiana, Terranova, Braccetto; Siracusa (Cosentini) = et in Pantellaria, Lampedusa, Linosa.*
 Novembri, Decembri. $\frac{1}{2}$
Arbusecula ramosissima, in arenosis maritimis 10 pedalis et ultra; in rupibus vero frutex humilis, ramis saepe ad saxa adpressis: ramuli graciles, filiformes, confertissimi: folia convexa, minima, non raro viridi-glaucoscentia, etiam juniora imbricata, sed illa quae amentis masculis numerosis terminalibus vix lin. longis subjecta nonnihil acutiora: baccae immaturae virentes, inde fusco-rufescentes, Pisi magnitudine, breviter pedunculatae.
Cl. Lam., Spr. alique, sed praesertim Cl. Viv. in ann. bot. 2. p. 187, magni momenti rationibus suffulti *J. lycium Lin.* ab hac non separant; sed *Cl. Reich.* adhuc ut diversas habet in *fl. germ. excurs. 2. p.* 162.

2. *J. TURBINATA*. *Guss.*

- J. foliis ovatis obtusiusculis omnibus quadrifariam arcte imbricatis dorso foveola oblonga notatis, junioribus acutiusculis approximatis, baccis ovato-turbinatis.*
lc. Sabina baccifera, bacca turbinata. Cup. panph. 1. t. 54 — Bon. t. 43 — Raf. t. 11. f. 4.
 In arenosis, vel rupestribus maritimis; *Montallegro; Secciara (Gasparr.)*
 Octobri, Novembri. $\frac{1}{2}$
Habitus omnino praecedentis; sed baccae immaturae oblongae, inde turbinatae; tuberculis pluribus instructae, et color totius plantae lactius virens.

Figure A. 2. La première discription de *Juniperus turbinata* Guss. Par Giovanni Gusson dans *Florae Siculae Synopsis* (Gusson, 1844)

Tableau A1. Coeficient de Variation des variables morphométriques dans les 15 populations de *Juniperus turbinata* en Algérie; acronyme des population comme en Tableau 2,1 ; noms des caractère comme en Tableau 2,2.

Statistique	Population	Caractère																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Coeficient de Variation	AIN	21,31	11,16	9,58	9,87	13,53	21,15	11,33	12,19	10,53	8,15	8,19	8,12	15,12	22,92	11,96	15,98	27,08
	ARR	18,24	8,73	10,06	10,33	20,26	25,11	9,30	10,16	12,73	9,79	8,55	8,23	12,57	22,85	11,99	19,11	25,10
	BEL	12,54	9,50	8,48	9,32	14,84	23,01	11,70	15,98	10,94	8,44	8,72	9,72	15,44	24,33	14,30	15,41	24,21
	BOU	11,91	11,21	10,98	11,38	15,60	27,66	12,16	14,96	13,42	8,53	8,32	8,63	12,73	34,94	13,79	17,55	29,68
	DJE	12,15	12,76	13,19	13,34	15,92	23,89	13,25	15,87	14,95	10,44	10,37	9,96	16,21	28,61	14,77	19,54	24,90
	KNP	9,00	13,00	15,57	17,82	13,32	28,37	12,63	15,10	14,44	6,54	11,07	35,60	13,75	26,78	14,68	14,54	28,81
	MAF	19,08	9,74	9,94	10,72	19,83	25,28	9,98	11,79	12,08	10,01	10,39	10,02	13,70	22,13	10,86	18,44	27,97
	MET	19,96	11,43	9,60	9,96	19,26	21,46	12,46	13,08	13,62	10,95	7,02	6,88	13,51	21,07	12,41	22,64	22,31
	MOST	12,11	9,47	10,13	13,10	15,10	22,92	10,03	10,59	12,13	8,50	9,54	52,65	11,10	24,18	13,76	16,22	24,63
	PNG	10,54	12,46	16,24	16,67	13,11	27,64	13,44	19,71	14,57	7,01	11,86	12,40	19,00	23,34	16,52	17,35	31,12
	SET	16,88	8,98	8,38	9,41	16,84	21,18	9,77	10,02	11,13	41,73	6,30	6,84	11,78	20,25	10,96	15,22	22,73
	S'GAG	14,36	11,18	10,09	10,53	16,71	23,30	11,97	10,41	10,08	9,02	8,61	8,24	10,32	20,76	9,68	18,05	23,73
	TEM	12,11	8,35	7,74	8,08	12,99	23,82	9,77	12,01	13,58	7,72	8,94	8,40	13,73	41,11	11,95	13,53	25,57
	TLM	13,11	9,89	13,21	13,20	15,65	30,33	12,46	11,81	15,20	7,34	11,54	11,53	14,22	26,83	13,98	14,79	31,37
	T'KOU	12,39	10,45	9,54	9,76	15,91	25,50	14,89	16,50	14,70	8,69	7,20	7,82	17,44	23,38	16,26	17,52	28,27

