

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID, TLEMCEN

FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

DÉPARTEMENT D'ÉCOLOGIE ET ENVIRONNEMENT



Thèse

En vue d'obtention du diplôme de

Doctorat (LMD)

En Écologie et Environnement

Thème

Valorisation des plantations à arganier *Argania spinosa* (L) en Algérie

Par : DJEBBOURI Kada

Soutenue publiquement le 25 Octobre 2025, Devant le jury composé de :

Nom/ Prénom	Grade	Qualité	Etablissement
MERZOUK Abdessamad	Prof.	Président	Univ. Tlemcen
KECHAIRI Réda	MCA	Directeur de thèse	Univ. Tlemcen
MILOUDI Ali	Prof.	Examineur	Univ. Mascara
ABOURA Rédda	Prof.	Examineur	Univ. Tlemcen
MEGHARBI Ahmed	MCA	Examineur	Univ. Relizane

Année universitaire 2025/2026

Louange à Allah,

Je tiens tout d'abord à exprimer ma profonde gratitude à mon encadrant, le Dr Kechairi Réda, pour ses encouragements constants, ainsi que pour son aide et son soutien tout au long de la réalisation de cette thèse.

Mes remerciements s'adressent également aux membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce modeste travail.

Je souhaite aussi remercier la Direction Générale des Forêts, notamment les conservations des forêts des wilayas de Tindouf, Mostaganem, Béchar, Chlef, Timimoun, Adrar et Mascara, ainsi que la station INRF d'Adrar, Baraki, Tlemcen et Tamanrasset, le centre de recherche CRSTRA de Biskra, ainsi que les instituts agricoles ITMAS de Timimoun et ITDAS de Biskra.

Enfin, je remercie chaleureusement tous mes collègues et amis qui ont contribué, de près ou de loin, à la préparation de ce travail.

DJEBBOURI Kada

ملخص

في الجزائر يتواجد شجر الأركان (*Argania spinosa*) في حالته الطبيعية في الشمال الغربي من ولاية تندوف، حيث يواجه تهديدات متزايدة ناجمة عن استمرار الجفاف والضغط البشري. وفي هذا السياق، تُعدّ حماية هذا النوع النباتي ضرورة ملحة من خلال تنفيذ عمليات غرس موجهة داخل مجاله الطبيعي (*In-situ*) وخارجه (*Ex-situ*). يهدف هذا العمل إلى جرد الوضع الراهن لغراسات الأركان في الجزائر ودراسة القياسات الشجرية (الندرمترية)، إضافة إلى تحديد المناطق البيئية الملائمة لزراعته اعتماداً على النمذجة البيئية MaxEnt، كما تم تحليل خصائص كيميائية للتربة في ثلاث مواقع غرس الأركان و تم تقييم القيمة الغذائية العلفية لأوراقه.

أظهرت الملاحظات الميدانية أن غراسات الأركان تبقى محدودة جداً من حيث المساحة، إذ لا يتجاوز عدد الأشجار في أغلب المواقع خمسين شجرة. كما تبين أن معظم هذه الغراسات تقع في المحطات التجريبية التابعة للمعاهد الفلاحية والغابية. ويُعزى هذا الوضع إلى ضعف إنتاج الشتلات في المشاتل نتيجة انخفاض نسب الإنبات وارتفاع معدلات نفوق الشتلات. كما أن نسبة الوفيات خلال السنة الأولى بعد الغرس تتجاوز في الغالب 90%، مما يؤدي غالباً إلى فشل كلي دون بقاء أي نبتة على قيد الحياة، وهو ما يجعل إنجاح عمليات الغرس صعباً للغاية. أظهرت القياسات الشجرية أن نمو الأركان يتأثر بشكل واضح بنوعية المناخ، حيث تكون نسبة النمو أعلى في المناخ شبه الرطب مقارنةً بالمناخين شبه الجاف والصحراوي. كما لوحظ وجود اختلافات في مساحة ومحيط الأوراق بين المواقع المدروسة، مما يعكس تنوعاً ظاهرياً (فنوتيبياً) واضحاً. ومن خلال النمذجة البيئية باستخدام برنامج MaxEnt، تبين أن الشمال الغربي للجزائر يُعدّ المنطقة الأكثر ملائمة لغرس الأركان، بينما تُعدّ المناطق الصحراوية والسهوبية أقل ملائمة من الناحية البيومناخية. وتتوافق هذه النتائج مع المتطلبات البيئية المعروفة للأركان، خصوصاً من حيث كميات الأمطار السنوية ($160 \text{ mm} < P < 1400 \text{ mm}$) و درجات الحرارة الدنيا ($2,5^{\circ}\text{C} < T_{\text{min}} < 6,5^{\circ}\text{C}$). أما بالنسبة لولاية تندوف، فيُظهر شمال الولاية أنه الأنسب لزراعة الأركان في البيئة الصحراوية وفقاً لنتائج نموذج MaxEnt. من الناحية الإدايفية (الترايبية)، يُظهر الأركان قدرة كبيرة على التكيف، إذ يستطيع النمو في تربة فقيرة نسبياً دون الحاجة إلى نسب مرتفعة من العناصر الغذائية (الفوسفور، البوتاسيوم والأزوت). كما أن تركيز هذه العناصر في الأوراق لا يرتبط مباشرةً بمحتواها في التربة السطحية. وتتسم أوراق الأركان بقيمة غذائية معتبرة، إذ تحتوي على نسبة منخفضة من الألياف (> 17%)، وغنى بالبروتينات (< 10%) والمواد الدهنية (< 3%)، إضافة إلى قيمة علفية مرتفعة تُقدّر بـ 0.91 وحدة غذائية للحليب (UFL) و 0.83 وحدة غذائية للحم (UFV).

الكلمات المفتاحية: شجرة الأركان، الوضعية الحالية، الغراسات، المناخ الحيوي، التربة، القيمة العلفية، الجزائر.

Résumé

En Algérie, l'arganier (*Argania spinosa*) se trouve à l'état naturel dans le nord-ouest de la wilaya de Tindouf, où il fait face à des menaces croissantes liées à la persistance de la sécheresse et à la pression anthropique. Dans ce contexte, la préservation de cette espèce apparaît comme une nécessité urgente, à travers la mise en œuvre de plantations assistées à la fois dans son aire naturelle (*in-situ*) et en dehors de celle-ci (*ex-situ*). Ce travail vise à dresser l'état actuel des plantations d'arganier en Algérie, à étudier leurs paramètres dendrométriques, et à identifier les zones écologiques favorables à son implantation à l'aide de la modélisation environnementale (MaxEnt). Par ailleurs, des caractéristiques chimiques des sols de trois sites de plantation ont été analysées, et la valeur nutritive des feuilles a été évaluée. Les observations de terrain montrent que les plantations d'arganier restent très limitées en superficie : dans la majorité des sites, le nombre d'arbres ne dépasse pas une cinquantaine. La plupart de ces plantations se situent dans des stations expérimentales relevant d'instituts agricoles et forestiers. Cette situation s'explique par la faible production de plants dans les pépinières, due à un faible taux de germination et à une forte mortalité des jeunes plants. Le taux de mortalité au cours de la première année après la plantation dépasse généralement 90 %, entraînant souvent un échec total sans survie d'aucun individu, ce qui rend la réussite des opérations de reboisement extrêmement difficile. Les mesures dendrométriques ont révélé que la croissance de l'arganier est fortement influencée par le type de climat : elle est plus élevée en climat sub-humide qu'en climats semi-aride et saharien. Des différences significatives ont également été observées dans la surface et la circonférence des feuilles entre les sites étudiés, traduisant une variabilité phénotypique marquée. La modélisation environnementale réalisée avec le logiciel MaxEnt a montré que le nord-ouest de l'Algérie constitue la zone la plus favorable à la plantation de l'arganier, tandis que les régions steppiques et désertiques apparaissent moins adaptées d'un point de vue bioclimatique. Ces résultats concordent avec les exigences écologiques connues de l'espèce, notamment en ce qui concerne les précipitations annuelles ($160 \text{ mm} < P < 1400 \text{ mm}$) et les températures minimales ($2,5 \text{ °C} < T_{\text{min}} < 6,5 \text{ °C}$). Pour la wilaya de Tindouf, la partie nord ressort comme la plus adaptée à la plantation de l'arganier en milieu saharien selon les résultats du modèle MaxEnt. Sur le plan édaphique, l'arganier montre une grande capacité d'adaptation, pouvant se développer sur des sols relativement pauvres sans exiger des teneurs élevées en éléments nutritifs (le phosphore, le potassium et l'azote). De plus, la concentration de ces éléments dans les feuilles n'est pas directement corrélée à leur contenu dans le sol superficiel. Les feuilles d'arganier présentent une valeur nutritionnelle intéressante, avec une faible teneur en fibres ($< 17 \%$), une richesse en protéines ($> 10 \%$) et en matières grasses ($> 3 \%$), ainsi qu'une valeur fourragère élevée estimée à 0,91 UFL (unité fourragère lait) et 0,83 UFV (unité fourragère viande).

Mots clés : *Argania spinosa*, état des lieux, plantations, bioclimat, sol, valeur fourragère, Algérie.

Abstract

In Algeria, the argan tree (*Argania spinosa*) occurs naturally in the north-west of the wilaya of Tindouf, where it faces increasing threats linked to the persistence of drought and anthropogenic pressure. In this context, the preservation of this species appears as an urgent necessity through the implementation of assisted plantations both within its natural range (in-situ) and outside it (ex-situ). This work aims to establish the current state of argan tree plantations in Algeria, to study their dendrometric parameters, and to identify the ecological areas suitable for its establishment using environmental modeling (MaxEnt). In addition, the chemical characteristics of the soils of three plantation sites were analyzed, and the nutritional value of the leaves was evaluated. Field observations show that argan plantations remain very limited in area: in most sites, the number of trees does not exceed fifty. Most of these plantations are located in experimental stations belonging to agricultural and forestry institutes. This situation is explained by the low production of plants in nurseries, due to a low germination rate and high mortality of young plants. The mortality rate during the first year after planting generally exceeds 90%, often leading to total failure with no surviving individuals, which makes the success of reforestation operations extremely difficult. Dendrometric measurements revealed that the growth of the argan tree is strongly influenced by the type of climate: it is higher in sub-humid climates than in semi-arid and Saharan climates. Significant differences were also observed in the surface area and circumference of the leaves between the studied sites, reflecting marked phenotypic variability. Environmental modeling carried out with the MaxEnt software showed that the north-west of Algeria constitutes the most favorable area for argan tree planting, while steppe and desert regions appear less suitable from a bioclimatic point of view. These results are consistent with the known ecological requirements of the species, particularly regarding annual precipitation ($160 \text{ mm} < P < 1400 \text{ mm}$) and minimum temperatures ($2.5 \text{ }^\circ\text{C} < T_{\text{min}} < 6.5 \text{ }^\circ\text{C}$). For the wilaya of Tindouf, the northern part appears to be the most suitable for argan tree planting in the Saharan environment according to the results of the MaxEnt model. From an edaphic point of view, the argan tree shows a great capacity for adaptation, being able to develop in relatively poor soils without requiring high levels of nutrients (phosphorus, potassium, and nitrogen). Moreover, the concentration of these elements in the leaves is not directly correlated with their content in the surface soil. The leaves of the argan tree present an interesting nutritional value, with a low fiber content ($< 17\%$), a richness in proteins ($> 10\%$) and fats ($> 3\%$), as well as a high forage value estimated at 0.91 UFL (milk forage unit) and 0.83 UFV (meat forage unit).

Keywords: *Argania spinosa*, assessment, plantations, bioclimate, soil, forage value, Algeria.

Contenu

Introduction générale	1
Chapitre 1. Généralités sur l'arganier	3
1. Histoire de l'arganier	4
2. Systématique et Caractéristiques botaniques de l'arganier	5
2.1. Systématique.....	5
2.2. Caractéristiques botaniques de l'arganier	6
2.2.1. Racines	6
2.2.2. Tronc, Bois et âge	7
2.2.3. Feuilles	7
2.2.4. Fleurs et pollinisation	8
2.2.5. Fruits, noyaux et amandes.....	9
2.2.6. Ports de l'arbre et ramification	10
3. Écologie de l'arganier	11
3.1. Répartition géographique	11
3.1. Exigences bioclimatiques.....	12
3.2. Pédologie.....	13
3.3. Phénologie.....	13
3.4. Écophysologie	14
4. régénération de l'arganier	15
4.1. Régénération naturelle	16
4.1.1. Semi naturel.....	16
4.1.2. Rejets de souches	16
4.2. Régénération assistée.....	17
4.2.1. Production des plants par semi en pépinière	17
4.2.2. La multiplication végétative	17
4.2.3. Plantation.....	21
5. Intérêt de l'arganier	21
5.1. Intérêt écologique	22
5.2. Intérêt économique	25
5.2.1. Ressource en bois	25
5.2.2. Ressource fourragère.....	25
5.2.3. Ressource alimentaire.....	26
5.2.4. Ressource cosmétique et pharmacologique.....	26
5.3. Rôle sociale	26
6. Contraintes influant sur l'arganier	27

Chapitre 2. Plantations à arganier en Algérie	29
Sous-Chapitre 2. 1. État des plantations à arganier en Algérie	30
1. Introduction	31
2. Matériels et Méthodes	32
2.1. Inventaire des pépinières	32
2.2. Inventaire de périmètres des plantations	32
3. Résultats	32
3.1. À Mostaganem	32
3.1.1. Production des plants et plantations	32
3.1.2. Analyse dendrométrique	34
3.2. À Chlef	35
3.2.1. Production des plants et plantations	35
3.2.2. Analyse dendrométrique	37
3.3. À Mascara	37
3.3.1. Production des plants et plantations	37
3.3.2. Analyse dendrométrique	38
3.4. À Alger	38
3.4.1. Production des plants et plantations	38
3.4.2. Analyse dendrométrique	39
3.5. À Tlemcen	39
3.5.1. Production des plants et plantations	39
3.5.2. Analyse dendrométrique	40
3.6. Ain Témouchent	40
3.6.1. Plantations	40
3.6.2. Mesures dendrométriques	41
3.7. À Adrar	41
3.7.1. Production des plants et plantations	41
3.7.2. Analyse dendrométrique	42
3.8. À Timimoun	43
3.8.1. Production des plants et plantations	43
3.8.2. Analyse dendrométrique	43
3.9. Béchar	44
3.9.1. Production des plants et plantations	44
3.9.2. Analyse dendrométrique	45
3.10. Tindouf	45
3.10.1. Production des plants et plantations	45

3.10.2. Analyse dendrométrique	47
3.11. À Tamanrasset.....	48
3.11.1. Plantations	48
3.11.2. Analyse dendrométrique	48
3.12. À Biskra.....	49
3.12.1. Plantations	49
3.12.2. Analyse dendrométrique	49
4. Discussion.....	50
4.1. Situation des pépinières d'arganier	50
4.2. Plantations de l'arganier en Algérie : état des lieux et perspectives	53
5. Conclusion.....	57
Sous-Chapitre 2.2. Comportement d'<i>Argania spinosa</i> en accroissement dans divers étages bioclimatiques	59
1. Introduction	60
2. Matériels et méthodes	60
2.1. Zone d'étude	61
2.2. Méthodologie	61
2.2.1. Analyse bioclimatique.....	61
2.2.2. Mesures dendrométriques	62
3. Résultats	63
3.1. Données bioclimatiques	63
3.2. Résultats dendrométriques	64
3.3. Résultats de l'analyse de la variance.....	65
4. Discussion	66
4.1. Synthèse bioclimatique	66
4.2. Croissance de l'arganier en fonction du climat	67
5. Conclusion.....	68
Sous-Chapitre 2.3. Variabilité biométrique du feuillage d'arganier de divers sites de plantation en Algérie	69
1. Introduction	70
2. Matériels et méthodes	70
2.1. Zone d'étude	70
2.2. Méthode de collecte des données.....	71
3. Résultats	72
3.1. Statistiques descriptives	72
3.2. Corrélation de Pearson	74
3.3. ANOVA à un facteur contrôlé	74

4. Discussion	76
5. Conclusion	77
Chapitre 3. Régions souhaitables à la plantation de l'arganier par la Modélisation bioclimatique (MaxEnt)	78
Sous-Chapitre 3.1. Régions potentielles des plantations à arganier par la modélisation MaxEnt en Algérie.	79
1. Introduction	80
2. Matériels et méthodes	81
2.1. Zone d'étude	81
2.2. Tentative d'acclimatation de l'espèce	82
2.3. Approche MaxEnt	82
2.4. Les données d'occurrence	83
2.5. Les données bioclimatiques	84
2.5.1. Précipitations	84
2.5.2. Température maximale du mois le plus chaud	86
2.5.3. Température minimale du mois le plus froid.....	87
3. Résultats et discussions	88
3.1. Qualité du modèle.....	88
3.2. Analyse du test Jackknife	90
3.3. Courbes de réponse	91
3.4. Régions potentielles pour la plantation d'arganier et les exigences bioclimatiques	92
4. Conclusion	93
Sous-Chapitre 3.2. Prédiction de l'habitat de l'arganier <i>Argania spinosa</i> par la modélisation MaxEnt à Tindouf.....	95
1. Introduction	96
2. Matériels et méthodes	97
2.1. Zone d'étude	97
2.2. Procédure de modélisation	98
2.3. Les points de présence	98
2.4. Données bioclimatiques	98
2.4.1. Précipitations	98
2.4.2. Température maximale du mois le plus chaud	99
2.4.3. Température minimale du mois le plus froid.....	99
3. Résultats et discussion.....	100
3.1. Qualité du modèle.....	100
3.2. Analyse Jackknife.....	101
3.3. Courbes de réponse	102

3.4. Distribution potentielle	103
4. Conclusion	104
Chapitre 4. La qualité du sol et la teneur des feuilles d'arganier en (N.P.K)	106
1. Introduction	107
2. Matériels et méthodes	107
2.1. Zone d'étude	108
2.2. Analyses de sol	108
2.3. Analyses feuilles	108
2.4. Analyses statistiques	109
3. Résultats	109
3.1. Sol	109
3.1.1. Matière Organique (MO)	109
3.1.2. Potassium (K)	110
3.1.3. Phosphore (P)	111
3.1.4. Azote (N)	111
3.2. Feuilles	113
3.2.1. Matière Organique (MO %)	113
3.2.2. Phosphore (P %)	113
3.2.3. Potassium (K %)	114
3.2.4. Azote (N %)	115
4. Discussion	116
5. Conclusion	118
Chapitre 5. Valeur fourragère des feuilles d'arganier	119
1. Introduction	120
2. Matériels et méthodes	121
2.1. Matériel végétal et localisation	121
2.2. Analyses fourragères	121
2.3. La valeur fourragère UFL UFV	122
2.4. Les fibres dans les fourrages	122
2.4.1. Fibre au détergent neutre (NDF)	122
2.4.2. Fibre au détergent acide (ADF)	123
2.4.3. Lignine au détergent acide (ADL)	123
3. Résultat et discussion	124
3.1. Composition chimique	124
3.2. Valeur fourragère	126
4. Conclusion	127

Conclusion générale	129
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	132

Liste des tableaux

Tableau	page
Tableau 1. Sites des plantations expérimentales de l'arganier à Mostaganem.	34
Tableau 2. Données dendrométriques des placettes étudiées à Mostaganem	35
Tableau 3. Sites des plantations expérimentales d'arganier à Chlef.	36
Tableau 4. Données dendrométriques des placettes étudiées à Chlef.	37
Tableau 5. Sites des plantations expérimentales d'arganier à Mascara.	37
Tableau 6. Données dendrométriques des placettes étudiées à Mascara.	38
Tableau 7. Sites des plantations expérimentales d'arganier à Alger.	39
Tableau 8. Données dendrométriques des placettes étudiées à Alger.	39
Tableau 9. Les sites des plantations expérimentales d'arganier à Tlemcen.	40
Tableau 10. Données dendrométriques des placettes étudiées à Tlemcen.	40
Tableau 11. Sites des plantations expérimentales d'arganier à Ain Témouchent.	41
Tableau 12. Données dendrométriques de l'arbre d'Ain Témouchent	41
Tableau 13. Sites des plantations expérimentales d'arganier à Adrar.	42
Tableau 14. Données dendrométriques des placettes étudiées à Adrar.	42
Tableau 15. Sites des plantations expérimentales d'arganier à Timimoun.	43
Tableau 16. Données dendrométriques des placettes étudiées à Timimoun.	44
Tableau 17. Sites des plantations expérimentales d'arganier à Béchar.	45
Tableau 18. Données dendrométriques des placettes étudiées à Ain Béchar	45
Tableau 19. Sites des plantations expérimentales d'arganier à Tindouf.	47
Tableau 20. Données dendrométriques des placettes étudiées à Tindouf.	48
Tableau 21. Les sites des plantations expérimentales d'arganier à Tamanrasset.	48
Tableau 22. Données dendrométriques des placettes étudiées à Tamanrasset.	49
Tableau 23. Sites des plantations expérimentales d'arganier à Biskra.	49
Tableau 24. Données dendrométriques des placettes étudiées à Biskra.	50
Tableau 25. Principales sources des graines d'arganier pour les pépinières 2023.	52
Tableau 26. Vergers d'avenir (ici 2030) pour la production de semence d'arganier	52
Tableau 27. Données climatiques des régions d'étude pour la période (1999/2019)	63
Tableau 28. Statistiques descriptives des données dendrométriques des stations étudiés.	64
Tableau 29. ANOVA à un facteur contrôlé : H(m) en fonction de station	65
Tableau 30. Informations de groupement avec la méthode de Fisher	66
Tableau 31. ANOVA à un facteur contrôlé : D(m) en fonction de station	66
Tableau 32. Informations de groupement avec la méthode de Fisher	66
Tableau 33. Sites des plantations étudiées.	70
Tableau 34. Les statistiques descriptives des deux paramètres étudiés.	73
Tableau 35. Corrélation de Pearson entre surface et circonférence.	74
Tableau 36. Anova 1 pour la variable surface en fonction de sites	75
Tableau 37. Anova 1 pour la variable circonférence	75
Tableau 38. Méthodes adoptées pour l'analyse du sol.	108
Tableau 39. Marges de fertilité de sol.	108

Tableau 40. Les méthodes d'analyses des feuilles.	109
Tableau 41. Statistiques descriptives sol	112
Tableau 42. ANOVA à un facteur (sol) et le test de Tukey	113
Tableau 43. Statistique descriptives feuilles.	115
Tableau 44. Résultat de l'ANOVA1 pour les feuilles des trois sites.	116
Tableau 45. Rôle et composition des fibres.	123
Tableau 46. Composition chimique des feuilles d'arganier de Chlef et de notre étude (%MS).	124
Tableau 47. Composition chimique des feuilles d'arganier et d'autres espèces fourragères (%MS).	125
Tableau 48. Valeur énergétique des feuilles d'arganier.	127
Tableau 49. Valeur énergétique des feuilles d'arganier et d'autres espèces fourragères.	127

Liste des photos

Photo	page
Photo 1. Feuilles et fruits de l'arganier.	8
Photo 2. Composition florale et boutons floraux avec styles apparents	9
Photo 3. Fruits, graines et amande d'arganier	10
Photo 4. Pieds d'arganier de Stidia, à Mostaganem.	11
Photo 5. Sujets de l'arganier des trois stations étudiées	62
Photo 6. Feuilles d'arganier de la pépinière de Tindouf	72

Liste des figures

Figure	page
Figure 1. Localisation des régions d'étude.	61
Figure 2. Localisation des sites d'étude dans le Climagramme d'Emberger.	63
Figure 3. Diagrammes Ombrothermiques des trois stations étudiées.	64
Figure 4. Variation des précipitations mensuelles des trois stations.	64
Figure 5. Boîte à moustache de la hauteur H (m) et du diamètre du houppier D(m).	65
Figure 6. Informations de groupement avec la méthode LSD de Fisher (surface foliaire).	75
Figure 7. Informations de groupement avec la méthode LSD de Fisher (circonférence).	76
Figure 8. Répartition des précipitations en Algérie (1970/2000).	86
Figure 9. Répartition de Tmax du mois le plus chaud en Algérie (1970/2000).	87
Figure 10. Répartition de Tmin du mois le plus froid en Algérie (1970/2000).	88
Figure 11: Courbe ROC de la prédiction de la distribution potentielle des plantations d'Arganier	89
Figure 12: Courbe d'omission et aire prédite pour les plantations d' <i>Argania spinosa</i>	90
Figure 13. Résultats du test Jackknife	91
Figure 14. Courbes de réponse.	92
Figure 15. Les régions de distribution potentiellement appropriée des plantations d'arganier	93
Figure 16. Localisation de la zone d'étude.	97
Figure 17. Répartition des précipitations à Tindouf (1970/2000).	99
Figure 18. Répartition de Tmax du mois le plus chaud à Tindouf (1970/2000).	99
Figure 19. Répartitions de Tmin du mois le plus froid à Tindouf (1970/2000).	100
Figure 20. Aire sous la courbe (AUC) des données d'entraînement et de test.	101
Figure 21. Courbe d'omission et aire prédite.	101
Figure 22. Test Jackknife.	102
Figure 23. Courbes de réponse.	103
Figure 24. Distribution potentielle d' <i>Argania spinosa</i> dans la région de Tindouf.	104
Figure 25. Matière Organique dans les sols des trois sites.	110
Figure 26. Potassium assimilable dans les sols des trois sites.	110
Figure 27. Phosphore assimilable dans les sols des trois sites.	111
Figure 28. Azote total dans les sols des trois sites.	112
Figure 29. Teneur en MO des feuilles d'arganier des trois sites.	113
Figure 30. Teneur des feuilles d'arganier en Phosphore dans les trois sites	114
Figure 31. Teneur en Potassium des feuilles d'arganier des trois sites.	114
Figure 32. Teneur en Azote des feuilles d'arganier des trois sites.	115
Figure 33. La composition des cellules végétatives selon la méthode Van-Soest	123
Figure 34. Composition chimique des feuilles d'arganier et d'autres espèces fourragères (%MS).	126
Figure 35. Valeur énergétique des feuilles d'arganier et d'autres espèces fourragères.	127

Liste des abréviations

°C : Degré Celsius

N° : Numéro de

Alt. : Altitude

Nbr. : Nombre de

Moy. : Moyenne

Eca-typ. : Écart-type statistique

H(m) : Hauteur (en mètres)

DH(m) : Diamètre du houppier (en mètres)

D(m) : Diamètre du houppier (en mètres)

m : mètre

° : degré décimale

N : Nord

W : Ouest (West en anglais)

E : Est (East en anglais)

T min : Température minimale

T max : Température maximale

P (mm) : Précipitations en millimètres

Q2 : Quotient pluviométrique
d'Emberger

Min. : Minimum

Max. : Maximum

mm : millimètre

N : Azote

P : Phosphore

K : Potassium

% : Pourcentage

ppm : Parties par million

MS : Matière sèche

MO : Matière organique

MM : Matière minérale

MAT : Matières azotées totales

CB : Cellulose brute

ADF : Fibres au détergent acide

ADL : Lignine au détergent acide

NDF : Fibres au détergent neutre

MG : Matières grasses totales

UFL : Unité Fourragère Lait

UFV : Unité Fourragère Viande

Introduction générale

La végétation méditerranéenne du Maghreb se distingue par sa richesse et la diversité de ses paysages, mais elle fait face à de nombreuses menaces liées à la variabilité climatique et aux pressions anthropiques croissantes [1]. Les forêts méditerranéennes constituent un milieu naturel fragile, profondément perturbé par des usages multiples, et leur conservation ne peut être assurée que par une prise de conscience réelle de leur importance écologique et économique de la part des gestionnaires et des usagers, ce qui est rarement le cas [2].

Face aux changements climatiques défavorables et à la pression démographique croissante, les ressources forestières peuvent être considérées comme globalement menacées. Néanmoins, le patrimoine forestier nord-africain recèle encore d'importantes ressources génétiques qu'il convient de gérer efficacement, dans une optique de conservation et d'utilisation durable [3].

Selon Stewart [4], l'homme exerce une influence directe sur le classement bioclimatique d'une région à travers la dégradation des sols et du couvert végétal. Pourtant, ce même homme peut être à l'origine d'une prospérité écologique s'il adopte une gestion environnementale appropriée. Dans cette optique, la mise en œuvre de plantations d'espèces arborées résistantes à la sécheresse demeure essentielle pour prévenir l'aridification et lutter contre la désertification, en favorisant les taxons capables de s'adapter à des conditions extrêmes [5].

L'arganier (*Argania spinosa*) est une espèce endémique Algéro-Marocaine [6], jouant un rôle écologique majeur dans la lutte contre la désertification des écosystèmes arides et semi-arides, grâce à sa capacité à améliorer la fertilité des sols et à favoriser leur restauration. Il abrite une strate herbacée, stabilise les lits des oueds, et offre un habitat à la faune sauvage [7]. De plus, l'arganier est un arbre oléagineux à usages multiples, dont toutes les parties (bois, feuilles, fruits, huile) sont valorisables, constituant ainsi une source de revenus et de nourriture pour les populations locales [8].

Cependant, la régénération naturelle de l'arganier apparaît quasiment impossible, en raison de multiples pressions biotiques et abiotiques [9]. Parmi les principales menaces, on peut citer : l'aridité du climat [10], le surpâturage, l'extension des cultures intensives dans les plaines, et la récolte excessive des fruits pour la production de l'huile d'argan [11, 12]. Par ailleurs, l'exploitation du bois d'arganier pour la production de charbon accentue encore la pression

sur cette espèce [13-16]. En conséquence, plus du tiers des arganeraies ont disparu en moins d'un siècle [17], et la dégradation de cette ressource ne cesse de s'intensifier [18].

Dans la région de Tindouf, les conditions climatiques rigoureuses, le surpâturage, l'ensablement, les coupes illicites et la carbonisation constituent les principaux facteurs de dégradation de l'arganier [5].

En Algérie dans le but de protéger ce patrimoine naturel, plusieurs mesures de conservation ont été mises en œuvre, notamment la création de la réserve naturelle de l'arganier à l'embouchure de Touaref Bou-Âam en février 2008 [19]. Par ailleurs, des travaux de plantation d'arganiers ont été entrepris dans divers régions du pays, dans le cadre d'actions visant à conserver et à renforcer les peuplements existants [20-22].

Dans ce contexte, ce travail vise à :

- à inventorier l'état des lieux et la dendrométrie des plantations à arganier réalisées en Algérie.
- à identifier les zones écologiques favorables à son implantation à l'aide de la modélisation environnementale par MaxEnt (une modélisation bioclimatique).
- à déterminer la qualité du sol et la teneur des feuilles d'arganier en (Azote, Phosphore et Potassium) dans trois sites de plantation.
- à déterminer la valeur nutritionnelle fourragère de son feuillage.

Chapitre 1. Généralités sur l'arganier

1. Histoire de l'arganier

L'ouvrage « Arganier » de M'hirit *et al.* [23]. Tel que résumé par Badreddine [24], retrace avec précision l'histoire de l'arganier et les différentes étapes de sa découverte, de sa description et de son étude scientifique à travers les siècles.

Dès les Xe, XIe et XIIe siècles, les premiers témoignages sur l'arganier émanent de géographes et savants arabes tels qu'Ali-Ibn-Rodhoan, El Bechri et El Idrissi, qui décrivent les usages de son fruit. Au XIIIe siècle, vers 1219, le célèbre médecin égyptien Ibn Al-Baytar mentionne l'arganier dans son *Traité des simples*, traduit ultérieurement par le Dr Leclerc [25]. Il y décrit un arbre de grande taille, épineux, dont le fruit, semblable à une amande, contient un noyau riche en huile, utilisée à des fins alimentaires.

Plus tard, en 1515, Hassan Ben Mohammed Al Ouazzan, connu en Europe sous le nom de Jean-Léon l'Africain, évoque l'huile d'argan, notant son odeur désagréable mais aussi ses usages domestiques, notamment pour l'alimentation et l'éclairage. Au début du XXe siècle, en 1906, Gentil met en évidence l'importance des conditions climatiques, notamment hygrométriques et thermiques, dans la répartition géographique de l'arganier, en particulier dans les régions côtières telles qu'Essaouira.

Certaines sources suggèrent même que les Phéniciens connaissaient déjà l'arbre et utilisaient son huile, notamment dans la région d'Essaouira. Les récits des voyageurs et des consuls anglais du XVIIIe siècle témoignent également de la densité exceptionnelle des forêts d'arganiers, qui s'étendaient depuis Ouadaï, au nord de Safi, jusqu'aux limites sahariennes.

Sur le plan scientifique, c'est en 1737 que Linné [26] attribue à l'arganier une désignation botanique dans son *Hortus Cliffortianus*, le classant comme *Sideroxylon spinosum* L. Ce classement repose toutefois sur des spécimens secs et incomplets. À la suite de Linné, plusieurs botanistes poursuivent l'étude de l'arbre. Schousboe (1791) documente la flore marocaine, en incluant l'arganier. D'autres chercheurs comme Correa de Serra (1806), De Candolle (1844), le vicomte de Noé (1853) et Engler (1897) enrichissent les connaissances sur sa morphologie.

En 1888, un pas important est franchi lorsque Cotton isole un principe actif du tourteau du fruit de l'arganier, un mélange de saponines qu'il nomme arganine. Emberger (1924) délimite les zones de répartition de l'arbre, notamment autour de Rommani, dans le bassin supérieur de l'Oued Grou. Cette même année, les botanistes Braun-Blanquet et Maire définissent un

secteur biogéographique spécifique à l'arganier. Emberger (1925) identifie un autre îlot d'arganiers près d'Oujda, sur les pentes du massif des Beni Snassen.

Le maire (1926) distingue deux types d'arganeraies dans la région du sud-ouest marocain : celles du littoral, associées à *Euphorbia echinus*, et celles de montagne, en lien avec *Hesperola barum platycarpum*, introduisant une première classification écologique des arganeraies. Battino (1929) approfondit l'étude de l'huile d'argan et de ses dérivés, mettant en évidence l'action lénolytique de l'arganine.

Les années suivantes voient d'autres contributions majeures : Emberger (1939) publie son ouvrage « Les chèvres et l'arganier ». Monnier (1965) alerte sur les menaces qui pèsent sur l'arganeraie, notamment le surpâturage et le défrichement excessif.

En 1981, la découverte en Sardaigne d'un bois fossile du genre *Aganioxylon*, daté du Tertiaire, par Biondi, apporte une perspective paléobotanique précieuse. Cette découverte met en lumière l'extension ancienne des Sapotacées et suggère que leur recul, tout comme celui de l'arganier, résulte des bouleversements climatiques survenus au cours du Quaternaire.

Ainsi, à travers les siècles, l'arganier n'a cessé de susciter l'intérêt des savants, des voyageurs et des botanistes, devenant un objet d'étude complexe mêlant histoire, ethnobotanique, écologie et science moderne.

2. Systématique et Caractéristiques botaniques de l'arganier

2.1. Systématique

Linné [26] décrit l'arganier dans son *Hortus Cliffortianus* sous le nom de *Sideroxylon spinosum* (L.), en se basant uniquement sur des rameaux séchés sans fleurs. Il le classe alors dans le genre *Rhammus* (famille des *Sapotaceae*). Ses synonymes botaniques incluent [27]:

- *Elaeodendron argan* Retz., 1791
- *Argania sideroxylon* Röem. et Schult., 1819
- *Verlangia argan* (Retz.) Neck. ex Raf., 1838
- *Lyciodes spinosum* (L.) Kuntze, 1891[27].

Aujourd'hui, l'arganier est répertorié sous le nom *Argania spinosa* (L.) Skeels, 1911. Selon Quézel *et al.* [28] sa classification botanique est la suivante :

- Embranchement : Phanérogames

- Sous-embranchement : Angiospermes
- Classe : Dicotylédones
- Sous-classe : Gamopétales
- Ordre : Ebenales;
- Famille : Sapotaceae;
- Genre/espèce, *Argania spinosa* (L.) Skeels (1911).

Son nom vernaculaire : Argan, Argane, أركان, Arganier.

2.2. Caractéristiques botaniques de l'arganier

L'arganier *Argania spinosa* (L.) Skeels appartient à la famille tropicale des Sapotacées, qui regroupe environ 10 genres et 600 espèces. Cet arbre fruitier-forestier, atteint généralement une hauteur de 8 à 10 mètres. Sa cime, arrondie et dense, est constituée de rameaux épineux [15].

2.2.1. Racines

L'arganier commence par un enracinement pivotant avant de développer des racines traçantes, lui permettant de maximiser l'absorption des pluies éparses [29]. Les racines de l'arganier s'enfoncent profondément dans le sol, atteignant jusqu'à 30 mètres de profondeur, cette caractéristique lui permet d'accéder aux réserves d'eau des couches souterraines, favorisant ainsi son adaptation aux climats semi-arides et arides [30]. La croissance de l'arganier après la germination suit le modèle des espèces adaptées aux zones arides : peu après l'émergence des cotylédons, la racine pivotante s'allonge de 5 à 8 cm, avec peu ou pas de racines latérales ou de chevelu racinaire [29]. L'observation de la croissance du système racinaire à l'aide du minirhizotron a mis en évidence son développement rapide par rapport à la partie aérienne, avec une progression de plus de 1 cm par jour. Après 38 jours, les parties aériennes de deux plantes mesuraient respectivement 8 et 12 cm, tandis que leurs racines principales atteignaient 48 et 53 cm. À la même période, le système racinaire total mesurait 157 et 229 cm, soit environ 20 fois la longueur de la partie aérienne [31]. Les systèmes racinaires des boutures et des semis présentent des différences morphologiques notables : les boutures développent un système racinaire adventif, caractérisé par plusieurs pivots très ramifiés, tandis que les semis possèdent un pivot unique, généralement peu ramifié [29]. Les racines de l'arganier ont une grande dépendance mycorhizienne [32, 33]. D'ailleurs, Nouaim *et al.* [32] indiquent, après six

mois de croissance, les plants mycorhizés affichent une longueur moyenne trois à quatre fois supérieure à celle des plants témoins.

2.2.2. Tronc, Bois et âge

L'arganier possède un tronc court et très vigoureux, tourmenté et puissant, souvent formé de plusieurs tiges entrelacées résultant de la fusion de rejets proches les uns des autres [34]. Le bois de l'arganier est reconnu pour sa solidité exceptionnelle et sa polyvalence d'usage [35]. Il se caractérise par une texture compacte et dense, avec une teinte jaunâtre distinctive [11]. À l'âge adulte, l'écorce du tronc prend une coloration grisâtre [36]. L'estimation de l'âge de l'arganier demeure une tâche complexe en raison de la faible visibilité des cernes de croissance et de l'irrégularité du développement du bois [11, 37]. Il a été estimé entre 250 et 300 ans [38], voire dépasser les 300 à 350 ans [11]. D'autres auteurs avancent qu'il peut vivre plus de 400 ans [39], tandis que certaines estimations suggèrent une longévité pouvant dépasser 1000 ans [40]. Selon Kenny [36], un arganier aurait approximativement quatorze siècles.

2.2.3. Feuilles

L'arganier présente un feuillage dont la morphologie est particulièrement variable [23, 41]. Ses feuilles, qui sont subpersistantes et alternées, peuvent subsister plusieurs années consécutives selon les conditions climatiques et la disponibilité en eau, bien que l'arbre connaisse parfois une caducité occasionnelle [42]. Les feuilles de l'arganier, alternes et fréquemment regroupées en fascicules, sont entières et de forme lancéolée-oblongue ou spatulée. Elles mesurent généralement entre 2 et 3 cm de long et présentent une teinte vert foncé sur leur face supérieure, tandis que leur face inférieure est plus claire. Elles sont glabres et se distinguent par une nervure médiane bien marquée ainsi que par des nervures latérales fines et ramifiées. De plus, ces feuilles sont subpersistantes, conservant leur présence même en période de sécheresse [23, 24, 43, 44].



Photo 1. Feuilles et fruits de l'arganier.

2.2.4. Fleurs et pollinisation

L'arganier est caractérisé par une phénologie florale complexe et variée, notamment en ce qui concerne le nombre de boutons floraux, de répartition, du nombre d'étamines et les propriétés morphologiques du gynécée [45]. Il s'agit d'une espèce monoïque dotée de fleurs hermaphrodites [34, 45-47].

Les fleurs de l'arganier apparaissent à l'aisselle des feuilles ou aux nœuds des pousses annuelles, aussi bien sur les rameaux de la dernière saison de croissance que sur le bois mature. Elles sont regroupées en inflorescences de type cyme ou glomérule, où la fleur située au sommet s'épanouit en premier, suivie progressivement par les fleurs extérieures. L'évolution d'une fleur suit une séquence de cinq stades phénologiques distincts [48]. Le calice est composé de cinq sépales arrondis, blancs et pubescents, situés entre deux bractées brunâtres. La corolle, en forme de coupe, est constituée de cinq pétales jaune pâle. À la base des pétales sont attachées cinq anthères portées par de longs filaments, ainsi que cinq étamines stériles plus courtes. Le style est court et conique, tandis que l'ovaire est supérieur, velu et formé de deux à quatre loges [48].

L'émission du pollen se produit avant que les structures femelles ne commencent à se développer, ce qui rend l'autopollinisation pratiquement irréalisable ; elle est donc pollinisée par le vent et les insectes [36]: 80% de la pollinisation est anémophile tandis que 20% est entomophile [49]. la plage de température idéale pour la pollinisation de l'arganier se situe entre 25 et 30°C, ce qui justifie la profusion de la nouaison au printemps [36].

deux types de floraison ont été identifiés : une floraison pauciflore, peu abondante, qui apparaît en premier sur les rameaux âgés et lignifiés, et une floraison plus tardive, mais

beaucoup plus abondante, se développant sur les nouvelles pousses [46]. Le cycle de floraison et de fructification de l'arganier s'étend sur deux ans [50], Selon Ferradous *et al.* [46], il y a trois types phénologiques chez l'arganier :

- Les précoces : floraison en automne (la fin du mois de septembre), maturation des fruits en seize mois, chute au printemps.
- Les tardifs : floraison en hiver en (décembre, avec un pic en mars), fruits mûrs tombant en été de l'année suivante.
- Les intermédiaires : floraison entre l'automne et le printemps, chute des fruits entre le printemps et l'été de l'année suivante.

Après chaque pluie, de nouvelles fleurs émergent, entraînant la formation de fruits de tailles variées sur un même arbre [46].

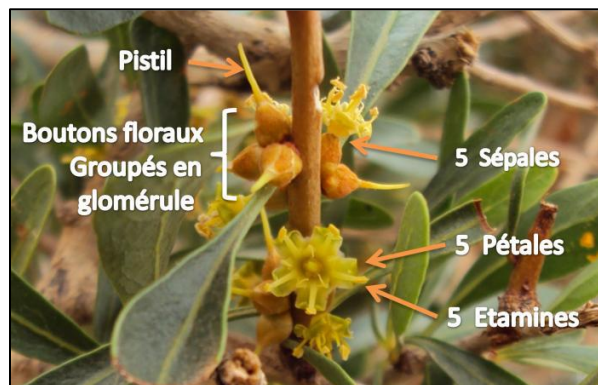


Photo 2. Composition florale et boutons floraux avec styles apparents [5].

2.2.5. Fruits, noyaux et amandes

Le fruit de l'arganier est une drupe dont la couleur évolue vers le jaune ou le rouge à maturité. Il se décline en six formes distinctes : fusiforme, ovale apiculée, ovale, en goutte, arrondie et globuleuse. Sa taille varie entre un et cinq centimètres [51]. Il est situé à la base des feuilles ou sur des rameaux latéraux feuillus, qu'ils soient longs ou courts [38]. Il se compose d'un péricarpe charnu (pulpe) entourant un noyau extrêmement dur, représentant environ 25 % du poids du fruit frais. Ce noyau contient une à trois amandes albuminées, riches en huile, avec une teneur variant entre 50 et 60 % [52]. Les amandes sont elliptiques et aplaties. Chaque amande constituée de deux cotylédons foliacés [53].

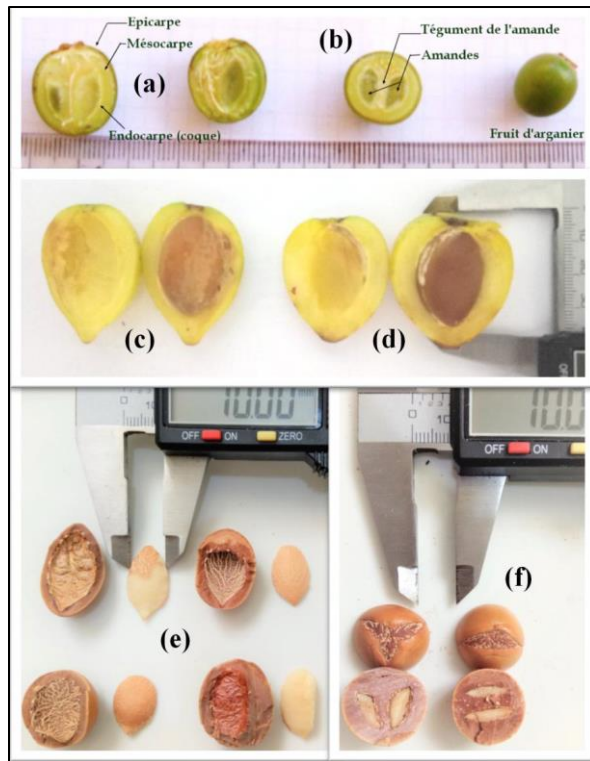


Photo 3. Fruits, graines et amande d'arganier : Coupes transversale et longitudinale de petit fruit d'arganier (a, b) ; coupe longitudinale de fruit d'arganier mûres de forme ovale-apiculée (c) et de forme ovale (d) ; Coupes sur graines et formes d'amandes : longitudinales (e), et transversales (f) [5].

2.2.6. Ports de l'arbre et ramification

Au fil du temps, de nombreux auteurs ont décrit l'arganier, le comparant à divers arbres tels que le poirier, le prunier ou encore le cassier [54]. Son port est particulièrement variable [41] et rappelle parfois celui de l'olivier [55, 56].

La forme naturelle de l'arganier peut être influencée par plusieurs facteurs, notamment son âge, les conditions climatiques et les interventions humaines et animales [36]. D'un point de vue morphologique, on distingue généralement deux grands types d'arganiers : un type pleureur, caractérisé par des rameaux flexibles, retombants et presque dépourvus d'épines [38, 57], et un type dressé, doté de nombreuses épines [57].

Les rameaux de l'arganier sont munis d'épines, ce qui lui vaut son nom d'espèce *A. spinosa*. Ces épines jouent un rôle protecteur pour l'arbre. Certaines peuvent se transformer en nouveaux rameaux, tandis que d'autres présentent une structure plus classique avec un bourgeon apical. La suppression de l'apex favorise la ramification, donnant ainsi à l'arbre un

port particulièrement dense lorsqu'il est brouté par les chèvres. L'arganier possède une remarquable capacité de régénération, notamment par le rebourgeoisement et l'émission de rejets à partir de la souche. Lorsqu'il est coupé, il forme un buisson épineux dense et impénétrable, qui continue de croître durant plusieurs années jusqu'à ce que les nouvelles pousses centrales deviennent inaccessibles aux animaux, en particulier aux chèvres [58].

L'arganier se distingue également par une ramification très dense [11]. D'après Zahidi *et al.* [59], les rameaux présentent une grande diversité morphologique, qui comprennent notamment un type très épineux et très ramifié, un type inerme peu ramifié, ainsi que des variantes épineux peu ramifié et le type moins épineux peu ramifié.



Photo 4. Pieds d'arganier de Stidia, à Mostaganem.

3. Écologie de l'arganier

3.1. Répartition géographique

L'arganier est une espèce endémique au nord-ouest de l'Afrique [11, 60]. La plage de l'arganier se situe dans la zone de transition entre la zone iso-climatique méditerranéenne au nord et saharienne au sud et a une large ouverture sur l'océan Atlantique [61].

L'aire principale de l'arganier se situe entre 29 et 32° de latitude Nord [44]. Dans les zones arides et semi-arides du sud-ouest du Maroc, principalement dans la vallée du Souss, entre Safi et Goulimime [61], où il occupe plus de 8.000 km² sur une large gamme d'altitude, du niveau de la mer jusqu'à 1.500 m [62]. D'après Aka-Koutoua [44], El-Yousfi [63], l'aire de l'arganier peut être divisée en trois grandes zones.

a. La première est la plus dense et la mieux développée. Elle s'étend du Nord-Est d'Essaouira, longeant le littoral, et descend vers le Sud, où elle couvre une grande partie de la vallée du Souss sur environ 100 km d'éloignement de littoral. L'arganeraie atteint jusqu'à 1000 m d'altitude sur les contreforts du Haut Atlas avant de s'estomper progressivement sur les pentes nord de l'Anti-Atlas.

b. La deuxième zone marque la limite extrême de l'arganeraie, où les arbres deviennent plus clairsemés, avec une densité inférieure à 30 pieds par hectare. Dans la bande allant d'Essaouira à Agadir, son extension ne dépasse pas 100 km à l'intérieur des terres, tandis que dans la vallée du Souss, elle peut atteindre 150 km. Dans le Haut Atlas, elle culmine à environ 1500 m d'altitude avant de descendre vers la vallée du Drâa. Quelques vestiges de peuplements anciens témoignent de son extension passée.

c. la troisième zone est constituée de petits îlots isolés, vestiges d'anciennes forêts d'arganiers. Parmi les plus notables figurent ceux situés aux abords de l'Oued Grou, près de Rabat, ainsi que dans le massif de Beni Snassen, non loin d'Oujda au Nord Est de Maroc.

En Algérie, l'arganier occupe une aire de répartition relativement vaste située dans le nord-ouest de la wilaya de Tindouf, où il représente la seconde essence forestière après *Acacia radianna* [64]. Il est répartis en trois stations, à Touaref Bou-âam, Merkala et Targant, couvrant ainsi une superficie estimée à 50 670 hectares [60].

Dans cette région, exactement dans la Hamada de Drâa, l'espèce se développe sous forme de populations dispersées, adoptant un mode de regroupement contracté le long des oueds, où elle bénéficie des apports hydriques nécessaires [65, 66].

3.1. Exigences bioclimatiques

L'arganier (*Argania spinosa*), considéré comme une essence xérophile et thermophile [11, 67], s'est remarquablement adapté aux conditions arides et aux sécheresses prolongées [43]. Cette adaptation ne repose pas tant sur une économie d'eau que sur sa capacité à puiser

l'humidité en profondeur grâce à son puissant système racinaire [41, 68]. D'après Boudy [11], dans les régions forestières arides et semi-arides, la densité des peuplements d'arganier adultes diminue, car les racines de l'arganier nécessitent un espace vital important pour extraire l'eau du sol.

Le régime pluviométrique optimal pour l'espèce est de 500mm par an ; néanmoins, 120mm de pluie constituent le minimum nécessaire à son développement [69]. selon M'hirit [15] l'optimum pluviométrique de l'arganier est d'environ 250 mm, tandis que sa limite de répartition correspond à l'isotherme de 3 °C en janvier. Cependant, les contraintes climatiques sont atténuées par la douceur du climat et un taux d'humidité relativement élevé, influencé par la proximité de l'océan [15]. L'arganier peut supporter des températures extrêmes hautes jusqu'à 50°C [44]. Il ne peut résister que peu de temps à des températures inférieures à 0 °C [70-72].

La population relique de Tindouf se trouve dans un climat saharien, caractérisé par un hiver tempéré et une pluviométrie annuelle d'environ 45 mm [73, 74]. Cette faible quantité en précipitation est récompensé par les eaux souterrain des oueds [65]. Où il repartie exclusivement [66]. Juillet est le mois le plus chaud, avec une température moyenne de 46 °C [19, 73, 74], tandis que janvier est le plus froid, avec une moyenne de 6,5 °C [73, 74]. En hiver, l'humidité relative peut atteindre 50 % à Tindouf [19].

3.2. Pédologie

l'arganier est peu exigeant quant à la nature physico-chimique du sol et puisse se développer sur une large gamme de substrats (calcaire, marnes, argiles rouges triasiques, schistes, etc.), il ne parvient pas à s'implanter sur les dunes à cause de la mobilité des sables, qui expose ses racines au décapage [34, 49]. Cependant, sa présence dans les milieux arides et semi-arides, caractérisés par des sols pauvres et peu profonds, améliore les propriétés pédologiques grâce aux apports de matière organique qu'il génère [75].

Dans l'arganeraie de Tindouf, la texture du sol est composée de différentes fractions granulométriques, allant de 4,1 à 20,7 % d'argile, 0,7 à 13 % de limon fin, 0,5 à 5,3 % de limon grossier, 15 à 57,4 % de sables fins et 29,3 à 62,5 % de sable grossier. La matière organique y est rare et salée, tandis que le taux de calcaire total est généralement moyen, sauf sur le lit de l'oued où il devient relativement élevé [19].

3.3. Phénologie

L'arganier présente un caractère phénologique distinctif : la défoliation. En effet, certains individus isolés, voire des régions entières, peuvent perdre leur feuillage et entrer dans un état de ralentissement métabolique, avant de reverdir lorsque les conditions deviennent plus favorables [11, 71]. Ce phénomène, bien que relativement rare, survient en réponse à des périodes de sécheresse intense. Dans ces circonstances, l'arganier se défait totalement de ses feuilles afin de réduire la transpiration et limiter la perte en eau. Cette caducité, bien que temporaire, peut néanmoins persister sur plusieurs années en fonction des variations climatiques et de la disponibilité en ressources hydriques [42]. Bien que la plante est persistant, les feuilles peuvent tomber, totalement ou partiellement, surtout en réponse à l'été stresser, Il est donc préférable de considérer cette espèce comme une semi-caducue facultative d'été [23]. La défoliation apparaît comme une réponse génotypique au déficit hydrique [46].

La floraison a lieu principalement au printemps, avec une grande variation selon les individus [46, 76]. La maturation des fruits s'achève, au plus tard, en août, elle est généralement entre la fin du printemps et le début d'été, elle varie selon les individus [46]. La production fruitière s'étend sur une longue, et les fruits peuvent être trouvés dans différentes phases de maturation [23].

plusieurs chercheurs ont mis en évidence un polymorphisme chez l'arganier, en raison de la diversité morphologique de ses graines et de sa capacité à se défeuiller [11, 71, 77]. Cependant, les travaux de Thierry [49] ont révélé que la distinction entre la forme normale et la forme pleureuse de l'arganier n'était pas significative, et la modification de la forme des graines résulterait principalement de l'action d'enzymes, ce qui remet en question l'hypothèse du polymorphisme chez cette espèce.

3.4. Écophysiologie

L'arganier est un arbre dont la physiologie reste encore peu étudiée, limitant ainsi la compréhension des mécanismes internes qui régissent son développement, sa plasticité et sa résistance aux différents types de stress [43]. Cet arbre se distingue par sa capacité à survivre à des périodes prolongées de sécheresse et aux effets desséchants du vent. Contrairement à d'autres espèces économisant l'eau, l'arganier puise cette ressource en profondeur, ce qui lui confère une résistance particulière [41, 68].

La régulation stomatique de l'arganier est influencée par la sécheresse, comme l'ont démontré Peltier *et al.* [78]. Lors d'un stress hydrique, la teneur en eau relative des feuilles augmente,

due à une fermeture graduelle des stomates [79], et la croissance de certains de ses rameaux ralentit [68]. Une étude menée sur des plantules âgées de trois mois a révélé leur aptitude à tolérer un stress hydrique sur une période de deux cents jours [80]. Toutefois, une augmentation de la teneur en sel dans le sol peut entraîner une réduction de la production de biomasse aérienne et racinaire [81].

Les racines de l'arganier présentent une forte dépendance aux mycorhizes, ce qui améliore leur capacité à capter l'eau [82], et contribue significativement à la croissance et à la nutrition de l'arbre [33]. Cet effet bénéfique est particulièrement marqué dans des environnements difficiles, caractérisés par des sols pauvres et des conditions arides ou semi-arides [83]. D'ailleurs, Nouaim *et al.* [32], indiquent, après six mois de croissance, les plants mycorhizés affichent une longueur moyenne trois à quatre fois supérieure à celle des plants témoins.

Dans un environnement extrême, comme celui de Tindouf, l'arganier présente une adaptation remarquable au stress hydrique. Son mode de croissance traduit une stratégie d'allocation préférentielle de la biomasse vers le système racinaire, une réponse typique aux déficits en eau du sol [84]. Cette caractéristique se manifeste par une augmentation du rapport entre la matière sèche des racines et celle des parties aériennes [85]. Par ailleurs, le profil minéral de l'arganier révèle des concentrations en macro et oligoéléments comparables à celles d'autres espèces oléagineuses. Cependant, une particularité réside dans l'accumulation significative de fer au niveau des feuilles, du bois et des fruits de l'arbre [36].

Toutefois, l'arganier est sensible aux perturbations de son système racinaire. Les semis subissent un choc physiologique important lorsque la racine pivotante est sectionnée, que ce soit en pépinière ou lors du repiquage [86]. Cette coupure compromet souvent leur capacité de reprise, notamment en cas d'enroulement racinaire [87]. Dans ces conditions, le développement racinaire doit être suffisant pour coloniser le sol et assurer une bonne implantation [88].

4. régénération de l'arganier

L'arganier a la capacité de se régénérer de manière naturelle, soit par le biais de graines (semi naturel), soit à travers des rejets de souche. La multiplication artificielle (le reboisement) (par Semis en pépinière, bouturage et greffage), ainsi que les méthodes avancées de biotechnologie végétale, est employé pour remédier l'absence, la lenteur ou des défauts de régénérer naturelle [64, 89, 90]

4.1. Régénération naturelle

4.1.1. Semi naturel

Bien que le potentiel de régénération de l'arganeraie existe, son rôle dans son rajeunissement demeure très limité [89]. L'arganier ne se régénère ni naturellement par semis, sauf dans de rares cas, ni artificiellement par plantation [91]. Selon Nouaim [90], la régénération par semis naturel sous l'arbre est pratiquement absent dans l'ensemble de l'arganeraie.

D'après Benkheira [64], et Bellefontaine [89] dans l'arganeraie la régénération par germination naturelle a lieu grâce aux graines qui se déposent sur le sol. Ces semis naturels ont besoin, évidemment, de conditions écologiques exceptionnelles (comme le climat et le sol) appropriées pour que les graines germent ; en revanche, l'établissement des jeunes plants requiert la présence d'une couche de sous-ligneux pour garantir leur protection et leur croissance. En termes de son habitat naturel, l'Arganier semble éprouver une absence presque complète de régénération naturelle, à l'exception de quelques rares sites situés en bordure des cours d'eau où il semble bénéficier d'un maximum d'humidité.

Le manque de régénération naturelle de l'arganier est principalement dû aux récolte intensive des noix d'argan pour la production de l'huile, Les rares graines qui échappent à cette collecte et parviennent à germer ne survivent généralement pas au-delà du stade de plantule, étant systématiquement broutées par les animaux, en particulier les chèvres. De plus, la pression exercée par la surpopulation et le surpâturage a conduit à la quasi-disparition des touffes d'épineux, qui jouaient autrefois un rôle essentiel en favorisant la germination et en protégeant les jeunes pousses contre les herbivores [11, 12, 90].

4.1.2. Rejets de souches

Après l'abattage d'un arganier, les bourgeons situés à la base de la souche se transforment en rejets de souche, qui constituent aujourd'hui, de manière évidente et sur l'ensemble de l'arganeraie, le principal mode de régénération de l'espèce [64, 89]. Une souche peut produire entre 20 et 50 rejets, voire davantage [92]. Cette aptitude à produire des rejets peut persister au-delà de 200 à 250 ans [11, 91]. Bien que l'arganier fasse preuve d'une remarquable résistance aux agressions, le broutage répété par les chèvres finit par affaiblir cette capacité [91]. Alors une protection contre le surpâturage doit être assurée à ces rejets durant une longue période (mise en défens de 6 à 8 ans) [64]. De 10 à 15ans [90]. Toutefois, cette mesure de protection était généralement mal acceptée par les éleveurs [89].

4.2. Régénération assistée

4.2.1. Production des plants par semis en pépinière

La reproduction par semis est la technique la plus couramment employée pour multiplier les espèces forestières, et l'arganier n'échappe pas à cette pratique [93]. En moment, la coque des graines de certaines espèces forestières constitue un obstacle contre la germination, ce qui pousse à explorer des techniques expérimentales alternatives [94]. La graine d'arganier est entourée d'une coque très dure et imperméable qui empêche l'eau de pénétrer facilement, retardant ainsi la germination [95]. Cette dernière ne nécessite pas de traitement chimique préalable, un simple pré-trempe dans l'eau, durant 4 jours est suffisant, méthode couramment utilisée en pépinière [31, 96, 97].

Le traitement mécanique par concassage de l'enveloppe dure des graines permet un contact plus rapide de l'amande avec l'eau, favorisant ainsi la germination. L'utilisation de l'amande nue plutôt que de la noix entière pour la production de plants d'arganier réduit le temps de latence de deux à trois semaines à seulement trois jours. De plus, l'intervalle de germination passe de quarante à douze jours. Ainsi, la scarification mécanique améliore considérablement la capacité de germination, pouvant atteindre 100 % [95].

En pépinière, la germination des graines se fait généralement par trempage dans l'eau avant d'être semées dans des sachets en polyéthylène ou dans des germoirs remplis de sol alluvial mélangé à du fumier caprin (proportion 1/5) ou de la tourbe, puis placées dans un environnement de culture adapté, Il est conservé humide par des arrosages réguliers [21, 93]. les plantules produites par semis possèdent un système racinaire pivotant avec un développement rapide et puissant, généralement peu ramifié [29, 93].

4.2.2. La multiplication végétative

4.2.2.1. Par marcottage aérien

La méthode la plus couramment utilisée consiste à pratiquer une entaille sur l'écorce de branches fines, dont le diamètre varie entre 1 et 2 cm, puis à appliquer une hormone (AIB 0,4 %) sur le cambium exposé. Le type d'incision ou de blessure diffère selon les espèces : certains chercheurs recommandent une annulation complète et superficielle sur une longueur de 1 à 4 cm [98, 99], tandis que d'autres privilégient une incision légère de 3 cm en conservant l'écorce [30]. Une troisième approche consiste à réaliser une double incision, l'une

sur la face supérieure et l'autre sur la face inférieure du rameau [30, 99]. Après l'application de l'hormone, un manchon de substrat est immédiatement placé autour de la zone traitée et enveloppé dans un plastique noir épais, conçu pour résister aux UV et aux vents, avec une durée de maintien variant de 3 semaines à 5 mois selon l'espèce. Les extrémités sont hermétiquement scellées par glu ou graisse. L'arrosage se fait par injection de 10 mm d'eau toutes les 2 à 4 semaines via une seringue ; Le succès du marcottage dépend de la formation de racines adventives robustes, condition essentielle à la survie de l'arbre après sevrage. Cette technique présente plusieurs avantages, notamment la fidélité génétique, une production précoce et un coût réduit, accessible aux agriculteurs. Cependant, l'irrigation régulière du substrat représente une contrainte, et un enracinement insuffisant peut fragiliser l'arbre, augmentant le risque de déracinement sous l'effet du vent [89]. En novembre 1996 et juin 1997, des essais ont été menés sur quatre arganiers pour tester trois types d'incisions sur des rameaux de 1 à 2 cm de long : Annulation complète de l'écorce ; Deux incisions opposées (supérieure et inférieure) ; Trois incisions en laissant des segments d'écorce intacts. L'essai de novembre 1996 a montré que seules deux incisions ont permis la formation d'une racine unique par rameau. Lors de la deuxième expérience en juin 1997, la sécheresse a accéléré le dessèchement des rameaux, confirmant ainsi que les périodes chaudes et sèches ne sont pas adaptées à ce type d'expérimentation [99].

Des expériences menées en 2007 et 2008 [12] ont testé 13 traitements sur huit génotypes d'arganiers, en variant l'irrigation, l'utilisation d'hormones et trois types de substrats (tourbe, mélange tourbe-fibre de coco, et sphaigne du Chili). Faute de moyens, l'étude n'a pas suivi un protocole statistique strict, mais des observations ont montré que la sphaigne du Chili favorisait la formation de racines adventives, surtout sur les jeunes rameaux. Certains génotypes, se sont révélés plus adaptés au marcottage, alors que d'autres paraissent récalcitrants. L'irrigation durant la saison sèche a semblé améliorer la reprise des marcottes. Sur 170 marcottes réalisées en 2008, seules 8 (4,7 %) ont été transplantées avec succès.

4.2.2.2. Par bouturage

Le bouturage est une méthode qui implique la prélèvement d'une partie de la plante (tige, feuille ou racine) et à la placer dans des conditions spécifiques afin qu'elle développe des racines et donne naissance à un nouveau plant génétiquement identique à la plante d'origine [93].

Pour l'arganier le bouturage consiste à prélever de jeunes rameaux sur des arbres sélectionnés, puis transportées au laboratoire dans une glacière contenant un linge humide. Elles sont ensuite découpées en segments de 8 à 10 cm de longueur. Après l'élimination des feuilles basales, les boutures sont lavées à l'eau courante avant d'être immergées pendant 10 minutes dans une solution stérile d'eau distillée contenant 10 % d'eau de Javel et 5 ml d'agent mouillant (Pax) par litre. Elles sont ensuite rincées avec de l'eau distillée stérile, puis soumises à un traitement de cinq minutes dans une solution d'AIB (acide indole butyrique) à 5000 ppm, préalablement stérilisée. Enfin, elles sont placées dans des pots de culture contenant 50g de vermiculite, préalablement saturée avec la solution Long-Ashton et stérilisée par autoclavage pendant une heure à 120 °C [100].

Les travaux sur le bouturage sur l'arganier démontrent des limites techniques et physiologiques, avec des taux d'enracinement faible et variables selon l'âge, le génotype de l'arbre, la nature de bouture et la concentration en auxines, c'est une technique végétative possible mais limitée en pratique [93]. Toutefois, pour optimiser l'enracinement, il est essentiel d'utiliser un matériel végétal rajeuni (pousses de souche rabattue) et avoir des conditions qui permettent la formation du cal, processus long et difficile en raison de la pourriture et de la sénescence inévitables des boutures. En revanche, sous serre ou en milieu *in vitro*, les racines ont plus de chances de se former grâce à un contrôle optimal des conditions [93]. les boutures développent un système racinaire adventif, caractérisé par plusieurs pivots très ramifiés, tandis que les semis possèdent un pivot unique, généralement peu ramifié [29].

Parmi 2 490 boutures de semis « tout venant » utilisées pour évaluer les différentes techniques de bouturage, 1 467 ont réussi à s'enraciner et 1 020 ont été sevrées avec succès. Cela représente des taux moyens d'enracinement et de sevrage de 58,9 % et 69,5 % respectivement, aboutissant à un taux de réussite global de 41 % [12].

4.2.2.3. **Par greffage**

Le greffage est une technique qui vise à combiner les performances de deux individus végétaux : le greffon et le porte-greffe. Ce procédé repose sur l'union des systèmes vasculaires (xylème et phloème) des deux partenaires afin d'assurer une continuité fonctionnelle et une croissance harmonieuse [93]. Pour assurer le succès du greffage, il est essentiel de prélever les greffons lorsque l'arbre donneur (ortet) est en repos végétatif, tandis que le porte-greffe doit être en pleine activité physiologique, autrement dit « en sève » [101].

La greffe en fente apicale simple ainsi que la greffe par perforation, qu'elle soit apicale ou latérale, sont les techniques les plus simples à réaliser et celles offrant les meilleurs taux de réussite [93].

Le greffage est une méthode mieux adaptée à l'arganier que le bouturage et le marcottage. En plus de sa faisabilité pour préserver les caractéristiques des greffons issus de clones sélectionnés, il offre l'avantage de conserver les bénéfices du semis, notamment le développement de racines profondes qui permettent à l'arganier d'exploiter les ressources en eau en profondeur [93].

4.2.2.4. **Culture in vitro**

Les techniques *in vitro* désignent un ensemble de méthodes reposant à la fois sur des conditions d'asepsie strictes et sur la création d'un environnement totalement contrôlé. Elles s'appliquent aussi bien à des fragments de plante, tels que les tissus ou organes, qu'à des cellules isolées ou partiellement isolées [102]. La culture *in vitro* permet la production à grande échelle d'arbres génétiquement identiques, homogènes sur le plan physiologique et exempts de pathogènes, facilitant ainsi une réponse rapide aux besoins de production et à la restauration des écosystèmes agro-forestiers [103, 104].

Chez l'arganier, vu la lenteur et les contraintes des techniques traditionnelles de multiplication végétative (bouturage et greffage), l'utilisation de la culture *in vitro* constitue une alternative efficace pour la production en masse de plants [94]. La multiplication *in vitro* par microbouturage est une alternative de propagation conforme et rapide pour la multiplication de l'arganier [105]. La multiplication par microbouturage repose sur l'élaboration de milieux de culture optimisés, favorisant l'initiation et la multiplication des bourgeons, ainsi que l'enracinement des *in vitro*-plants issus des explants [106].

Selon Kenny [107], l'enracinement est l'étape la plus critique de la micropropagation de l'arganier. Les conditions nutritionnelles et environnementales optimales ne sont pas encore bien définies, pour la formation du cal. Plusieurs défis persistent, notamment la nécrose apicale, l'absence de racines secondaires, la contamination, le blocage de l'allongement racinaire et l'acclimatation des *in vitro*-plants.

Le protocole de microbouturage [108] recommande le milieu de Murashige et Skoog (MS), favorisant une bonne croissance des pousses chez certains clones. Cependant, d'autres clones présentent un faible taux de multiplication et des apex nécrosés indiquant ainsi que le succès

de la micropropagation dépend largement du génotype. D'autre côté, l'utilisation du « terragreen » au lieu de l'agar améliore significativement l'enracinement, indiquant que l'arganier est plus sensible aux propriétés physiques du substrat qu'à sa composition chimique. Malgré ces avancées, des défis techniques subsistent [89]. La culture *in vitro* constitue une méthode prometteuse pour la multiplication en masse et, par ailleurs, contribuerait et aidait à la restauration et la régénération rapide de l'arganeraie [106].

4.2.3. Plantation

Au Maroc beaucoup des essais de replanter l'arganier par semis dans plusieurs reprises mais sans succès [109]. Achour *et al.* [10], ont noté, malgré de nombreux projets de plantation d'arganiers au cours des années 1990 et 2000, aucune plantation sur de grandes superficies n'a été documentée comme un succès. Les rares plantations ayant évité les échecs ou les regarnis répétés sont de petites expériences menées par divers instituts de recherche [10]. Plus de 80 % des jeunes semis d'arganier périssent dès la première année, rendant difficile tout programme à grande échelle [110]. Cependant, un cas exceptionnel a été observé à Tiffaddine, où le taux de réussite variait entre 74 et 96 %, illustrant la rusticité de l'arganier [10]. Ces taux élevés de survie sont attribués à plusieurs facteurs, notamment :

- **Préparation optimisée du sol** : Ameublissement du sol et augmentation de la taille des trous de plantation (70-80 cm et rebouchage à 80%), facilitant l'enracinement et l'accumulation d'eau maximisant ainsi son absorption.
- **Arrosage adapté** : Irrigation avant le transport, immédiatement après la plantation, puis 1 à 2 arrosages supplémentaires (10 litres par plant) en période sèche.
- **Encadrement technique rigoureux** : Suivi strict par des techniciens forestiers assurant le respect des bonnes pratiques de plantation.
- **la surveillance des troupeaux** cela assurant le respect rigoureux des terres plantées et donnant la chance aux petits plants de se développer.

Dans l'arganeraie de Tindouf le taux de réussite variait entre 31.8 et 73.3 %, ces résultats positifs de la transplantation dans une zone saharienne résultent d'un régime régulier d'irrigation [21].

5. Intérêt de l'arganier

L'arganier, bien qu'étant un paradoxe phytogéographique, se distingue par sa vitalité exceptionnelle et sa remarquable capacité d'adaptation aux conditions environnementales,

faisant de lui un exemple fascinant d'espèce ligneuse à usages multiples [15]. L'arganier est un arbre polyvalent qui joue un rôle central dans les systèmes agroforestiers, contribuant depuis longtemps à la subsistance des populations vivant dans des zones arides et semi-arides, soumises à de fortes variations climatiques [111]. En raison de son importance écologique et socio-économique, il a été reconnu comme une « espèce protégée » (UNESCO) en 2007 [112].

5.1. Intérêt écologique

L'arganier a une valeur écologique incontestable en raison de sa résistance phénoménale aux conditions arides [113]. Il joue un rôle capital dans les équilibres écologiques à l'échelle régionale [88]. Berroukche *et al.* [7], résumant le rôle de l'arganier dans la protection des écosystèmes et la préservation de la biodiversité dans les points suivants :

5.1.1. Conservation du sol : Les arganiers ont un système racinaire profond et étendu qui aide à lier le sol, empêchant ainsi l'érosion. Ceci est particulièrement vital dans les régions arides et semi-arides où la dégradation des sols constitue un défi persistant. Les racines d'*Argania spinosa* jouent un rôle central dans la stabilisation du sol, réduisant le risque de glissements de terrain et promouvant des pratiques d'utilisation durable des terres. Il participe à l'enrichissement de sol en matière organique, notamment par la décomposition des feuilles mortes et des péricarpes secs des fruits tombés au sol [34, 43]. Sa présence le long des oueds est essentielle pour stabiliser les cours d'eau alimentés par les pluies intermittentes et pour réguler leur écoulement [38, 42]. Par ailleurs, il contribue également à la protection du sol contre les effets des vents forts, réduisant ainsi l'érosion éolienne [19, 34, 43]. Grâce à son système racinaire et à la strate herbacée qui se développe sous son couvert, l'arganier favorise la fixation et la rétention du sol [75].

5.1.2. Résistance à la sécheresse : les arganiers se sont adaptés pour prospérer dans des conditions difficiles, y compris des périodes de sécheresse. Leur capacité à résister à la pénurie d'eau est essentielle au maintien de l'équilibre écologique des écosystèmes arides. Alors que le changement climatique entraîne des sécheresses plus fréquentes et plus intenses, la présence d'*Argania spinosa* devient de plus en plus précieuse pour préserver l'intégrité de ces écosystèmes.

5.1.3. Prévention de la désertification : Le système racinaire expansif de l'arganier empêche non seulement l'érosion des sols, mais aide également à lutter contre la désertification, le

processus par lequel les terres fertiles se transforment en désert. Comme l'arganier ancre le sol et fournit de l'ombre, il crée un microclimat qui facilite la survie d'autres espèces végétales, contribuant ainsi à la résistance globale contre la désertification.

5.1.4. Soutien à la biodiversité : L'arganier favorise la biodiversité en fournissant un habitat unique à une variété d'espèces végétales et animales. L'écosystème diversifié entourant *Argania spinosa* comprend des plantes adaptées à l'ombre de l'arbre et des animaux qui trouvent abri et nourriture dans ses branches. Cette biodiversité est cruciale pour la résilience de l'ensemble de l'écosystème, créant un environnement équilibré et durable.

5.1.5. Séquestration du carbone : les arganiers contribuent à la séquestration du carbone, contribuant ainsi à atténuer les impacts du changement climatique. Le processus de photosynthèse dans les feuilles de l'arbre absorbe le dioxyde de carbone de l'atmosphère et le convertit en oxygène. À mesure que les inquiétudes concernant l'augmentation des niveaux de gaz à effet de serre augmentent, le rôle d'*Argania spinosa* dans la séquestration du carbone devient de plus en plus important.

5.1.6. Préservation de la biodiversité L'arganier crée un refuge pour la biodiversité, favorisant un écosystème unique qui abrite une gamme diversifiée d'espèces végétales et animales. L'interaction entre l'arganier et son environnement souligne l'équilibre délicat nécessaire au maintien de la vie. L'étude de ces relations révèle comment *Argania spinosa* contribue non seulement à sa propre survie mais aussi à la richesse et à la résilience globales des écosystèmes qu'elle habite.

5.1.7. Création d'habitat : Les arganiers créent un habitat unique à proximité immédiate. L'ombre fournie par leur canopée et le microclimat qu'ils génèrent en dessous favorisent la croissance de diverses espèces végétales. Cela attire à son tour un large éventail d'insectes, d'oiseaux et de mammifères. Les branches et les feuilles de l'arganier deviennent des sites de nidification et des abris favorisant la biodiversité au sein de son écosystème. Les arganiers contribuent à la création des micro-stations caractérisées par un sol d'accumulation modifiant ainsi le paramètre géomorphologique sur la formation tabulaire de la hamada offrant ainsi des conditions propices à la biodiversité dans les zones arides et sahariennes [19]. près de 100 espèces végétales coexistent sous son couvert [41].

5.1.8. Diversité de la flore : L'arganier n'est pas une entité isolée mais fait partie d'un écosystème plus large. La diversité végétale entourant *Argania spinosa* est influencée par sa

présence, créant une communauté végétale équilibrée et variée. Cette diversité de flore contribue à la résilience globale de l'écosystème, lui permettant de s'adapter aux conditions environnementales changeantes. La biodiversité végétale des forêts d'arganeraies reflète son hétérogénéité biogéographique où cohabitent des taxons méditerranéens, tropicaux, succulents et endémiques [114]. L'arganeraie de Tindouf constitue un écosystème unique, abritant une biodiversité floristique remarquable avec 123 espèces végétales réparties en 38 familles botaniques [115].

5.1.9. Diversité de la faune : L'arganier constitue un refuge pour diverses espèces animales. Les oiseaux, les insectes et les petits mammifères trouvent refuge dans les branches, tandis que les animaux plus gros peuvent chercher de l'ombre sous sa canopée. La présence d'*Argania spinosa* contribue à la richesse globale de l'écosystème en soutenant une diversité d'espèces sauvages, comprenant à la fois des espèces résidentes et migratrices.

5.1.10. Relations mutualistes : Les arganiers entretiennent des relations mutualistes avec certains animaux. Par exemple, on sait que les chèvres grimpent sur les arganiers pour se nourrir des fruits. Bien que cela puisse sembler préjudiciable à l'arbre, cela contribue à la dispersion des graines. Les graines traversent le système digestif des chèvres et sont ensuite excrétées à différents endroits, contribuant ainsi à la régénération naturelle des forêts d'arganiers.

5.1.11. Endémisme et adaptation : L'arganier lui-même est une espèce endémique, ce qui signifie qu'il est originaire d'une zone géographique spécifique. Les conditions uniques dans lesquelles *Argania spinosa* prospère créent un écosystème spécialisé avec des espèces adaptées à sa présence. Cet endémisme améliore la biodiversité de la région, faisant de la forêt d'arganiers un atout écologique distinctif et précieux. la présence de l'arganier est associée à un fort taux d'endémisme [116]. Dans l'arganeraie de Tindouf, cet endémisme se manifeste par 16 taxons, représentant 20,3 % des 79 espèces recensées [5].

5.1.12. Conservation des espèces rares : La forêt d'arganiers peut servir de refuge à des espèces végétales et animales adaptées aux milieux arides et pouvant être rares ou menacées. En maintenant la santé de l'écosystème de l'arganier, les efforts contribuent indirectement à la conservation de ces espèces et empêchent leur déclin.

L'arganeraie de Tindouf abrite 79 espèces. Parmi elles, 3 taxons (4 %) sont considérés comme assez rares (AR), 11 taxons (14 %) sont classés comme rares (R) et 4 taxons (5 %) sont très

rares et menacés (RR). En revanche, 37 % des espèces sont communes (C), 15 % sont très communes (CC) et 24 % sont assez communes [5].

5.2. Intérêt économique

L'Arganeraie constitue une source majeure de subsistance et de revenus pour les populations locales, qui l'exploitent selon des usages variés. Elle est mise à profit sous différentes formes, notamment :

5.2.1. Ressource en bois

Le bois de l'arganier se distingue par sa densité et sa dureté exceptionnelles, avec une teinte blanc-jaunâtre. Il constitue un excellent combustible, offrant un rendement supérieur à un quintal de charbon par stère. En plus de son utilisation énergétique, il est largement employé dans la construction rurale pour la fabrication de poutres, de supports de plafond et de portes. Par ailleurs, le bois d'arganier sert également à la confection de divers objets ménagers et outils agricoles, tels que les araires, les rouleaux de puits, les piquets et même certaines serrures [15]. Au cours des soixante dernières années, l'exploitation des arganeraies a connu des transformations majeures en raison de l'intensification de la production de charbon de haute qualité. Entre 1919 et 1924, la production a atteint 70 000 quintaux, avant d'être progressivement limitée et réglementée à partir de 1925. Pendant la Seconde Guerre mondiale (1939-1945), ces exploitations se sont intensifiées, notamment dans la région d'Agadir, où près de 40000 hectares ont été concernés par des coupes ciblant principalement les arganeraies en déclin, à faible rendement, nécessitant une régénération. Depuis, la production a fortement diminué en raison de la hausse des prix du bois et du charbon, ainsi que des difficultés à mettre en œuvre les techniques sylvicoles [15].

5.2.2. Ressource fourragère

Pendant les années de sécheresse, l'arganeraie joue un rôle vital en nourrissant les animaux locaux ainsi que les vastes troupeaux en provenance du Sahara. Le bétail profite de toutes les parties de l'arganier, y compris les feuilles et les fruits. De plus, le sous-bois et la couverture herbacée contribuent également à leur alimentation ; Les sous-produits issus du fruit, notamment la pulpe séchée et le tourteau, représentent d'excellents aliments pour le bétail. La pulpe séchée à l'air, riche en glucides, constitue une source de nourriture à haute valeur énergétique pour les animaux [15]. Sa valeur fourragère moyenne est estimée entre 80 et 85 U.F., ce qui signifie que, sur le plan nutritionnel, 100 kg de pulpe équivalent à 80 à 85 kg

d'orge [117]. Les tourteaux, qui sont le sous-produit de l'extraction de l'huile d'argan, servent à nourrir le bétail et peuvent aussi être employés comme fertilisant [15]. La pulpe des fruits et les feuilles d'arganier sont considérés comme des aliments de qualité ayant respectivement 0,84; 0,85 unité fourragère lait (UFL) et 0,76; 0,77 unité fourragère viande (UFV) [118].

5.2.3. Ressource alimentaire

L'huile d'argan joue un rôle vital dans la survie de certaines populations vivant dans des zones pauvres et difficiles d'accès. Consommée presque quotidiennement, elle couvre l'essentiel de leurs besoins métaboliques en lipides [52]. c'est le seul produit dérivé de l'arganier utilisé à l'alimentation humaine, se consomme directement ou en assaisonnement pour rehausser le goût des plats, c'est un ingrédient clé dans divers mets traditionnels [119]

5.2.4. Ressource cosmétique et pharmacologique

L'huile d'argan, représente une production annuelle pouvant atteindre 4 000 tonnes [120]. Cette huile a des caractéristiques biologiques exceptionnelles qui encouragent son application en pharmacie et en cosmétique [41]. Elle est rarement employée seule à des fins thérapeutiques, étant généralement associée à d'autres ingrédients. Toutefois, elle est utilisée pour soulager les rhumatismes, favoriser la récupération après un traumatisme, traiter l'hypercholestérolémie, accélérer la cicatrisation des brûlures, apaiser l'eczéma et agir comme aphrodisiaque et spermatogène, en plus tous les parties de l'arganier (feuilles, fruits, fleurs, écorce, racines) sont valorisées dans la médecine traditionnelle pour traiter une large gamme des problèmes sanitaires [119]

5.3. Rôle sociale

Au Maroc, l'arganier a permis la création de plusieurs emplois via la création de coopératives féminines qui pratiquent un travail fastidieux et manuel pour extraire l'huile d'argan avec minutie (la meule et les pierres), ces femmes ont un savoir-faire ancestral qui a été transmis de mère à fille afin de préserver cette tradition et valoriser leur produit local. L'arganier permet une stabilité de la population ce qui limite l'exode rural. L'huile d'argan représente un produit international relativement nouveau et elle est exportée uniquement par le Maroc. Les distributeurs en Europe et en Amérique du Nord commercialisent l'huile d'argan à l'échelle mondiale, notamment sur les marchés d'Amérique du Nord, d'Europe et d'Asie. Grâce à ses propriétés uniques, il est probable que les exportations continueront de croître à l'avenir [121].

En 2022, la filière arganier au Maroc a réalisé un chiffre d'affaires de plus de 100 millions de dollars, avec des exportations atteignant 38 millions de dollars. Le secteur regroupe plus de 850 coopératives féminines et 500 entreprises privées, principalement dédiées à la transformation, la valorisation et la commercialisation des produits issus de l'arganier [122].

En Algérie, le système socioéconomique actuel de l'arganeraie repose sur des pratiques traditionnelles adaptées aux contraintes locales. L'extraction de l'huile d'argan, bien que présente, est rarement pratiquée en raison de la pénibilité du procédé, ce qui la rend peu attrayante pour les populations nomades qui la réservent à des occasions particulières. Par ailleurs, l'établissement de la réserve naturelle a entraîné un changement notable dans les usages énergétiques : le bois massif, autrefois utilisé comme combustible, a été progressivement remplacé par le branchage de l'arganier. En ce qui concerne l'élevage, il reste essentiellement tourné vers l'autoconsommation. Les produits issus de cette activité, comme la viande et le lait, sont destinés à répondre aux besoins alimentaires des éleveurs, sans objectif de commercialisation à grande échelle [5].