Tableau A2. L'écart types des variables morphométriques dans les 15 populations de *Juniperus turbinata* en Algérie; acronyme des population comme en Tableau 2,1 ; noms des caractère comme en Tableau 2,2.

Population		Caractère																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Ecart type	AIN	0,90	1,08	0,89	0,88	1,30	1,17	0,67	0,40	2,69	0,07	0,09	0,09	0,28	0,38	0,33	0,16	0,16
	ARR	0,80	0,87	0,98	0,96	1,92	1,54	0,53	0,33	3,88	0,08	0,09	0,09	0,22	0,36	0,34	0,21	0,17
	BEL	0,52	0,88	0,79	0,81	1,34	1,26	0,65	0,55	3,14	0,07	0,09	0,10	0,25	0,40	0,37	0,16	0,15
	BOU	0,49	0,93	0,96	0,95	1,43	1,40	0,60	0,45	4,09	0,07	0,08	0,09	0,21	0,63	0,38	0,16	0,17
	DJE	0,50	1,15	1,11	1,06	1,45	1,30	0,74	0,48	3,92	0,09	0,11	0,11	0,30	0,44	0,39	0,20	0,15
	KNP	0,37	1,38	1,52	1,64	1,16	1,37	0,76	0,50	3,77	0,05	0,12	0,42	0,25	0,54	0,41	0,18	0,16
	MAF	0,85	0,89	0,91	0,93	1,88	1,60	0,54	0,36	3,54	0,09	0,10	0,11	0,24	0,32	0,31	0,18	0,19
	MET	0,92	1,00	0,91	0,90	1,95	1,36	0,65	0,43	4,22	0,09	0,07	0,07	0,21	0,31	0,34	0,20	0,14
	MOST	0,50	0,99	0,98	1,19	1,37	1,19	0,64	0,37	3,59	0,07	0,10	0,64	0,21	0,44	0,36	0,19	0,14
	PNG	0,43	1,12	1,32	1,29	1,15	1,37	0,73	0,59	4,08	0,05	0,13	0,15	0,36	0,38	0,44	0,18	0,18
	SET	0,73	0,94	0,87	0,93	1,56	1,29	0,61	0,35	3,26	0,37	0,06	0,07	0,21	0,34	0,31	0,18	0,15
	S'GAG	0,60	1,05	0,94	0,92	1,61	1,35	0,67	0,33	2,95	0,08	0,09	0,09	0,19	0,33	0,27	0,18	0,15
	TEM	0,50	0,80	0,63	0,61	1,12	1,13	0,58	0,37	3,81	0,06	0,11	0,11	0,27	0,71	0,30	0,15	0,14
	TLM	0,55	0,89	1,12	1,04	1,35	1,25	0,71	0,36	4,19	0,06	0,12	0,13	0,27	0,55	0,37	0,16	0,15
	T'KOU	0,51	0,88	0,84	0,81	1,44	1,32	0,73	0,50	4,40	0,82	0,07	0,08	0,29	0,40	0,45	0,17	0,16