6. Contraintes influant sur l'arganier

L'arganier est une référence mondiale en tant que système agroforestier terrestre polyvalent et prospère [86]. Cependant, sa régénération paraît inviable en raison des multiples agressions causées par des facteurs biotiques et abiotiques [9]. Parmi les menaces majeures, on note : l'aridité du climat, marqué par une diminution, et une grande irrégularité des précipitations, participe à la diminution de la vitalité des arganiers. Cela entraîne à long terme une progression de leur mortalité sur pied et une diminution de leur densité par hectare, tout en réduisant les probabilités de germination des rares graines saines restantes sur le sol [10]. le surpâturage, l'extension des cultures intensives dans les plaines et la récolte excessive des fruits [11, 12]. L'expansion démographique a également accentué la pression sur cette ressource [12, 17, 123]. Par ailleurs, la surexploitation du bois d'arganier pour la production de charbon intensifie encore la pression sur cet arbre [13-16], En conséquences moins d'un siècle, plus d'un tiers de l'arganeraie a été disparu [17], et la dégradation de cette ressource ne cesse de s'intensifier [18]

De plus la baisse continue du niveau des nappes sous l'effet de l'approfondissement continu des puits [124]. Et la surexploitation des eaux souterrains par un pompage anarchique [123]. pour l'agriculture et le tourisme dépassant ainsi les capacités de ces nappes qui sont sous-alimentées [125], tout ça pour répondre aux demandes croissantes des usagers sans considérer

les conséquences sur l'environnement naturel [44], cela entraîne la régression de l'arganeraie et provoque un déséquilibre dans les structures de sa végétation [43, 86]. Cependant, l'ensablement, le surpâturage, les conditions climatiques sévères, les coupes illicites et la carbonisation sont les principaux facteurs de la dégradation de l'arganeraie de Tindouf [5]

Chapitre 2. Plantations à arganier en Algérie

Sous-Chapitre 2. 1. État des plantations à arganier en Algérie

1. Introduction

Dans de nombreux pays en développement, les communautés rurales dépendent fortement des ressources forestières pour satisfaire une part significative de leurs besoins alimentaires et énergétiques. En outre, les arbres jouent un rôle essentiel dans l'amélioration de la qualité de vie. Les initiatives visant à préserver les écosystèmes forestiers tout en renforçant la productivité seraient d'autant plus efficaces si les potentialités offertes par les essences ligneuses à usages multiples étaient mieux connues. Une telle connaissance permettrait de mieux apprécier leur contribution à l'amélioration des conditions de vie, en particulier en ce qui concerne la sécurité alimentaire et les moyens de subsistance des populations rurales [15].

L'arganier constitue une ressource agro-sylvo-pastorale d'importance, en raison de la diversité de ses usages [11]. Il est notamment valorisé pour son huile extraite des amandes, largement utilisée à des fins culinaires et cosmétiques [126]. Par ailleurs, son feuillage et ses fruits représentent une source de fourrage pour les caprins [23, 118]. Son bois est exploité comme combustible, que ce soit sous forme de bois de chauffage ou de charbon [23].

En Algérie l'arganier se trouve à l'état naturel dans une zone très limitée dans l'extrême nord-ouest du Tindouf dans le Sahara occidental algérien [60]. Vanden-Berghe [127] signalait que des tentatives d'introduction de l'arganier avaient été réalisées le long du littoral algérien, mais elles n'avaient pas donné les résultats escomptés. Ces tentatives ont toutefois été reprises dans le nord-ouest de l'Algérie, depuis les années cinquante par la Société des Amis de l'Arbre en Oranie, en collaboration avec la conservation des eaux et forêts d'Oran, qui a mené des essais de germination et de plantation de l'arganier [128]. Certaines traces de ces travaux subsistent encore aujourd'hui, notamment un sujet vigoureux dans la pépinière d'Oggaz (Mascara) et six autres plants à Stidia, près de Mostaganem [22].

Actuellement, plusieurs essais de plantation expérimentale ont donné des résultats encourageants en matière d'acclimatation de l'espèce, notamment à Mostaganem, Chlef et Mascara, au jardin d'essai d'El-Hamma, à l'École Nationale Supérieure d'Agronomie (ENSA) d'Alger, à la station de l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) à Adrar, ainsi que dans les arboretums de l'Institut National de la Recherche Forestière (INRF) à Alger et Tamanrasset, à la conservation des forêts de Béchar [22, 129].

Dans ce contexte, ce travail vise à suivre et évaluer les plantations d'arganier en Algérie, à travers l'analyse du succès des essais d'introduction et l'identification des facteurs influençant la croissance et le développement de cet arbre dans diverses régions du pays.

2. Matériels et Méthodes

Nous avons effectué des sorties de terrain dans différentes wilayas du pays où se trouve les plantations à arganier. Lors de ces sorties, nous avons entrepris les remarques suivantes :

2.1. Inventaire des pépinières

- Identification de méthodes poursuivies de la production des plants d'Arganier.
- Détermination de la provenance des graines.
- Évaluation du taux de réussite de l'élevage des plants en pépinières.

2.2. Inventaire de périmètres des plantations

- Détermination du taux de réussite de transplantation sur le terrain.
- Identification de techniques de plantation et systèmes d'irrigations optés.
- Prise des mesures dendrométriques, il s'agit de la hauteur et le diamètre du houppier.

3. Résultats

3.1. À Mostaganem

3.1.1. Production des plants et plantations

3.1.1.1. Pépinières

Dans la wilaya de Mostaganem, deux pépinières dédiées à la production de plants d'Arganier ont été recensées :

- La première relève de la conservation des forêts, est située au niveau de la commune d'Ain-Nouissy. Pour laquelle, les graines d'Arganier proviennent exclusivement de trois sources, les arbres plantés à côté de la maison des forêts à Stidia, les arbres implantés au village d'El-Bekairia et le sujet d'arbre du village El-Araibia.
- Tandis que la seconde appartient à l'association Janatu El-Arif et se trouve au siège de l'association dans la ville de Mostaganem, où les graines sont obtenues à partir de sujets locaux plantés au niveau du siège de l'association.

L'élevage en pépinière des plants d'Arganier débute généralement par la collecte des fruits mûrs tombés sous les arbres, au moment précis de la chute complète (entre juin et juillet). Par la suite, laisser les fruits récoltés sécher. Une fois les fruits déulpés, les noyaux sont stockés. Pour la production des plants. Les graines sont trempées dans de l'eau tiède pendant 2 à 3 jours. Elles sont ensuite placées dans des sachets en plastique perforés, mesurant 30 cm de hauteur pour 10 cm de diamètre, et remplis d'un mélange de terreaux et de sable, lesquels sont

disposés côte à côte dans des lots de 10 m de long et d'une largeur d'environ 1 m [130]. Au cours du premier mois, l'arrosage est effectué quotidiennement, puis il est progressivement espacé jusqu'à atteindre un rythme d'une fois par semaine. Aucune sélection n'est effectuée ; Toutes les graines sont semées, à l'exception de celles qui sont endommagées, qui sont éliminées.

3.1.1.2. **Plantations**

Les plants subis de l'élevage en pépinière (entre 1 et 2 ans), ont été mis en terre dans des placettes expérimentales, dans des pots de plantation, mesurant (0,5 m × 0,5 m × 0,5 m), qui sont creusés manuellement. Seules de petites plantations sont réalisées en raison du taux de réussite relativement faible (10%), pouvant parfois atteindre un échec total et la mort de toutes les jeunes plantées.

La conservation des forêts de Mostaganem a planté l'arganier dans plusieurs sites, comme indiqué dans le tableau. Étant donné le faible taux de réussite de la plantation de l'arganier, l'administration des forêts mène chaque année des opérations de regarnis, ce qui explique la présence d'arbres de tailles différentes dans une même parcelle en raison de leur âge varié.

Les plantations de l'arganier ne bénéficient d'aucune irrigation régulière, à l'exception de celles situées dans la pépinière d'Ain-Nouissy, où l'arrosage est assuré bénévolement par les ouvriers. Selon les agents forestiers, certaines plantations sont mortes immédiatement après leur mise en terre, rendant le taux de réussite inexistant. Les principaux sites de plantation par la conservation des forêts de Mostaganem :

- Le verger de Stidia : Composé de deux parcelles. La première contient les plus anciens arganiers, six arbres plantés avant 1950, constituant la principale source de graines pour approvisionner la pépinière d'Ain-Nouissy ; La deuxième est un champ expérimental avec plus de 200 arbustes, dont la plantation a débuté en 2007.
- Le deuxième site : à côté du village d'El-Bekairia comprend 69 arbres, dont la plantation a commencé en 2001. Avec plus de 50 arbres y produisent des graines.
- Le troisième site : proche du village d'El-Araibia avec un sujet d'arbre planté aux alentours de 1950 et en production de graines.
- Le quatrième site : La pépinière d'Ain-Nouissy : Composée de deux parcelles. La première est bien irriguée et compte cinq arbustes. La seconde est non irriguée et située en dehors de la pépinière, comprend 17 arbustes.

- Le cinquième site : la maison des forêts, zone de Derkaoua : Contient 54 jeunes plants plantés en 2018.
- La forêt de Bourahma : Comprend 86 arbustes plantés en 2018.
- La forêt de Zarrifa, proche le village de Khadra : Contient 42 arbustes plantés en 2015.

Ainsi que, la fondation Janatu El-Arif mène ses propres actions de plantation de l'arganier. Elle a deux sites : le premier est situé au siège de la fondation, où se trouvent les arbres porte-graines, ainsi qu'un verger où l'arganier a été planté aux côtés du grenadier et bénéficie d'une irrigation régulière. Quant au second site, se trouve sur le littoral (Tableau 1).

Tableau 1. Sites des plantations expérimentales de l'arganier à Mostaganem.

Stations	Date de plantation	N° placette	Coordonnées géographiques	Alt.	Nbr. arbres
Stidia	Environ 1950	1	N 35.802691° W 0.0664423°	34,87	6
	2007	2	N 35.803335° W 0.0668617°	30,47	227
Ain-Nouissy	2007	3	N 35.8118372° E 0.0391917°	160,96	5
	2007	4	N 35.8111024° E 0.0396422°	155,76	17
El-Araibia	environ 1950	5	N 35.846285° E 0.0935568°	250	1
El-Bekairia	2001	6	N 35.8716756° E 0.1454707°	198	69
Maison Forestière de Derkaoua	2018	7	N 35.8717432° E 0.4361398°	306	54
Forêt Bourahma Cap Ivi	2018	8	N 36.111669° E 0.230515°	125	86
Forêt de Zarrifa de Khadra	2015	9	N 36.2540718° E 0.5645954°	143	42
Janatu El-Arif	/	10	N 35.915475° E 0.115177°	/	/
	/	11	N 35.915203° E 0.112886°	/	/
	/	12	N 35.861018° E 0.031407°	/	/

3.1.2. Analyse dendrométrique

Nous remarquons à travers les mesures dendrométriques que la hauteur de l'arbre d'argan est proche du diamètre de sa couronne ou de sa largeur. Son tronc est très court et commence à se ramifier à environ 50 à 60 centimètres du sol. La hauteur des grands arbres (âgés d'environ 70

ans) varie entre 4,5 m et 5,75 m. Les arbres âgés de 15 ans mesurent environ 1,8 m, tandis que ceux de 20 ans atteignent environ 3,3 m. L'irrigation régulière a un impact significatif sur la croissance des arbres. En comparaison, les arbustes irrigués atteignent plus de 3 m de hauteur, tandis que les arbustes non irrigués atteignent environ 1,8 m à l'âge de 15 ans (Tableau 2).

Tableau 2. Données dendrométriques des placettes étudiées à Mostaganem

N° placette	Nbr. arbres	Irrigation	Age ans (2022)	Paramètres dendrométriques			
				H(m)		DH(m)	
				Moy.	Eca-typ.	Moy.	Eca-typ.
1	7	non	70	4,63	1,33	4,27	0,93
2	227	non	15	1,87	0,50	1,86	0,35
3	5	oui	15	3,16	0,57	2,50	0,39
4	17	non	15	1,86	0,38	1,70	0,42
5	1	non	70	5,75	0,00	7,30	0,00
6	69	non	21	3,31	0,83	3,76	0,94
7	54	non	4	0,30	0,17	0,22	0,15
8	86	non	4	0,67	0,40	0,39	0,24
9	42	non	7	0,51	0,11	0,32	0,09
10	/	oui	/	/	/	/	/
11	/	oui	/	/	/	/	/
12	/	oui	/	/	/	/	/

Légende : H(m), la hauteur de l'arbre en mètre; DH(m), le diamètre du houppier en mètre.

3.2. À Chlef

3.2.1. Production des plants et plantations

3.2.1.1. Pépinières

Il n'existe pas de grandes pépinières spécialisées dans la production de plants d'arganier au niveau de la wilaya de Chlef, à l'exception de quelques efforts limités entrepris par de petites pépinières :

- La première est située au sein du siège de la conservation des forêts et produit environ 300 plants par an, en s'appuyant sur les graines fournies par les sujets d'arganier plantés sur place.
- La deuxième se trouve dans une petite exploitation agricole de la commune El-Karimia. Sa capacité de production varie en fonction de la disponibilité des graines, qui proviennent principalement des arbres plantés au sein du siège de la conservation des forêts.

- La troisième est située au sein du siège de l’Institut National des Recherches Forestières, station de Ténès. Elle produit environ 300 plants par an, en s’appuyant sur des graines issues des arbres locaux plantés sur place.

Dans ces pépinières, les graines sont préparées en les faisant tremper dans l’eau pendant deux jours avant d’être semées dans de petits sacs en plastique (15×8 cm) remplis de terre locale. Cependant, les ouvriers observent que certaines graines ne germent pas ou meurent immédiatement après la germination. Pour cela, ils ont tenté de briser la coque extérieure des graines manuellement, ce qui a donné des résultats satisfaisants en termes de germination. Cependant, cette méthode s’avère laborieuse et exige une certaine habileté, car elle peut parfois entraîner la fragmentation complète de la graine. Cela rend difficile l’adoption de cette technique, en raison de l’effort requis et des pertes potentielles de graines.

3.2.1.2. Plantations

La réussite de l’acclimatation de 5 pieds d’arganier atteignant l’état de production de graines au sein du siège de la conservation des forêts de Chlef, les agents forestiers ont été encouragés à étendre la plantation en produisant localement des plants et en les implantant à l’échelle de la wilaya. Cependant, le faible taux de réussite a constitué le principal obstacle. Face à cette difficulté, les responsables ont dû distribuer les plants à différents bénéficiaires. Parmi ceux qui ont réussi la plantation de l’arganier, nous avons compté un agriculteur de la commune d’El Karimia et l’INRF de Ténès. Au niveau de la wilaya, nous avons recensé trois sites de plantation d’arganiers :

- Premier site : est situé au siège de la conservation des forêts, où cinq arbres producteurs de graines ont été plantés en 2001 ;
- Deuxième site : est situé dans une petite exploitation agricole de la commune El-Karimia, comprenant 250 arbustes, dont 200 plantés en 2020 et 50 en 2021 ;
- Troisième site : est situé au siège de l’Institut National de Recherche Forestière à Ténès, il compte 31 arbustes d’âges variés, les plus anciens ayant été plantés en 2010 (Tableau 3).

Tableau 3. Sites des plantations expérimentales d’arganier à Chlef.

Stations	Date de plantation	N° placette	Coordonnées géographiques	Alt.	Nbr. arbres
Siège de la conservation des forêts	2001	28	N 36.1623802° E 1.3365431°	122	5

Exploitation agricole 01 El-Karimia	2020	29	N36.0957551° E1.5897686°	225	200
	2021	30	N 36.0953601° E 1.5888909°	226	50
Exploitation agricole 02 El-Karimia	2021	31	N 36.0966724° E 1.5827728°	255	180
INRF Ténès	2010	32	N 36.5128535° E 1.3192493°	20	31

3.2.2. Analyse dendrométrique

Les arbres âgés de 20 ans présentent une hauteur moyenne de 4,46 m et une largeur de 3,32 m. Les arbustes de 11 ans atteignent en moyenne 2,66 m de hauteur pour 1,45 m de largeur. Quant aux, les jeunes arbustes âgés de deux ans mesurent entre 20 et 40 cm de hauteur (Tableau 4).

Tableau 4. Données dendrométriques des placettes étudiées à Chlef.

N° placettes	Nbr. Arbres	Âge ans (2022)	Paramètres dendrométriques			
			H(m)		DH(m)	
			Moy.	Eca-typ.	Moy.	Eca-typ.
28	5	21	4,46	1,19	3,32	0,81
29	200	2	0,37	0,21	0,19	0,20
30	50	1	0,20	0,08	0,12	0,06
31	180	1	/	/	/	/
32	31	12	2,66	1,06	1,45	0,45

3.3. À Mascara

3.3.1. Production des plants et plantations

3.3.1.1. Pépinières

Le Groupe de Génie Rural (GGR) a adopté la pépinière d'Oggaz pour produire des plants d'arganier dans le cadre du programme national du développement de l'arganier en Algérie.

3.3.1.2. Plantations

Deux sites de présence d'arganiers ont été recensés dans la wilaya de Mascara :

- Premier site : est situé dans l'ancienne pépinière de la ville d'Oggaz, où se trouve un arbre vigoureux en production.
- Deuxième site : est situé au jardin du Centre d'Enfouissement Technique des déchets de la ville de Mascara. Il s'agit d'un projet de plantation expérimentale suivi par une doctorante de l'Université de Mascara avec 33 arbustes (Tableau 5).

Tableau 5. Sites des plantations expérimentales d'arganier à Mascara.

Stations	Date de plantation	N° placette	Coordonnées géographiques	Alt.	Nbr.
----------	--------------------	-------------	---------------------------	------	------

					arbres
Oggaz	Environ 1950	37	N 35.5756861° ; W 0.255555°	57	1
C.E.T.	2017	38	N 35.361105° ; E 0.051918°	629	33

3.3.2. Analyse dendrométrique

Le sujet d'arbre d'Oggaz est le plus grand en termes de taille, avec une hauteur de 8,3 m et une largeur de 6,7 m. Pour la transplantation effectuée en 2017 dans le Centre d'Enfouissement Technique (C.E.T.), nous n'avons pas pu prendre de mesures car le travail est réalisé dans le cadre d'une autre thèse de doctorat à l'Université de Mascara (Tableau 6).

Tableau 6. Données dendrométriques des placettes étudiées à Mascara.

N° placettes	Nbr. arbres	Âge ans (2022)	Paramètres dendrométriques			
			H(m)		DH(m)	
			Moy.	Eca-typ.	Moy.	Eca-typ.
37	1	>70	8,30	/	6,70	/
38	33	5	/	/	/	/

3.4. À Alger

3.4.1. Production des plants et plantations

3.4.1.1. Pépinières

Il n'y a pas une pépinière spécialisée dans la production de plants d'arganier au niveau du capital, mais nous avons enregistré quelques efforts déployés par la petite pépinière du siège de l'Institut National de Recherche Forestière à Baraki, qui utilise des graines apportées de cinq sujets d'arganier du verger d'arganier au sein de l'institut.

3.4.1.2. Plantations

Nous avons recensé trois sites de plantation de l'arganier à la wilaya d'Alger, qui sont :

- Premier site : est situé au Jardin d'Essai d'El-Hamma, il compte sept arbres plantés en 2001. Ces arbres sont en faible production.
- Deuxième site : est situé à l'École Nationale Supérieure Agronomique (ENSA) d'El-Harrach, où un seul arbre a été planté en 2010. Celui-ci n'a pas encore fructifié.
- Troisième site : est situé dans le verger du siège de l'Institut National de Recherche Forestière (INRF) à Baraki, qui comprend deux parcelles :

- ✓ La première contient cinq arbres en production, plantés en 2000.
- ✓ La seconde compte 15 arbustes, officiellement déclarés comme ayant été plantés en 2006. Toutefois, leur taille et l'absence de fructification suggèrent qu'ils auraient été plantés après 2010, probablement entre 2013 et 2014 (Tableau 7).

Tableau 7. Sites des plantations expérimentales d'arganier à Alger.

Stations	Dates de plantation	N° placettes	Coordonnées géographiques	Alt.	Nbr. arbres
INRF (Baraki)	2000	33	N 36.68507° E 3.1101221°	14	5
	2006	34	N 36.6851718° E 3.1094842°	15	15
ENSA (El-Harrach)	2010	35	N 36.7222268° E 3.1488039°	45	1
Jardin d'essais (El-Hamma)	2001	36	N 36.7489562° E 3.0757396°	10	7

3.4.2. Analyse dendrométrique

La plus grande hauteur moyenne est observée dans la placette 33 (5,66 m) avec des arbres âgés de 21 ans. La hauteur la plus faible est celle de la placette 34 (3,52 m) à l'âge de 15 ans.

La placette n°36 (âgé 20 ans) présente une hauteur moyenne de 4,11 m, légèrement inférieure à celle de la placette (n°33). Le diamètre moyen du houppier (DH) augmente généralement avec l'âge. Il est le plus élevé dans la placette n°33 (4,75 m) et le plus faible dans la placette 35 (1,90 m à 11 ans) (Tableau 8).

Tableau 8. Données dendrométriques des placettes étudiées à Alger.

N° placette	Nbr. arbres	Âge ans (2022)	Paramètres dendrométriques			
			H (m)		DH(m)	
			Moy.	Eca-typ.	Moy.	Eca-typ.
33	5	22	5,66	0,34	4,75	0,72
34	15	16	3,52	0,95	2,54	0,94
35	1	12	3,70	/	1,90	/
36	7	21	4,11	1,08	3,30	0,74

3.5. À Tlemcen

3.5.1. Production des plants et plantations

3.5.1.1. Plantations

Dans la wilaya de Tlemcen, il n'existe actuellement aucune pépinière dédiée à la production de plants d'arganier. Toutefois, deux sites présentant la plantation de cette espèce ont été identifiés

- Premier site : est situé à l'usine de Boublenza, avec un seul arbre planté l'an de 2010, caractérisé par une fructification relativement abondante.
- Deuxième site : est situé à la station expérimentale de l'Institut National de Recherche Forestière à Mansourah, où 10 arbustes ont été plantés en 2018 (Tableau 9).

Tableau 9. Les sites des plantations expérimentales d'arganier à Tlemcen.

Stations	Date de plantation	N° placette	Coordonnées géographiques	Alt.	Nbr. arbres
Entreprise Boublenza	2010	39	N 34.9654051° W 1.4359395°	332	1
INRF Tlemcen	2018	40	N 34.8651161° W 1.3395701°	853	10

3.5.2. Analyse dendrométrique

Le sujet d'arbre de la placette n°39 est bien développé à l'âge de 12 ans (2,95 m de hauteur, 2,30 m de diamètre. Pour la station de l'INRF, les sujets de la placette 40 atteignent en moyenne 0,54 m de hauteur et 0,41 m de diamètre du houppier. Les écarts-types représentés dans le tableau x, montrent une variabilité modérée (Tableau 10).

Tableau 10. Données dendrométriques des placettes étudiées à Tlemcen.

N° placettes	Nbr. arbres	Age ans (2022)	Paramètres dendrométriques			
			H(m)		DH(m)	
			Moy.	Eca-typ.	Moy.	Eca-typ.
39	1	12	2,95	0,00	2,30	0,00
40	10	4	0,54	0,23	0,41	0,16

3.6. Ain Témouchent

3.6.1. Plantations

Un seul sujet d'arbre d'arganier a été trouvé dans la ville d'Aïn Témouchent. Il est planté sur un trottoir au chef-lieu. Il est caractérisé par son feuillage dense (Tableau 11).

Tableau 11. Sites des plantations expérimentales d'arganier à Ain Témouchent.

Stations	Date de plantation	N° placette	Coordonnées géographiques	Alt.	Nbr. arbres
Ville d'Ain Témouchent	2003	10	N 35.305124° W 1.142848°	/	1

3.6.2. Mesures dendrométriques

L'arganier d'Ain Témouchent a une hauteur environ 6,25 m et 6 m en diamètre. L'année de plantation est environ de l'an 2003. Ce dernier a une faible production en fruits. Il bénéficie d'un arrosage régulier assuré par une personne privée (Tableau 12).

Tableau 12. Données dendrométriques de l'arbre d'Ain Témouchent

N° placettes	Nbr. arbres	Âge ans (2022)	Paramètres dendrométriques			
			H(m)		DH(m)	
			Moy.	Eca-typ.	Moy.	Eca-typ.
10	1	19	6,25	0	6	0

3.7. À Adrar

3.7.1. Production des plants et plantations

3.7.1.1. Pépinières

Dans la wilaya d'Adrar, nous avons recensé deux pépinières productrices de plants d'arganier. Les sujets d'arganier plantés au niveau de la placette expérimentale à la station de l'INRF sont considérés sensiblement comme source d'approvisionnement en graines pour toutes plantations par semis effectuée au niveau de la wilaya d'Adrar. La méthode de production des plants est similaire à celle utilisée à Mostaganem, où les graines sont trempées dans l'eau pendant trois ou quatre jours, puis plantées dans des sacs en plastique remplis de terre mélangée à un peu d'engrais organique. Elles sont arrosées régulièrement environ deux fois par semaine. Au cours des derniers mois de séjour des plants en pépinière, on les prive d'eau afin de les acclimater aux conditions du champ après la transplantation.

3.7.1.2. Plantations

Au niveau de la wilaya d'Adrar, en décembre 2021, nous avons visité cinq sites expérimentaux de plantation de l'arganier (Tableau x) :

- Premier site est situé au niveau de l'arboretum d'Adrar, il comprend 9 arbustes âgés de 4 ans.

- Deuxième site se trouve au niveau de la pépinière de la Conservation des forêts de la wilaya d'Adrar, il comprend 7 arbustes âgés de 3 ans.
- Troisième site se trouve dans l'arboretum de l'établissement pénitentiaire de la wilaya d'Adrar, les arbustes sont âgés de 3 ans.
- Quatrième site est dans la Maison de l'environnement de la wilaya d'Adrar, il comprend 5 arbustes âgés de 9 ans.
- Cinquième site est dans une petite exploitation agricole, il y a 18 arbustes âgés d'un an (Tableau 13).

Tableau 13. Sites des plantations expérimentales d'arganier à Adrar.

Stations	Date de plantation	N° placette	Coordonnées géographiques	Alt.	Nbr. arbres
Adrar ville	2018	11	N 27.8772712° W 0.2790727°	258	9
	2019	12	N 27.9000562° W 0.2871547°	262	7
	2019	13	N 27.9621932 W 0.2856629°	257	26
	2013	14	N 27.8959648° W 0.2864526°	262	5
	2021	15	N 28.0216318° W 0.2652909°	260	18

3.7.2. Analyse dendrométrique

Croissance en hauteur (H) selon l'âge : Une progression nette est visible :

À 1 an : 0,46 m ; À 3-4 ans : 0,64 m à 1,53 m ; À 9 ans : 2,11 m. Cela suggère une croissance régulière avec un bon potentiel de développement.

Évolution du diamètre du houppier (DH) :

À 1 an : seulement 0,16 m (début de ramification) ; À 4 ans : déjà 1,35 m → forte expansion latérale ; À 9 ans : 1,95 m → bonne structuration du houppier.

Variabilité : Les écarts-types modérés à élevés indiquent une diversité interindividuelle, probablement due à la diversité génétique des plants (Tableau 14).

Tableau 14. Données dendrométriques des placettes étudiées à Adrar.

N° placettes	Nbr. arbres	Âge ans (2022)	Paramètres dendrométriques			
			H(m)		DH(m)	
			Moy.	Eca-tyt.	Moy.	Eca-tyt.
11	9	4	1,53	0,66	1,35	0,67

12	7	3	0,64	0,22	0,52	0,28
13	26	3	0,64	0,29	0,57	0,21
14	5	9	2,11	0,31	1,95	0,50
15	18	1	0,46	0,18	0,16	0,12

3.8. À Timimoun

3.8.1. Production des plants et plantations

3.8.1.1. Pépinières

Au niveau de la wilaya de Timimoun, nous avons recensé une seule pépinière productrice de plants d'arganier, située au siège de la Conservation des forêts de la wilaya de Timimoun. Cette dernière est bien organisée et davantage bien équipée.

L'élevage des plants débute par un prétraitement de trempage des graines dans l'eau pour quelques jours, puis les graines germées seront repiquées dans des sachets plastiques remplis d'un mélange de terre et de fumier organique.

3.8.1.2. Plantations

Dans la wilaya de Timimoun, nous avons recensé trois sites de plantations expérimentales de l'arganier :

- Premier site : se trouve à l'institut agricole (ITMAS), comprenant 19 arbres plantés en 2003.
- Deuxième site est au niveau du siège de la conservation des forêts, avec 7 arbustes âgés de six ans (plantés en 2016).
- Troisième site : au niveau de la ceinture verte de l'aéroport de Timimoune, avec 22 arbustes âgés de deux ans (2022) (Tableau 15).

Tableau 15. Sites des plantations expérimentales d'arganier à Timimoun.

Stations	Date de plantation	N° placette	Coordonnées géographiques	Alt.	Nbr. arbres
Timimoun ville	2003	16	N 29.2534442° E 0.2353982°	290	19
	2016	17	N 29.2788723° E 0.2449961°	275	7
	2020	18	N 29.2502467° E 0.2745734°	311	22

3.8.2. Analyse dendrométrique

Croissance en hauteur (H) et en diamètre (DH) :

On observe une progression des dimensions en fonction de l'âge.

- À 2 ans (placette n°18), les arganiers atteignent en moyenne 0,66 m de hauteur et 0,60 m de diamètre.
- À 6 ans (placette n°17), ils atteignent 1,90 m pour les deux paramètres.
- À 19 ans (placette 16), ils culminent à 3,02 m de hauteur et 2,75 m de diamètre, montrant une croissance soutenue avec le temps.

La placette 16 présente des écarts-types élevés (1,15 pour H et 0,90 pour DH), ce qui traduit une hétérogénéité importante entre les arbres. Cela peut être dû à des facteurs environnementaux (la qualité inégale des couches du sous-sol, qui influence différemment le développement des arbres selon leur emplacement), à la variabilité génétique ou à des pratiques culturales inégales (probablement les travaux de regarnis).

Placettes 17 et 18 montrent une variabilité plus faible, indiquant une plantation plus homogène.

La croissance est plus rapide dans les premières années (de 2 à 6 ans), mais le rythme ralentit ensuite (de 6 à 19 ans) (Tableau 16).

Tableau 16. Données dendrométriques des placettes étudiées à Timimoun.

N° placettes	Nbr. arbres	Âge ans (2022)	Paramètres dendrométriques			
			H(m)		DH(m)	
			Moy.	Eca-typ.	Moy.	Eca-typ.
16	19	19	3,02	1,15	2,75	0,90
17	7	6	1,90	0,36	1,90	0,44
18	22	2	0,66	0,27	0,60	0,34

3.9. Béchar

3.9.1. Production des plants et plantations

3.9.1.1. Pépinières

Dans la wilaya de Béchar, une seule pépinière a été trouvée faisant la production de plants d'arganier, en plus d'autres essences forestières. Les arbres plantés au niveau du jardin du siège de la conservation des forêts constituent la principale source de graines d'argan utilisées dans les essais de l'introduction de l'espèce par semis à Béchar. Également, autre provenance d'origine de Tindouf est considérée pour renforcer la production des plants.

D'après la conservation des forêts de Béchar, la production de plants d'arganier fait face à d'importantes difficultés, avec un taux de réussite ne dépassant pas le 10 %. Cela rend l'opération de production particulièrement complexe. L'état des graines, notamment

l'enveloppe externe, est identifiée comme le facteur le plus limitant de la germination. Les ouvriers indiquent que les graines fendillées présentent un taux de germination plus élevé que celles intactes.

3.9.1.2. Plantations

Selon la conservation des forêts, plusieurs essais de plantation ont été effectués, mais sans succès. Parmi lesquels, la plantation de 500 arbres dans la région d'Oued Saoura, qui ont tous péri. Actuellement, les seuls pieds d'arganier survivants dans la wilaya sont les cinq arbres plantés au niveau du siège de la conservation des forêts, âgés de 19 ans (Tableau 17).

Tableau 17. Sites des plantations expérimentales d'arganier à Béchar.

Stations	Date de plantation	N° placette	Coordonnées Géographiques	Alt.	Nbr. Arbres
Pépinière de Béchar	2003	10	N 31.6280639° W 2.2192084°	788	5

3.9.2. Analyse dendrométrique

Les sujets d'arganier à Béchar affichent une hauteur moyenne de 4,02 m et un diamètre moyen de 3,25 m, ce qui témoigne d'une croissance remarquable pour des arganiers âgés de 19 ans, Ce succès peut être attribué aux conditions convenables au niveau du jardin de plantation. En effet, les arbres environnants comme le pin d'Alep et Casuarina créant un microclimat sous l'ombre qui modère la température et accroît l'humidité. De plus, l'arrosage régulier joue un rôle crucial à leur croissance. Les écarts-typés relativement élevés (1,13 pour la hauteur et 0,73 pour le diamètre) indiquent une certaine hétérogénéité entre les individus, probablement due à des différences de vigueur génétique (Tableau 18).

Tableau 18. Données dendrométriques des placettes étudiées à Ain Béchar

N° placette	Nbr. arbres	âge	Paramètres dendrométriques			
			H(m)		DH(m)	
			Moy.	Eca-typ.	Moy.	Eca-typ.
10	5	19	4,02	1,13	3,25	0,73

3.10. Tindouf

3.10.1. Production des plants et plantations

3.10.1.1. Pépinières

La wilaya de Tindouf contient notre patrimoine naturel de l'arganeraie, pour une superficie qui dépasse 50670 hectares [60]. Pour cela, elle est pionnière dans la culture de l'arganier au

niveau national. Laquelle, à travers la Conservation des forêts et les services agricoles, joue un rôle central et actif dans la réalisation des programmes des plantations à arganier. Actuellement, la wilaya possède de deux pépinières spécialisées dans la production de plants d'arganier :

- La première est située au sein de la ville de Tindouf ;
- La seconde se trouve dans la réserve naturelle Touaref Bou-âam.

Les plants produits dans ces deux pépinières sont dédiés principalement aux plantations au niveau local, mais une partie est également distribuée vers diverses Conservations des forêts.

3.10.1.2. **Plantations**

La wilaya de Tindouf domine les plantations à arganier au niveau national, avec trois sites principaux recensés pour la plantation de cette espèce :

- Premier site est situé au niveau de la pépinière de la ville de Tindouf, il comprend 32 arbres plantés en 2003.
- Deuxième site se localise dans une exploitation agricole privée, il comporte quatre parcelles :
 - Parcelle n°1 : 98 arbustes (plantés en 2017)
 - Parcelle n°2 : 39 arbustes (plantés en 2020)
 - Parcelle n°3 : 187 arbustes (plantés en 2018)
 - Parcelle n°4 : 31 arbustes (plantés en 2020)
- Troisième site est situé au sein de la réserve naturelle dédiée à l'arganier, il comprend également quatre parcelles :
 - Parcelle n°1 : 94 arbustes (plantés en 2010)
 - Parcelle n°2 : 87 arbustes (plantés en 2012)
 - Parcelle n°3 : 69 arbustes (plantés en 2014)
 - Parcelle n°4 : 41 arbustes (plantés en 2018)

Tous ces sites bénéficient d'un régime d'irrigation irrégulier, à l'exception de l'exploitation agricole privée, où l'irrigation se fait de façon régulière par goutte-à-goutte, ce qui contribue significativement à la réussite des plantations.

La conservation des forêts déclare sa distribution continue des plants d'arganier à de nombreux agriculteurs intéressés, mais la majorité de ces tentatives ont échoué complètement, ce qui met en évidence des contraintes techniques ou environnementales qui empêchent le succès des plantations (Tableau 19).

Tableau 19. Sites des plantations expérimentales d'arganier à Tindouf.

Stations	Date de plantation	N° placette	Coordonnées géographiques	Alt.	Nbr. Arbres
Pépinière de Tindouf	2003	1	N 27.6659368° W 8.1124714°	390	32
Exploitation agricole privée	2017	2	N 27.8200348° W 8.0690348°	434	98
	2020	3	N 27.819686° W 8.0681564°	434	39
	2018	4	N 27.8207654° W 8.0707816°	435	187
	2020	5	N 27.8197184° W 8.0724556°	434	31
Réserve naturelle	2010	6	N 28.4605896° W 8.1463185°	530	94
	2012	7	N 28.4602715° W 8.1473107°	530	87
	2014	8	N 28.4585135° W 8.1483722°	528	69
	2018	9	N 28.4576146° W 8.1479945°	527	41

3.10.2. Analyse dendrométrique

La placette n°1 (âgée 19 ans) affiche les meilleures performances, avec une hauteur moyenne de 3 m et un diamètre moyen de 3m. La croissance est rapide dans les premières années (placettes 3, 4, 5), avec une stabilisation relative vers 10 à 12 ans (placettes n°6, n°7). Les valeurs faibles pour les récentes plantations (âgé 2 ans, placettes n°3 et n°5) sont conformes au comportement de l'arganier. Les écarts-types modérés dans la majorité des placettes traduisent une faible variabilité entre les individus. Placette n°7 montre un écart-type relativement élevé pour le diamètre (0,46 m), ce qui peut signaler une diversité génétique ou des micro-variations environnementales.

Les récentes plantations, comme le cas, de celles n°3 et n°5 montrent une faible variabilité, indiquant des plantations assez homogènes à ce stade. Le rapport (H/DH) est globalement équilibré (≈ 1) dans toutes les placettes, ce qui témoigne d'un développement harmonieux entre croissance verticale et expansion radiale (Tableau 20).

Tableau 20. Données dendrométriques des placettes étudiées à Tindouf.

N° placette	Nbr. arbres	Âge ans (2022)	Paramètres dendrométriques			
			H(m)		DH(m)	
			Moy.	Eca-typ.	Moy.	Eca-typ.
1	32	19	3,00	0,58	3,02	0,51
2	98	5	1,81	0,29	1,79	0,34
3	39	2	0,56	0,12	0,24	0,09
4	187	4	1,62	0,36	1,55	0,38
5	31	2	0,32	0,14	0,18	0,11
6	94	12	1,19	0,34	1,22	0,21
7	87	10	1,17	0,34	1,16	0,46
8	69	8	0,85	0,10	0,89	0,21
9	41	4	0,44	0,12	0,42	0,17

3.11. À Tamanrasset

3.11.1. Plantations

Une seule plantation d'arganier a été recensée à Tamanrasset, il s'agit d'une petite plantation expérimentale dans l'arboretum de l'Institut National de la Recherche Forestière (INRF), Les données concernant cette plantation ont été fournies par ce dernier. Elle compte 26 arganiers plantés en 1997, Mais selon les photos fournies et les mesures des arbres, il est probable que leur âge soit beaucoup plus jeune que celui indiqué (Tableau 21).

Tableau 21. Les sites des plantations expérimentales d'arganier à Tamanrasset.

Stations	Date de plantation	N° placette	Coordonnées géographiques	Alt.	Nbr. arbres
INRF Tamanrasset	1997	41	N 22.79725° E 5.550527777 °	1386	26

3.11.2. Analyse dendrométrique

Avec une Hauteur moyenne de 1,8 m et un diamètre moyen du houppier (DH) de 0,72 m. la croissance est relativement limitée par rapport l'âge des sujets mesurés, ce qui pourrait refléter l'impact de conditions environnementales difficiles ou d'un manque d'entretien dans la région où probablement leurs âges est déférent à celui indiqués (Tableau 22).

Tableau 22. Données dendrométriques des placettes étudiées à Tamanrasset.

N° placette	Nbr. Arbres	Âge ans (2022)	Paramètres dendrométriques			
			H(m)		DH(m)	
			Moy.	Eca-typ.	Moy.	Eca-typ.
41	26	25	1,80	/	0,72	/

3.12. À Biskra

3.12.1. Plantations

Deux sites de plantations d'arganier ont été recensés dans la wilaya de Biskra :

- Le premier site se trouve au niveau de la station expérimentale du Centre de Recherche Scientifique et Technique des Régions Arides (CRSTRA) et comprend deux arbustes, le premier est planté en 2019 et l'autre en 2022.
- Le second : est situé à la station expérimentale de l'Institut Agricole (ITDAS) et comprend 8 arbustes plantés en 2016 et d'autres 10 sujets plantés en 2022 (Tableau 23).

Tableau 23. Sites des plantations expérimentales d'arganier à Biskra.

Stations	Date de plantation	N° placette	Coordonnées géographiques	Nbr. arbres
CRSTRA	2019	42	N 34.927933 ° E 5.649035 °	1
	2022		N 34.927495° E 5.649491°	1
ITDAS	2016	43	N 34.933624 ° E 5.659240 °	8
	2022		N 34.933624 ° E 5.659226 °	10

3.12.2. Analyse dendrométrique

À l'âge de quatre ans, l'arganier à CRSTRA montre une croissance notable en hauteur (1,80 m) et un diamètre de houppier relativement réduit (DH : 0,36 m), peut-être s'expliquer par la faible ramification latérale. Ce comportement de croissance en hauteur, au détriment du développement latéral, est courant chez certains jeunes plants d'arganier, qui ont tendance à s'étirer verticalement plutôt qu'à se ramifier dans les premières années.

À l'âge de 7 ans, les sujets d'arganier observés au niveau de l'Institut Agricole présentent une bonne croissance, tant en hauteur (2,57 m) qu'en diamètre de houppier (2,31 m). Cette performance remarquable peut être attribuée à plusieurs facteurs :

- Le potentiel génétique élevé des arbres plantés ;
- L'irrigation contrôlée ;
- La qualité du sol, profond et bien structuré, qui favorise un bon développement racinaire.

En outre, la présence de fructification abondante à cet âge (7 ans), avec des rendements nettement supérieurs à ceux d'arbres du même âge dans d'autres sites, met en évidence la richesse du patrimoine génétique de l'arganier. Cette variabilité constitue un atout majeur pour les programmes de sélection et de valorisation de l'espèce (Tableau 24).

Tableau 24. Données dendrométriques des placettes étudiées à Biskra.

N° placette	Nbr. arbres	Âge ans (2023)	Paramètres dendrométriques			
			H(m)		DH(m)	
			Moy.	Eca-typ.	Moy.	Eca-typ.
42	1	4	1,80	/	0,36	/
43	8	7	2,57	0,52	2,31	0,48

4. Discussion

4.1. Situation des pépinières d'arganier

L'arganier *Argania spinosa* (L.) Skeels est à la fois une essence forestière, fourragère et fruitière, revêtant une importance majeure sur les plans socio-économique et écologique. Toutefois, le développement, la régénération et la préservation de l'arganeraie sont confrontés à de multiples contraintes d'origines diverses (la coupe illicite, la récolte intensive des noix et le surpâturage) [5]. Face à cette situation stressante et l'importance socio-économique et écologique de l'arganier, la direction générale des forêts (DGF) a encouragé les travaux de boisement à base de cette espèce notamment dans la région saharienne, où il est remarquablement bien acclimaté [20-22, 131].

Les principales pépinières impliquées dans la production des plants de l'arganier se trouvent dans le sud du pays, à savoir deux pépinières de Tindouf, la pépinière de Timimoun qui est bien équipée et organisée, ainsi que les pépinières d'Adrar. Dans le nord du pays, il y a la pépinière étatique à Mostaganem (Aïn Nouissy).

La méthode la plus couramment utilisée dans les différentes pépinières pour produire des plants d'arganier consiste à faire tremper les graines dans l'eau pendant une période allant de deux à quatre jours, puis à les semer à une faible profondeur (environ 5 cm) dans des sacs plastiques perforés de tailles variées. Ces sacs sont généralement remplis d'un mélange de terre et de fumier organique, dont la proportion varie selon les pépinières, mais ne dépasse généralement pas un quart (1/4 : fumier/sol). Du sable est parfois ajouté au mélange afin d'améliorer le drainage.

Généralement avant la date de la mise en terre des plants ayant une durée considérable entre 12 à 24 mois d'élevage en pépinière. Au cours des derniers mois de séjour des plants en pépinière, ils ont subi d'un stress hydrique contrôlable (diminution du volume d'irrigation d'une manière progressive) en réduisant la fréquence et la quantité d'arrosage. Cette pratique vise à les adapter aux conditions environnementales difficiles qu'ils rencontreront après leur plantation sur le terrain, ce qui renforce leur capacité d'acclimatation.

Malgré les efforts considérables déployés par ces pépinières pour produire des plants d'arganier, elles sont confrontées par l'échec où les faibles taux de germination et à une mortalité importante des plants durant la phase d'élevage en pépinière. Alors, l'échec répété préoccupe l'attention à étudier les causes et de trouver des solutions par la recherche des nouveaux outils de multiplication et production de plants.

Durant notre sortie sur terrain nous remarquons l'insuffisance en graines, en raison de plusieurs contraintes. Parmi celles-ci l'éloignement de la source d'approvisionnement en graines et la difficulté d'accès à l'aire naturelle de l'arganier, située à plus de 100 km au nord de la ville de Tindouf, ainsi au surpâturage et à la collecte intensive en vue de la production d'huile d'argan.

Face à cette situation, la création de vergers à graines (arbres porte-graines) s'impose comme une mesure essentielle pour la conservation de l'espèce. Lors de nos sorties sur terrain effectuées entre 2021 et 2023, nous avons recensé quelques wilayas disposant de vergers à graines (arbres porte-graines) qui jouant un rôle clé dans l'approvisionnement des pépinières locales en graines dédiées la production de plants d'arganier. Ces vergers peuvent également constituer une source précieuse de matériel végétal pour les travaux de recherche menés par les instituts et les universités.

Les tableaux 25, 26 suivants illustrent l'importance des vergers à grains dans l'approvisionnement des pépinières locales en graines dans ces wilayas.

Tableau 25. Principales sources des graines d'arganier pour les pépinières 2023.

Wilayas	Pépinières	Source des graines	Nbr. Porte-graines
Tindouf	Pépinières de Tindouf	Réserve naturel Tindouf	/
		Vergers de la pépinière	32
Béchar	Pépinière de la conservation des forêts de Béchar	Réserve naturel Tindouf	/
		Vergers de la pépinière	5
Timimoun	Pépinière de la conservation des forêts de Timimoun	Réserve naturel Tindouf	/
	Petite pépinière de l'ITMAS Timimoun	Vergers de l'ITMAS	6
Adrar	Pépinières d'Adrar	Réserve naturel Tindouf	/
		Vergers de l'INRA Adrar	23
Biskra	/	Vergers de l'ITDAS El-Outaya	8
Mascara	Pépinière d'Oggaz	Vergers de la pépinière	1
Mostaganem	Pépinière d'Ain-Nouissy	Vergers de la maison forestière Stidia	16
		Village d'Al-araibiya	1
		Vergers d'El bekairia	Plus de 50
	Pépinière de l'association Janatu El-Arif	Vergers de l'association	Plus de 20
Chlef	La petite pépinière de la conservation des forêts de Chlef	Vergers de la pépinière	5
	La petite pépinière de l'INRF de Ténès	Vergers de l'INRF Ténès	7
Alger	La petite pépinière de l'INRF de Baraki	Vergers de l'INRF Baraki	5
	/	Jardin botanique d'El-hamma	7

Tableau 26. Vergers d'avenir (ici 2030) pour la production de semence d'arganier.

Wilayas	Vergers à graines	Nbr. arbres porte-graines
Tindouf	Exploitation agricole privée	plus de 200

	Vergers de la réserve naturelle Touiref Bouaam	Près de 300
Timimoune	Verger de l'ITMAS Timimoune	13
Adrar	Verger de la maison de l'environnement Adrar	5
Mascara	C.E.T à Mascara	33
Mostaganem	Verger de la maison forestière Stidia	plus de 200
	Verger de la pépinière d'Ain-Nouissy	23
	Plantations de l'association Janatu El-Arif	plus de 200
Chlef	Verger de l'INRF Ténès	24
Alger	Verger de l'INRF Baraki	15

Dans le cadre d'un projet national ambitieux visant à développer la filière de l'arganier et à préserver cette richesse végétale précieuse la Conservation des forêts de Tindouf en 2024 a entrepris plusieurs actions concrètes sur le terrain. Ainsi, la pépinière située au niveau de la réserve naturelle de l'arganier a été agrandie, dans le but d'augmenter sa capacité de production et de répondre efficacement aux besoins en plants. Parallèlement, un grand nombre d'arbres d'arganier sélectionnés pour leurs caractéristiques souhaitables, notamment leur haut rendement et leur forme harmonieuse, ont été clôturés. Cette opération vise à protéger ces arbres contre le pâturage abusif, en particulier par les troupeaux de chèvres, tout en facilitant la collecte des graines dans des conditions optimales, afin de garantir une production de qualité. Dans la même dynamique, la Conservation des forêts de la wilaya de Mostaganem a entrepris des travaux d'extension et de développement de la pépinière d'Ain Nouissy. Ces actions s'inscrivent dans une stratégie globale de valorisation de la filière de l'arganier.

4.2. Plantations de l'arganier en Algérie : état des lieux et perspectives

Bien que plusieurs pépinières d'arganier existent à travers différentes régions du pays, les plantations d'arganiers restent extrêmement limitées. Dans la majorité des cas, elles se réduisent à de simples arboretums situés au niveau de certains sièges administratifs ou infrastructures publiques. Ce manque de plantations à grande échelle s'explique principalement par la mortalité élevée des plants durant l'élevage en pépinière et le faible taux

de réussite après la transplantation estimé à moins de 10%, dans de nombreux cas, un échec total après la mise en terre, ce phénomène d'échec est caractéristique de l'arganier. À titre d'exemple, 400 arbres plantés dans le jardin de l'aéroport de Tindouf et 500 autres à Oued Saoura Béchar ont été complètement échoués. Au Maroc beaucoup des essais de replanter l'arganier par semis dans plusieurs reprises mais sans succès [109].

En revanche, les rares plantations réussies, doivent leur succès au maintien continu et à l'irrigation régulière, en particulier durant les premières années suivant la transplantation, ce qui favorise l'adaptation des plants à leur environnement. Par ailleurs, la présence de tailles variées d'arbres dans ces sites témoigne clairement de la mise en œuvre de replantations successives (regarnis) pour compenser les pertes, une pratique essentielle dans les plantations de l'arganier.

Aujourd'hui, les différentes plantations d'arganiers réparties sur le territoire algérien demeurent essentiellement de nature expérimentale. Il ne s'agit pas encore de véritables boisements structurés à grande échelle, mais plutôt de tentatives ponctuelles de mise en terre de plants, souvent localisées dans des espaces institutionnels ou des fermes pilotes.

Dans ce contexte, les wilayas de Tindouf et de Mostaganem sont considérées comme les plus pionnières dans les expériences réussies de plantation d'arganiers en Algérie.

- À Tindouf, nous avons dénombré trois sites principaux :
 - La pépinière de la conservation des forêts, avec 32 sujets d'arbuste en production ;
 - L'exploitation agricole de (Mr Zaaf), a un nombre important de plantation réussite au début de production
 - Les compagnes de la plantation sur site (*in situ*) de la réserve naturelle dédiée à la réhabilitation de l'arganeraie de Tindouf, ont généralement un bon comportement en accroissement.
- La wilaya de Mostaganem présente trois sites :
 - La plantation effectuée à Stidia, avec un environ de 16 arbres en production et plus de 200 d'arbustes encore non fructifères
 - La plantation d'El-Bekairyra compte 69 arbustes dont plus de 50 en production ;

- Les plantations de l'association Janatu El-Arif constituent d'environ 20 arbres en pleine fructification, et plus de 200 arbustes encore non fructifères ;

Cependant, dans les autres wilayas du pays ne comptent souvent que de très petites plantations, rarement supérieures à 50 individus par site. Bien que modestes, ces tentatives révèlent toutefois un point crucial : l'arganier montre une réelle capacité d'adaptation aux conditions locaux, y compris en dehors de son aire d'origine.

4.3. Recommandations

Malgré les défis importants rencontrés par la filière arganier en Algérie, les opportunités de développement de cette filière restent intactes. Voici quelques propositions qui pourraient contribuer à améliorer la situation actuelle :

a. Fourniture de graines

La disponibilité des graines est l'un des plus grands défis dans le développement de la filière d'arganier. Dans ce contexte, clôturer le périmètre des arbres porte-graines, comme l'a fait la Conservation des Forêts dans la wilaya de Tindouf à la réserve naturelle, est une bonne initiative pour protéger ces arbres contre le pâturage et garantir la récolte de graines.

D'autre part, il serait souhaitable de créer des vergers spécialisés pour la production de graines d'arganier, en sélectionnant des variétés à forte productivité, et sans ou moyen d'épines, et d'encourager la multiplication végétative (griffage, culture in vitro...) de ces variétés pour garantir la pérennité de la production.

b. Modernisation des pépinières

Une étape indispensable vers une meilleure production des plants. La plupart des pépinières étatiques utilisent des techniques classiques d'élevage des plants et d'irrigation. Alors, la modernisation des pépinières ou en créer de nouvelles adaptées aux normes modernes, comme des systèmes d'irrigation automatisés et la culture in vitro améliorerait la productivité et la qualité des plants.

c. Assurance de la Formation technique

Des programmes de formation technique spécialisés dans les techniques modernes de multiplication, d'irrigation et d'amélioration des pratiques agricoles doivent faire partie intégrante de la stratégie de développement des pépinières d'arganier.

d. mesures techniques sur le terrain

Achour *et al.* [10] ont identifié un certain nombre d'éléments techniques nécessaires à la réussite des plantations d'arganiers.

- Une préparation optimisée du sol : l'ameublissement du sol ainsi que l'augmentation de la taille des trous de plantation (70 à 80 cm, rebouchés à 80 %) facilitent l'enracinement des plants et favorisent l'accumulation et l'absorption de l'eau.
- Un arrosage adapté : une irrigation est assurée avant le transport des plants, immédiatement après la plantation, puis à travers une ou deux irrigations supplémentaires (10 litres par plant) durant les périodes sèches. Dans les zones sahariennes : on recommande d'assurer une irrigation régulière durant les cinq premières années après la transplantation, afin de permettre aux jeunes plants de développer un système racinaire profond atteignant les couches inférieures du sol. Cela leur permettra par la suite de bénéficier de l'humidité présente dans ces couches, renforçant ainsi leur capacité à résister à la sécheresse.
- Un encadrement technique rigoureux : un suivi strict assuré par des techniciens forestiers garantit l'application des bonnes pratiques de plantation.
- Une surveillance efficace des troupeaux : elle permet de préserver les terres plantées et offre aux jeunes plants les conditions nécessaires à leur développement.

Dans ce contexte, nous suggérons quelques recommandations

- L'intensification des travaux de remplacement (regarnis) : les plants morts doivent être remplacés afin de maintenir une densité optimale.
- La surplantation stratégique : il est recommandé de placer quatre à cinq plants dans chaque trou, puis, après la première année, de ne conserver que le plant le plus vigoureux en éliminant les autres s'ils ont survécu.
- Le choix du bon moment pour la plantation : dans les régions nord du pays, il est conseillé de planter à la fin de l'automne afin de profiter pleinement des pluies hivernales et printanières.
- dans les zones désertiques, il est préférable d'effectuer les plantations dans les lits des oueds secs pour profiter des eaux de ruissellement et des eaux souterraines peu profondes de ces oueds.

e. expérimentation

Compte tenu du faible taux de réussite, et parfois de l'échec total, observé dans les plantations d'arganier, il est recommandé de mettre en place des plantations expérimentales suivies de manière rigoureuse, afin de mieux comprendre le comportement de cette espèce encore délicate à la domestication. Par conséquent, il convient d'encourager des travaux de recherche scientifique et d'expérimentation pour mieux comprendre son comportement et accroître les potentialités des plantations, ainsi que pour améliorer les variétés.

5. Conclusion

L'arganier subit actuellement d'une situation critique. Sa régénération naturelle est pratiquement inexistante sous l'influence du surpâturage qui est aggravé par la désertification la coupe du bois ainsi que la collecte excessive des graines pour la production d'huile contribuent fortement à l'épuisement de cette ressource végétale. Face à cet état alarmant, un plan de conservation reste indispensable pour préserver notre patrimoine de l'arganeraie le plus vulnérable

Malgré leurs tailles modestes, les plantations d'arganiers à travers le pays revêtent une grande importance. Elles constituent une source précieuse de graines pour les pépinières locales, tout en représentant des modèles expérimentaux réussis d'introduction de cette espèce en dehors de son aire naturelle.

En dépit des efforts consentis par la Direction Générale des Forêts pour le développement de la filière arganier, les résultats restent faibles et limités. Cela peut être expliqué par la nature même de cet arbre, dont la germination en pépinière est difficile, et qui est particulièrement très sensible en moment de la transplantation. Toutefois, une fois cette première phase dépassée, l'arganier sera bien développé même sous des conditions environnementales difficiles.

Le faible taux de réussite des plantations d'arganiers impose de lancer des projets pilotes de petite échelle permettant une meilleure compréhension des exigences de cet arbre et des conditions de sa réussite. Ainsi l'encouragement des travaux de recherche et d'expérimentation pour mieux comprendre son comportement et accroître les chances de réussite des plantations.

Par ailleurs, la création de vergers à graines s'impose comme une nécessité incontournable pour l'amélioration génétique de l'arganier, et de fournir des graines de qualité pour les semis.

**Sous-Chapitre 2.2. Comportement *d'Argania spinosa* en
accroissement dans divers étages bioclimatiques**

1. Introduction

Le bassin méditerranéen est vulnérable face au changement climatique [132]. Les pays du Maghreb vont subir, plus que d'autres, les effets du changement climatique avec la hausse de température et la baisse des précipitations [133]. L'Algérie est caractérisée par un stress hydrique très fort et la situation est plus proche de la pénurie. En Algérie, les ressources potentielles en eau sont extrêmement limitées et inégalement réparties [134]. L'irrégularité pluviométrique dans le temps et dans l'espace ainsi que la croissance de la demande en consommation d'eau accentuent le problème des disponibilités et maintiennent la pression dans la région [134]. L'Algérie enregistre une pluviométrie annuelle d'environ 100 milliards m³ dont 85 % s'évaporent, tandis que les 15 % restants s'écoulent en surface vers les rivières et les mers, ou s'infiltrent dans les couches souterraines [135].

Pour atténuer les effets de la sécheresse et favoriser la réussite des travaux de réhabilitation des écosystèmes dégradés, il est indispensable de choisir des espèces adaptées à la sécheresse [136]. Dans les conditions climatiques sévères de l'Algérie, l'arganier, par son adaptation aux climats secs constitue un choix idéal pour les travaux de réhabilitations des écosystèmes fragilisés par la désertification. Notamment que l'espèce se caractérise par ses intérêts écologiques et socio-économiques remarquables [137], où il est un arbre oléo-agro-sylvo-pastoral [138]. Le dérivé le plus important de l'arganier est son huile extraite de ses graines, qui est principalement destinée à l'alimentation et à la cosmétique et la médecine [126]. Cette huile est très chère et très demandée dans le marché mondiale [139]. Selon Kechairi [5], l'arganeraie de Tindouf représente un support pour le pastoralisme dans la zone où il abrite la strate herbacée et par ses feuilles et fruits palatables aux bétails. D'après Zahidi *et al.* [140] l'arganier représente une grande diversité intraspécifique, ce qui permet d'obtenir du matériel végétal de haute qualité, capable de s'adapter aux conditions de sécheresse. La fructification des sujets d'arganier plantés dans les milieux désertiques [20, 21] prouve les potentialités de l'arbre d'être introduit dans des conditions plus sévères de sécheresses.

Cette étude aura pour but de comparer l'accroissement de l'arganier dans trois sites de plantations dans divers étages bioclimatiques subhumide (à Alger), semi-aride (à Mostaganem), et Saharien (à Tindouf). Afin de mieux comprendre le comportement de l'arbre vis-à-vis des conditions climatiques des trois sites d'étude.

2. Matériels et méthodes

2.1. Zone d'étude

Notre étude s'intéresse aux trois sites des plantations à arganier. Le premier site se situe dans la station de Baraki de l'institut national des recherches forestières (INRF) à Alger (36,68507°N ; 3,1101221°E) ; Le deuxième site est la plantation de l'arganier d'El-Bkairia de la wilaya de Mostaganem (35,8716756°N ; 0,1454707°E) ; Le troisième site est la plantation de l'arganier de la pépinière de Tindouf (27,6659368°N ; 8,1124714° W) (Figure 1).

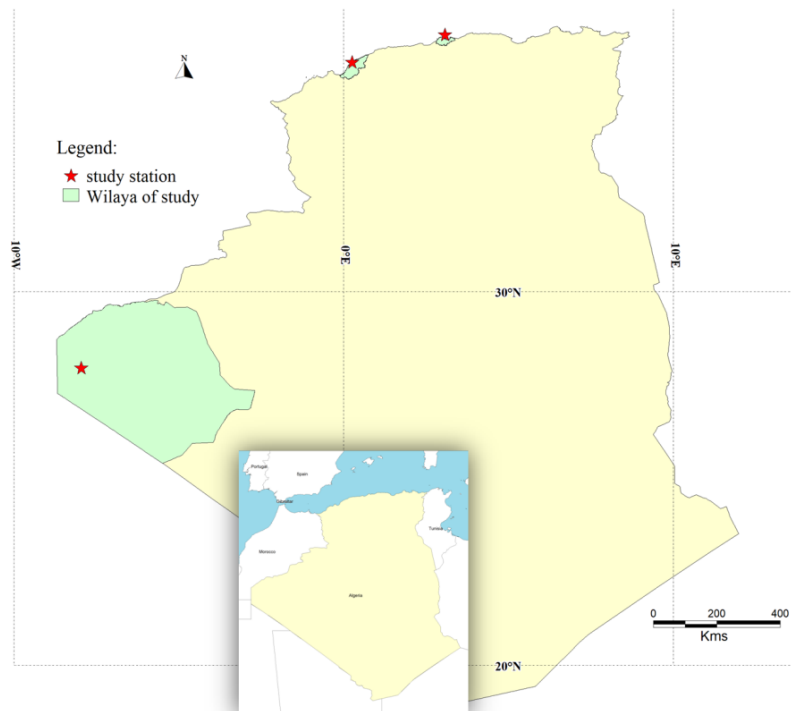


Figure 1. Localisation des régions d'étude.

2.2. Méthodologie

Notre travail a pour objectif d'étudier quelques caractéristiques dendrométriques et le comportement des sujets d'arganier vis-à-vis des conditions climatiques. Pour ce faire, nous avons adopté une analyse des données climatiques et dendrométriques.

2.2.1. Analyse bioclimatique

Les conditions climatiques doivent être prises pour acquises dans la gestion forestière afin de mieux s'adapter au changement climatique affectant les forêts [141]. La caractérisation climatique d'une zone se base principalement sur la température et la précipitation [142, 143].

2.2.1.1. *Le climagramme d'Emberger* [142] permet de savoir la situation bioclimatique de la région d'étude. Selon Stewart [144], pour l'Algérie le quotient pluviométrique d'Emberger (Q2) est donné par la formule suivante :

$Q2 = 3,43 (P/M-m)$, où :

- P: précipitation annuelle (mm) ;
- M: la moyenne des températures maximales du mois le plus chaud (°C) ;
- m: la moyenne des températures minimales du mois le plus froid (°C) ;

2.2.1.2. *Le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen* [145] permet de déterminer la période sèche de la période humide, lorsque :

- $P \leq 2T$: période sèche ;
- $P > 2T$: période humide ;

Avec P: précipitation mensuelle (mm) et T: température moyenne mensuelle (°C).

2.2.2. Mesures dendrométriques

L'évaluation dendrométrique d'un peuplement forestier est basée principalement sur la hauteur la surface terrière et la densité [146]. Dans notre étude, par un ruban mètre, nous avons pris les mesures dendrométriques suivantes : la hauteur H(m) et le diamètre du houppier D(m).

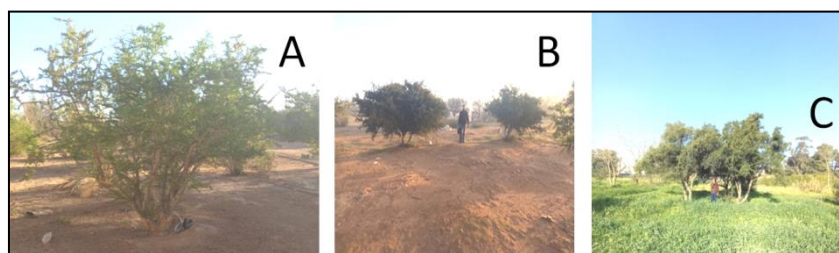


Photo 5. Sujets de l'arganier des trois stations étudiées (A: Tindouf, B: Mostaganem, C: Alger).

Afin de donner une signification à ces résultats, nous avons appliqué des analyses et tests statistiques, à l'aide du logiciel Minitab 16, pour ces paramètres à savoir : Anova à un facteur contrôlé et le test de Fisher pour la détermination des groupements pour le paramètre auquel nous avons enregistré des différences significatives.

3. Résultats

3.1. Données bioclimatiques

Les stations étudiées sont situées dans trois étages bioclimatiques déférents, le subhumide à la wilaya d'Alger, le semi-aride à la wilaya de Mostaganem et le saharien pour la région de Tindouf (Tableau 27, Figure 2).

Tableau 27. Données climatiques des régions d'étude pour la période (1999/2019) [147]

Wilayas	T min (°C)	T max (°C)	P (mm)	Q2	Étage bioclimatique
Alger	7,5	32,3	615	85,05	Subhumide
Mostaganem	7,2	32,2	387	53,09	Semi-aride
Tindouf	6	42,6	27	2,53	Saharien

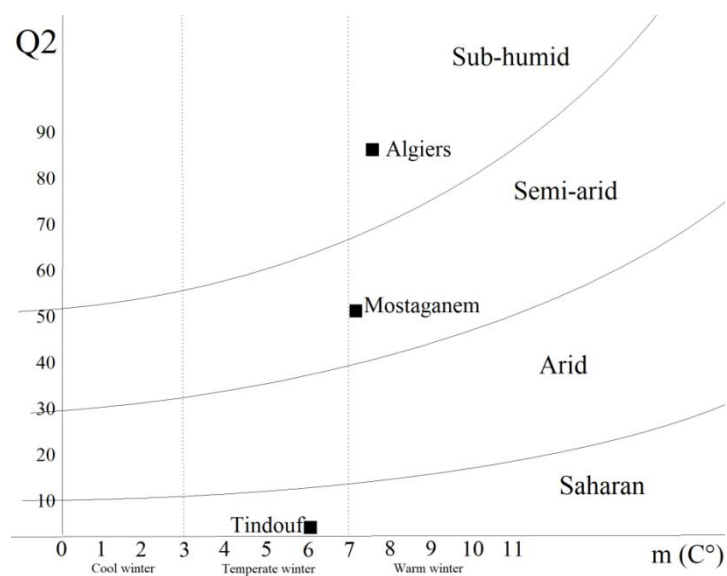


Figure 2. Localisation des sites d'étude dans le Climagramme d'Emberger.

Par les diagrammes Ombrothermiques des trois stations étudiées, nous avons constaté que la période sèche s'étale sur quatre mois à Alger et cinq mois et demi à Mostaganem, alors que la sécheresse s'étale toute l'année à Tindouf (Figure 3).

Les trois stations montrent une différence très marquée dans les précipitations mensuelles, ce qui reflète une variabilité climatique locale notable entre ces sites (Figure 4).

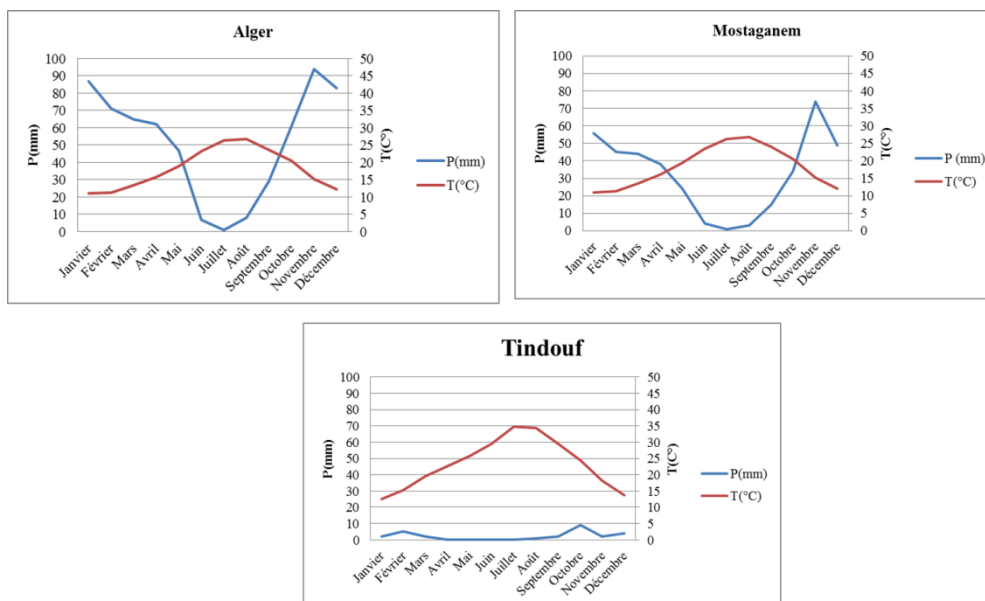


Figure 3. Diagrammes Ombrothermiques des trois stations étudiées.

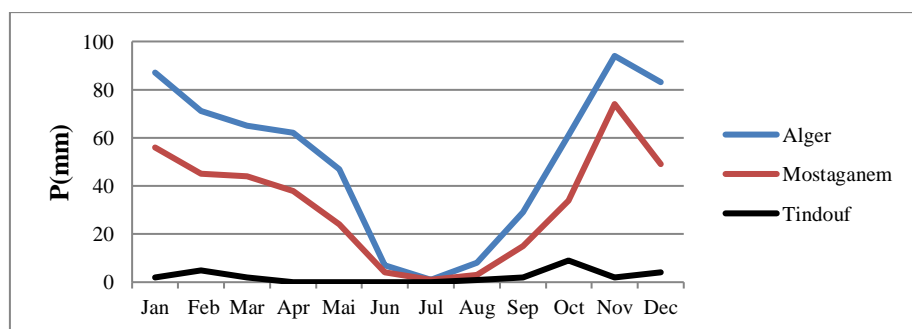


Figure 4. Variation des précipitations mensuelles des trois stations.

3.2. Résultats dendrométriques

D'après le tableau 28, nous avons constaté que les dimensions dendrométriques mesurées des sujets d'arganier inventoriés à la station de Alger sont remarquables par rapport au celles de Mostaganem et de Tindouf.

Tableau 28. Statistiques descriptives des données dendrométriques des stations étudiés.

Variable	Station	Moy.	Eca-typ.	Min.	Max.
H(m)	Alger	5,660	0,336	5,300	6,100
	Mostaganem	3,305	0,834	2,300	4,750

	Tindouf	2,995	0,581	2,100	4,100
D(m)	Alger	4,750	0,718	3,650	5,500
	Mostaganem	3,760	0,936	2,400	5,200
	Tindouf	3,018	0,506	2,400	4,200

Légende : H (m) : la hauteur ; D (m) : Diamètre du houppier.

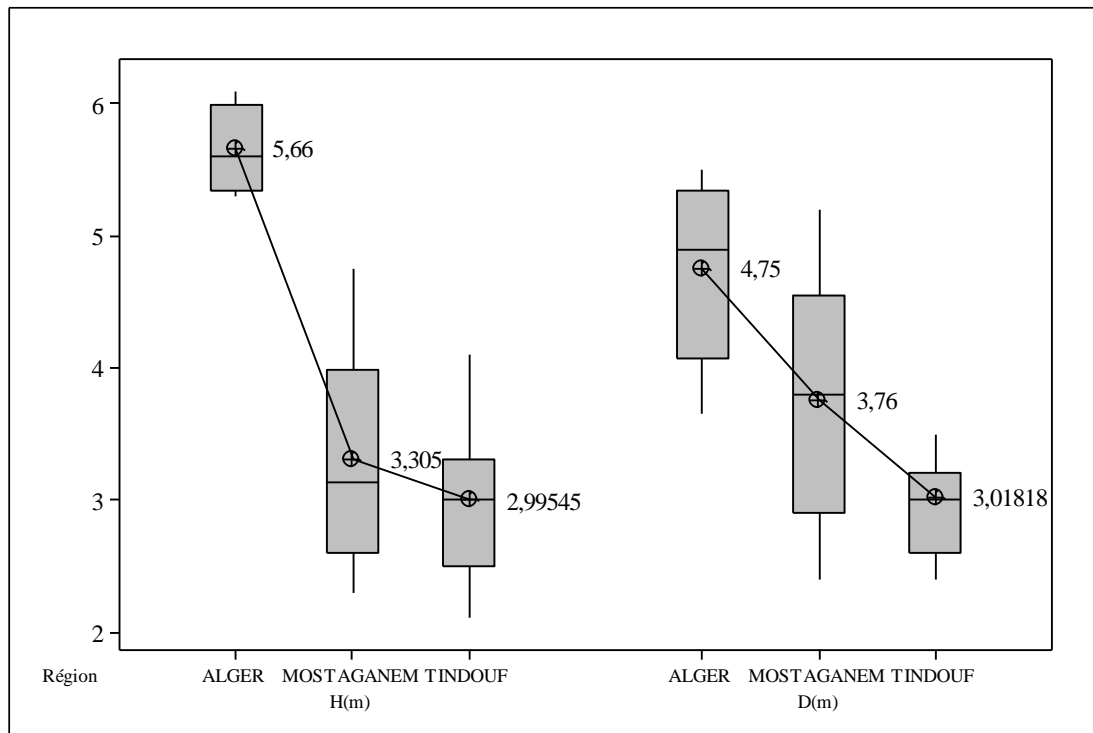


Figure 5. Boite à moustache de la hauteur H (m) et du diamètre du houppier D(m).

3.3. Résultats de l'analyse de la variance

Les résultats de l'analyse de la variance (tableau 29), nous indiquent qu'il existe des différences très hautement significatives entre les trois hauteurs moyennes de chaque site où la probabilité p est inférieure au seuil ($\alpha = 0,05$).

Tableau 29. ANOVA à un facteur contrôlé : H(m) en fonction de station

Source	DL	Somme des carrés	CM	F	P
Station	2	26,090	13,045	29,76	0,000
Erreur	23	10,082	0,438		
Total	25	36,171			

D'après le tableau 30, relatif à la hauteur, le test de Fisher fait ressortir deux groupements, où la station d'Alger s'individualise avec un groupe et les deux autres stations forment le

deuxième groupe, ainsi nous pouvons déduire que la plantation d'Alger est structurée différemment comparée aux plantations de Mostaganem et de Tindouf.

Tableau 30. Informations de groupement avec la méthode de Fisher

Station	Groupement
Alger	A
Mostaganem	B
Tindouf	B

Le tableau 31 nous mènent à dire qu'il existe des différences très hautement significatives entre les diamètres du houppier moyennes de chaque plantation où la probabilité p est inférieure au seuil de signification avec ($\alpha = 0,05$).

Tableau 31. ANOVA à un facteur contrôlé : D(m) en fonction de station

Source	DL	Somme des carrés	CM	F	P
Station	2	10,557	5,279	9,71	0,001
Erreur	23	12,500	0,543		
Total	25	23,058			

D'après le tableau 32, le test de Fisher révèle la présence de trois groupements qui sont sensiblement différentes. Le premier est composé de la station d'Alger, le deuxième de la station de Mostaganem, et la station de Tindouf qui forme le troisième groupe.

Tableau 32. Informations de groupement avec la méthode de Fisher

Station	Groupement
Alger	A
Mostaganem	B
Tindouf	C

4. Discussion

4.1. Synthèse bioclimatique

L'Algérie, avec une totale superficie d'environ 2,4 millions de km², seule une faible proportion de 10% du territoire bénéficie de précipitations. Ces dernières, sont réparties entre trois régions distinctes : celle du Nord (500 mm/an), les Hauts plateaux (300 mm/an) et celle du Sud Atlas (250 mm/an) [148]. Les trois stations de notre étude se trouvent dans trois étages bioclimatiques très différents ou la station d'Alger dans l'étage bioclimatique subhumide, Mostaganem semi-aride et Tindouf saharien (Tableau 27, Figure 2). En ce qui concerne les

températures maximales nous remarquons une grande différence entre le nord et le sud avec un écart thermique entre Alger et Tindouf de 10,3°C, et un faible un écart thermique entre les trois stations pour les températures minimales, En moment, les précipitations sont très différentes des trois stations avec un écart de 588 mm entre Alger et Tindouf (Tableau 27, Figure 4). Le pays présente un climat de type méditerranéen caractérisé par une longue période de sécheresse estivale variant de 3 à 4 mois sur le littoral, de 5 à 6 mois au niveau des Hauts plateaux, et supérieure à 6 mois au niveau de l'Atlas Saharien [134], pour nos stations par le diagrammes Ombrothermiques, la période sèche s'étale sur quatre mois à Alger et cinq mois et demi à Mostaganem, alors que la sécheresse s'étale toute l'année à Tindouf (Figure 3).

Ces résultats montrent que l'arganier peut pousser dans un climat humide même que climat sec, chaud ou tempéré à condition d'absence du gel où Emberger [149], et Alouani *et al.* [70] ont noté que l'arganier ne peut pas supporter les basses températures que pendent des courtes périodes, dont nos trois stations enregistrent des températures minimales très élevées.

4.2. Croissance de l'arganier en fonction du climat

Les relations précipitations-température peuvent être utilisées non seulement pour étudier l'avenir projections climatiques, mais aussi pour arriver à des estimations de référence des effets possibles sur la végétation et les écosystèmes [150]. Pour éviter l'échec, les opérations de boisement doivent reposer sur des bases scientifiques et une étude détaillée des facteurs physiques [151]. La réponse des espèces aux conditions de milieu et aux techniques d'installation conditionne la réussite des travaux du boisement et de la réhabilitation. Dans cette optique portant sur les interactions entre les potentialités de croissance de l'arganier et les descripteurs du milieu, le comportement de l'arganier vers les climats différents est exposé dans la présente étude. En sachant que la capacité de l'arganier à subsister dans les régions arides, semi-arides et Sahariennes est remarquable. Néanmoins, nous avons remarqué que son comportement d'accroissement reste toujours lié aux caractéristiques du climat, notamment la pluviométrie,

Les résultats obtenus après 20 ans de plantation ont montré une nette différence entre les Hauteurs et les diamètres des houppiers obtenus dans les trois sites expérimentaux de transplantation de l'Arganier. En effet, des hauteurs moyennes de 5,66m, 3,30m, 2,99m et des diamètres moyens des houppiers de 4,75 m, 3,76 m, 3,01m ont été enregistrées respectivement à Alger (subhumide), Mostaganem (semi-aride) et Tindouf (saharien). Cette

différence est confirmée par les résultats du test ANOVA (Tableau 29 et 31). Les résultats du test post-hoc de Fisher montrent que la station Alger (subhumide) est très différente que celles de Mostaganem (semi-aride) et Tindouf (saharien) (Tableau 30 et 32).

Concernant le test post-hoc du Fisher pour la hauteur on trouve que la station de Mostaganem (semi-aride) et Tindouf (saharien) partage le même groupement (B) (tableau 31) et cela peut s'expliquer par les travaux d'irrigation malgré que sont très faible et la compensation des pluies par les eaux souterraines proche où kechairi [65] a noté que l'arganier bénéficie des eaux souterraines comme une source de compensation, notamment que l'arganier se caractérise par ses racines pivotantes très puissantes avec une croissance rapide [31]. Raimondo *et al.* [69] ont signalé que le régime optimal des précipitations pour l'espèce est entre 120 mm et 500mm par ans alors que Tindouf enregistre que moins de 50mm/ans (Tableau 27).

5. Conclusion

L'arganier peut s'adapter facilement aux climats humides, semi-arides et sahariens. Toutefois, l'influence de ces conditions climatiques sur sa croissance reste évidente. Il présente généralement une croissance lente, mais celle-ci peut devenir significative lorsque les conditions climatiques sont favorables. Sa croissance est ainsi plus marquée dans un climat humide que dans un climat aride.

La réussite de sa plantation dans les trois sites étudiés particulièrement et au niveau national généralement est un indicateur encourageant pour avoir une bonne planification aux futurs travaux de gestion de la filière arganier en Algérie, telles que la création des vergers à graines, et le choix des milieux appropriés pour le boisement à base de cette espèce.

**Sous-Chapitre 2. 3. Variabilité biométrique du feuillage
d'arganier de divers sites de plantation en Algérie**

1. Introduction

Argania spinosa, unique représentant de la famille botanique des sapotacées dans l'Afrique du nord occidental [152], est une espèce endémique Algéro-marocaine [6]. Cet arbre épineux atteint généralement une hauteur maximale de 8 à 10 mètres et présente des feuilles alternes et spatulées, d'un vert sombre sur la face supérieure et plus clair en dessous [91, 153]. Bien qu'il soit persistant, il peut perdre totalement ou partiellement son feuillage en raison du stress estival [46]. La floraison principale a lieu au printemps, avec d'autre secondaire à la fin de l'automne. La maturation des fruits varie selon les régions, s'étendant de la mi-printemps à la fin de l'été [46, 76]. Les fruits sont des drupes sans pédoncule, possédant un endocarpe solide qui protège un noyau riche en huile [76]. Un arbre produit environ 8 kg par année [119].

L'arganier est une espèce capable de survivre à des conditions de sécheresse extrême et de sol pauvre [69]. Il est sensible au gel et ne peut y résister que pendant une courte période [70], et capable de supporter des températures jusqu'à 50 °C [34]. Il est également capable de s'adapter à différents types de sol, mais il ne tolère pas les sols à une forte salinité et non drainé. Il n'est pas adapté aux très hautes altitudes [154]. L'arganier est capable de vivre jusqu'à 200 ans [155]. L'arbre a une structure très polymorphe et présente certaines similitudes avec l'olivier [156].

L'objectif de cette étude est d'étudier la biométrie du feuillage (en surface et en circonférence), à partir de l'analyse des images à l'aide du logiciel Image J, dans 19 sites de plantation en Algérie.

2. Matériels et méthodes

2.1. Zone d'étude

Notre travail couvre 19 sites de plantation d'arganier répartis sur 9 wilayas : Tindouf, Béchar, Adrar, Timimoune, Mostaganem, Mascara, Chlef, Alger, Tlemcen (Tableau 33).

Tableau 33. Sites des plantations étudiées.

Site de plantation	Lieux dites
Tindouf 1	Pépinière de Tindouf
Tindouf 2	Exploitation agricole à Tindouf
Tindouf 3	Réserve naturelle de Tindouf
Béchar	Conservation des forêts de Béchar

Adrar 1	Pépinière Amal à Adrar
Adrar 2	Arboretum d'Adrar
Adrar 3	Maison d'environnement d'Adrar
Adrar 4	Prison d'Adrar
Timimoun 1	ITMAS Timimoune
Timimoun 2	Conservation des forêts de Timimoun
Mostaganem 1	Maison forestière de Stidia
Mostaganem 2	Pépinière d'Ain Nouissy
Mostaganem 3	Plantation d'arganier d'El-bekairia
Mostaganem 4	Village Alaraibia
Chlef 1	Conservation des forêts de Chlef
Chlef 2	INRF Ténès
Alger	INRF Alger
Mascara	pépinière d'Oggaz
Tlemcen	INRF Tlemcen

2.2. Méthode de collecte des données

Les feuilles sélectionnées par un échantillonnage aléatoire, ont été collées sur une feuille de papier pour chaque site, ensuite elle est numérisée à l'aide d'un scanner, et après avoir des images numériques elles sont traitées par le logiciel **ImageJ** pour mesurer la surface et la circonférence des feuilles, après cette étape les résultats sont traités par logiciel Minitab16 pour avoir la signification statistique. Il s'agit des statistiques descriptives et de l'ANOVA à un facteur puis le test post-hoc LSD de Fisher pour ressortir les groupements homogènes.



Photo 6. Feuilles d'arganier de la pépinière de Tindouf.

3. Résultats

3.1. Statistiques descriptives

D'après les résultats du tableau 1, nous avons pu ressortir des moyennes de l'ensemble des feuilles mesurées à travers divers sites, en surface et en circonférence. Alors, nous avons remarqués que le site de la réserve naturelle de Tindouf (Tindouf 3) présente des feuilles de taille plus réduite, avec une surface moyenne de $0,13481 \text{ cm}^2$ et une circonférence moyenne de $1,9192 \text{ cm}$, tandis que la station de la pépinière d'Oggaz à Mascara présente les feuilles les plus grandes, avec une surface moyenne de $2,673 \text{ cm}^2$ et une circonférence moyenne de $9,7 \text{ cm}$ (Tableau 34).

Tableau 34. Les données des deux paramètres étudiés.

Wilayas	Sites	Vari.	Moyen	EcaTyp
Tindouf	1	surf.	0,3758	0,1976
		Circ.	3,083	0,6359
	2	surf.	0,3743	0,1084
		Circ.	2,966	0,5748
	3	surf.	0,13481	0,03453
		Circ.	1,9192	0,2796
Béchar	surf.	0,8772	0,3452	
	Circ.	7,152	1,469	
Adrar	1	surf.	0,7045	0,2921
		Circ.	3,6626	0,7275
	2	surf.	0,3597	0,2444
		Circ.	3,0002	0,8577
	3	surf.	0,6474	0,3634
		Circ.	3,882	1,213
	4	surf.	0,5255	0,2172
		Circ.	3,181	0,6623
Timimoun	1	Surf.	1,0578	0,4386
		Circ.	5,601	1,455
	2	Surf.	0,6594	0,3
		Circ.	4,3595	0,9084
Mostaganem	1	Surf.	0,9052	0,3994
		Circ.	5,238	0,933
	2	Surf.	0,7921	0,2764
		Circ.	4,933	0,958
	3	Surf.	1,3069	0,5949
		Circ.	6,913	1,837
	4	surf.	1,6504	0,4967
		Circ.	8,088	1,091
Chlef	1	surf.	1,0283	0,6434
		Circ.	5,888	2,386
	2	surf.	0,4221	0,32
		Circ.	3,49	1,599
Alger	surf.	1,513	1,078	
	Circ.	7,126	1,42	

Mascara	surf.	2,673	1,008
	Circ.	9,7	2,072
Tlemcen	surf.	0,5949	0,8991
	Circ.	3,214	2,219

Légende : Vari. : Variable ; surf. Surface ; Circ. Circonférence.