Tab. A3. Coefficient de corrélation des caractères mesuré de la cône, graine, et branche des agrégations maritimes et continental (monts d'Atlas) de *Juniperus turbinata* dans son aire de distribution Algérien

Maritime	NRE	LC	CL	DC	NEC	NG	LG	GL	NF	LB
NRE	1									
LC	0,023	1								
CL	0,042	0,694**	1							
DC	0,092*	0,689**	0,920**	1						
NEC	0,406**	0,197**	0,215**	0,205**	1					
NG	0,063	0,355**	0,458**	0,486**	0,163**	1				
LG	0,034	0,623**	0,522**	0,497**	0,095*	0,143**	1			
GL	0,017	0,539**	0,558**	0,578**	0,182**	0,127**	0,505**	1		
NF	0,101*	-0,011	0,023	0,033	0,029	0,036	0,073	0,076	1	
LB	-0,007	0,208**	0,206**	0,206**	0,063	0,072	0,227**	0,197**	0,065	1

Continental	NRE	LC	CL	DC	NEC	NG	LG	GL	NF	LB
NRE	1									
LC	0,049	1								
CL	0,119**	0,714**	1							
DC	0,175**	0,712**	0,933**	1						
NEC	0,536**	0,093**	0,079**	0,123**	1					
NG	0,296**	0,241**	0,339**	0,391**	0,234**	1				
LG	0,007	0,695**	0,526**	0,497**	-0,048	0,033	1			
GL	-0,052	0,417**	0,483**	0,476**	-0,056*	-0,040	0,390**	1		
NF	0,118**	-0,162**	0,022	0,025	0,049	0,043	-0,197**	-	1	
LB	-0,007	0,027	0,024	0,027	-0,023	-0,001	0,029	0,004	-0,044	1

Tableau A4. Valeurs moyennes des caractéristiques des cônes, des graines et des aiguilles de *Juniperus phoenicea* s.l. * : étude actuelle (Algérie), ** : données bibliographiques de la région méditerranéenne (Mazur et al. 2016, 2018)

	NRE	LC	CL	DC	NEC	NG	LG	GL	NF	LC/CL	LG/GL	DC/NG	DC/GL	LC/NEC	NG/NEC
Martime agg*	4,12	9,85	8,35	8,75	4,80	5,95	3,19	27,87	0,79	1,18	1,87	1,74	2,62	1,13	0,55
Continental agg*	4,27	9,26	8,78	9,39	5,75	5,52	3,22	29,00	0,86	1,05	1,71	1,53	2,73	0,99	0,61
<i>J. phoenicea</i> **	4,48	7,88	8,56	9,44	7,69	4,01	2,44	26,68	0,84	0,92	1,64	1,11	3,51	0,83	0,81
<i>J. turbinata</i> **	4,32	9,85	9,62	9,15	5,79	5,34	3,10	24,26	0,81	1,02	1,72	1,66	3,10	1,08	0,63
<i>J. canariensis</i> **	4,30	10,09	10,32	10,26	4,10	6,10	4,04	27,16	0,76	0,98	1,51	2,52	2,55	0,98	0,40

Tableau A5. Testes de Normalite pour les deux groupe chimique de *Juniperus turbinta* en Algérie

	Group	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Absorbance	Montana	.062	40	.200*	.986	40	.903
	Occidentalis	.083	40	.200*	.980	40	.690
T	Montana	.062	40	.200*	.986	40	.903
	Occidentalis	.083	40	.200*	.980	40	.690
delphinidine %	Montana	.215	40	.000	.785	40	.000
	Occidentalis	.539	40	.000	.234	40	.000
cyanidin %	Montana	.139	40	.051	.895	40	.001
	Occidentalis	.115	40	.200*	.897	40	.002
delphinidine	Montana	.181	40	.002	.820	40	.000
	Occidentalis	.540	40	.000	.231	40	.000
cyanidin	Montana	.096	40	.200*	.974	40	.485
	Occidentalis	.075	40	.200*	.982	40	.776