3.2. Corrélation de Pearson

Pour tous les sites de plantation, les dimensions du feuillage ont une forte corrélation où elle varie entre 0,754 et 0,98. Dont, la plupart d'entre eux ont une corrélation supérieure à 0.9 (Tableau 35).

Tableau 35. Corrélation de Pearson entre surface et circonférence.

Wilayas	Sites	Corrélation Pearson Surf. et Circ.	P-value
Tindouf	1	0,926	0,000
	2	0,932	0,000
	3	0,899	0,000
Béchar		0,966	0,000
Adrar	1	0,953	0,000
	2	0,95	0,000
	3	0,971	0,000
	4	0,945	0,000
Timimoun	1	0,914	0,000
	2	0,937	0,000
Mostaganem	1	0,754	0,000
	2	0,892	0,000
	3	0,929	0,000
	4	0,858	0,000
Chlef	1	0,846	0,000
	2	0,97	0,000
Alger		0,811	0,000
Mascara		0,876	0,000
Tlemcen		0,98	0,000

Légende : surf. Surface ; Circ. Circonférence.

3.3. ANOVA à un facteur contrôlé

3.3.1. ANOVA à un facteur contrôlé : surface en fonction de sites

La conclusion tirée de l'analyse de la variance révèle des différences hautement significatives entre les surfaces moyennes des sites étudiés, avec une probabilité P inférieure au seuil de ($\alpha = 0,05$) (Tableau 36).

Tableau 36. Anova1 pour la variable surface en fonction de sites

Source	DL	Somme des carrés	CM	F	P
Sites	18	411,568	22,865	98,50	0,000
Erreur	1730	401,606	0,232		
Total	1748	813,175			

Pour caractériser et identifier les groupes de moyennes homogènes, nous avons utilisé le test post-hoc LSD de Fisher. Les résultats sont exprimés dans la (figure 6) où les sites ne partageant aucune lettre sont sensiblement différents. Par laquelle, nous avons trouvé 12 groupements homogènes : groupe A contient un seul site c'est le site de Mascara, groupe B contient deux sites qui sont Mostaganem 4 et Alger...etc., les sites de même groupe sont homogènes.

Sites	Groupement
Mascara	A
Mostaganem 4	B
Alger	B
Mostaganem 3	C
Timimoun 1	D
Chlef 1	D E
Mostaganem 1	E F
Béchar	F
Mostaganem 2	F G
Adrar 1	G H
Timimoun 2	H
Adrar 3	H I
Tlemcen	H I
Adrar 4	I J
Chlef 2	J K
Tindouf 1	K
Tindouf 2	K
Adrar 2	K
Tindouf 3	L

Figure 6. Informations de groupement avec la méthode LSD de Fisher (surface foliaire).

3.3.2. ANOVA à un facteur contrôlé : circonférence en fonction de sites :

La valeur de P étant inférieure au seuil $\alpha = 0,05$, cela indique une différence significative entre les sites étudiés (Tableau 37).

Tableau 37. Anova1 pour la variable circonférence

Source	DL	Somme des carrés	CM	F	P
Sites	18	5500,97	305,61	173,07	0,000
Erreur	1730	3054,92	1,77		
Total	1748	8555,89			

Pour caractériser et identifier les groupes de moyennes homogènes, nous avons utilisé le même test post-hoc LSD de Fisher. Les sites ne partageant aucune lettre sont sensiblement différents (Figure 7).

Sites	Groupement
Mascara	A
Mostaganem 04	B
Béchar	C
Alger	C
Mostaganem 03	C
Chlef 01	D
Timimoune 01	D E
Mostaganem 01	E F
Mostaganem 02	F
Timimoune 02	G
Adrar 03	H
Adrar 01	H I
Chlef 02	I J
Tlemcen	J K
Adrar 04	J K
Tindouf 01	K
Adrar 02	K
Tindouf 02	K
Tindouf 03	L

Figure 7. Informations de groupement avec la méthode LSD de Fisher (circonférence).

4. Discussion

Plusieurs chercheurs ont contribué à la caractérisation de la diversité de l'arganier [129, 157, 158], soulignant que cette espèce présente une importante diversité phénotypique. Par la comparaison des résultats des sites qui ont les mêmes conditions environnementales (les sites de la même wilaya) on trouve une variabilité très remarquable, ce que peut être s'expliqué par la diversité génétique notamment que les choix des graines dans les pépinières ne subissent à aucune sélection. C'est le cas de la wilaya de Mostaganem où les sites sont repartis en 3 groupements (B C F), Timimoun en 2 groupements (D G). D'un autre côté, l'impact des conditions environnementales est très remarquable sur les dimensions du feuillage de l'arganier. Où il présente des formes grandes et très allongés, c'est le cas de la plantation de Béchar et Chlef où l'arganier se trouve dans un endroit irrigué et très ombré sous l'effet des arbres voisin de casuarina. Beladjemi *et al.* [129] ont noté aussi que l'effet de conditions climatiques et le régime d'irrigation la fertilité du sol est très remarquable sur les dimensions du feuillage de l'arganier, dont un bon feuillage indique un bon état de l'arbre.

5. Conclusion

À travers les résultats précédents nous pouvons conclure que l'arganier a une diversité très remarquable dans son feuillage, avec des surfaces de feuille variant de 0,13 cm² jusqu'à 2,67 cm². L'espèce montre également une capacité d'adaptation aux conditions environnementales de plusieurs wilayas, notamment : Tindouf, Béchar, Adrar, Timimoun, Mostaganem, Mascara, Chlef, Alger et Tlemcen.

La diversité de l'arganier dans leur feuillage donne la chance d'étudier profondément cette espèce pour ressortir ses caractéristiques phénotypiques. Tandis Bendellaa [157] a remarqué une diversité remarquable dans la morphométrie de ses graines.

L'importance socioéconomique de l'arganier notamment que sont huile est très demandé dans le marché mondiale [139], est une raison très motivante pour encourager le monde scientifique à sélectionner et développer les écotypes les plus rentables et les plus adaptables aux conditions sévères d'aridité prolongée. En effet, l'arganier a prouvé son aptitude à faire pousser au Sahara algérien [21, 129, 131].

Chapitre 3. Régions souhaitables à la plantation de l'arganier par la Modélisation bioclimatique (MaxEnt)

Sous-Chapitre 3.1. Régions potentielles des plantations à arganier par la modélisation MaxEnt en Algérie.

1. Introduction

Ces dernières années, L'impact écologique du changement climatique attirent une préoccupation majeure, et pourraient être le principal facteur de la perte de biodiversité et de les modifications des services écosystémiques à l'échelle mondiale [159]. La vulnérabilité au changement climatique est le degré de susceptibilité ou d'incapacité d'un système à faire face aux ces effets négatifs [160]. Aujourd'hui Les effets des changements globaux sont remarquables dans les zones arides et semi-arides [161, 162]. En Afrique du Nord la majeure partie des terres se trouve dans des zones climatiques semi-arides, arides et désertiques, où les plantes sont confrontées à des conditions de pénurie d'eau ainsi qu'aux effets néfastes de températures élevées et de longues périodes de sécheresse [163]. Pour réussir les projets de réhabilitation dans ces zones arides, il est essentiel de sélectionner et d'introduire des espèces végétales adaptées à la pénurie d'eau et aux conditions thermiques stressantes. Cette approche vise à atténuer les effets cumulés de ces contraintes et à favoriser la réussite des travaux de réhabilitation [136].

L'arganier est une essence forestière présente naturellement en Afrique du Nord-ouest, au Maroc et en Algérie. Cet arbre est utilisé à diverses fins, notamment la production d'huile d'argan, de bois de chauffage et de bois d'œuvre. De plus, il constitue également une source de fourrage pour le bétail [6, 11]. la partie la plus importante de l'arganier économiquement est ses fruits ou ils sont destinés à la production de l'huile d'argan de cosmétique et de cuisine, Actuellement la demande mondiale de l'huile d'argan est en augmentation, par exemple entre 2007 et 2011, le nombre de produits de soins personnels sur le marché américain, qui contenaient de l'huile d'argan comme ingrédient, a connu une augmentation passant de deux à plus de cent [139]. L'arganier est aussi caractérisée par une grande plasticité écologique [164]. il est une espèce capable de survivre à des conditions de sécheresse extrême et de sol pauvre, Son régime de précipitations optimal se situe généralement entre 120 mm et 500 mm par an [69] Il est sensible aux températures inférieures à 0 °C et ne peut y résister que pendant une courte période [70] et capable de survie à des températures jusqu'à 50 °C et dans différent type de sol mais souffrir dans les sol non drainé et il n'est pas adapté aux très hautes altitudes ou à une forte salinité [154]. il joue un rôle très important dans le maintien du sol et la lutte contre l'érosion et la désertification [155]. L'arganier (*Argania spinosa*) par son adaptation aux climats secs et leur divers usages écologique et socioéconomique fait un choix prometteur pour le développement durable dans les travaux de boisement et la réhabilitation des régions arides [136, 165]

La gestion durable des espèces forestière, implique la connaissance des aires de distribution potentielles et aussi l'identification des facteurs environnementaux conditionnant ces répartition [166, 167]. Les modèles de distribution des espèces offrent une solution pour contourner les contraintes environnementales. Ces modèles permettent de prédire la répartition géographique des espèces en établissant une corrélation entre les sites où les espèces sont présentes et les conditions environnementales qui prévalent dans ces zones. [159]. ces modèles sont largement utilisés par les défenseurs de l'environnement en déterminant l'emplacement et les schémas de répartition des espèces afin de mieux établir les plans de gestion et de conservation [168]. De nombreux scientifiques [159, 168] prédisent que les espèces végétales vont migrer vers d'autres régions afin de mieux s'adapter à leurs besoins écologiques.

Dans ce contexte l'objectif de cette étude est de faire un inventaire des plantations réussite à arganier sur tout le territoire algérien dans et dehors de son aire naturelle et modéliser les zones potentielles de plantation sous les conditions climatiques actuel à l'aide de Maximum Entropy Modeling pour aider à une meilleure gestion des travaux de boisement d'*Argania spinosa* en Algérie et la réhabilitation des région arides, surtout que Kechairi *et al.* [20] ont signalé la possibilité d'introduire cette espèce dans les régions sahariennes. L'utilisation du modèle d'entropie maximale (Maxent) présente une grande utilité pour déterminer les distributions et la sélection de l'habitat des espèces, car il se base exclusivement sur les emplacements où ces espèces ont été observées [169].

2. Matériels et méthodes

2.1. Zone d'étude

Notre étude couvre tout le territoire de l'Algérie, ce pays est situé l'extrême nord de l'Afrique, entre 12°E et 9°W de longitude et entre 19°N et 37°N de latitude. Avec une superficie de 2381741km². Le climat en Algérie présente des différences significatives entre les régions (Nord, Sud, Est, Ouest). Au nord du pays entre le long de la côte et la chaîne montagnarde de l'Atlas Tellien, où le climat est de type méditerranéen, caractérisé par des étés chauds et secs, et des hivers humides et frais. Sur les hauts plateaux du centre du pays entre les deux chaînes montagnard l'Atlas Tellien et l'Atlas Saharien, le climat est semi-aride et aride, tandis que dès que l'on franchit la chaîne de l'Atlas Saharien, le climat devient désertique.

2.2. Tentative d'acclimatation de l'espèce

En Algérie l'arganier se trouve à l'état naturel dans le Sahara occidentale algérien dans le nord-ouest de la province de Tindouf proche les frontières Algéro-marocains sur une superficie de 50670ha [60], actuellement plusieurs plantations expérimentales ont été effectués dans les différents régions du pays dans et dehors de son aire naturelle notamment dans les jardin et les arborétum des instituts de recherches [22]. Dans le monde de nombreuses essais d'introduction et d'acclimatation de l'arganier en dehors de son aire d'origine ont été effectués Depuis le 18e siècle [54], parmi lesquelles en France 1852, et en Californie 1927 [77], et au Miami [170, 171], en Australie, à l'Inde et en Afrique du Sud [172], en Hollande 1697 [170] en Angleterre 1711 [170] , et aussi en 1811, où il a subi à un grand échec au cause du climat local [172], Il est aussi présent en Espagne dans la province d'Alicante, la région de Santa María et Murcia [173], au Koweït [174], et en Italie [175].

2.3. Approche MaxEnt

Pour déterminer la distribution potentielle d'une espèce, il est nécessaire de connaître la gamme de conditions environnementales qui lui convient [176]. La connaissance des facteurs affectant la distribution des espèces et la sélection de l'habitat est d'une grande importance pour les chercheurs et les gestionnaires de la faune [169], que de la flore. Aujourd'hui les modèles de distribution d'espèces sont de plus en plus employés pour aborder des problématiques concernant la compréhension, à la description et à la prédiction de l'aire potentielle d'une espèce, ainsi qu'à l'identification des facteurs qui influent sur sa répartition [177].

un certain nombre de nouvelles approches (par exemple, BIOCLIM, DOMAIN, GARP, Maxent) ont été développées au cours des deux dernière décennie qui utilisent uniquement les lieux de présence, éliminant ainsi le besoin de véritables lieux d'absence [169]. Plusieurs études récentes comparant jusqu'à 16 de ces approches ont indiqué que la modélisation à entropie maximale (Maxent) fonctionnait aussi bien ou mieux que les autres approches [159, 178]

MaxEnt fonctionne essentiellement en utilisant les points de présence échantillonnés et les variables explicatives (les variables environnementales, par exemple : la température, les précipitations, l'altitude...) [159].

Dans notre étude Nous avons utilisé Logiciel Maxent (version 3.4.1) [179] pour établir une modélisation des régions souhaitables pour les plantations de l'arganier et cela à partir des données d'occurrence actuelle (les coordonnées des plantations réussites) et des valeurs des variables bioclimatiques comme variables environnementales.

Pour construire notre modèle Maxent, nous avons utilisé Les paramètres suivants :

- maximum number of background points =10000
- convergence threshold = 0,00001
- regularization multiplier = 1
- maximum number of iterations = 500
- 75 % des données pour modèle de formation et 25% pour tester la capacité prédictive du modèle [180].
- Le test Jackknife a été établi pour évaluer l'importance et la contribution de chaque variable dans la construction du modèle.

2.4. Les données d'occurrence

Pour déterminer des emplacements des plantations réussites de l'arganier en Algérie, des sorties sur terrain ont été effectuées pendant trois années 202, 2022 et 2023. À l'exception d'un seul site où ses coordonnées et ses photos ont été fournies par l'INRF de Tamanrasset (l'Institut National des Recherches Forestières de Tamanrasset) où cette plantation se trouve dans son arboretum expérimental.

En plus de la capacité de Maxent à fonctionner avec un nombre réduit des lieux de présence, Maxent semble présenter une sensibilité réduite par rapport aux autres approches en ce qui concerne le nombre d'emplacements de présence requis pour élaborer un modèle précis [159, 178]. Bien qu'il soit généralement recommandé d'utiliser plus de 30 emplacements [181]. Il y a des cas où seul 05 localisations étaient suffisantes pour établir un modèle utile [182, 183]. Dans notre étude nous avons recensés 45 sites de plantations d'arganier réussites sur les différentes régions du pays, avec un seul endroit in-situ et les autres sont ex-situ, ces plantations sont âgées de deux à plus de 50 ans, parmi ces 45 sites, 20 ont des arganiers fructueux de façon régulière.

2.5. Les données bioclimatiques

Pour cette modélisation nous avons choisis 03 variables bioclimatiques (Précipitations annuelles P (mm), Température maximale du mois le plus chaud Tmax (°C) et Température minimale du mois le plus froid Tmin (°C) qui sont considérées comme les facteurs déterminants la présence de l'arganier, et qui affectent sa répartition spatiale [69, 70, 154]. Ces variables ont été téléchargées depuis la base des données Worldclim version 2.0 avec une résolution d'un 1 km² de la période (1970/2000) [184].

Après le téléchargement des données, les cartes sont présentées par une symbologie classée à l'aide du logiciel (ArcMap 10.3), pour bien présenter la variation dans l'espace.

2.5.1. Précipitations

Les précipitations représentent le facteur le plus important du climat. En Algérie, sa répartition est inégale dans le temps et l'espace, caractérisant ainsi le climat algérien [185]. À partir des cartes de la figure 8, on peut facilement observer la variation dans l'espace des précipitations, où elles diminuent du nord au sud et de l'est à l'ouest. La région nord-est du pays reçoit des précipitations supérieures à 600 mm et, dans certaines zones, elles sont supérieures à 1000 mm. Tandis que la région du nord-ouest ne dépasse pas 600 mm.

La répartition spatiale des précipitations dans la longue nord du pays figure un littoral oriental, relativement bien arrosé, par rapport aux plaines de l'ouest, qui sont plus sèches, les plaines littorales (1200 km d'est en ouest) sont séparées des hautes plaines et des hauts plateaux de l'intérieur par le grand massif de l'Atlas tellien et bénéficient ainsi d'un climat moins torride et plus humide [186]. Les régions d'intérieures du pays, nommées les Hauts plateaux, se caractérisent par un niveau de précipitations très faible par rapport à celle du nord, où elles diminuent à mesure que l'on se dirige vers le sud, où les précipitations varient entre 250 et 400 mm dans sa partie du nord. Et entre 100 et 250 mm dans celle du sud.

Vers le sud le seuil de 100 mm est considéré comme le début du désert Algérien [187], où il constitue plus de 80% de la superficie du pays [188] où les précipitations ne dépassent pas 50 mm sur la majorité de ce vaste désert. Selon Djellouli [189], Cette variation spatiale résulte de l'existence de trois gradients:

- Un gradient longitudinal : les précipitations augmentent d'ouest en est. Ce phénomène est expliqué par deux facteurs : à l'ouest, la Sierra Nevada espagnole et l'Atlas

marocain agissent comme une barrière, excluant l'influence atlantique, tandis qu'à l'est, les fortes précipitations sont causées par les perturbations pluvieuses provenant du nord de la Tunisie.

- Un gradient latitudinal : les précipitations moyennes annuelles diminuent du littoral vers les régions sahariennes. Cette diminution est due à la distance considérable parcourue par les dépressions, qui rencontrent les deux chaînes atlasiques en chemin.
- Un gradient altitudinal universel qui varie selon la distance par rapport à la mer.

Les précipitations constituent la composante fondamentale de l'hydrologie et la connaissance de cet apport d'eau au sol est essentielle pour appréhender l'état des réserves en eau du sol, la recharge des nappes et le régime des cours d'eau [190]. Ils constituent le facteur limitant essentiel qui influence considérablement le cycle de l'eau et donc les différents types de écosystèmes [191]. Elles déterminent et expliquent, prioritairement, la répartition des paysages et des zones de cultures [192]. En Algérie, l'agriculture repose principalement sur les précipitations [193]. Sur la côte, les précipitations généralement supérieures à 700 mm, ce qui permet d'avoir des cultures riches et variées ; les hauteurs enregistrent des totaux supérieurs à 1000 mm et sont le domaine privilégié de la forêt. Mais à un peu plus de 200 km au sud à vol d'oiseau, les précipitations perdent de leur vitalité pour descendre au-dessous de 300 mm, limite qui coïncide avec celle de la culture extensive des céréales. L'isohyète 400 mm qui correspond à la frange septentrionale des hautes plaines détermine la limite sud de la culture rentable des céréales. Deçà de 300 mm, c'est le domaine des steppes et des terrains de parcours, qui se prolongent jusqu'à la limite de 200 mm, au-dessous de laquelle commencent les régions arides proprement dites correspondant au Sahara [192].

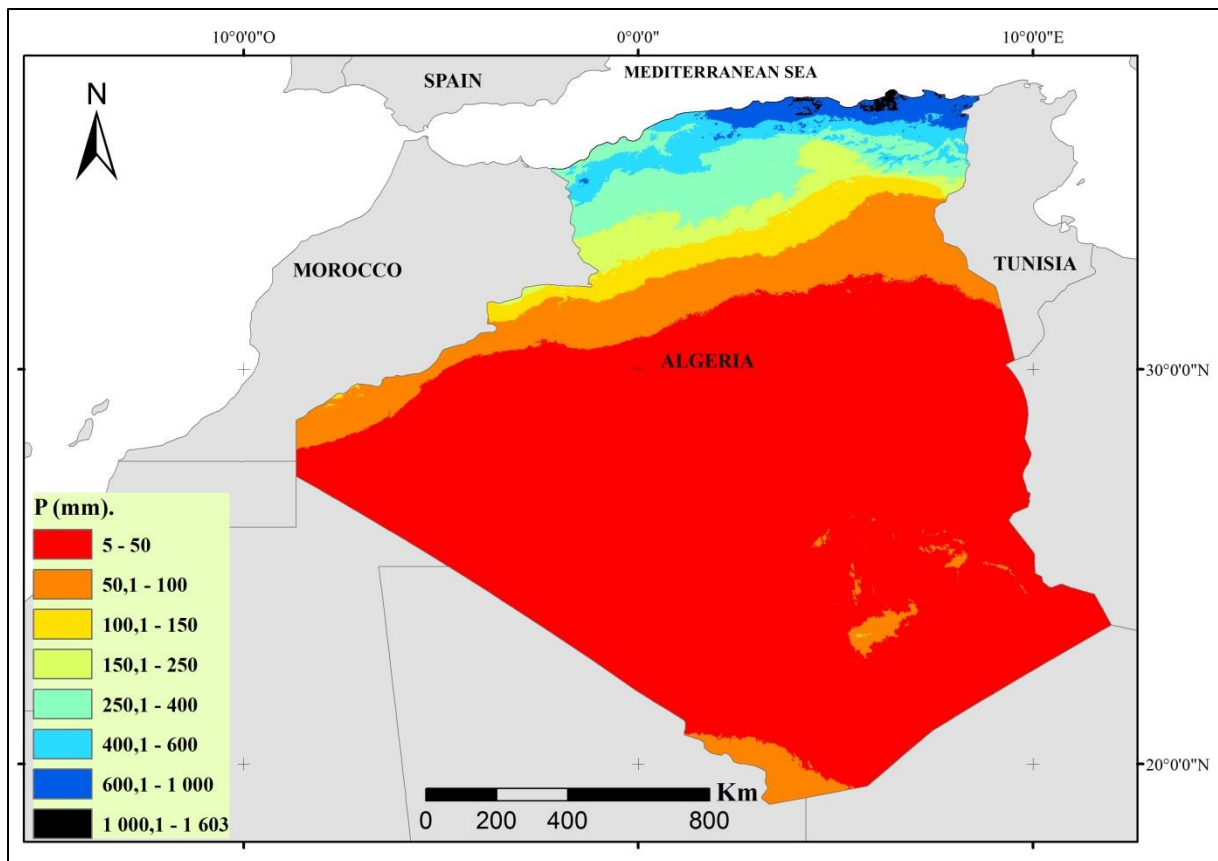


Figure 8. Répartition des précipitations en Algérie (1970/2000).

2.5.2. Température maximale du mois le plus chaud

Les températures maximales du mois le plus chaud, nous avons notés que les régions du nord enregistrent une température maximale inférieure de 35°C, où les régions du nord-ouest sont plus chaudes que leurs homologues du nord-est (Figure 9).

La température maximale dans les régions du nord-ouest est entre 30 et 35°C, tandis que les régions du nord-est sont divisées en trois régions distinctes : la première avec Tmax est entre 21 et 25°C sur les monts des Aurès autour du parc national de Chelia, la deuxième avec Tmax est entre 25 et 30°C, et la troisième avec Tmax est entre 30 et 35°C. Le Chott El Hodna forme une poche très chaude dans le nord de l'Algérie avec Tmax est entre 35 et 40°C. Concernant la température maximale du mois le plus chaud dans les régions du sud, nous avons enregistré que le Sahara Algérien a des températures maximales dépassant les 35°C, à l'exception de certaines zones au nord-ouest de la ville de Tamanrasset où la température maximale est entre 30 et 35°C. On peut également noter que la partie du sud-ouest du désert enregistre la température maximale la plus élevée, où elle dépasse 45°C (Figure 9).

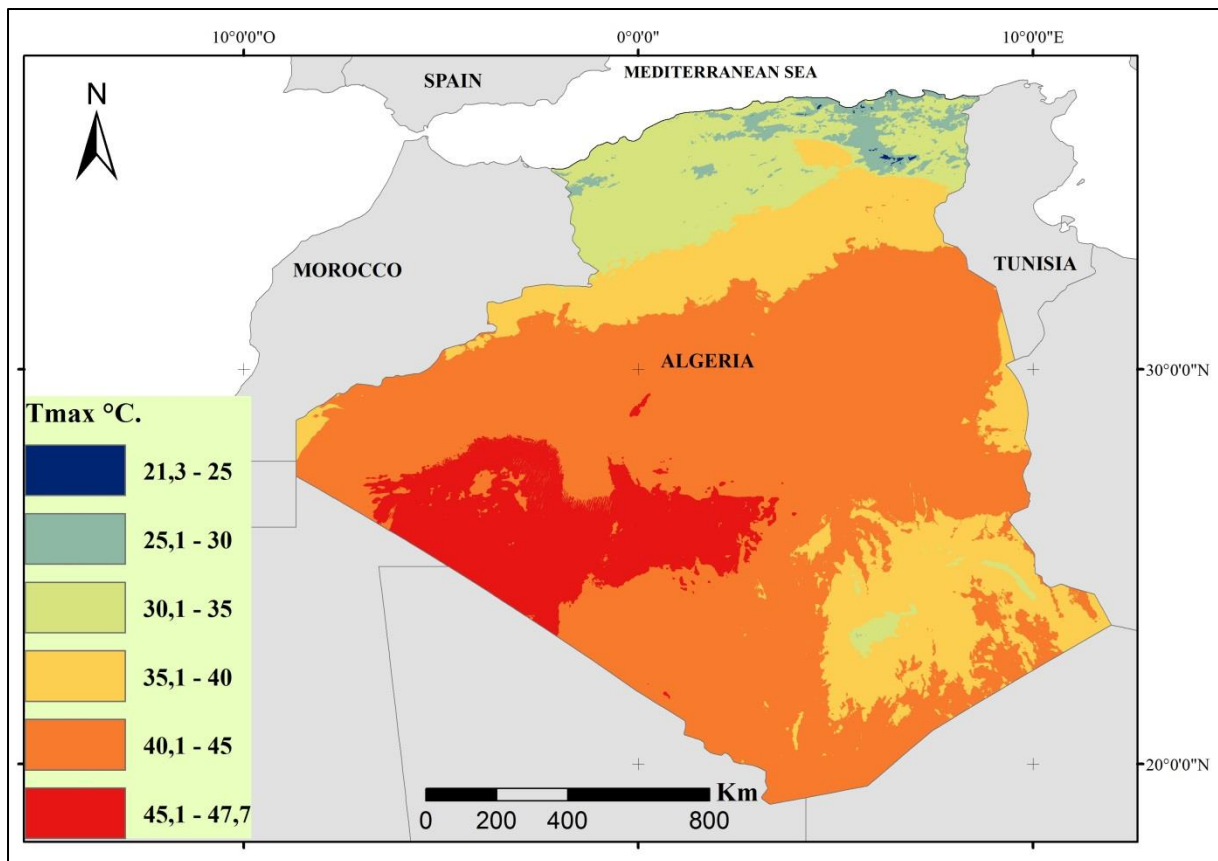


Figure 9. Répartition de (Tmax) du mois le plus chaud en Algérie (1970/2000).

2.5.3. Température minimale du mois le plus froid

La température minimale dans les zones côtières donnant sur la mer Méditerranée du pays se situe entre 3 et 6°C, suivie d'une étroite ceinture au sud qui enregistre une température minimale comprise entre 0 et 3°C, puis viennent les régions intérieures (les hauts plateaux), où la température minimale est basse, enregistrant des niveaux inférieurs à 0°C, et dans certaines zones, elle est oscillante entre -3 et -6°C. C'est au centre de la wilaya de Tiaret et de la ceinture qui relie la ville d'El Bayadh avec la ville d'Aflo et la ville de Djelfa, ainsi que dans les monts Aurès dans les régions orientales.

Dans la steppe les températures minimales descendent en dessous de 0°C, et provoque des gelées en hiver, ralentissant la croissance et même détruisant la végétation [194]. Le gel est limité aux zones intérieures du pays. Dans le désert algérien la température minimale est supérieure à 0°C et augmente du nord vers le sud, elle est la plus élevée dans l'extrême sud de l'Algérie où elle est comprise entre 9 et 11,8°C (Figure 10).

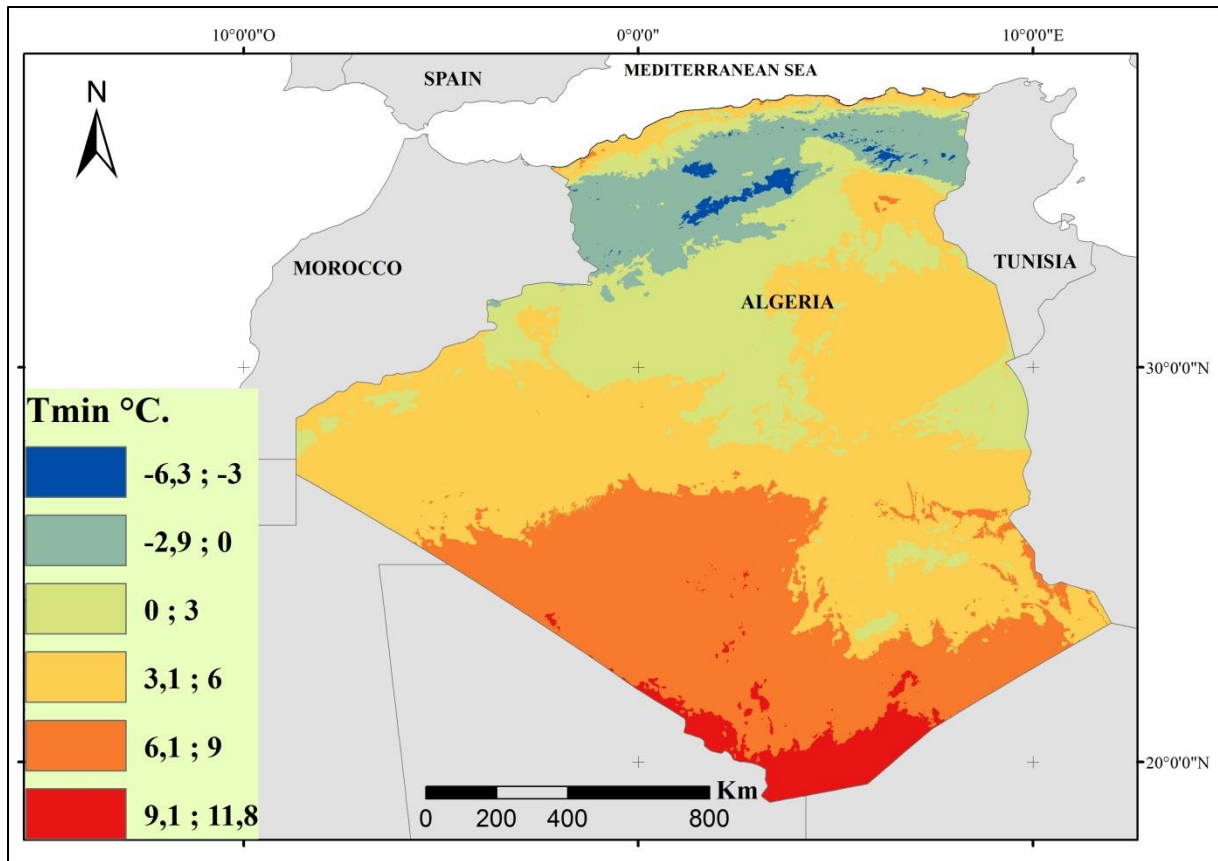


Figure 10. Répartition de (Tmin) du mois le plus froid en Algérie (1970/2000).

L'Algérie se caractérise par une nette variation spatiale du climat. Les précipitations diminuent du nord-est au sud-ouest, et vice versa pour la température. Le gel est considéré comme une particularité des régions intérieures du pays (des hauts plateaux) en hiver, tandis que les températures minimales augmentent à mesure que l'on s'éloigne des régions intérieures, au nord ou au sud. Ces données font de l'Algérie un pays très vulnérable à la sécheresse, ce qui nécessite des études approfondies et des mesures de terrain pour faire face à ce phénomène, d'autant plus que les zones arides sont plus vulnérables au phénomène du changement climatique.

3. Résultats et discussions

3.1. Qualité du modèle

Dans l'approche MaxEnt, la performance du modèle est déterminée par les valeurs de l'aire sous la courbe (Area Under the Curve **AUC**) de la caractéristique de fonctionnement du récepteur (the **Receiver Operating Characteristic ROC**) [195], selon Hoffman, Narumalani [196] l'interprétation du (AUC) est comme suit:

- $AUC > 0,90$: modèle excellent ;
- $0,80 \leq AUC \leq 0,90$: bon modèle ;
- $0,70 \leq AUC \leq 0,80$: modèle acceptable ;
- $0,60 \leq AUC \leq 0,70$: mauvais modèle ;
- $AUC \leq 0,60$: modèle invalide.

Les valeurs AUC pour les données de formation et les données de test étaient plus de 0.9 (Figure 11) où $AUC_{\text{training}} = 0,937$, $AUC_{\text{test}} = 0,906$ cela indique la performance et la précision excellente de notre model MaxEnt.

Le graphique omission et aire prédite (omission and predicted area) (Figure 12) indique qu'il existe une relation étroite entre les résultats de prédiction et les données de présence, de plus les lignes d'omission des données de formation et de test étaient proches des taux d'omission prédits, ce graphique a également montré la précision du modèle résultant [197].

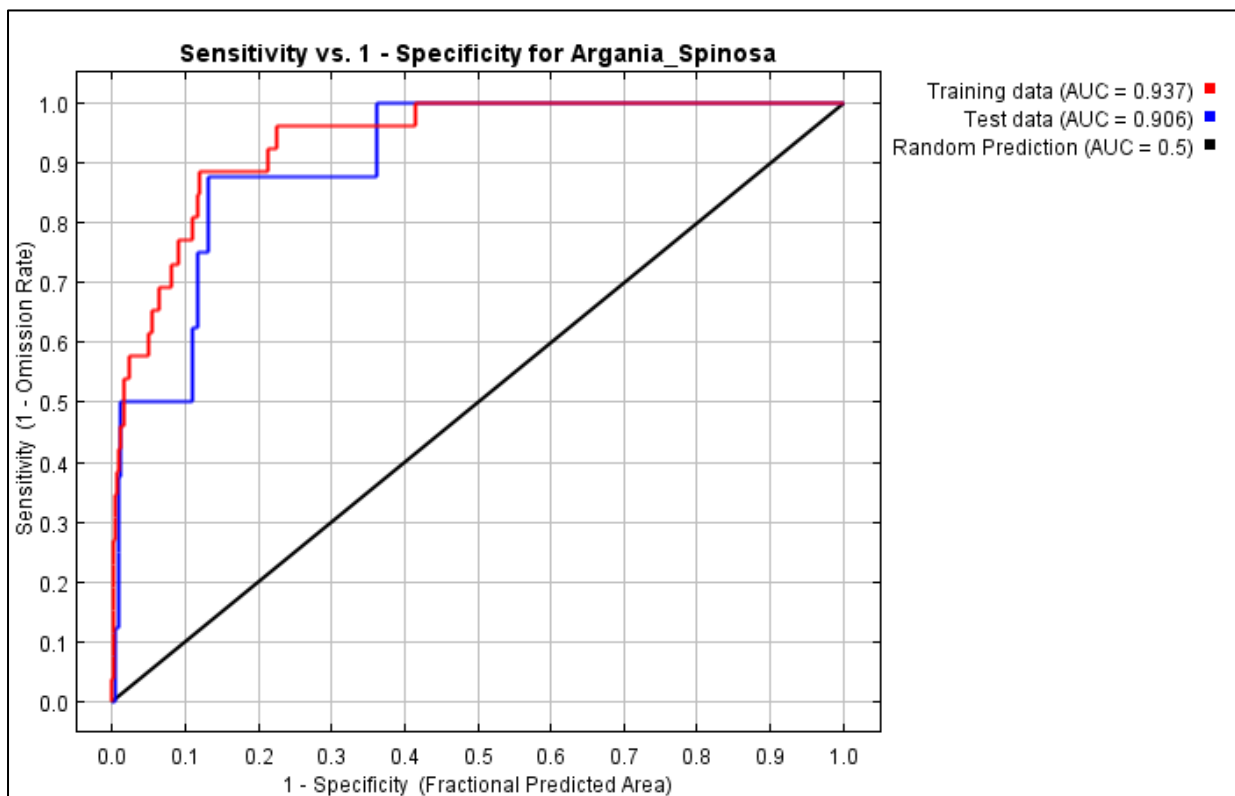


Figure 11. Courbe ROC de la prédiction de la distribution potentielle des plantations d'*Argania spinosa*.

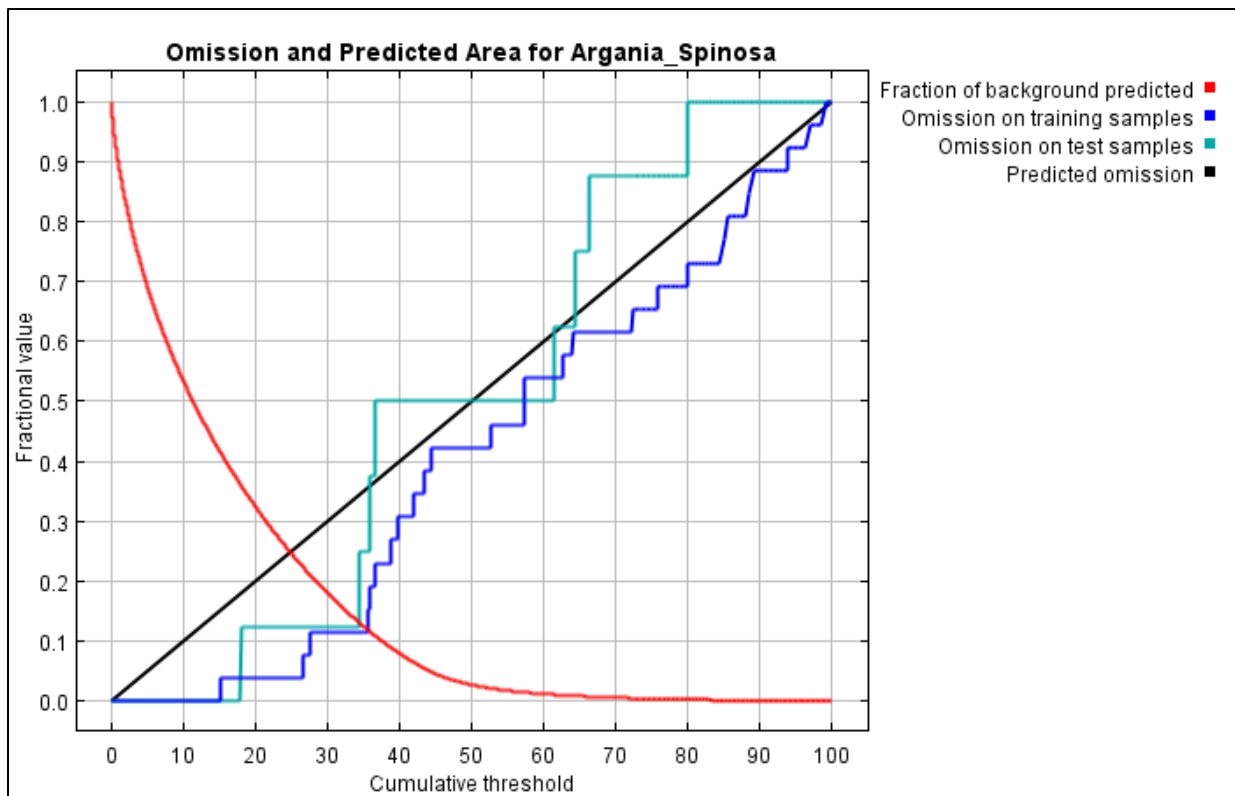


Figure 12. Courbe d’omission et aire prédite pour les plantations d’*Argania spinosa*.

3.2. Analyse du test Jackknife

La modélisation de la distribution des espèces est principalement utilisée pour déterminer empiriquement la ou les variables les plus importantes pour prédire l’espèce modélisée [198].

Les Résultats de l’analyse Jackknife ont indiqué que la variable les Précipitations annuelles (P mm) a contribué le plus élevé dans cette modélisation lorsqu’elle est utilisée isolément suivi les températures maximales du mois le plus chaud (Tmax °C) puis les températures minimales du mois le plus froid (Tmin °C) (Figure 13).

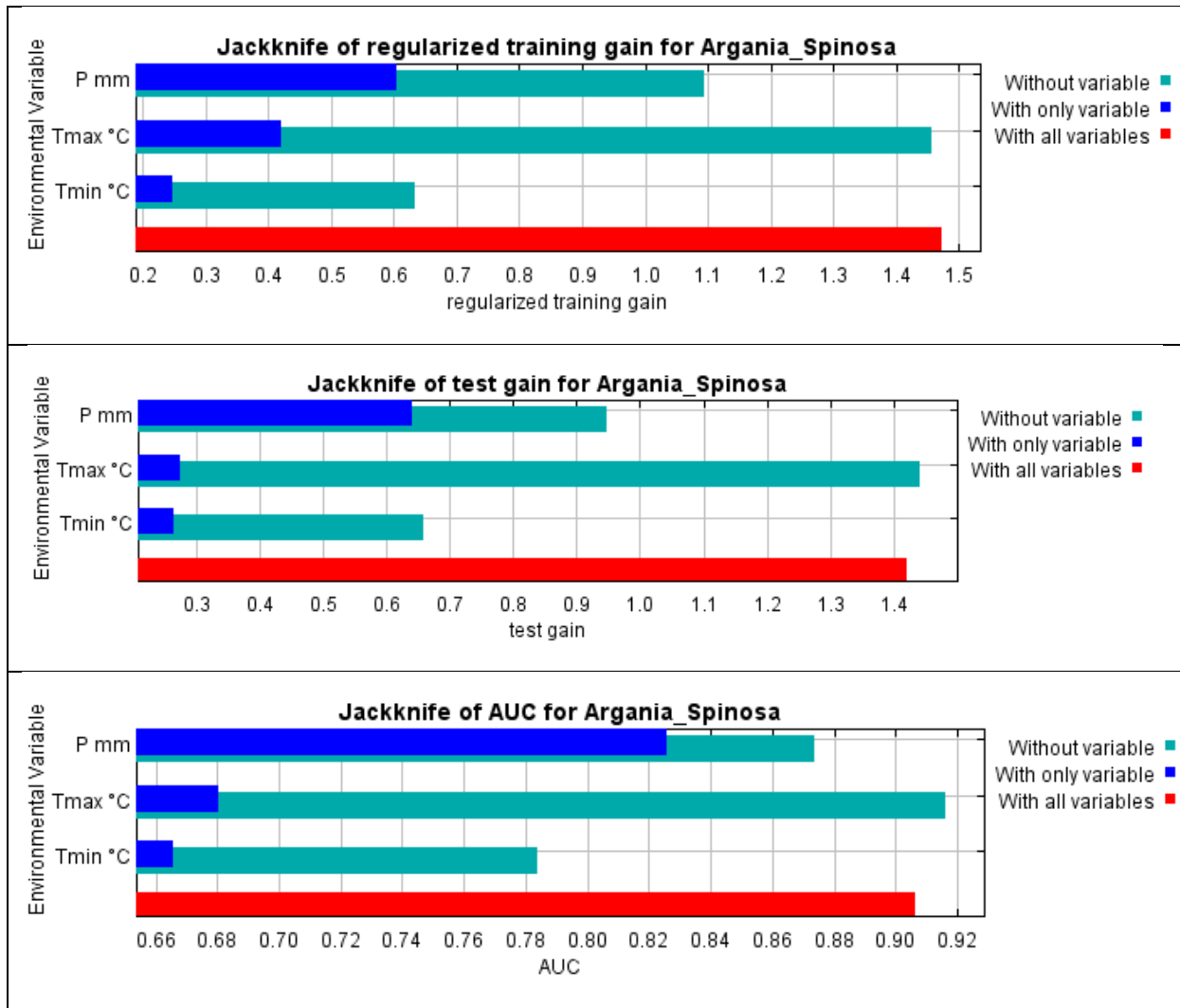


Figure 13. Résultats du test Jackknife

3.3. Courbes de réponse

Les courbes de réponse des trois variables utilisées dans ce modèle MaxEnt (Figure 14) ont démontré que les plages appropriées de P mm, Tmin °C et Tmax °C (probabilité d'existence > 50%),) sont respectivement : 160mm < P mm < 1400mm ; 2.5°C < Tmin °C < 6.5°C ; 20°C < Tmax °C < 38°C.

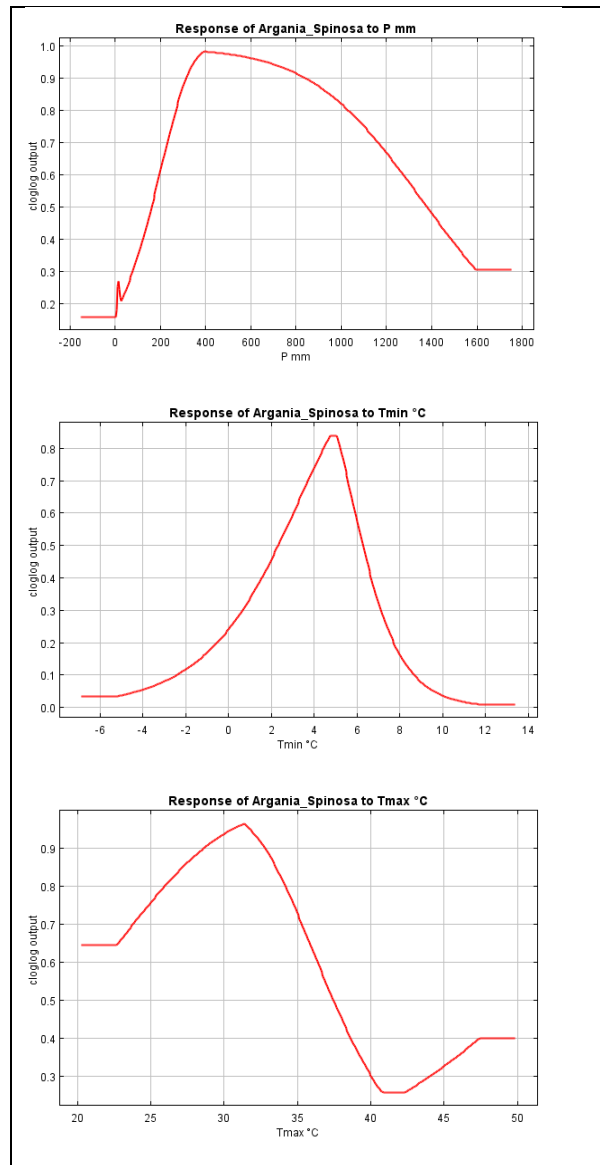


Figure 14. Courbes de réponse.

3.4. Régions potentielles pour la plantation d'arganier et les exigences bioclimatiques

Les régions de distribution potentiellement appropriée des plantations d'arganier qui a été déterminée sur la base de MaxEnt sont illustrées dans la (figure5). La zone considérée la plus favorable (une probabilité de plus de 90%) pour la plantation d'arganier est la région du nord-ouest du pays, cette région se caractérise par un climat semi-aride [161]. Ces résultats semblent être cohérents avec l'écologie de l'arganier, où elle est adaptable au climat semi-aride et aride [61, 199, 200]. Dans les courbes de réponse (Figure 14) (Sur seuil de probabilité 0.5), Les précipitation indiquée semblent cohérents avec ce qu'est mentionné par Raimondo *et al.* [69] où l'exigences optimal en précipitation de l'arganier est compris entre 120mm et 500mm; Du même coup les températures minimales du trimestre le plus froid est très cohérent

avec les exigences de l'arganier où il craint le gelé et ne supporte pas les basses températures ($T_m < 0\text{ °C}$) pendant long durée [70].

La majeure partie du pays est considérée comme une zone non favorable à cause principalement à l'un des deux facteurs suivant : le premier est le faible taux des précipitations (inférieure à 50mm) qui caractérise tout la partie désertique du pays [201, 202] en font une zone difficile pour la croissance de l'arganier, Le second est la baisse de température minimale (inférieure à 0 °C) durant le mois le plus froid qui caractérise toute la zone steppique [194], ce qui n'est pas toléré par l'arganier [70]. la région de Biskra, où le climat est de type saharien avec une précipitation de 149mm et des températures minimales de plus de 6 °C [203] est considéré une zone favorable pour les plantations de l'arganier où les exigences de survie sont remplies (Figure 15).

Dans la province de Tindouf les régions du nord sont considérées assez favorables pour la réussite des plantations de l'arganier ce qui est très raisonnable, car cette zone est le milieu naturel de l'arganier [60]. Les zones situées dans le nord de Béchar et le sud de Biskra sont aussi considérées comme des zones assez favorables.

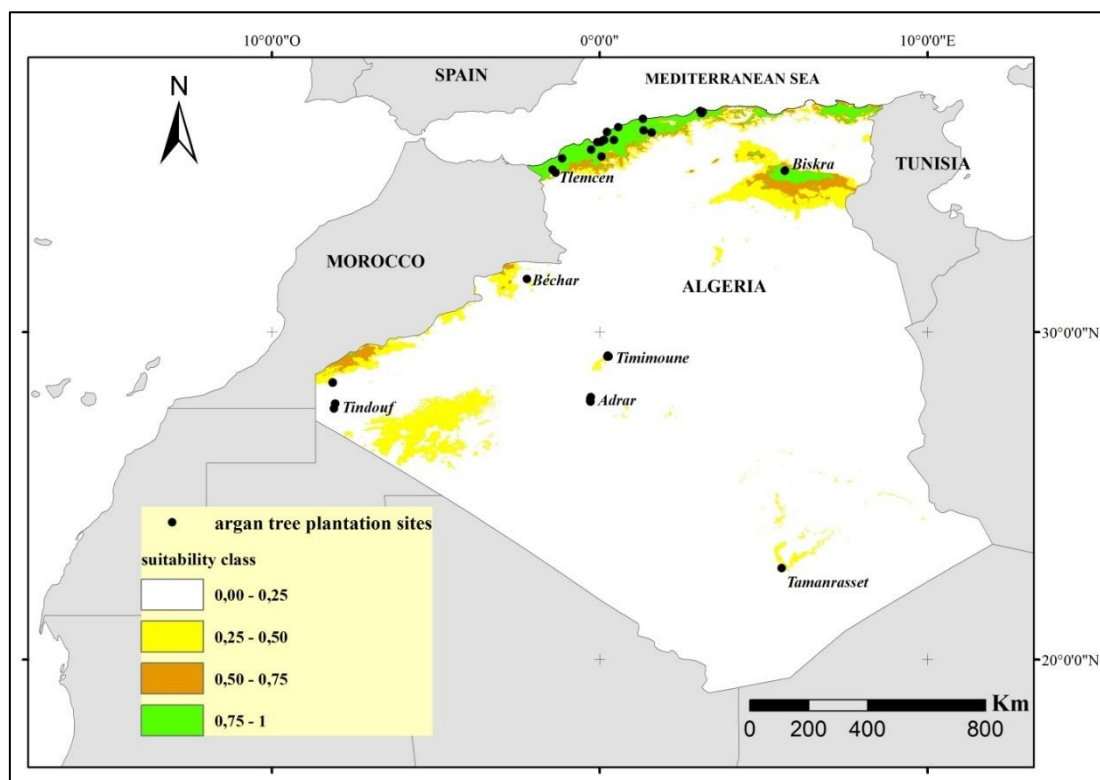


Figure 15. Régions de distribution potentiellement appropriée des plantations d'arganier.

4. Conclusion

Selon les résultats générés par le modèle MaxEnt, ci-dessus une grande partie de territoire du nord Algérien devrait être potentiellement favorable à la plantation de l'arganier, tandis que les régions sahariennes et steppiques de l'Algérie sur le plan bioclimatique sont défavorables. La plage générée par le modèle des précipitations annuelle et la plage des températures minimales du mois le plus froid sont très cohérentes avec les exigences climatiques de l'arganier.

Les résultats de cette étude suggèrent que la modélisation de la distribution des espèces peut être utilisée pour étudier la biogéographie des espèces et participer à la gestion et la réhabilitation des milieux naturels.

Le choix des variables explicatives (variables bioclimatiques dans notre cas) est le facteur clé pour générer un modèle utile pour la gestion des espèces et les milieux naturels par l'approche MaxEnt, notamment les variables limitantes (par exemple : les températures inférieures à 0°C dans notre étude), on peut baser sur Les études antérieures, en particulier les travaux expérimentaux pour choisir ces variables.

**Sous-Chapitre 3.2. Prédiction de l'habitat de l'arganier
Argania spinosa par la modélisation MaxEnt à Tindouf.**

1. Introduction

L'arganier est endémique en Afrique Nord-Occidentale [60, 204]. Il est généralement trouvé dans l'étage bioclimatique infra-méditerranéen [205]. Au sud-ouest du Maroc, sur la longue littorale atlantique [206], au nord-ouest et au Nord-est du Maroc sous forme des colonies isolées [207]. En Algérie, l'arganier est observé dans des stations dans le Sud et sur les falaises septentrionales au Nord de Tindouf [204], constituant un peuplement clairsemé, à l'état dégradé sous forme d'arbrisseaux [208]. Il est rencontré dans les lits d'oueds secs qui coulent sur la Hamada du Drâa et converge vers le Sebkhha de Tindouf [19, 209].

Actuellement, l'arganier de Tindouf subi d'une forte dégradation sous effet de l'aridité sévère et l'influence anthropique, précisément le surpâturage qui empêche sa régénération naturelle [5]. En conséquence, pour avoir une bonne conservation de notre patrimoine, il est nécessaire d'étudier les éléments biotiques et abiotiques constituent l'écosystème à arganier. Cependant, l'analyse écologique doit faire part à une étude des paramètres climatiques de la zone étudiée. Lesquels ont une importance capitale en matière d'écologie car ils conditionnent la répartition des espèces végétales [210].

En Algérie, la répartition annuelle des précipitations au sud de l'Atlas Saharien reste inférieure à 100 mm, classant cette région, d'un point de vue bioclimatique, parmi les zones arides, voire hyper-arides [211]. Les précipitations sont un facteur écologique essentiel, dont l'alternance entre la saison des pluies et la saison sèche joue un rôle régulateur dans les activités biologiques [16]. D'après Dubief [212], une période pluvieuse est observée dans les zones sahariennes proches des frontières nord et sud, étant plus marquée dans le Sahara occidental que dans le Sahara oriental. L'alternance de deux saisons est une caractéristique bien marquée du Sahara. L'hiver saharien, qui s'étend de novembre à mars, se distingue par des nuits fraîches, voire froides. En revanche, l'été, qui dure plus de six mois, constitue la véritable période de pause pour la végétation. Durant cette saison, il n'est pas rare que les températures dépassent largement les 40°C [211].

Située au sud-ouest de l'Algérie, la wilaya de Tindouf se distingue par un climat saharien, influencé par un effet maritime, particulièrement dans sa partie nord-ouest, en raison des vents humides en provenance de l'océan Atlantique [213]. Ces conditions climatiques confèrent à la région une flore unique et originale, présentant des affinités marocaines dans sa partie nord [208]. La croissance et le développement des plantes s'inscrivent entre deux seuils

thermiques, correspondant respectivement à la moyenne du mois le plus froid « **m** » et à la moyenne des températures maximales du mois le plus chaud « **M** » [214].

Les modèles prédictifs de la distribution géographique des espèces jouent un rôle crucial dans divers domaines d'écologie et de préservation [215]. Ces méthodes ont été employées pour examiner la diffusion des espèces invasives, les effets du changement climatique et prédire les habitats appropriés des espèces.

Dans ce contexte notre objectif sert à déterminer les habitats appropriés d'*Argania spinosa* à Tindouf, en se basant sur les paramètres climatiques, précipitations, température minimale du mois le plus froid et la température maximale du mois le plus chaud) et les points de présence naturel on utilisant la modélisation MaxEnt (version 3.4.1).

2. Matériels et méthodes

2.1. Zone d'étude

La wilaya de Tindouf, est située à l'extrémité ouest du Sud de l'Algérie, le chef-lieu est la ville de Tindouf. Elle est délimitée par les coordonnées suivantes : 25°30 – 29°40 de latitude Nord 03°00 - 08°60 de longitude Ouest. Elle est limitée au nord par le Maroc, au nord-est par la wilaya de Béchar, à l'ouest par le territoire du Sahara occidental, à l'est par la wilaya d'Adrar et au sud par la Mauritanie (Figure 16). Sa superficie est de 159 000 km². Sa population est estimée en 2010 à 59 898 habitants [213]. Elle se caractérise par un climat de type saharien [19].

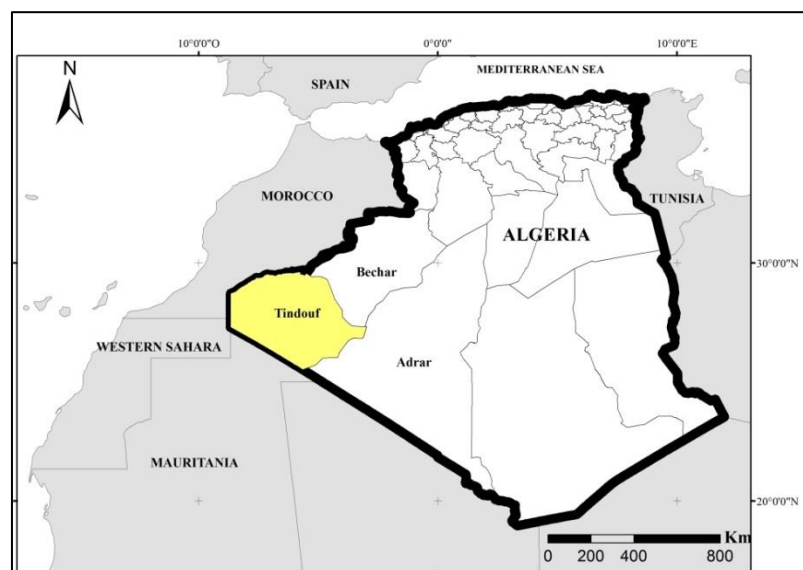


Figure 16. Localisation de la zone d'étude.

2.2. Procédure de modélisation

MaxEnt opère principalement en se basant sur les emplacements de présence sélectionnés et les variables explicatifs (les variables environnementaux, comme la température, les précipitations, l'altitude...) [159]. L'objectif de cette étude est de déterminer les zones favorables pour l'arganier en fonction de climat et les points de présences naturel à Tindouf. Où nous avons établis les mêmes paramètres de l'étude précédente.

2.3. Les points de présence

La modélisation de l'entropie maximale (Maxent) présente une sensibilité réduite vers le nombre de points de présence requis pour créer un modèle précis [159, 178], Dans certaines cas, il a suffi de seulement 5 points pour créer un modèle efficace [182, 183]. Alors, pour notre étude nous avons déterminé 1267 points de présence (coordonnées géographiques) de l'arganier dans son aire naturel à Tindouf, couvrant ainsi tout l'ensemble de l'arganeraie de Tindouf.

2.4. Données bioclimatiques

Dans ce travail nous avons utilisé 3 variables bioclimatiques explicatives (précipitations annuelle, température minimale du mois le plus froid et la température maximale du mois le plus chaud). Lesquelles sont considérées comme des facteurs climatiques déterminants la répartition spatiale de l'arganier [69, 70, 154]. Nous avons téléchargé les variables climatiques de la base de données Worldclim (version 2.0), avec une résolution d'un km² [184].

Après le téléchargement des données, les cartes sont présentées par une symbologie classée à l'aide du logiciel (ArcMap 10.3), pour bien présent la variation du climat dans l'espace.

2.4.1. Précipitations

On observe une variation du taux de précipitations en se déplaçant du nord-ouest vers le sud-est de la wilaya, influencée par l'éloignement de l'océan Atlantique. Les précipitations diminuent progressivement, passant de 115 mm à l'extrême nord-ouest à seulement 9 mm dans les zones du sud-est (Figure 17).

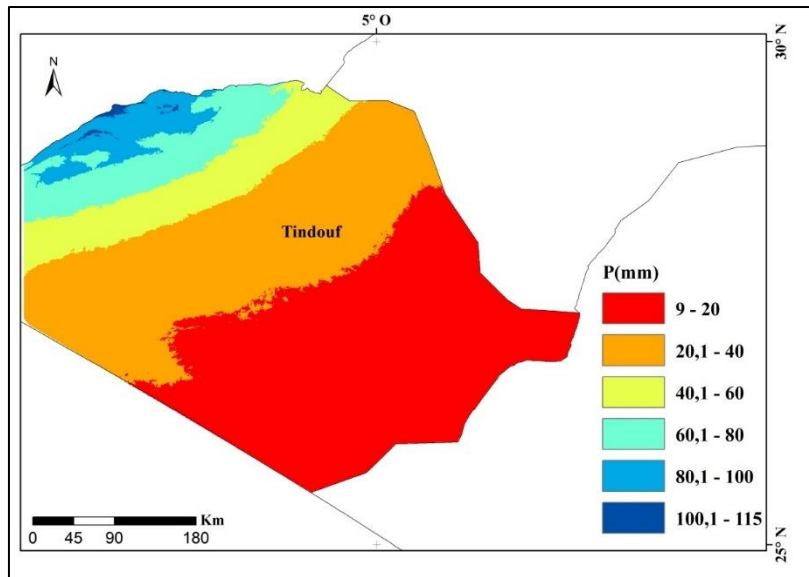


Figure 17. Répartition des précipitations à Tindouf (1970/2000).

2.4.2. Température maximale du mois le plus chaud

De même, la température maximale suit une tendance à la hausse en se déplaçant du nord-ouest vers le sud-est. Elle atteint 38 °C à l'extrême nord-ouest, tandis qu'elle s'élève à 46,5 °C à l'extrême sud-est (Figure 18).

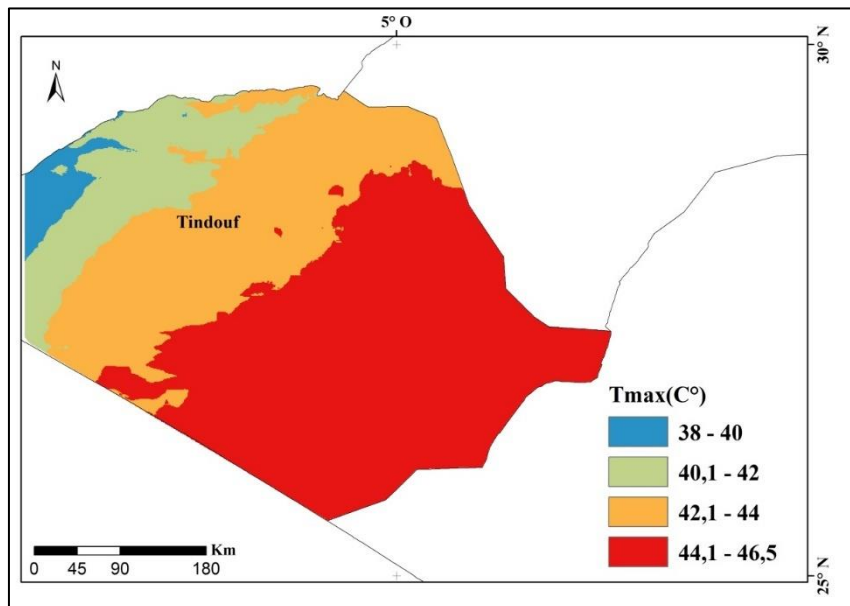


Figure 18. Répartition de (Tmax) du mois le plus chaud à Tindouf (1970/2000).

2.4.3. Température minimale du mois le plus froid

On observe une augmentation des températures minimales en se déplaçant du nord-ouest vers le sud-est, passant de 2.3 °C à l'extrême nord-ouest à 6.6 °C dans les zones du sud-est. Une

exception est notée dans les régions frontalières du nord, probablement en raison de l'influence du relief montagneux (Figure 19).

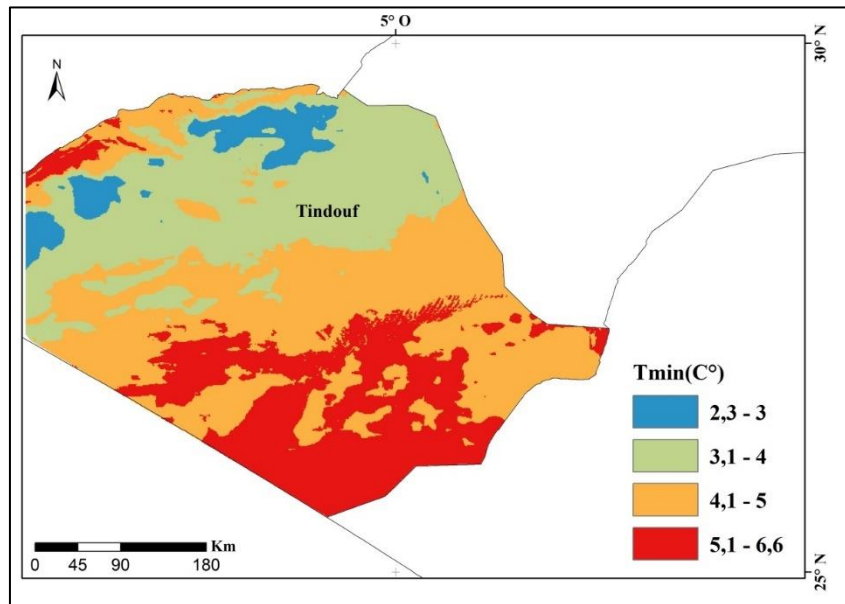


Figure 19. Répartitions de (Tmin) du mois le plus froid à Tindouf (1970/2000).

Il est facile de déduire la variation spatiale des facteurs climatiques (précipitation et les températures), à travers le territoire de la wilaya de Tindouf. Les précipitations diminuent progressivement du nord-ouest vers le sud-est, tandis que la température suit une tendance inverse, augmentant progressivement.

L'influence de l'éloignement de l'océan Atlantique est clairement visible, le climat devenant de plus en plus rigoureux à mesure que l'on s'éloigne des côtes. Ainsi, les régions du nord-ouest, proches de l'océan, bénéficient d'un climat plus tempéré par rapport aux zones du sud-est, où le climat est nettement plus rigoureux.

3. Résultats et discussion

3.1. Qualité du modèle

Dans la modélisation MaxEnt, la qualité du modèle est déterminée par l'aire sous la courbe (Area Under the Curve **AUC**) de la courbe **ROC** (**R**eceiver **O**perating **C**haracteristic) [195]. La qualité du modèle est déterminée comme suit: $AUC > 0,90$: modèle excellent; $0,8 \leq AUC \leq 0,90$: modèle bon; $0,7 \leq AUC \leq 0,8$: modèle acceptable; $0,6 \leq AUC \leq 0,70$: modèle mauvais. ($AUC \leq 0,60$: modèle invalide [196]).

La figure 20 présente les valeurs d'AUC, où ils sont supérieurs à 0,9. Où $AUC_{\text{entraînement}} = 0,996$ et $AUC_{\text{test}} = 0,997$. En moment, La figure 21 illustre que les courbes d'omission pour les échantillons d'entraînement et de test sont très proches des taux d'omission prédits. Ce qui reflète l'excellente performance et précision de notre modèle MaxEnt [196].

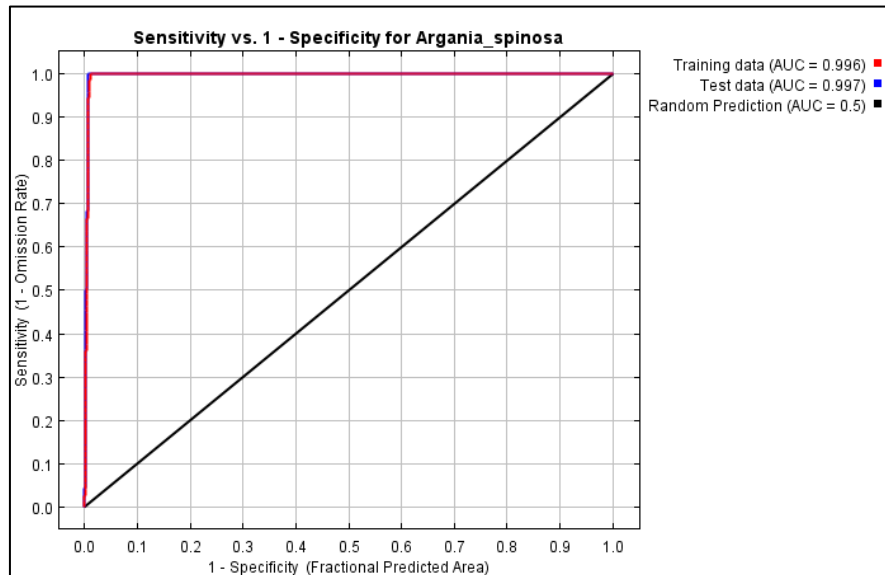


Figure 20. Aire sous la courbe (AUC) des données d'entraînement et de test.

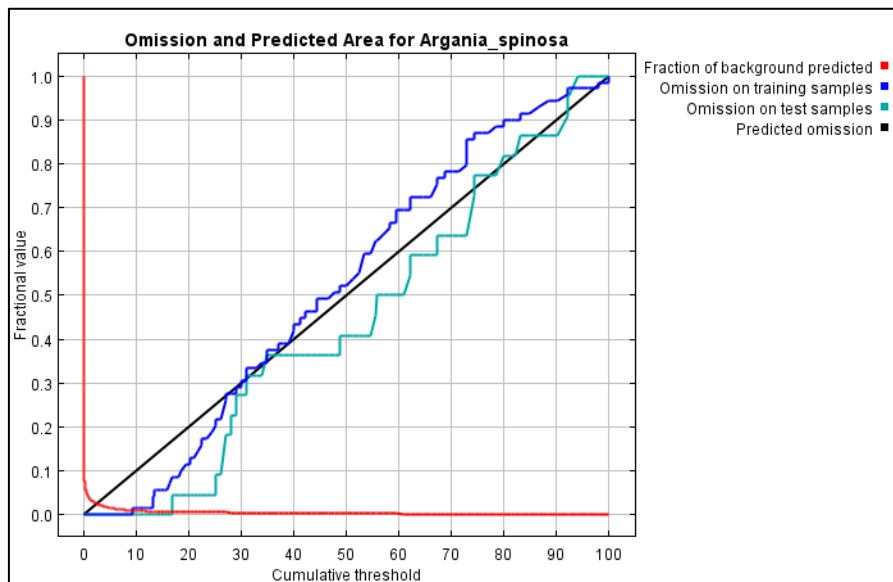


Figure 21. Courbe d'omission et aire prédite.

3.2. Analyse Jackknife

Les Résultats de l'analyse Jackknife ont indiqué que la variable les températures maximales du mois le plus chaud ($T_{\text{max}} \text{ } ^\circ\text{C}$) a contribué le plus élevé dans cette modélisation lorsqu'elle

est utilisée isolément suivi des Précipitations annuelles (P mm) puis les températures minimales du mois le plus froid (Tmin °C) (Figure 22).

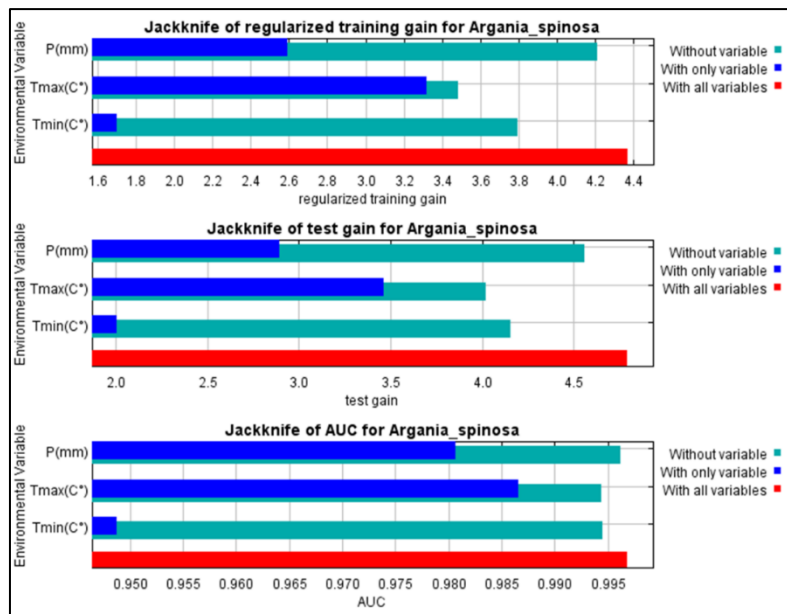


Figure 22. Test Jackknife.

3.3. Courbes de réponse

Les facteurs environnementaux, comme la température, l'eau, le type de sol et l'humidité de surface, jouent un rôle majeur dans la répartition des espèces. Depuis des décennies, les chercheurs étudient les interactions entre les plantes et leur environnement ainsi que leur impact sur la croissance des végétaux [216]. La détermination de la marge favorable des facteurs environnementaux pour une espèce est un élément clé pour les travaux de gestion et de conservation.

Les courbes de réponse des variables climatiques employées dans cette modélisation ont montré que les plages optimales de P mm, Tmin °C et Tmax °C (probabilité > 50%) sont respectivement : (70 mm < P mm < 80 mm) ; (3.25°C < Tmin °C < 3.5°C) ; (38.5°C < Tmax °C < 39.5°C) (Figure 23).

Nous avons noté que la marge des précipitations est moins que les exigence de l'arganier en précipitation [69], où optimum en précipitation est compris entre 120mm et 500 mm, cela est expliquée par Kechairi [65], où l'arganier a composé le manque des précipitation par les eaux souterraines. notamment que l'espèce a un système racinaire puisant peut atteindre un profondeur de 40 mètres [217].

La marge des températures minimales du mois le plus froid (T_{min} °C) est très conforme avec les exigences de l'arganier où il ne peut pas supporter le gel ($T_m < 0$ °C) pendant long période [70, 131]. La même chose pour la marge des températures maximales du mois le plus chaud où elles sont conformes avec les exigences de l'arganier entant qu'une espèce thermophile.

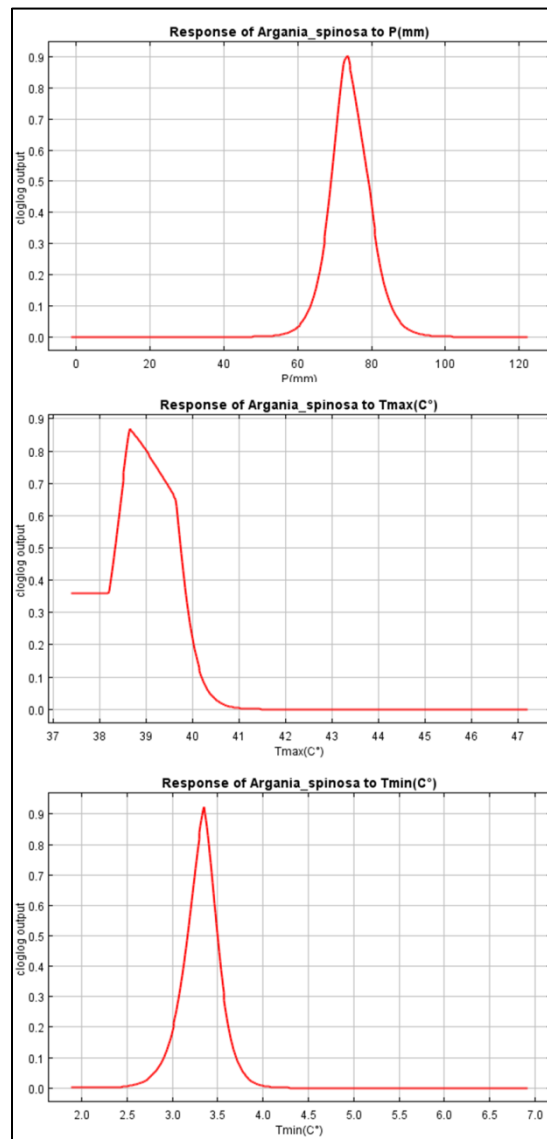


Figure 23. Courbes de réponse.

3.4. Distribution potentielle

Les modèles de distribution des espèces (SDM) se révèlent essentiels pour évaluer la conformité des habitats et la préservation des ressources, jouant un rôle crucial dans la sauvegarde des diverses espèces végétales [218, 219]. Au cours de la dernière décennie, de nombreuses nouvelles approches, telles que BIOCLIM, DOMAIN, GARP et Maxent ont été développées en se basent uniquement sur les sites de présence, ce qui permet d'éliminer la

nécessité de disposer de véritables sites d'absence [169]. En moment, beaucoup de recherches récentes comparant jusqu'à 16 approches ont montré que la modélisation Maxent était aussi efficace ou mieux que les autres approches [178], La modélisation de l'entropie maximale (Maxent) a un grand potentiel pour identifier les distributions et la sélection de l'habitat [169].

La figure 24, montre les zones les plus appropriées pour la distribution de l'arganier selon le modèle MaxEnt que nous avons réalisé dans la région de Tindouf. Ils sont confinés entre 8° et 8.5°W de longitude et 28.25° et 28.75° N de latitude. Laquelle, nous a permis de déduire que la zone d'étude est très limitée par rapport à la grande superficie de Tindouf. Elle peut être utilisée pour planifier des actions de restauration et à mettre en œuvre des stratégies de conservation [177]. Elle peut également aider à désigner les zones les plus favorables pour le reboisement de cette espèce et établir des aires protégées.

La situation particulière de la présence de l'arganier dans un endroit très étroit laisse penser que cette région se caractérise par des conditions édapho-climatiques sensiblement différentes du reste de la région de Tindouf, ce qui nécessite de prendre en compte les autres éléments écosystémiques pour mieux connaître l'écologie de l'espèce afin de mieux mener les programmes de réhabilitation par la plantation assistée *in situ*.

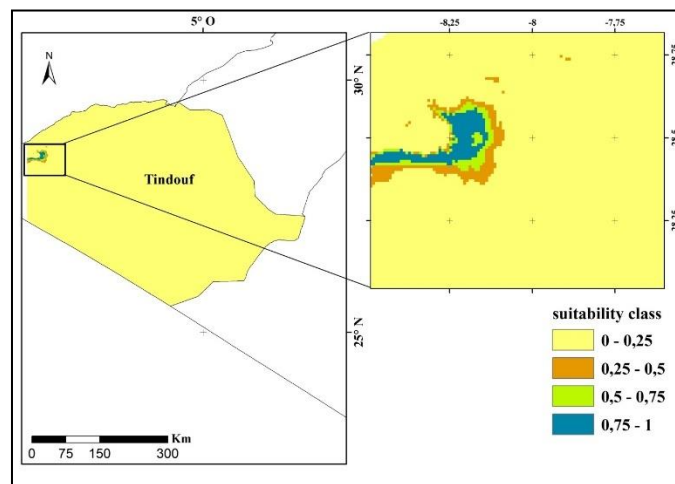


Figure 24. Distribution potentielle d'*Argania Spinosa* dans la région de Tindouf.

4. Conclusion

Les résultats obtenus dans le cadre de notre étude nous ont permis de classer les régions selon un indice de souhaitabilité (convenance) croissant, allant de 0 à 1, de la moins favorable à la plus propice à toute initiative de réhabilitation ou de reboisement *in situ* de l'arganier. En

tenant compte que l'espèce est localisée sur l'hydrographie des lits d'oueds de la Hamada du Drâa.

Cette étude nous a également permis de déterminer les marges climatiques dans lesquelles l'arganier se développe naturellement dans la région de Tindouf, à savoir :

- Précipitations annuelles : $70 \text{ mm} < P < 80 \text{ mm}$;
- Température minimale : $3,25 \text{ °C} < T_{\text{min}} < 3,5 \text{ °C}$;
- Température maximale : $38,5 \text{ °C} < T_{\text{max}} < 39,5 \text{ °C}$.

Par la présente étude, nous suggérons de classer la région de l'arganeraie comme une aire protégée afin de préserver la biodiversité qu'elle abrite au sein du désert, notamment en raison de son climat particulier dans ce milieu.

Chapitre 4. La qualité du sol et la teneur des feuilles d'arganier en (N.P.K)

1. Introduction

La rive sud de la Méditerranée fait face à de nombreuses pressions environnementales, notamment des conditions climatiques extrêmes telles que les sécheresses prolongées, des sols peu favorables caractérisés par leur faible épaisseur, leur texture sableuse et leur pauvreté en éléments nutritifs, ainsi qu'à des perturbations anthropiques croissantes dues à l'augmentation de la population [220]. Ces contraintes sont particulièrement marquées dans les régions arides et semi-arides en Afrique du Nord [221]. Dans ce contexte, la lutte contre la désertification impose la mise en place de solutions durables, en particulier le recours à des espèces végétales capables de s'adapter à des conditions abiotiques stressantes [136].

Parmi ces espèces, l'arganier (*Argania spinosa* L. Skeels), espèce xérothermophile [222] dotée d'une grande plasticité écologique [153, 164]. Il est bien adapté aux climats arides et semi-arides de l'Afrique du nord-occidentale [223], supportant les conditions bioclimatiques extrêmes et les vents desséchants [224]. Il n'a pas d'exigences strictes en matière de sol et peut se développer sur une grande variété de substrats, notamment les schistes, quartzites, roches calcaires, ainsi que sur des sols alluviaux ou salins[41]. Toutefois, il demeure sensible aux sables mobiles qui provoquent un décapage racinaire [34]. Par ailleurs, l'arganier présente un intérêt multiple. Il est notamment exploité pour son huile extraite des amandons, très prisée sur le marché mondial [139], ainsi que pour son rôle en tant que ressource fourragère pour les troupeaux [5].

l'arganier (*Argania spinosa* L. Skeels), espèce endémique et unique représentante de la famille des Sapotacées en Afrique nord-occidentale [11, 60]. En Algérie, il se trouve à l'état naturel dans le nord-ouest de la wilaya de Tindouf [60, 225, 226]. Ces dernières années, plusieurs plantations expérimentales ont été mises en place dans différentes régions du pays [227, 228], avec pour objectif d'étendre son aire de répartition naturelle et de promouvoir la culture ex situ [153, 228].

Dans cette étude nous allons étudier l'effet de la qualité chimique des sols sur les teneurs en NPK des feuilles d'arganier dans trois sites de plantation différents.

2. Matériels et méthodes

Le but de ce travail est de caractériser la teneur de sol en Azote, Phosphore et Potassium et la teneur des feuilles d'arganier par ces éléments dans trois sites de plantations d'arganier et

d'illustrer l'impact de la qualité de sol sur la composition chimique des feuilles d'arganier par la comparaison entre ces sites.

2.1. Zone d'étude

Notre travail a été effectué pour trois sites de plantation à arganier en Algérie. Le premier site est un verger à arganier à Mostaganem, (35,8716756°N ; 0,1454707°E). Le second est la pépinière d'Oggaz, (35.5756861°N ; 0.255555°W), le troisième est la pépinière de Tindouf (27.6659368°N ; 8.1124714°W).

2.2. Analyses de sol

Des échantillons de sol ont été prélevés à l'intérieur du champ de plantation de manière aléatoire, à 30 cm de profondeur. L'analyse a été réalisée sur la fraction de granulométrie inférieure à 2mm obtenue après le tamisage, pour déterminer la teneur en NPK selon les méthodes mentionnées dans le tableau 38. Les résultats sont interprétés selon les marges indiquées dans le tableau 39.

Tableau 38. Méthodes adoptées pour l'analyse du sol.

Paramètres	Méthodes
Matière organique	Méthode de Walkley-Black [229]
Azote total (sol)	Méthode de Kjeldahl [229]
Phosphore assimilable (sol)	Méthode Olsen [229]
Potassium assimilable (sol)	Méthode photomètre de flamme [229]

Tableau 39. Marges de fertilité de sol.

Variables	Marges					Références
	Très faible	Faible	Modéré	Élevé	Très Élevé	
MO (%)	<1	1-2	2-3	3-4	>4	[230]
N (%)	Faible <0.083		Modéré 0.083-0.16		Élevé >0.16	
P (ppm)	Faible <6		Modéré 6-25		Élevé >25	[231]
K (ppm)	Faible <140		Modéré 140-450		Élevé >450	

2.3. Analyses feuilles

La composition organique et chimique des feuilles sont analysées par les méthodes indiquées dans le tableau 40.

Tableau 40. Méthodes d'analyses des feuilles.

Paramètres	Méthodes
Matière Organique	Incinération par four à moufle à 550°C [229].
Azote total %	Méthode de Kjeldahl [229].
Phosphore %	Digestion acide et mesure par spectrophotomètre [229].
Potassium %	Digestion acide et mesure par photométrie de flamme [229].

2.4. Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide des logiciels Excel et Minitab 16. Elles ont porté sur des statistiques descriptives, la représentation graphique des résultats par des diagrammes en barres, ainsi que sur une analyse de la variance à un facteur (ANOVA), suivie d'un test post-hoc de Tukey afin d'identifier les différences significatives entre les groupes.

3. Résultats

3.1. Sol

L'analyse de la qualité du sol entre les trois sites (Mostaganem, Oggaz et Tindouf) révèle des différences notables dans les caractéristiques des sols, en matière organique (MO), potassium (K), phosphore (P), et azote (N). ANOVA à un facteur montre des différences très hautement significatives pour les quatre paramètres étudiés.