Figure A3. Extraction liquide-liquide des anthocyanes avec le n-butanol

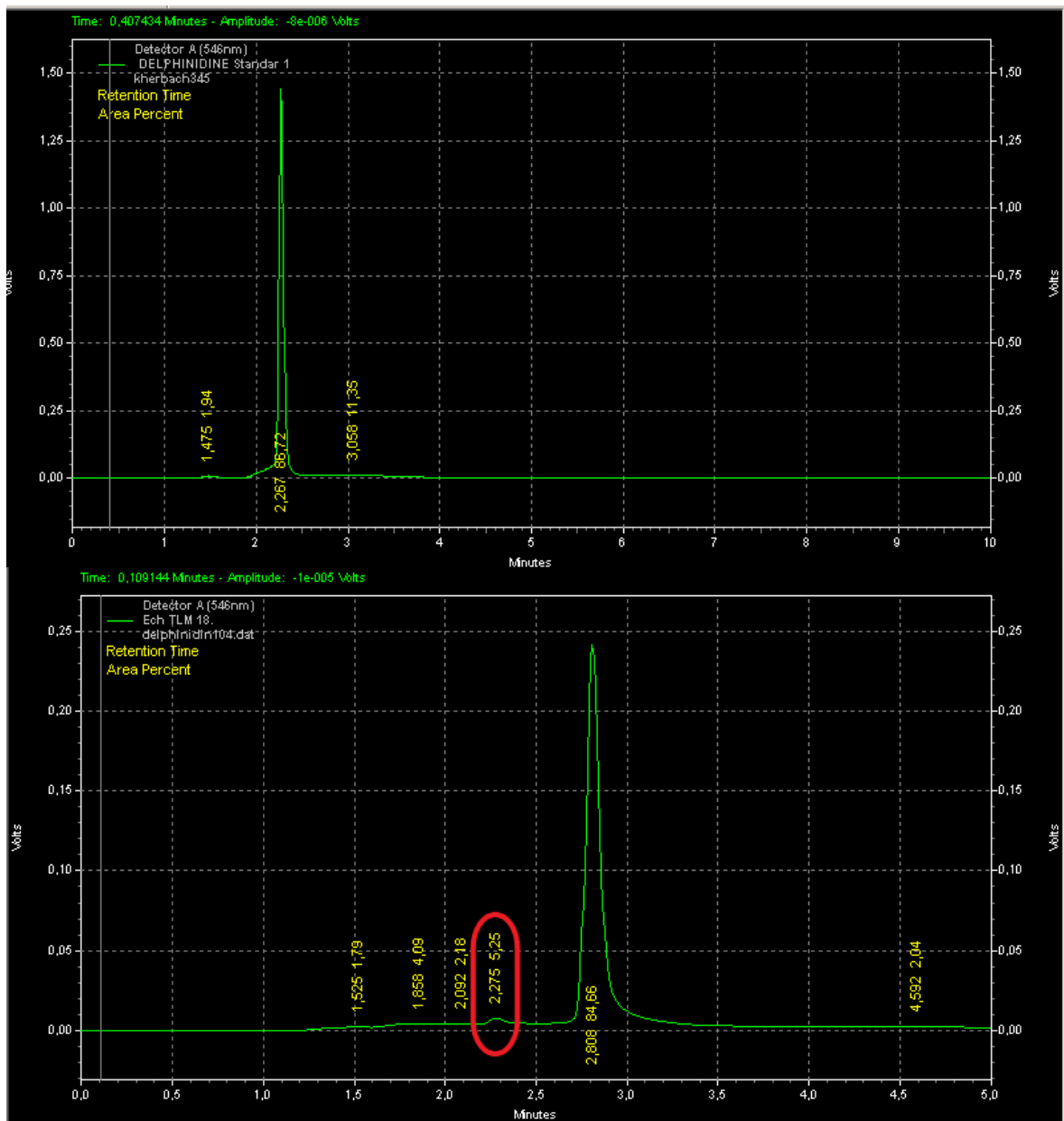


Figure A4. Identification de la delphinidine au sein des échantillons

Tableau A6. Coefficients de corrélation entre les variables morphométriques et la teneur en anthocyanes dans les populations algériennes de *Juniperus turbinata* ; test de Spearman rank-order pour les variables en jaune, test de Pearson pour les cases en blanc. * : significatif au seuil $P < 0,05$, ** : $P < 0,01$.

	NRE	LC	CL	DC	NEC	NGC	LG	GL	NF	LB	LC/CL	LC/LD	LG/GL	DC/NGC	DC/GL	LC/NEC	NGC/NEC	Absorbance T	delphinidine	cyanidin %	delphinidine	
NRE																						
LC	-0.15																					
CL	0.283	.895**																				
DC	0.25	.904**	.995**																			
NEC	0.55	0.22	0.456	0.485																		
NGC	0.6	0.327	0.569	0.599	.829**																	
LG	0.2	.836**	.706*	.704*	0.195	0.131																
GL	0.133	.753*	.904**	.872**	0.389	0.511	.670*															
NF	0.383	0.241	0.382	0.359	0.144	0.421	0.154	0.439														
LB	0.25	0.141	0.394	0.367	.689*	0.581	0.314	0.541	0.05													
LC/CL	-0.6	-0.088	-0.521	-0.489	-0.627	-0.639	-0.006	-0.589	-0.349	-0.673*												
LC/LD	-0.700*	-0.225	-0.628	-0.617	-0.737*	-0.761*	-0.093	-0.621	-0.337	-0.651	.970**											