3.1.1. Matière Organique (MO)

Mostaganem : Moyenne de 1,325 % avec un écart-type de 0,426, indiquant une variation modérée. Le sol est relativement pauvre en matière organique. Oggaz : Moyenne élevée de 3,509 % avec un écart-type de 0,698. Ce site présente une forte teneur en matière organique, ce qui est favorable à la fertilité du sol. Cela en fait un sol riche. Tindouf : Moyenne de 1,6527 % avec un écart-type de 0,2843. Le sol de Tindouf est faible en termes de matière organique, plus riche que celui de Mostaganem mais moins que celui d'Oggaz (Figure 25 ; Tableau 41). ANOVA à un facteur montre une différence très hautement significative ($P=0,000$) pour la teneur en MO, le test post-hoc de Tukey (groupement des sites) a donné deux groupements (A) pour Oggaz et (B) pour Mostaganem et Tindouf (Tableau 42).

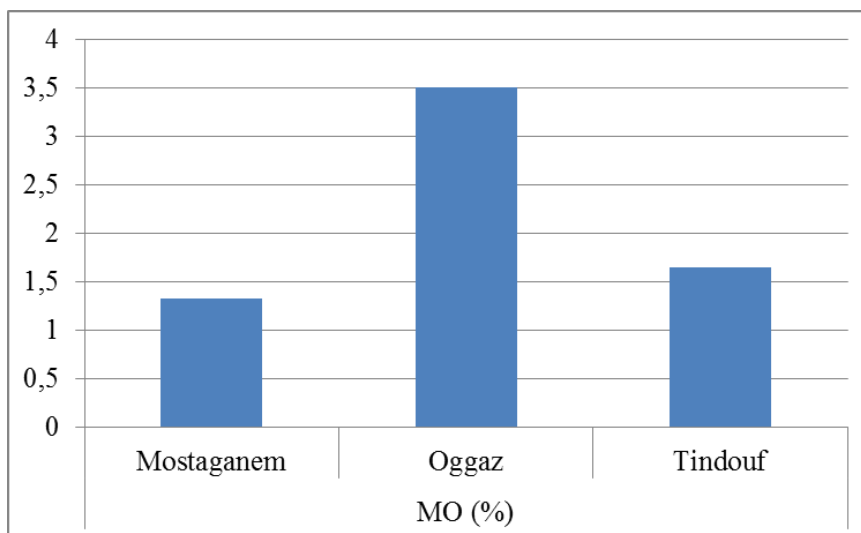


Figure 25. Matière Organique dans les sols des trois sites.

3.1.2. Potassium (K)

Mostaganem : Moyenne de 91,8 ppm avec un écart-type de 44,4, indiquant une faible teneur en potassium. Oggaz : Moyenne de 810,5 ppm, avec un écart-type très élevé de 262,7. Ce niveau de potassium est bien plus élevé que celui des autres sites, ce qui en fait un sol riche en cet élément. Tindouf : Moyenne de 537 ppm, également élevée, mais moins qu'Oggaz. L'écart-type de 377 indique cependant une grande variabilité dans la distribution du potassium (Figure 26 ; Tableau 41). ANOVA à un facteur montre une différence significative ($P=0,000$). Le test post-hoc de Tukey (groupement des sites) a donné deux groupements (A) pour Oggaz et Tindouf et (B) pour Mostaganem (Tableau 42).

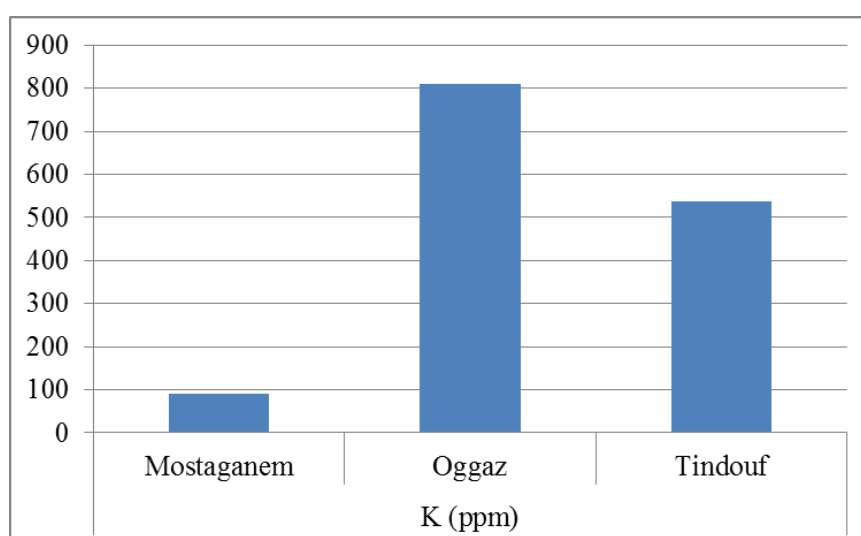


Figure 26. Potassium assimilable dans les sols des trois sites.

3.1.3. Phosphore (P)

Mostaganem : Moyenne de 2,122 ppm avec un écart-type de 0,471. Le phosphore est relativement faible. Oggaz : Moyenne de 20,23 ppm avec un écart-type de 7,13, un niveau élevé de phosphore, ce qui est favorable à la fertilité du sol. Tindouf : Moyenne de 3,66 ppm, avec un écart-type de 3,07, indiquant une faible quantité de phosphore dans le sol (Figure 27, Tableau 41). ANOVA à un facteur montre une différence très significative ($P=0,000$) pour la teneur en Phosphore, le test post-hoc de Tukey (groupement des sites) a donné deux groupements (A) pour Oggaz et (B) pour Mostaganem et Tindouf (Tableau 42).

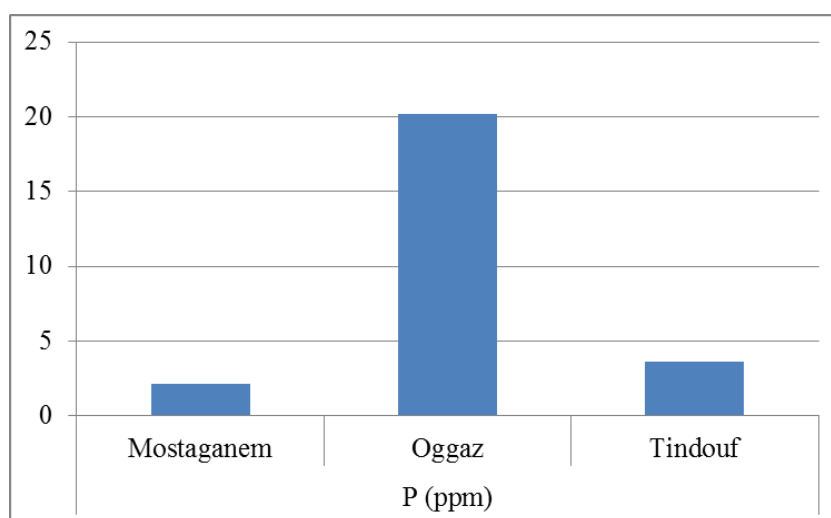


Figure 27. Phosphore assimilable dans les sols des trois sites.

3.1.4. Azote (N)

Mostaganem : Moyenne de 0,0486 % avec un écart-type de 0,0361. L'Azote est faible, ce qui limite la fertilité du sol. Cependant, l'écart-type relativement faible indique une certaine stabilité dans la teneur en azote. Oggaz : Moyenne de 0,2138 % avec un écart-type de 0,0346, un niveau d'azote très élevé, ce qui est un excellent indicateur de la fertilité du sol. Tindouf : Moyenne de 0,0549 % avec un écart-type de 0,0327. Ce sol présente une teneur faible en azote, similaire à Mostaganem (Figure 28, Tableau 41). ANOVA à un facteur montre une différence très significative ($P=0,000$) pour la teneur en Azote, le test post-hoc de Tukey (groupement des sites) a donné deux groupements (A) pour Oggaz et (B) pour Mostaganem et Tindouf (Tableau 42).

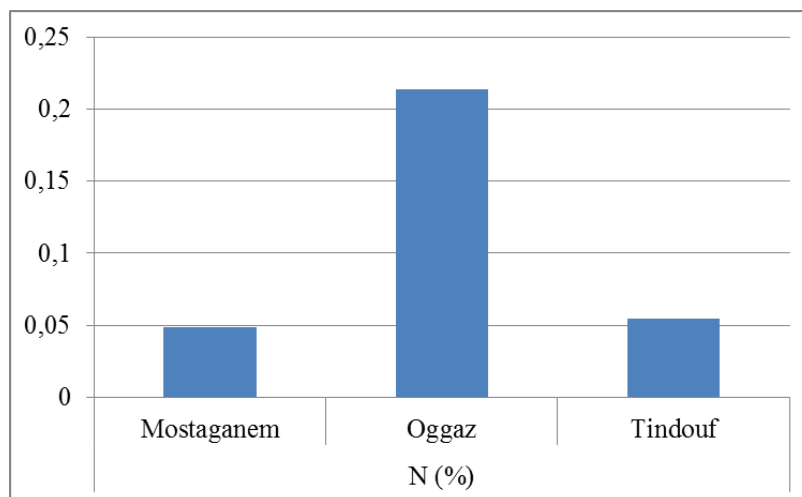


Figure 28. Azote total dans les sols des trois sites.

L'analyse comparative des trois sites met en évidence des disparités nettes en matière de fertilité des sols. Le site d'Oggaz se distingue comme étant le plus fertile, affichant des teneurs très élevées en matière organique, potassium, phosphore et azote. Le site de Tindouf se classe en seconde position ; bien qu'il présente une teneur satisfaisante en potassium, ses niveaux faibles en matière organique, phosphore et azote limitent sa fertilité globale. En revanche, le site de Mostaganem apparaît comme le moins fertile, avec des concentrations faibles pour l'ensemble des éléments nutritifs analysés.

Tableau 41. Statistiques descriptives sol

Variable	Site	Moyenne	Ecart-type	Min	Max
MO (%)	Mostaganem	1,325	0,426	0,804	2,01
	Oggaz	3,509	0,698	2,941	4,712
	Tindouf	1,6527	0,2843	1,34	2,01
K (ppm)	Mostaganem	91,8	44,4	25	173
	Oggaz	810,5	262,7	524,6	1265,6
	Tindouf	537	377	179	1182
P (ppm)	Mostaganem	2,122	0,471	1,56	2,83
	Oggaz	20,23	7,13	11,78	32,67
	Tindouf	3,66	3,07	0,45	9,86
N (%)	Mostaganem	0,0486	0,0361	0,01	0,121
	Oggaz	0,2138	0,0346	0,1803	0,2659
	Tindouf	0,0549	0,0327	0,025	0,124

Tableau 42. ANOVA à un facteur et le test de Tukey (sol)

Paramètre	Valeur P	Remarque Tukey (groupement des sites)
MO (%)	0.000	Oggaz (A), Tindouf (B), Mostaganem (B)
K (ppm)	0.000	Oggaz (A), Tindouf (A), Mostaganem (B)
P (ppm)	0.000	Oggaz (A), Tindouf (B), Mostaganem (B)
N (%)	0.000	Oggaz (A), Tindouf (B), Mostaganem (B)

3.2. Feuilles

3.2.1. Matière Organique (MO %)

Oggaz a la plus haute teneur en matière organique dans les feuilles d'arganier (94,624 %), Mostaganem et Tindouf ont des teneurs en matière organique similaires, respectivement 93,083 % et 92,905 %, ce qui reste élevé, mais légèrement inférieur à celle d'Oggaz. Les écarts-types sont également relativement faibles, ce qui indique une distribution assez homogène (Figure 29, Tableau 43). ANOVA à un facteur montre une différence très significative ($P=0,000$) pour la teneur en MO, le test post-hoc de Tukey (groupement des sites) a donné deux groupements (A) pour Oggaz et (B) pour Mostaganem et Tindouf (Tableau 44).

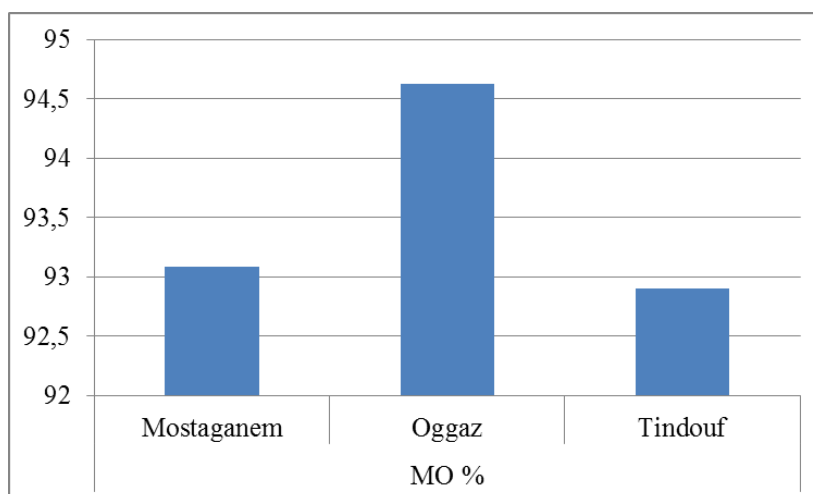


Figure 29. Teneur en MO des feuilles d'arganier des trois sites.

3.2.2. Phosphore (P %)

Oggaz présente la plus haute teneur en phosphore dans les feuilles (0,07981 %), Mostaganem a une teneur en phosphore de 0,07033 %, un peu plus faible que celle d'Oggaz, Tindouf présente la plus faible teneur en phosphore (0,06367 %) (Figure 30, Tableau 43). ANOVA à

un facteur montre une faible différence ($P=0,051$) pour la teneur en Phosphore, le test post-hoc de Tukey (groupement des sites) a donné deux groupements (A) pour Oggaz et Mostaganem et (B) pour Mostaganem et Tindouf (Tableau 44).

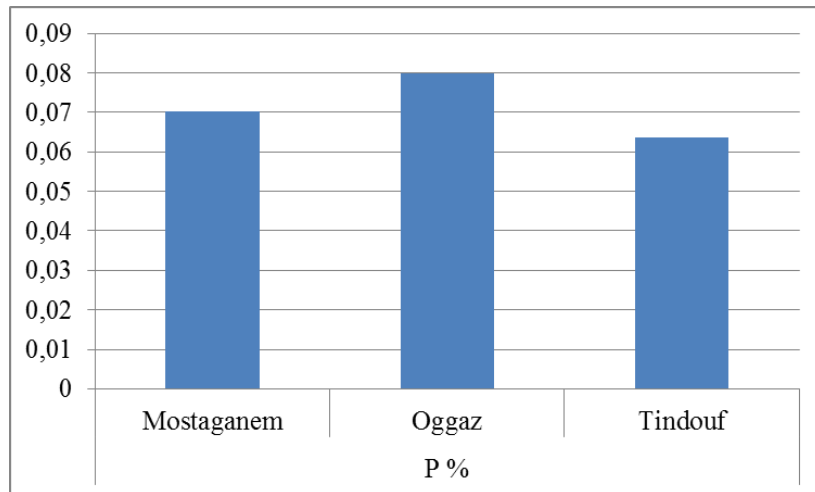


Figure 30. Teneur des feuilles d'arganier en Phosphore dans les trois sites.

3.2.3. Potassium (K %)

Les teneurs en potassium des feuilles d'arganier à Mostaganem et Oggaz sont très similaires (environ 0,83 %), ce qui indique des niveaux relativement bons. Tindouf a une très haute teneur en potassium (1,477 %), bien au-dessus des autres sites (Figure 31, Tableau 43). ANOVA à un facteur montre une différence significative ($P=0,001$) pour la teneur en Potassium, le test post-hoc de Tukey (groupement des sites) a donné deux groupements (A) pour Tindouf, et (B) pour Mostaganem et Oggaz (Tableau 44).

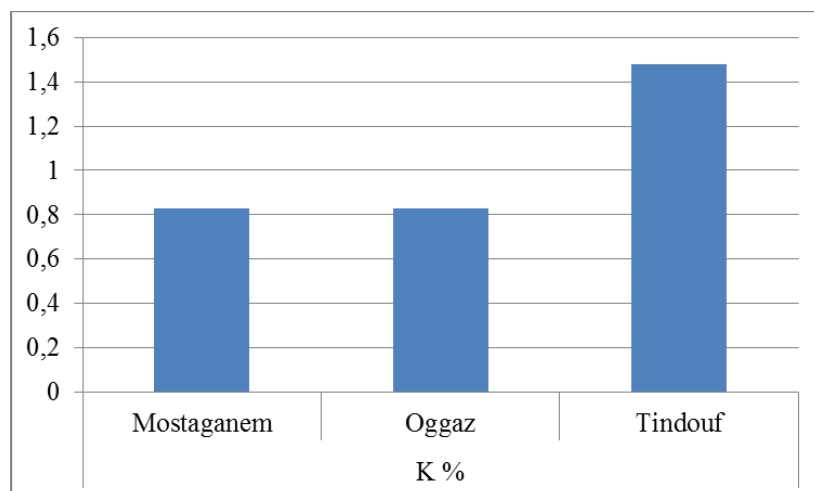


Figure 31. Teneur en Potassium des feuilles d'arganier des trois sites.

3.2.4. Azote (N %)

Tindouf a la plus haute teneur en azote (2,2687 %). Oggaz a également une teneur en azote relativement élevée (2,0969 %). Mostaganem présente une teneur en azote légèrement faible (1,9241 %). L'écart-type faible (0,0142) montre que la teneur en azote est assez homogène (Figure 32, Tableau 43). ANOVA à un facteur montre une différence significative ($P=0,003$) pour la teneur en Azote, le test post-hoc de Tukey (groupement des sites) a donné trois groupements (A) pour Tindouf, (B) pour Oggaz, et (C) pour Mostaganem (Tableau 44).

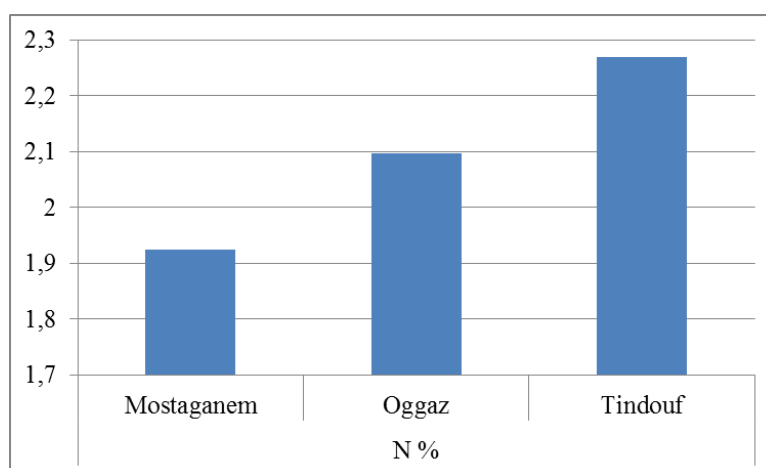


Figure 32. Teneur en Azote des feuilles d'arganier des trois sites.

Oggaz présente des feuilles les plus riches en termes de phosphore et de matière organique.

Tindouf présente des feuilles avec la plus haute teneur en potassium et azote. Avec une faible teneur en phosphore.

Mostaganem a des feuilles avec des teneurs modérées en matière organique et phosphore.

Néanmoins, la teneur en azote est la plus faible par rapport les autres sites (tableau 43).

Tableau 43. Statistique descriptives feuilles.

Variabes	Site	Moyenne	Ecart-type	Min	Max
MO %	Mostaganem	93,083	0,769	92,453	93,939
	Oggaz	94,624	0,534	94,11	95,415
	Tindouf	92,905	0,467	92,381	93,277
P %	Mostaganem	0,07033	0,00289	0,067	0,072
	Oggaz	0,07981	0,00763	0,07412	0,09223
	Tindouf	0,06367	0,01041	0,052	0,072
K %	Mostaganem	0,83	0,1127	0,76	0,96
	Oggaz	0,8262	0,0988	0,7119	0,9576

	Tindouf	1,477	0,246	1,22	1,71
N %	Mostaganem	1,9241	0,0142	1,9077	1,9323
	Oggaz	2,0969	0,1133	1,9944	2,2197
	Tindouf	2,2687	0,0284	2,2523	2,3015

Tableau 44. Résultat de l'ANOVA1 pour les feuilles des trois sites.

Paramètre	Valeur P	Remarque Tukey (groupement des sites)
MO (%)	0.000	Oggaz (A), Tindouf(B), Mostaganem (B)
P (%)	0,051	Oggaz (A), Mostaganem (A, B), Tindouf (B)
K (%)	0,001	Tindouf (A), Mostaganem(B), Oggaz (B)
N (%)	0,003	Tindouf (A), Oggaz (B), Mostaganem (C)

4. Discussion

La matière organique du sol (MO) représente les restes des racines, du matériel végétal et des organismes du sol à différents stades de décomposition et de synthèse, et sa composition varie. Bien qu'elle soit présente en quantités relativement faibles dans les sols, la matière organique (MO) a une influence majeure sur l'agrégation du sol, la réserve de nutriments et leur disponibilité, la rétention d'humidité et l'activité biologique [232].

Le carbone organique du sol (COS) varie, allant du constituant dominant dans les sols de tourbe ou de vase des régions plus froides du monde, à une quasi-absence dans certains sols désertiques. Les sols cultivés des régions tempérées contiennent normalement plus de 3 à 4 % de MO, tandis que les sols des zones semi-arides pluviales, comme dans la région de l'Asie de l'Ouest et de l'Afrique du Nord, contiennent généralement moins de 1,5 % de MO [232].

Les trois sites étudiés présentent des types de sols différents avec une différence en teneur en MO et N, P et K, et la présence de l'arganier dans chacun d'eux témoigne de sa grande plasticité vis-à-vis de la nature du sol. De plus, sa présence à l'état saine à Mostaganem et à Tindouf, où les sols sont très pauvres, confirme que l'arganier est une espèce peu exigeante en éléments nutritives du sol.

L'azote (N) dans les sols se présente sous de nombreuses formes, qu'il soit organique ou inorganique. Avec l'augmentation de l'aridité, l'azote organique et total des sols a tendance à diminuer. La fraction organique constitue la majorité de l'azote total dans les sols (généralement >95 %). Elle est composée principalement des restes de plantes et de micro-organismes, avec une composition variable. La phase inorganique de l'azote dans le sol est

composée d'ammonium (NH_4^+), de nitrate (NO_3^-) et, bien que de manière marginale, de nitrite (NO_2^-) [232].

D'après les résultats obtenus, il apparaît que le sol d'Oggaz est le plus riche en Azote total, surpassant celui de Tindouf par un facteur de quatre. Toutefois, la teneur en Azote total des feuilles d'arganier à Tindouf est supérieure à celle observée à Oggaz, ce qui indique que la concentration en azote total dans les feuilles d'arganier n'est pas directement influencée par la qualité du sol en Azote.

Le potassium (K) est également d'une importance vitale dans la production agricole. La plupart des sols contiennent des quantités relativement importantes de K total (1 à 2 %) en tant que composants de minéraux relativement insolubles. Cependant, seule une petite fraction (environ 1 %) est présente sous des formes disponibles pour les plantes, c'est-à-dire du K soluble dans l'eau et échangeable. Les sols acides très altérés (des régions tropicales) sont plus fréquemment déficients en K disponible pour les plantes, alors que les sols des zones arides et semi-arides ont tendance à être bien approvisionnés en K. Ainsi, les sols de la région de l'Asie de l'Ouest et de l'Afrique du Nord, sont généralement adéquats en K. l'exception est les sols sablonneux et les sols irrigués cultivés pour des cultures exigeant beaucoup de K [232].

Bien que le sol du site d'Oggaz présente une teneur élevée en potassium, neuf fois supérieure à celle du site de Mostaganem, la teneur en potassium dans les feuilles d'arganier est très similaire entre les deux sites. Cela nous permet de conclure que la pauvreté du sol en potassium n'a pas affecté la teneur en potassium des feuilles. De plus, bien que le sol d'Oggaz soit plus riche en potassium que celui de Tindouf, la teneur en potassium dans les feuilles d'arganier à Tindouf est supérieure à celle observée à Oggaz, ce qui confirme que la teneur en potassium des feuilles n'est pas directement influencée par la richesse du sol en potassium.

Le phosphore (P) est essentiel à la production agricole ; il stimule la formation et la croissance précoces des racines, donne un démarrage rapide et vigoureux aux plantes et favorise la production de fleurs et de graines. Le phosphore est nécessaire dans le matériel de codage génétique qui contrôle la division cellulaire [232].

Bien que le sol du site d'Oggaz présente une teneur en phosphore dix fois supérieure à celle du site de Mostaganem, la concentration en phosphore dans les feuilles d'arganier reste très similaire entre les deux sites. Cela indique que la pauvreté du sol en phosphore n'affecte pas

la teneur foliaire de cet élément. Par ailleurs, même si la teneur en phosphore du sol d'Oggaz dépasse celle du sol de Tindouf par un facteur de sept, la teneur en phosphore des feuilles d'arganier à Oggaz n'est que légèrement supérieure à celle observée à Tindouf. Ces résultats confirment que la concentration foliaire en phosphore n'est pas directement influencée par la richesse du sol en phosphore

5. Conclusion

D'après les résultats de la présente étude, nous pouvons déduire que l'arganier présente une grande plasticité vis-à-vis de la qualité du sol, car il n'est pas exigeant en termes d'éléments nutritifs du sol, tels que le phosphore, le potassium et l'azote.

Il apparaît également que la teneur du sol en phosphore, potassium et azote n'a pas d'impact direct sur la concentration de ces éléments dans les feuilles de l'arganier.

D'autre part, la teneur en phosphore, potassium et azote des feuilles de l'arganier varie d'un site à un autre. Cette variation pourrait être attribuée à d'autres facteurs que le sol superficiel, tels que la composition des couches profondes du sol, les conditions climatiques, ou même des différences génétiques entre les arbres ou l'âge des arbres.

Chapitre 5. Valeur fourragère des feuilles d'arganier

1. Introduction

En Afrique du Nord, Les formations arbustives s'étendent sur une superficie d'environ 940000 km², répartissent entre les régions semi-arides (65000 km²), arides (350000 km²) et désertiques (525000 km²) [233], Ces formations constituent une ressource pastorale précieuse, en raison de leur valeur nutritive, de leur appétence, et de leur rôle dans la prévention de l'érosion des sols par l'amélioration de leur stabilité. Le pâturage représente entre 60 et 80 % de la valeur économique des formations arbustives nord-africaines. Utilisés comme fourrage, les arbres et arbustes fournissent aux troupeaux une source importante de protéines disponible tout au long de l'année. Les espèces fourragères ligneuses se caractérisent par une teneur relativement élevée en phosphore, bien qu'elles soient pauvres en éléments nutritifs énergétiques [233].

La contribution des arbustes fourragers à l'alimentation du bétail varie en fonction des caractéristiques écologiques des écosystèmes. Dans les milieux les plus contraignants, où la période de pâturage est réduite, leur part dans la ration alimentaire peut excéder 70 %, comme c'est le cas dans les écosystèmes de haute montagne, de steppe ou désertiques. En revanche, dans les zones plus favorables, leur utilisation est généralement saisonnière [234].

L'arganier (*Argania spinosa* L. Skeels) est une espèce oléo-agro-sylvo-pastorale [15, 138], endémique au nord-ouest de l'Afrique [11, 60]. En Algérie, il est présent à l'état spontané dans la région nord-ouest de la wilaya de Tindouf [60, 225, 226]. Cette espèce présente un intérêt plurifonctionnel. Elle est exploitée pour son huile, extraite des amendons, très prisée sur le marché international [139], ainsi que pour son bois, utilisé comme combustible ou matériau de construction [6, 11, 15]. Il constitue également une ressource pastorale [15]. à Tindouf L'arganeraie s'inscrit dans un système d'élevage pastoral fondé sur la production animale, principalement caprine et caméline, sous forme des troupeaux nomades [5, 235].

Les sous-produits de l'arganier (pulpe issue du dépulpage des noix, tourteau résiduel de pression des amandes, feuillage) représentent des ressources alimentaires non négligeables pour le bétail, en particulier les caprins [236, 237]. La pulpe des fruits d'arganier présente une composition nutritionnelle équilibrée : 20 % de sucres, 13 % de cellulose, 6 % de protéines, et 2 % de matière grasse véritable [238]. Sa valeur fourragère est estimée à 85 kg d'orge pour 100 kg de pulpe [117]. La pulpe ainsi que les feuilles de l'arganier sont considérées comme des aliments de haute qualité, avec respectivement 0,84 et 0,85 unités fourragères lait (UFL) et 0,76 et 0,77 unités fourragères viande (UFV) par kilogramme [118].

Une utilisation optimale de ces sous-produits dans l'alimentation animale peut contribuer à atténuer le déficit fourrager. Toutefois, cela requiert une connaissance approfondie de leur composition, de leur valeur nutritive ainsi que des méthodes permettant d'en améliorer la qualité [239].

Dans ce contexte, la présente étude vise à caractériser la composition chimique des feuilles d'arganier en tant que fourrage. Les paramètres analysés incluent la matière sèche, la matière minérale totale (cendres), la matière azotée totale, la matière grasse ainsi que les fractions fibreuses (ADF, ADL, NDF), et aussi Pour estimer la valeur nutritionnelle (UFL, UFV). Ces résultats seront comparés à ceux d'autres espèces fourragères afin d'évaluer le potentiel de l'arganier dans les systèmes d'alimentation animale.

2. Matériels et méthodes

2.1. Matériel végétal et localisation

Les feuilles d'arganier ont été récoltées à partir de quatre arbres d'arganier dans le verger d'El-Bekairia à Mostaganem (35,8716756°N ; 0,1454707°E) en Algérie.

2.2. Analyses fourragères

Les analyses fourragères ont été réalisées selon les protocoles officiels de l'AOAC [240].

La matière sèche (MS) a été déterminée par dessiccation des échantillons de feuilles fraîches à l'étuve à 65 °C jusqu'à obtention d'une masse constante (AOAC 934.01) [240].

Le broyage après la dessiccation, les échantillons ont été finement broyés à l'aide d'un micro-broyeur muni d'un tamis de 1 mm (AOAC 950.02) [240], puis conservés dans des flacons hermétiquement fermés, étiquetés et entreposés dans un endroit sec et à l'abri de la lumière.

La matière minérale (MM), a été analysée par incinération par four à moufle à 550°C au lieu 600°C pendant 5 heures (AOAC 942.05) [240].

La matière organique (MO), a été déterminée par la formule suivantes : $MO = 100 - MM$.

La matière azotée totale (MAT), a été déterminée selon la méthode de Kjeldahl, en multipliant la teneur en azote total par le facteur 6,25 (AOAC 984.13) [240].

La matière grasse (MG), Extraction à l'éther par l'appareil Soxhlet (AOAC 920.39) [240].

Les fractions fibreuses, ont été déterminées selon les procédures de Van Soest [241]. à savoir :

Les fibres au détergent neutre (NDF), ont été extraites à l'aide d'un détergent neutre (solution à base de SDS et EDTA) (AOAC 2002:04).

Les fibres au détergent acide (ADF), ont été obtenues avec un détergent acide (CTAB + H₂SO₄) (AOAC 973.18) [240].

La lignine au détergent acide (ADL), a été déterminée par traitement au H₂SO₄ concentré à 72 %, suivi d'incinération (AOAC 973.18) [240].

La Cellulose brute (CB), a été déterminée par la formule suivante: $CB = 1,19 \times ADF - 88$ (g/kg) [242].

2.3. La valeur fourragère UFL UFV

Pour estimer la valeur nutritionnelle (UFL UFV)(UF/kg) nous avons utilisé les formules suivantes notées dans le travail de Merouane *et al.* [118] :

- $UFL = 0,840 + 0,001330 \times MAT_{MO} - 0,000832 \times CB_{MO}$
- $UFV = 0,762 + 0,001443 \times MAT_{MO} - 0,000946 \times CB_{MO}$

Où :

UFV : Unité Formant Viande ; UFL : Unité Formant Lait ; CB_{MO} : Cellulose Brute exprimés dans la Matière Organique ; MAT_{MO} : Matière Azotée Total exprimés dans la Matière Organique.

Pour estimer la CB_{MO} et MAT_{MO} nous avons utilisé la formule suivante :

- $CB_{MO} \text{ (g/kg)} = (CB/MO) \times 1000$
- $MAT_{MO} \text{ (g/kg)} = (MAT/MO) \times 1000$

2.4. Les fibres dans les fourrages

Les fractions fibreuses (NDF, ADF, ADL) constituent un élément essentiel pour la caractérisation de la qualité des fourrages destinés aux ruminants (Figure 33, Tableau 45) :

2.4.1. Fibre au détergent neutre (NDF)

Représente la fraction totale des parois cellulaires végétales, incluant la cellulose, l'hémicellulose et la lignine, soit l'ensemble formé par l'ADF et l'hémicellulose. Cette mesure est un indicateur clé du volume de fourrage que l'animal peut consommer. En effet,

Une augmentation du pourcentage de NDF correspond généralement à une baisse de l'apport en matière sèche [243].

2.4.2. Fibre au détergent acide (ADF)

Correspond à la fraction des parois cellulaires composée de cellulose et de lignine. Cette valeur est directement liée à la digestibilité du fourrage : plus le taux d'ADF est élevé, plus la digestibilité de la matière sèche diminue, ce qui impacte négativement l'efficacité alimentaire [243].

2.4.3. Lignine au détergent acide (ADL)

Représente la teneur en lignine contenue dans la fraction ADF. La lignine est une composante très peu digestible, voire indigestible, et sa concentration influence fortement la digestibilité globale du fourrage (réduction de la valeur alimentaire).

Tableau 45. Rôle et composition des fibres.

Paramètre	Contient	Rôle principal	Effet si élevé
NDF	Hémicellulose + Cellulose + Lignine	Voluminosité, ingestion	Diminution de la consommation
ADF	Cellulose + Lignine	Digestibilité de la matière sèche	Diminution de la digestibilité
ADL	Lignine seule	Blocage digestif	Forte réduction de la valeur alimentaire

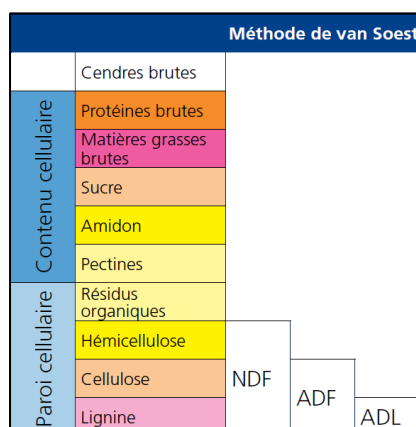


Figure 33. La composition des cellules végétales selon la méthode Van-Soest.

3. Résultat et discussion

3.1. Composition chimique

Par la comparaison de nos résultats avec ceux rapportés par Merouane *et al.* [118] sur les feuilles d'arganier de Chlef, il ressort que :

- Les feuilles d'arganier de Mostaganem présentent un taux de matière sèche (MS) nettement plus faible que celles de Chlef, avec des valeurs respectives de $46,62 \pm 1,86$ % et $85,5 \pm 1,71$ % (Tableau 46). Cette différence peut s'expliquer par le fait que les feuilles de Chlef ont été séchées à l'air, tandis que celles de Mostaganem étaient fraîches au moment de leur passage à l'étuve.
- La teneur en matière minérale totale (MM) à Mostaganem ($6,83 \pm 0,47$ %) est également inférieure à celle enregistrée à Chlef ($8,04 \pm 0,25$ %). De même, la matière azotée totale (MAT) est plus faible à Mostaganem ($10,34 \pm 1,45$ %) comparée à Chlef ($12,4 \pm 0,80$ %). En revanche, la teneur en matière grasse (MG) des feuilles d'arganier de Mostaganem ($3,47 \pm 0,83$ %) est très proche de celle observée à Chlef ($3,37 \pm 0,61$ %). Cependant, la cellulose brute (CB) des feuilles de Mostaganem ($8,92 \pm 1,68$ %) est supérieure à celle de Chlef ($5,91 \pm 0,15$ %) (Tableau 46).
- Les feuilles d'arganier de Mostaganem présentent une qualité fourragère inférieure à celles de Chlef, principalement en raison de leur faible teneur en matière azotée totale et de leur taux élevé en cellulose brute, ce qui peut limiter leur digestibilité et leur apport en protéines. Toutefois, elles offrent un apport énergétique comparable, notamment grâce à une teneur en matière grasse similaire. Reflétant ainsi l'influence possible des conditions écologiques sur la composition nutritionnelle des feuilles ou bien le facteur génétique.

Tableau 46. Composition chimique des feuilles d'arganier de Chlef [118] et de notre étude (%MS).

Zone	MS	MO	MM	MAT	CB	ADF	ADL	NDF	MG
Chlef [118]	85,5 $\pm 1,71$	91,96 $\pm 0,25$	8,04 $\pm 0,25$	12,4 $\pm 0,80b$	5,91 $\pm 0,15$	/	/	/	3,37 $\pm 0,61$
Mostaganem	44,26	92,51	7,49	11,06	11,21	16,82	10,07	16,05	4,72
	48,23	93,28	6,72	10,56	8,23	14,31	8,16	15,16	3,04
	46,00	93,63	6,37	11,50	9,02	14,97	8,73	16,93	3,07
	47,98	93,26	6,74	8,25	7,27	13,50	7,51	16,91	3,05
	46,62	93,17	6,83	10,34	8,93	14,90	8,62	16,26	3,47

	±1,86	±0,47	±0,47	±1,45	±1,68	±1,41	±1,09	±0,84	±0,83
--	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

En comparant la composition chimique des feuilles d'arganier (*Argania spinosa*) avec celle d'autres espèces fourragères en Algérie noté par Zembri-Zirmi [244], il apparaît que l'arganier, avec une teneur en matière minérale (MM) de 6,83 % et une matière azotée totale (MAT) de 10,34 %, présente des valeurs supérieures à celles des espèces steppiques spontanées telles que *Lygeum spartum* (MM 6,45 % ; MAT 7,27 %) et *Stipa tenacissima* (MM 3,58 % ; MAT 7,46 %) [244]. De plus, l'arganier affiche des valeurs très faibles en ADF (14,9 %) et NDF (16,26 %), indiquant une digestibilité nettement meilleure que les graminées steppiques, qui présentent des teneurs très élevées en fibres : *Lygeum spartum* (ADF 53,52 % ; NDF 80,05 %) et *Stipa tenacissima* (ADF 47,54 % ; NDF 79,25 %) [244] (Figure 34, Tableau 47).

En revanche, comparé aux plantes fourragères cultivées, telles que l'orge verte à stade feuillu (*Hordeum vulgare*) et la luzerne (*Medicago sativa*), l'arganier affiche des valeurs nutritionnelles plus modestes. En effet, l'orge présente des taux plus élevés en MAT (23 %) et en MM (14,3 %), tandis que la luzerne au stade végétatif offre des teneurs encore supérieures (MAT 25,2 % ; MM 10,8 %), accompagnées de taux modérés en ADF (25,8 %) et NDF (52,2 %) (Figure 34, Tableau 47). Ainsi, bien que les feuilles d'arganier n'atteignent pas la richesse nutritionnelle des fourrages cultivés, elles surpassent largement les espèces steppiques naturelles en termes de digestibilité et de qualité globale, ce qui en fait une ressource fourragère précieuse et résiliente en zones arides.

Tableau 47. Composition chimique des feuilles d'arganier et d'autres espèces fourragères (%MS).

Espèces		MM	MAT	ADF	NDF
Arbre saharien	<i>Argania spinos</i>	6,83	10,34	14,9	16,26
Plantes spontanées steppique	<i>Lygeumspartum</i> [244]	6,45	7,27	53,52	80,05
	<i>Stipa tenacissim</i> [244]	3,58	7,46	47,54	79,25
Plante cultivées	<i>Hordeum vulgare</i> vert st.feuillu [244]	14,3	23	31,7	59,3
	<i>Medicago sativa</i> vert st végétatif C1[244]	10,8	25,2	25,8	52,2

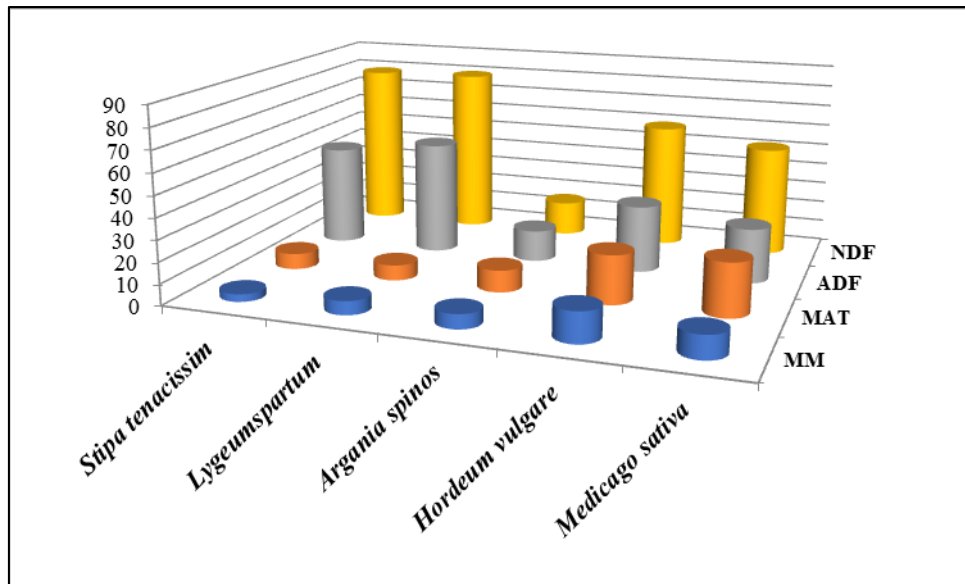


Figure 34. Composition chimique des feuilles d'arganier et d'autres espèces fourragères (%MS).

3.2. Valeur fourragère

Les feuilles d'arganier (*Argania spinosa*) présentent une valeur fourragère importante, avec une UFL de 0,91 et une UFV de 0,83 (Tableau 48). Elles se situent bien au-dessus des plantes spontanées steppiques telles que *Lygeum spartum* (0,55 UFL ; 0,44 UFV) et *Stipa tenacissima* (0,56 UFL ; 0,44 UFV), qui sont caractérisées par une forte teneur en fibres et une faible digestibilité [244] (Figure 35, Tableau 49). Cette supériorité nutritionnelle traduit la meilleure qualité fourragère de l'arganier dans les zones sahariennes.

Cependant, en comparaison avec des plantes cultivées telles que l'orge verte au stade feuillu (*Hordeum vulgare*), affichant 1,04 UFL et 0,99 UFV, ou la luzerne (*Medicago sativa*), présentant 1,00 UFL et 0,94 UFV [244], l'arganier demeure moins performant sur le plan nutritionnel (Figure 35, Tableau 49). Cela reflète la supériorité des espèces fourragères cultivées, optimisées pour la production de biomasse et la qualité nutritionnelle.

Bien que l'arganier ne puisse rivaliser avec les espèces cultivées, il constitue un fourrage naturel de qualité supérieure par rapport aux ressources steppiques, et représente une source stratégique en milieux arides, grâce à sa résilience écologique et sa valeur fourragère non négligeable.