LG/GL	-0.15	-0.433	-0.567	-0.617	-0.55	-0.717*	0.017	-0.567	-0.283	-0.4	.700*	.750*	1									
DC/NGC	-0.117	0.27	0.075	0.04	-0.641	-0.766*	0.343	0.016	-0.218	-0.435	0.347	0.405	0.3									
DC/GL	0.45	0.65	0.659	.716*	0.477	0.535	0.346	0.29	0.101	-0.011	-0.205	-0.411	-0.4	-0.056								
LC/NEC	-0.083	.875**	0.658	0.652	-0.275	-0.072	.713*	0.539	0.2	-0.206	0.218	0.137	-0.067	0.573	0.422							
NGC/NEC	0.517	0.327	0.543	0.571	.686*	.975**	0.084	0.497	0.49	0.479	-0.567	-0.684*	-0.750*	-0.760*	0.499	0.002						
Absorbance T	-0.5	0.605	0.325	0.299	-0.515	-0.454	0.466	0.29	0.006	-0.409	0.429	0.425	0.15	.755*	0.078	.845**	-0.396					
T	-0.5	0.605	0.325	0.299	-0.515	-0.454	0.466	0.29	0.006	-0.409	0.429	0.425	0.15	.755*	0.078	.845**	-0.396	1.000**				
delphinidine	0.424	0.136	0.339	0.39	.865**	.831**	-0.068	0.203	-0.051	0.559	-0.712*	-0.797*	-0.763*	-0.424	0.458	-0.356	.695*	-0.576	-0.576			
cyanidin %	-0.267	-0.283	-0.3	-0.317	-0.783*	-0.800**	0.067	-0.267	-0.217	-0.233	0.533	0.533	0.633	0.367	-0.333	0.167	-0.617	0.367	0.367	-0.797*		
delphinidine	0.254	0.22	0.407	0.441	0.661	.746*	-0.136	0.373	0.102	0.475	-0.780*	-0.797*	-0.932**	-0.339	0.322	-0.186	.695*	-0.305	-0.305	.914**	-0.746*	
cyanidin	-0.617	0.41	0.056	0.035	-0.733*	-0.656	0.382	0.021	-0.113	-0.524	0.658	.675*	0.367	.804**	-0.079	.763*	-0.57	.926**	.926**	-0.814**	0.65	-0.576

RESUME

Cette thèse se consacre à l'étude approfondie de la taxonomie et de la systématique du complexe *Juniperus phoenicea* en Algérie, avec une attention particulière portée à *Juniperus turbinata*. Le premier chapitre a clarifié la présence de *J. turbinata* en Algérie en écartant le statut de *J. phoenicea* s.s., grâce à une réévaluation minutieuse des données taxonomiques et nomenclaturales.

Le deuxième chapitre a présenté une analyse morphométrique détaillée, révélant des différences significatives entre les populations maritimes et continentales de *J. turbinata*. Cette étude a permis de classer les populations maritimes sous le nom de *J. turbinata* var. *occidentalis* et les populations continentales sous *J. turbinata* var. *montana*, en soulignant les variations morphologiques distinctives entre ces deux groupes.

Dans le troisième chapitre, une exploration approfondie de la diversité chimiotaxonomique des populations de *J. turbinata* a mis en lumière des distinctions notables dans les teneurs en anthocyanes entre les deux variétés. Cette analyse a renforcé les résultats morphométriques précédents, validant ainsi les différences chimiques et confirmant la classification des variétés.

Le quatrième chapitre a intégré les données morphologiques et phytochimiques dans une analyse multidimensionnelle pour confirmer les distinctions taxonomiques et clarifier les ambiguïtés. Cette approche combinée a révélé des schémas de différenciation plus complexes et a fourni une vision plus précise des mécanismes d'adaptation des populations à leurs environnements. Les résultats ont validé la ségrégation entre les populations côtières et continentales et ont conduit à la formulation d'une clé taxonomique précise. Cette clé utilise des critères morphologiques et phytochimiques tels que la forme des galbules et la teneur en cyanidine et en delphinidine, offrant ainsi un outil pratique pour l'identification des variétés de *J. turbinata* en Algérie.

En conclusion, cette thèse a non seulement clarifié le statut taxonomique de *Juniperus turbinata* en Algérie, mais a également démontré l'efficacité d'une approche intégrée combinant morphométrie et chimie pour surmonter les défis de la taxonomie des espèces complexes. Les résultats obtenus offrent une base solide pour des recherches futures et fournissent des perspectives importantes pour la conservation et la gestion des populations de *Juniperus* dans leurs habitats naturels.

Mots clés : Algérie, Monts d'Atlas, *Juniperus phoenicea*, *Juniperus turbinata*, chimiotaxonomie, morphométrie, ACP.

ABSTRACT

This thesis focuses on the in-depth study of the taxonomy and systematics of the *Juniperus phoenicea* complex in Algeria, with a particular emphasis on *Juniperus turbinata*. The first chapter clarified the presence of *J. turbinata* in Algeria by excluding *J. phoenicea* s.s., through a detailed reassessment of existing taxonomic nomenclatural data.

The second chapter presented a comprehensive morphometric analysis, revealing significant differences between maritime and continental populations of *J. turbinata*. This study allowed the classification of maritime populations as *J. turbinata* var. *occidentalis* and continental populations as *J. turbinata* var. *montana*, highlighting the distinctive morphological variations between these groups.

In the third chapter, an in-depth exploration of the chemotaxonomic diversity of *J. turbinata* populations revealed notable distinctions in anthocyanin content between the two varieties. This analysis reinforced the previous morphometric results, validating the chemical differences and confirming the proposed classification.

The fourth chapter integrated morphometric and phytochemical data into a multidimensional analysis to confirm taxonomic distinctions and clarify ambiguities. This combined approach revealed more complex differentiation patterns and provided a clearer understanding of how populations adapt to their environments. The results validated the segregation between coastal and continental populations and led to the development of a precise taxonomic key. This key uses morphological and phytochemical criteria, such as the shape of the cones and the content of cyanidin and delphinidin, offering a practical tool for identifying *J. turbinata* varieties in Algeria.

In conclusion, this thesis not only clarified the taxonomic status of *Juniperus turbinata* in Algeria but also demonstrated the effectiveness of an integrated approach combining morphometry and chemistry to address the challenges of taxonomy in complex species. The findings provide a solid foundation for future research and offer valuable insights for the conservation and management of *Juniperus* populations in their natural habitats.

Key words: Algeria, Atlas Mountains, *Juniperus phoenicea*, *Juniperus turbinata*, chemotaxonomy, Biometry, PCA.

المخلص

تمثل هذه الأطروحة دراسة معمقة للتصنيف والنظامية لمجموعة العرعار الفينيقي *Juniperus phoenicea* في الجزائر، مع التركيز على العرعار من صنف *Juniperus turbinata*. في الفصل الأول، تم توضيح وجود العرعار *Juniperus turbinata* في الجزائر، مستبعدين العرعار الفينيقي الأصلي *Juniperus phoenicea*، وذلك من خلال إعادة تقييم دقيقة للبيانات التصنيفية والمعايير النباتية المتاحة.

قدم الفصل الثاني تحليلاً مورفومترياً شاملاً أظهر اختلافات ملحوظة بين تجمعات العرعار *Juniperus turbinata* في المناطق الساحلية والقارية. هذه الدراسة أدت إلى تصنيف التجمعات البحرية تحت اسم *Juniperus turbinata* var. *occidentalis*، والتجمعات القارية تحت اسم *Juniperus turbinata* var. *montana*، مما أبرز الفروقات المورفومترية المميزة بين هذين المجموعتين.

استكشف الفصل الثالث التنوع الكيميائي التصنيفي لتجمعات العرعار *Juniperus turbinata*، وكشف عن تباينات ملحوظة في محتوى الأنتوسيانين بين الأنواع المختلفة. عززت هذه التحليلات النتائج المورفومترية السابقة، مؤكدة الفروقات الكيميائية ومصادقة التصنيف المقترح.

في الفصل الرابع، تم دمج البيانات المورفومترية والكيميائية في تحليل متعدد الأبعاد لتأكيد التمايزات التصنيفية وتوضيح أي غموض. كشفت هذه الطريقة المدمجة عن أنماط تمايز أكثر تعقيداً ووفرت فهماً أوضح لكيفية تكيف التجمعات مع بيئاتها. النتائج صادقت على التمايز بين التجمعات الساحلية والقارية وأدت إلى تطوير مفتاح تصنيفي دقيق. يستخدم هذا المفتاح معايير مورفومترية وكيميائية مثل شكل الأقماع ومحتوى السيانيدين والديلفينيدين، مما يوفر أداة عملية لتحديد أنواع العرعار في الجزائر.

في الختام، لم تقم هذه الأطروحة فقط بتوضيح الوضع التصنيفي للعرعار *Juniperus turbinata* في الجزائر، بل أظهرت أيضاً فعالية النهج المتكامل الذي يجمع بين المورفومترية والكيمياء لمواجهة تحديات التصنيف في الأنواع المعقدة. توفر النتائج أساساً قوياً للبحث المستقبلي وتقدم رؤى قيمة للحفاظ على تجمعات العرعار في بيئاتها الطبيعية.

الكلمات المفتاحية: الجزائر، جبال الأطلس، العرعار الفينيقي، العرعار الدوار، الكيمياء التصنيفية، البايومترية، التحليل بالمكونات الرئيسية