Tableau 48. Valeur fourragère des feuilles d'arganier.

MAT _{Mo} (g/kg)	CB _{Mo} (g/kg)	UFL (UF/kg)	UFV (UF/kg)
119,58	121,17	0,9	0,82
113,23	88,22	0,92	0,84
122,83	96,29	0,92	0,85
88,46	77,96	0,89	0,82
111,03 ±14,67	95,91 ±18,28	0,91 ±0,01	0,83 ±0,01

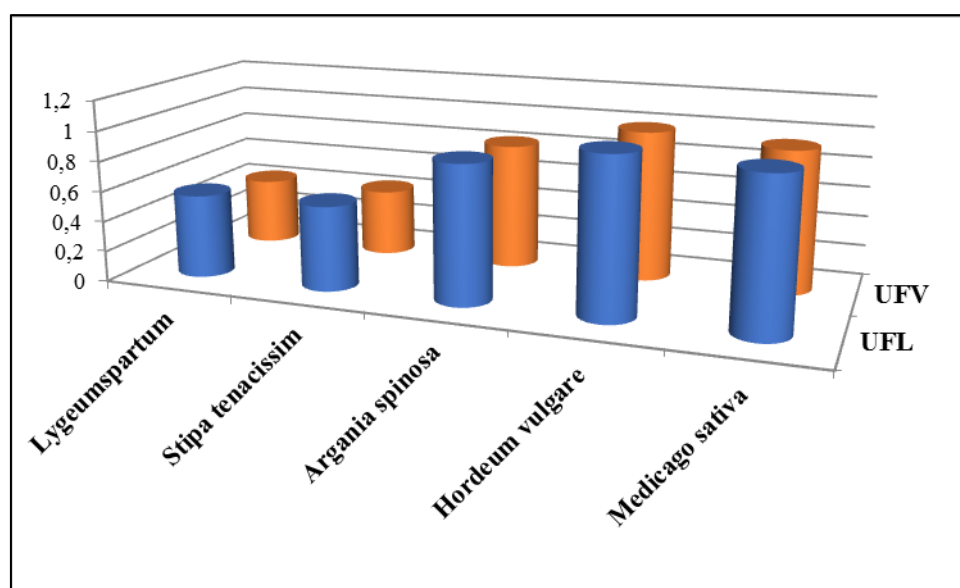


Figure 35. Valeur fourragère des feuilles d'arganier et d'autres espèces fourragères.

Tableau 49. Valeur fourragère des feuilles d'arganier et d'autres espèces fourragères.

Espèces		UFL	UFV
Arbre saharien	<i>Argania spinos</i>	0,91	0,83
Plantes spontanées steppique	<i>Lygeumspartum</i> [244]	0,55	0,44
	<i>Stipa tenacissim</i> [244]	0,56	0,44
Plante cultivées	<i>Hordeum vulgare</i> vert st.feuille [244]	1,04	0,99
	<i>Medicago sativa</i> vert st végétatif C1[244]	1	0,94

4. Conclusion

Les feuilles de l'arganier présentent une valeur nutritionnelle importante, notamment en raison de leur faible teneur en fibres, qui ne dépasse pas 17 % de la matière sèche, ce qui les

rend facilement digestibles. Elles contiennent également une proportion importante de protéines, dépassant 10 % de la matière sèche, et constituent en même temps une source d'énergie grâce à leur teneur en matières grasses, supérieure à 3 % de la matière sèche.

La valeur nutritionnelle des feuilles d'arganier dépasse celle de certaines plantes fourragères steppiques, comme *Stipa tenacissima* et *Lygeum spartum*, mais elle reste modérée comparée à celle des plantes fourragères cultivées, telles que la luzerne (*Medicago sativa*) et l'orge verte (*Hordeum vulgare*).

Conclusion générale

1. Situation critique de l'arganier en Algérie

L'arganier est confronté à une situation alarmante en Algérie. Sa régénération naturelle est pratiquement absente, entravée par plusieurs facteurs : le surpâturage, la désertification, la coupe abusive du bois, et la collecte excessive des graines destinées à la production d'huile. Ces pressions anthropiques accélèrent l'épuisement de cette ressource végétale précieuse. Face à ce constat, la mise en œuvre d'un plan de conservation devient urgente pour sauvegarder ce patrimoine végétal vulnérable.

2. État des plantations d'arganier, contraintes et perspectives d'amélioration

Malgré les efforts déployés par la Direction Générale des Forêts en vue de développer la filière de l'arganier, les plantations réalisées demeurent confinées à des projets pilotes de faible envergure. Cette situation s'explique par les particularités biologiques de l'espèce : la germination des graines est difficile, et l'arbre se montre très sensible lors de la phase de transplantation, ce qui se traduit souvent par des taux d'échec élevés. Ce constat explique l'absence de plantations à grande échelle.

Cependant, une fois bien installée, l'espèce présente une bonne capacité de développement, même dans des conditions environnementales contraignantes. Cela ouvre des perspectives prometteuses pour améliorer la filière de l'arganier, à condition de maîtriser les techniques de multiplication et de plantation.

Dans ce contexte, le lancement de projets pilotes s'avère nécessaire pour affiner la connaissance des exigences écologiques de l'espèce. Par ailleurs, le soutien à la recherche et à l'expérimentation demeure essentiel pour améliorer les taux de réussite des plantations. En parallèle, la création de vergers à graines s'impose pour renforcer les capacités de production de semences.

3. Importance de plantations actuelles

Malgré leur taille modeste, les plantations d'arganiers réparties à travers le territoire national revêtent une importance capitale. Elles représentent une source précieuse de graines pour les pépinières locales et servent de modèles expérimentaux pour l'introduction de l'espèce en dehors de son aire d'origine. Ces essais offrent une base expérimentale essentielle pour comprendre les conditions favorables à la croissance de l'arganier en Algérie.

4. Capacité d'adaptation et croissance selon les climats

L'arganier présente une plasticité écologique remarquable, capable de s'adapter à une large gamme de conditions climatiques, allant des zones humides aux zones semi-arides et

sahariennes. Toutefois, sa croissance demeure fortement dépendante des facteurs climatiques, avec une croissance nettement plus forte dans les régions humides.

5. Diversité phénotypique et potentiel génétique

L'arganier présente une diversité notable dans son feuillage selon les sites de (Tindouf, Béchar, Adrar, Timimoune, Mostaganem, Mascara, Chlef, Alger et Tlemcen), ce qui ouvre la voie à des recherches approfondies sur ses caractéristiques phénotypiques. Des études morphométriques menées sur les graines, comme celles de Bendellaa [157] et Kechairi [5], confirment également ces variations, considérées comme un indicateur positif pouvant être exploité dans les programmes de sélection génétique.

6. Modélisation écologique de la distribution potentielle

L'approche de modélisation écologique par le logiciel MaxEnt a permis d'identifier les zones du nord-ouest de l'Algérie comme la plus favorables à l'implantation de l'arganier. En revanche, les régions sahariennes et steppiques apparaissent comme moins adaptées sur le plan bioclimatique. Les résultats du modèle concordent avec les exigences climatiques de l'espèce, notamment en ce qui concerne les plages de précipitations annuelles ($160 \text{ mm} < P < 1400 \text{ mm}$) et les températures minimales ($2,5 \text{ °C} < T_{\text{min}} < 6,5 \text{ °C}$).

Le nord de la wilaya de Tindouf présente un bioclimat particulier dans la région, étant la zone la plus modérée au sein d'un environnement saharien, en raison de l'influence de l'océan Atlantique. Cette singularité en fait, selon la modélisation MaxEnt, le milieu le plus favorable pour l'arganier dans la wilaya.

7. Tolérance édaphique

L'arganier montre une grande tolérance à la qualité du sol. Il ne requiert pas de fortes teneurs en éléments nutritifs (phosphore, potassium, azote). Par ailleurs, la concentration de ces éléments dans les feuilles n'est pas directement corrélée à leur concentration dans le sol superficiel, suggérant l'influence d'autres facteurs, peuvent être les couches sous-sol, le climat, ou la génétique de l'arbre.

8. Valeur nutritionnelle fourragère des feuilles

Les feuilles de l'arganier présentent une valeur nutritionnelle intéressante : faible teneur en fibres ($< 17 \%$), riche en protéines ($> 10 \%$) et en matières grasses ($> 3 \%$). Avec 0,91 UFL et 0,83 UFV. Elles surpassent certaines espèces fourragères steppiques (*Stipa tenacissima* et *Lygeum spartum*), bien qu'inférieures aux plantes fourragères cultivées comme la luzerne ou l'orge verte.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Ballouche, A., *La dimension anthropique de l'histoire de la végétation holocène au Maghreb*. In Coll. " Le peuplement ancien de l'Algérie. Sa place dans le contexte méditerranéen" (8p). Djazaïr: une année de l'Algérie en France, 2003.
2. Quézel, P., & Barbero, M, *Les forêts méditerranéennes problèmes posés par leur signification historique, écologique et leur conservation* Acta botánica malacitana, 1990. **15**: p. 145-178.
3. Allender, C., *The Second Report on the State of the World's Plant Genetic Resources for Food et Agriculture*. Experimental Agriculture, 2011. **47**(3): p. 574.
4. Stewart, P., *Quotient pluviothermique et dégradation biosphérique: quelques réflexions*. Bulletins de la Société de l'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord, 1968: p. 23-36.
5. Kechairi, R., *Étude de l'arganeraie de Tindouf: État des lieux, contraintes et perspectives de son développement*, in Département des ressources forestières 2018, Université de Tlemcen, Algérie. p. 196p.
6. Peltier, J.-P., *Les séries de l'arganeraie steppique dans le Sous (Maroc)*. Ecologia mediterranea, 1983. **9**(1): p. 77-88.
7. BERROUKCHE, A., M. TERRAS, and F. BOUDOU, *The Multifaceted Role of Argania spinosa in Ecosystem Protection, Biodiversity Preservation and Human Health*. Journal of Concepts in Structural Biology & Bioinformatics, 2024. **2**(4).
8. Nouaim, R., *Biologie de l'arganier: Exemple de programme scientifique à vocation appliquée*. Actes des Journées d'étude sur l'Arganier. Essaouira, 1995: p. 29-30.
9. Bouzoubaâ, Z. and A. El Mousadik, *Effet de la température, du déficit hydrique et de la salinité sur la germination de l'Arganier, Argania spinosa (L.) Skeels*. Acta botanica gallica, 2003. **150**(3): p. 321-330.
10. Achour, A., et al., *Éléments techniques pour réussir une plantation d'Arganiers. Cas de Tifaddine*. Revue Forestière Française, 2013. **65**(4): p. 329-340.
11. Boudy, P., *Économie forestière nord-africaine: Monographies et traitements des essences forestières*. Vol. 2. 1950, Paris, France: Larose.
12. Bellefontaine, R., et al., *Multiplification végétative de l'arganier, Argania spinosa, au Maroc: le projet John Goelet*. BOIS & FORETS DES TROPIQUES, 2010. **304**: p. 47-59.
13. Monnier, Y., *Les problèmes actuels de l'arganeraie marocaine*. Revue forestière française, 1965(11): p. 750-767.
14. Hanan, A., *Place de l'arganeraie dans la forêt marocaine*. Actes du colloque international : La forêt face à la désertification: "cas des Arganeraies". 26-28 octobre 1995, Agadir Maroc, 1995: p. 1-21.
15. Mhirit, O., *L'Arganier, une espèce fruitière forestière à usage multiple* https://www.doc-developpement-durable.org/file/Fabrications-Objets-Outils-Produits/Huiles-vegetales-noix/Fiches_plantes/Arganier/L-ARGANIER_UNE%20ESPECE%20FRUITIERE_FORESTIERE-FAO.pdf.
16. Genin, M., Alifriqui, M., Fakhech, A., Hafidi, M., Ouahmane, L., & Genin, D, *Back to forests in pre-Saharan Morocco? When prickly pear cultivation et traditional agropastoralism reduction promote argan tree regeneration*. Silva Fennica, 2017. **51**(1B).
17. Fikri Benbrahim, K., Ismaili, M., Fikri Benbrahim, S., & Tribak, A, *Problèmes de dégradation de l'environnement par la désertification et la déforestation : impact du phénomène au Maroc*. Science et changements planétaires / Sécheresse, 2004. **15**(4): p. 307-320.
18. Mhirit, O., & Elabid, A, *Note de synthèse*. in : Formation forestière continue, Thème «l'arganier», station de recherche forestière, Rabat, Maroc, 1989: p. 6-8.
19. Kechairi, R., *Contribution à l'étude écologique de l'arganier argania spinosa (L.) skeels. Dans la région de Tindouf (Algérie)*, 2009, Université USTHB Alger: Algérie. p. 74.
20. Kechairi, R., M. Ould Safi, and B. Benmahiou, *Etude comparative de deux plantations d'Argania spinosa (L.) Skeels (Sapotaceae) dans le Sahara Occidental Algérien (Tindouf et Adrar)*. International Journal of Environmental Studies, 2018. **75**(2): p. 294-308.

21. Kechairi, R. and B. Benmahioul, *Comportement des plants d'Arganier (Argania spinosa L. Skeels, Sapotaceae) au sud-ouest Algérien (Tindouf, Bechar et Adrar)*. International Journal of Environmental Studies, 2019.
22. Kéchairi, R. and F. Abdoun, *Les essais pilotes de régénération artificielle de l'arganier à Tindouf en Algérie*. Actes du 2ème Congrès international de l'arganier 9 - 11 décembre 2013, Agadir, (Maroc), 2013: p. 9-11.
23. Mhirit, O., et al., *L'arganier, une espèce fruitière-forestière à usages multiples* 1998, (Mardaga ed).Sprimont, Belgique.
24. Badreddine, A., *Préparation et Caractérisation d'Extraits d'Argania spinosa et d'Huile d'Argan Et Evaluation de leurs Effets Neuroprotecteurs In Vivo et In Vitro*, 2016, UNIVERSITE DE BOURGOGNE FRANCHE-COMTE – Dijon – France et UNIVERSITE HASSAN I – Settat – Maroc.
25. Leclerc, L., *Traité des simples ; Ibn AL Baytar ; trad. de Lucien Leclerc*1877.
26. Linné, C.V., *Flora Lapponica. S. Schouten*1737, Amsterdam, Netherlands.
27. Dobignard, A., & Chatelain, C *Index synonymique de la Flore d'Afrique du Nord volume 5: Dicotyledonae, Oleaceae à Zygophyllaceae* 2013, Editions des Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève.
28. Quézel, P. and S. Santa, *Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales* 1962, 1963.
29. Bellefontaine, R., et al., *Etude de l'enracinement d'arganiers*. Actes du Premier Congrès International de l' Arganier, Agadir 15 - 17 Décembre 2011 (Maroc), 2011.
30. Mokhtari, M., *Le greffage de l'arganier un challenge pour la multiplication clonale*. Bull de Transfert de Technologie en Agriculture, 2002. **95**: p. 3-4.
31. Nouaim, R., *Ecologie microbienne des sols d'Arganeraies: Activités microbiologiques des sols et rôle des endomycorhizes dans la croissance et la nutrition de l'Arganier (Argania spinosa (L.) Skeels)*, 1994.
32. Nouaim, R. and R. Chaussod, *Mycorrhizal dependency of micropropagated argan tree (Argania spinosa): I. Growth and biomass production*. Agroforestry Systems, 1994. **27**(1): p. 53-65.
33. Nouaim, R., & Chaussod, R, *L'arganier et ses champignons*. Pour la Science, 2007. **360**: p. 76-80.
34. Boudy, P., *Arganier (Argania spinosa)*, in *Guide du forestier en Afrique du Nord*1952. p. 185-195.
35. Cotton, S., *Étude sur la noix d'Argan, nouveau principe immédiat. L'Arganine*. Journal de Pharmacie et de Chimie, 1888. **18**(5): p. 298-302.
36. Kenny, *Biologie de l'arganier*, in *Atlas de l'arganier et de l'arganeraie*2007, Institut agronomique et Vétérinaire Hassan II. Agadir, Maroc.
37. Berthier, P., *Un épisode de l'histoire de la canne à sucre. Les anciennes sucreries du Maroc et leurs réseaux hydrauliques. Étude archéologique et d'histoire économique*, 1966, Imprimeries Françaises et Marocaines. Rabat , Maroc.
38. Ehrig, F.R., *Die Arganie Charakter, Ökologie und wirtschaftliche Bedeutung eines Tertiärreliktes in Marokko*. Petermanns Geogr. Mitt, 1974. **118**(2): p. 117-125.
39. Githens, T.S. and J.C.E. Wood, *The food resources of Africa* 1943, UPenn Museum of Archaeology.
40. Belghazi, T., *Typologie de l'arganeraie et estimation de la biomasse aérienne des taillis d'arganier (Plateau des Haha-Essaouira, Maroc)*, 2013, UCL-Université Catholique de Louvain.
41. Nouaim, R., et al., *L'arganier. Essai de synthèse des connaissances sur cet arbre*. Groupe d'Etude de l'Arbre, 1991.
42. Challot, J.P., *L'arganier*. Revue du Bois et ses Applications, 1949. **4(7/8)**: p. 7-12.

43. Errouati, A., *Problématique de la régénération assistée et des reboisements à base d'Argania spinosa dans la région du massif forestier d'Amsitten (Province d'Essaouira)*, 2005, ENFI, Salé, Maroc.
44. Aka Koutoua, M., *Analyse Ecologique, Phytosociologique et évaluation des bilans des plantations à arganier (Argania spinosa) en vue de la régénération et de la réhabilitation de ses écosystèmes naturels (Région d'Agadir, Taroudant et Tiznit)*, 2006, ENFI. Salé, Maroc. p. 113.
45. Allach, M., *Variabilidad morfológica, isoenzimática e histológica del argán (Argania spinosa L.) y de su aceite en la región de Chouhiya (Berkane, Marruecos): contribución a su propagación in vitro*, 2012, Universidad de Granada, Espagne.
46. Ferradous, A., F. Bani-Aameur, and P. Dupuis, *Climat stationnel, phénologie et fructification de l'arganier (Argania spinosa L. Skeels)*. Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires, 1996. **17**(1): p. 51-60.
47. Zahidi, A., & Bani-Aameur, F., *Phénologie de la foliation de l'arganier* in *Colloque International sur les Ressources Végétales: L'arganier et les plantes des zones arides et semi-arides* 1998.
48. Bani-Aameur, F., *PHENOLOGICAL PHASES OF ARGANIA SPINOSA (L. SKEELS) FLOWER*. Forest Genetics, 2000 **7**(4): p. 329-334.
49. Thierry, L., *L'arganier au Maroc: sa description, ses méthodes de multiplication et son application en reforestation*, 1987, Thèse d'ingénieur technique, Institut provençal d'enseignement supérieur
50. Bani-Aameur, F., L. Louali, and P. Dupuis, *Maturation et chute des fruits de l'arganier* Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires, 1998. **18**(3): p. 151-158.
51. Ferradous, A., *Diversité génétique de quelques caractères morphologiques du fruit et de la graine d'arganier (Argania spinosa L. Skeels)*, 1995, Université Ibn Zohr, Agadir (Maroc).
52. Adlouni, A., *L'huile d'argan, de la nutrition à la santé*. Phytothérapie, 2010. **8**(2): p. 89-97.
53. Cornu, M.M., *Note Sur La Structure Des Fruits De L'Argan Du Maroc (Argania Sideroxyylon)*. Bulletin de la Societe Botanique de France, 1897. **44**(2): p. 181-187.
54. El Alaoui, N., *Paysages, usages et voyages d'Argania spinosa (L.) Skeels (IXe-Xe siècles)*. Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée, 1999. **41**(2): p. 45-79.
55. Gentil, L., *Contribution à la géologie et à la géographie physique du Maroc*. Annales de Géographie, 1906. **15**: p. 133-151.
56. Rocher, P., *L'arganier*. Annales de Géographie, 1926. **195**(35): p. 259-267.
57. Dupuis, P., *Morphologie et architecture de l'arganier* in *Colloque international sur l'arganier : Recherche et perspectives, 11-14 mars* 1991: Faculté des sciences Agadir, Maroc.
58. Challot, J.P., *Observation sur la régénération naturelle des forêts d'arganier*. 1948.
59. Zahidi, A., F. Bani-Aameur, and P. Dupuis, *Caractérisation de la ramification de l'arganier*. Actes du colloque international : La forêt face à la désertification "Cas des Arganeraies". 26-28 octobre 1995, Faculté des Sciences d'Agadir (Maroc), 1995: p. 36–52.
60. Kechairi, R. and F. Abdoun, *État des lieux cartographiques de l'arganier Argania spinosa (L.) Skeels (Sapotaceae) en Afrique Nord-Occidentale (Algérie et Sahara Occidental)*. International Journal of Environmental Studies, 2016. **73**(2): p. 286-293.
61. Msanda, F., E.H. Mayad, and J.N. Furze, *Floristic biodiversity, biogeographical significance, and importance of Morocco's Arganeraie Biosphere Reserve*. Environmental Science and Pollution Research, 2021. **28**(45): p. 64156-64165.
62. Justamante, M.S., Ibáñez, S., Villanova, J., & Pérez-Pérez, J. M, *Vegetative propagation of argan tree (Argania spinosa (L.) Skeels) using in vitro germinated seeds et stem cuttings*. Scientia Horticulturae,, 2017. **225**: p. 81-87.
63. EL YOUSFI, S.M., *Dégradation forestière dans le Sud-Ouest marocain, exemple de l'arganeraie d'Admine (Souss) entre 1969 et 1986* 1988, I.A.V. Hassan II, Rabat, Maroc. p. 117.
64. Benkheira, A., *L'arganeraie algérienne*. Bulletin d'information, conservation de la biodiversité et gestion durable des ressources naturelles, publication du projet. ALG, 2009. **35**: p. 15p.

65. Kechairi, R., *SOURCES OF WATER COMPENSATION OF THE ARGAN GROVE Argania spinosa L. IN ALGERIAN WESTERN SAHARA*. Algerian Journal of Arid Environment, AJAE, 2021. **11**(1).
66. Kechebar, M., S. Karoune, and M. Belhamra, *ETUDE STRUCTURALE DES PEUPELEMENTS D'ARGANIER (Argania spinosa) EN ALGERIE*. Journal Algérien des Régions Arides, 2013.
67. Díaz-Barradas, M.C., Zunzunegui, M., Ain-Lhout, F., Jáuregui, J., Boutaleb, S., Álvarez-Cansino, L., & Esquivias, M. P, *Seasonal physiological responses of Argania spinosa tree from Mediterranean to semi-arid climate*. Plant and Soil, 2010. **337**(1): p. 217-231.
68. EL ABOUDI, A., G. CARLIER, and J.P. PELTIER, *Régime hydrique de l'arganier (Argania spinosa L. Skeels) dans le Souss (Maroc)*. Physiologie des arbres et arbustes en zones arides et semi-arides. Groupe d'étude de l'arbre 1991: p. 389-403.
69. Raimondo, F., V. Spadaro, and M. Speciale, *Acclimatazione di Argania spinosa (Sapotaceae) nell'Orto botanico di Palermo*. QUADERNI DI BOTANICA AMBIENTALE E APPLICATA, 2005. **16**: p. 83-86.
70. Alouani, M. and F. Bani-Aameur, *Effect of Cold Stress on Nursery Argan (Argania spinosa (L.) Skeels) Seedlings Production*. J. Environ. Sci. Toxicol. Food. Technol, 2017. **11**(4): p. 61-66.
71. Emberger, L., *Arbres du Maroc et comment les reconnaître* 1938.
72. Emberger, L., *Aperçu général sur la végétation du Maroc: commentaire de la carte phytogéographique du Maroc 1/150.000* 1939, Huber.
73. Hammouda, T.A., *Évaluation de la diversité écologique des écosystèmes à arganier dans la région de Tindouf*, in Université USTHB, Alger, Algérie 2011, Université USTHB, Alger, Algérie
74. Bendou, S., *Contribution à l'étude de la diversité floristique et écologique de l'arganeraie d'Oued El-Ma Wilaya de Tindouf*, in Université USTHB, Alger, Algérie 2011, Université USTHB, Alger: Alger, Algérie.
75. Amouroux, J.M., *Influence actuelle de la végétation sur trois substrats de la forêt d'Ademine (vallée du Souss, Maroc)*, 1978, Univ Aix- III: Marseille, France.
76. Zunzunegui, M., et al., *Fruit production under different environmental and management conditions of argan, Argania spinosa (L.)*. Journal of Arid Environments, 2010. **74**(10): p. 1138-1145.
77. Rieuf, P., *Les champignons de l'arganier*. Les Cahiers de la Recherche Agronomique Maroc: DRAEA Rabat 1962. **15**: p. 1-25.
78. Peltier, J.-P., et al., *Potentiel hydrique et conductance stomatique des feuilles d'Arganier (Argania spinosa (L.) Skeels) en début et au cours de la saison sèche dans le Souss (Maroc occidental)*. Bulletin d'écologie, 1992. **23**(1/2): p. 5-16.
79. FAHMI, F., et al., *Effet de l'aridité sur la biochimie et la physiologie d'Argania spinosa*. Actes du Premier Congrès International de l'Arganier, 15-17 décembre 2011, Agadir, Maroc, 2011: p. 299-308.
80. Kaabous, M., *Effet de l'état hydrique du sol sur la croissance d'une plantule d'arganier (Argania spinosa L. Skeels)*, 1992, Complexe Hotricole, Agadir, (Maroc).
81. Tazi, M., A. Berrichi, and B. Haloui, *Germination et croissance in vitro de l'arganier (Argania spinosa L. Skeels) des Beni-Snassen (Maroc oriental) à différentes concentrations en NaCl*. Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires, 2011. **21**(3): p. 163-168.
82. Nouaim, R. and R. Chaussod, *Rôle des mycorhizes dans l'alimentation hydrique et minérale des plantes, notamment des ligneux de zones arides*. Cahiers Options Méditerranéennes, 1996: p. 20.
83. Nouaim, R., & Chaussod, R, *Apport des biotechnologies à l'optimisation des systèmes agroforestiers: Modèles «arganier»*. Actes du colloque international : La forêt face à la désertification: "cas des Arganeraies". 26-28 octobre 1995, Agadir, (Maroc), 1995.
84. Bezzalla, A., S. Boudjabi, and H. Chenchouni, *Seedlings of Argan (Argania spinosa) from different geographical provenances reveal variable morphological growth responses to progressive drought stress under nursery conditions*. , . Agroforestry systems, 2017: p. 1-11.

85. Villagra, P.E. and J.B. Cavagnaro, *Water stress effects on the seedling growth of Prosopis argentina and Prosopis alata*. Journal of Arid Environments, 2006. **64**(3): p. 390-400.
86. Le Houérou, H.-N., *Utilization of Fodder Trees et Shrubs in the Arid et Semiarid Zones of West Asia et North Africa* Arid Soil Research et Rehabilitation, 2000. **14**(2): p. 101-135.
87. Le Houérou, H.-N., & Pontanier, P, *Les plantations sylvo pastorales dans la zone aride de Tunisie*. 1987.
88. Bakry, M., *Développement de substrats de croissance et amélioration des techniques de production de plants des essences agro-forestières adaptées aux zones arides*, 2015, Université Laval, Québec: Québec, Canada.
89. Bellefontaine, R., *De la domestication à l'amélioration variétale de l'arganier (Argania spinosa L. Skeels)?* Science et changements planétaires/Sécheresse, 2010. **21**(1): p. 42-53.
90. Nouaim, R., *L'Arganier au Maroc: entre mythes et réalités: une civilisation née d'un arbre* 2005: Editions L'Harmattan.
91. M'hirit, O., et al., *Argan, a forest, fruit species, with multiple uses*. Sprimont, Belgium: Margada Edition, 1998: p. 150.
92. BELGHAZI, B., et al., *Bilan des Nouveaux Recépages de l'Arganeraie d'Ida ou Throuma (Tamanar): Vitesse de Croissance des Rejets et Vigueur des Souches en Relation avec le Milieu*. Annales de la Recherche Forestière au Maroc, 2007. **38**: p. 106-123.
93. MOKHTARI, M., M. HAROUNI, and M. BENISMAIL, *Production rapide de plants d'Arganier aptes à la transplantation*. Bull. Mens. Inf. liaison PNTTA, 2002. **95**: p. 1-4.
94. AIZER, N., *Micropropagation de l'arganier (Argania spinosa L. SKEELS)*, 2021, Université Blida 1, Algerie.
95. Loutfi, P., *Germination, levée et survie des plantules d'arganier (Argania spinosa L., Skeels)*, 1994, CEA « Environnement ». Université Ibnou Zohr, Agadir. p. 34.
96. Lakhdari, A. and R. Kechairi, *Contribution à l'étude de l'Arganier (Argania spinosa. L. Skeels) Mémoire d'ingénieur d'état en Biologie*. Institut de Biologie. Université Mustapha Stambouli de Mascara, 2002.
97. Miloudi, A., *Les réponses physiologiques et biochimiques de l'arganier (Argania Spinosa (L.) Skeels) aux facteurs abiotiques naturels*, 2006, Inst. de Biologie, Univ. Es-Sénia, Oran. 100p.
98. Meunier, Q., et al., *Low-cost vegetative propagation of trees and shrubs. Technical Handbook for Ugandan rural communities Kampala (Ouganda)* 2006, Montpellier (France): Ed. Angel Agencies; Cirad editions.
99. Mokhtari, M. and B. Zakri. *Limites phytotechniques et physiologiques au bouturage, marcottage et greffage de l'arganier (Argania spinosa L.)*. in *Colloque international sur les ressources végétales «L'arganier et les plantes des zones arides et semis arides»*, Agadir. 1998.
100. Kaaya, M., *Contribution à la domestication de l'arganier: sélection et multiplication*, 1998, Faculté des sciences, Université Ibnou Zohr Agadir, Maroc.
101. Bellefontaine, R., et al., *Multiplication végétative d'arganiers par greffes, drageons et boutures de segments racinaires*. Actes du congrès international de l'arganier, Agadir 1ère édition, 2011. **1**: p. 379-388.
102. Zryd, J.-P., *Cultures de cellules, tissus et organes végétaux: fondements théoriques et utilisations pratiques*. 1988.
103. Sasson, A., *Biotechnologies in Developing Countries: Present and Future* 1993: Unesco Pub.
104. Barlass, M. and K. Skene, *In vitro plantlet formation from Citrus species and hybrids*. Scientia Horticulturae, 1982. **17**(4): p. 333-341.
105. Boussemame, F., L. Kenny, and H. Chlyah, *Optimisation des conditions de culture pour l'enracinement in vitro de l'arganier (Argania spinosa L.)*. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences-Series III-Sciences de la Vie, 2001. **324**(11): p. 995-1000.

106. Mdarhri Alaoui, M., J. Boukmou, and Z. Bouzoubaa, *Application de la biotechnologie pour la sauvegarde de l'arganeraie: étude de la multiplication in vitro*. Actes du Premier Congrès International de l' Arganier, Agadir 15 - 17 Décembre 2011 (Maroc), 2011: p. 119-123.
107. Kenny, L., *Atlas de l'arganier et de l'arganeraie* 2007: Institut agronomique et vétérinaire Hassan II. Agadir, Maroc.
108. Nouaim, R., Mangin, G., Breuil, M. C., & Chaussod, R, *The argan tree (Argania spinosa) in Morocco: Propagation by seeds, cuttings et in-vitro techniques*. Agroforestry systems, 2002. **54**(1): p. 71-81.
109. Harrouni, M.C., Zahiri, S., & El Hémaid, A, *Transplantation des jeunes plantules d'arganier : effets combinés de techniques culturales et du stress hydrique*. Actes du colloque international : La forêt face à la désertification: "cas des Arganeraies". 26-28 octobre 1995, Agadir Maroc, 1995: p. 115-133.
110. Tarrier, M.R. and M. Benziane, *L'arganeraie marocaine se meurt: problématique et bio-indication*. Science et changements planétaires/Sécheresse, 2003. **14**(1): p. 60-62.
111. Chaussod R, Adlouni A, and C. R, *L'arganier et l'huile d'argane au Maroc : vers la mutation d'un système agroforestier traditionnel ? Enjeux et contribution de la recherche*. Cahiers Agricultures, 2005. **14**(4).
112. Venegas , C., et al., *Determination of coenzyme Q10, coenzyme Q9, and melatonin contents in virgin argan oils : comparison with other edible vegetable oils*. J Agric Food Chem, 2011.
113. Bani-Aameur, F., *Morphological diversity of argan (Argania spinosa (L.) Skeels) populations in Morocco* Forest Genetics, 2004. **11**(3/4): p. 311-316.
114. Msanda, F., A. Elaboudi, and J. Peltier, *Biodiversity and biogeography of Moroccan argan tree communities*. Cahiers Agricultures, 2005. **14**(4): p. 357-364.
115. GHALEM, S., et al., *Diversity index of argania spinosa l. Skeels plant formation in the algerian western sahara*. Bangladesh Journal of Botany, 2024. **53**(3): p. 447-457.
116. Zahran, M.A., *Climate-Vegetation : Afro-Asian Mediterranean and Red Sea Coastal Lands*. Vol. 4. 2010: Springer Science & Business Media.
117. Sandret, F., *La pulpe d'argane, composition chimique et valeur fourragère: variation en cours de la maturation*. Annales de la Recherche Forestière au Maroc, 1956: p. 152-177.
118. Merouane, A., A. Noura, and M. Khelifa Zoubir, *Estimation in vitro de la valeur énergétique de l'arganier en Algérie*. Livestock Research for Rural Development, 2014. **26**.
119. Khallouki, F., et al., *Ethnobotanic, ethnopharmacologic aspects and new phytochemical insights into moroccan argan fruits*. International journal of molecular sciences, 2017. **18**(11): p. 2277.
120. Khallouki , F., et al., *Consumption of argan oil (Morocco) with its unique profile of fatty acids, tocopherols, squalene, sterols and phenolic compounds should confer valuable cancer chemopreventive effects*. 2003 ; . Eur J Cancer Prev., 2003. **12**: p. 67-75.
121. Zougagh, M., Salghi, R., Dhair, S., & Rios, A, *Nanoparticle-based assay for the detection of virgin argan oil adulteration et its rapid quality evaluation*. Analytical et Bioanalytical Chemistry, 2011. **399**(7): p. 2395-2405.
122. Adil, F., *Morocco's Argan Sector: Confronting Obstacles to Sustainable Growth*, in *Morocco World News* 2024.
123. El Fasskaoui, B., *Fonctions, défis et enjeux de la gestion et du développement durables dans la Réserve de Biosphère de l'Arganeraie (Maroc)*. Études caribéennes, 2009. **12**.
124. Ait Hssaine, A., *Exploitation de la nappe phréatique dans la plaine des Chtouka, Souss, Maroc: comparaison de la situation actuelle avec celle des années soixante*. , . Mosella, 2001. **25**(3-4): p. 253-365.
125. Ait Hssaine, A., *Mutation d'un espace en bordure du désert par surexploitation de ses ressources hydriques: la dépression du Souss au Maroc*. Revue de géographie alpine, 2004. **92**(1): p. 29-38.

126. Moukal, A., *L'arganier, Argania spinosa L.(skeels), usage thérapeutique, cosmétique et alimentaire*. Phytothérapie, 2004. **2**(5): p. 135-141.
127. Vanden-Berghe, M., *L'arganier ou arbre à huile du Maroc. Revue des sciences naturelles appliquées*. Bulletin bimensuel de la société des sciences Nationale d'Acclimations de France, 1889. **4**(6): p. 397-399.
128. Sicard, P., *Revue de l'arbre en Oranie (Organe de la société des amis de l'arbre)*. Bulletin forsetier, 1957. **20**: p. 83.
129. Beladjemi, S. and R. Kechairi, *VARIETAL VARIABILITY OF ARGAN TREE FOLIAGE ARGANIA SPINOSA (L) SKEELS IN VARIOUS BIOCLIMATIC STAGES IN ALGERIA*. GENETICS AND BIODIVERSITY JOURNAL (GABJ), 2018. **2**(1): p. 1-8.
130. Benmammar, E.B.I., *Evaluation des plantations expérimentales de l'Arganier (Argania spinosa L. Skeels) par semis dans la wilaya de Mostaganem*, in *Département Des Ressources Forestières* 2019, UNIVERSITE DE TLEMCEM. p. 70.
131. Ould Safi, M., et al., *Argan tree cultivation in Algerian desert Sahara (case of Adrar Province)*. International Journal of Environmental Studies, 2023: p. 1-12.
132. Mariotti, A., et al., *Long-term climate change in the Mediterranean region in the midst of decadal variability*. Climate Dynamics, 2015. **44**: p. 1437-1456.
133. Tabet-Aoul, M., *Impacts du changement climatique sur les agricultures et les ressources hydriques au Maghreb*. Les notes d'alerte du CIHEAM, 2008(48).
134. Chabane, M., *Comment concilier changement climatique et développement agricole en Algérie?* Territoire en mouvement Revue de géographie et aménagement. Territory in movement Journal of geography and planning, 2012(14-15): p. 73-91.
135. Sari, A., *Hydrologie de surface, cours d'initiation*. Editions Distribution Houma, Houma, Alger, 2009: p. 429-436.
136. Bezzalla, A., S. Boudjabi, and H. Chenchouni, *Seedlings of Argan (Argania spinosa) from different geographical provenances reveal variable morphological growth responses to progressive drought stress under nursery conditions*. Agroforestry Systems, 2018. **92**: p. 1201-1211.
137. de Waroux, Y.L.P., *Environmental degradation and economic development in the argan woodlands of Aoulouz (Morocco)*. Science et changements planétaires/Sécheresse, 2013. **24**(1): p. 29-38.
138. Mouhaddab, J., et al., *ETUDE DU MODE DE REPRODUCTION ET DE DISSEMINATION DU POLLEN CHEZ L'ARGANIER (ARGANIA SPINOSA (L) SKEELS) BREEDING SYSTEM AND DISSEMINATION OF POLLEN IN THE ARGAN TREE (ARGANIA SPINOSA (L) SKEELS)*. American Journal of Innovative Research and Applied Sciences, 2016.
139. Lybbert, T.J., et al., *Booming markets for Moroccan argan oil appear to benefit some rural households while threatening the endemic argan forest*. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2011. **108**(34): p. 13963-13968.
140. Zahidi, A., Bani-Aameur, F., & El Mousadik, A, *Morphological Variability in Argan Seedlings (Argania Spinosa (L.) Skeels) et Its Implications for Selecting Superior Planting Material in Arid Environments*. International Journal of Agriculture et Forestry, 2014. **4**(6): p. 419-434.
141. Spittlehouse, D.L., *Integrating climate change adaptation into forest management*. The Forestry Chronicle, 2005. **81**(5): p. 691-695.
142. Emberger, L., *Une classification biogéographique des climats. rec. trav. lab. bot. géol. zool. fac. sci.* Montpellier, ser. bot, 1955. **7**: p. 3-43.
143. Bagnouls, F. and H. Gaussen. *Les climats biologiques et leur classification*. in *Annales de géographie*. 1957. JSTOR.
144. Stewart, P., *Quotient pluviométrique et d? gradation biosph? rique: quelques r? flexions*. Bull. Soc. Hist. Nat. Afrique du Nord, 1968. **59**: p. 1-4.
145. Gaussen, H. and F. BAGNOULS, *Saison sèche et indice xéothermique*. Toulouse, França: Université de Toulouse, Facultéi dès Sciences, 1953.

146. Rondeux, J., *La mesure des arbres et des peuplements*, 1993, Presses agronomiques de Gembloux, 521p.
147. data, c. *climate data*. 2022 [cited 2022; Available from: <https://fr.climate-data.org/>].
148. ANRH&ONM in Benhamiche, N., K. Madani, and B. Laignel, *Impact of climate changes on water resources in Algeria*. Vulnerability of agriculture, water and fisheries to climate change: toward sustainable adaptation strategies, 2014: p. 193-205.
149. Emberger, L., *Le domaine naturel de l'arganier*. Bulletin de la Société botanique de France, 1925. **72**(4): p. 770-774.
150. Feng, S., et al., *Evaluating observed and projected future climate changes for the Arctic using the Köppen-Trewartha climate classification*. Climate Dynamics, 2012. **38**: p. 1359-1373.
151. Rabhi, K., et al., *Bilan et croissance des reboisements de cèdre de l'Atlas, Cedrus atlantica (Endl.) Carrière, en Algérie: cas du Djurdjura et de l'Atlas blidéen*. BOIS & FORETS DES TROPIQUES, 2018. **337**: p. 3-15.
152. Maire, R. and E. Wilczek, *Sur la végétation du Sahara occidental*1935: Académie des sciences.
153. Kechairi, R., *Étude de l'arganeraie de Tindouf : État des lieux, contraintes et perspectives de son développement*, in *Département des ressources forestières*2018, Université de Tlemcen: Algérie. p. 196.
154. Sebaa, H. and M.K. Harche, *Anatomical structure and ultrastructure of the endocarp cell walls of Argania spinosa (L.) Skeels (Sapotaceae)*. Micron, 2014. **67**: p. 100-106.
155. Khallouki, F., et al., *Secondary metabolites of the argan tree (Morocco) may have disease prevention properties*. African Journal of Biotechnology, 2005. **4**(5): p. 381-388.
156. Swenson, U. and A.A. Anderberg, *Phylogeny, character evolution, and classification of Sapotaceae (Ericales)*. Cladistics, 2005. **21**(2): p. 101-130.
157. BENDELLAA, H., et al., *Morphometric characteristics of Argan seeds Argania spinosa (L.) Skeels in Algeria according to provenances*. Genetics & Biodiversity Journal, 2023. **7**(2): p. 109-119.
158. Louati, M., et al., *Genetic, morphological, and biochemical diversity of argan tree (Argania spinosa L.)(sapotaceae) in Tunisia*. Plants 8: 319, 2019.
159. Phillips, S.J., R.P. Anderson, and R.E. Schapire, *Maximum entropy modeling of species geographic distributions*. Ecological modelling, 2006. **190**(3-4): p. 231-259.
160. Carter, T.R., et al., *New assessment methods and the characterisation of future conditions*. 2007.
161. Medejerab, A. and L. Henia, *Variations spatio-temporelles de la sécheresse climatique en Algérie nord-occidentale*. Courrier du Savoir(in archives.univ-biskra.dz), 2011. **11**(11): p. 71-79.
162. Golodets, C., et al., *Climate change scenarios of herbaceous production along an aridity gradient: vulnerability increases with aridity*. Oecologia, 2015. **177**: p. 971-979.
163. Ouled Belgacem, A. and M. Louhaichi, *The vulnerability of native rangeland plant species to global climate change in the West Asia and North African regions*. Climatic Change, 2013. **119**: p. 451-463.
164. Simenel, R., et al., *L'argan: l'huile qui cache la forêt domestique De la valorisation du produit à la naturalisation de l'écosystème*. Autrepart, 2009(2): p. 51-73.
165. Ferradous, A., et al., *Mise en application opérationnelle du test de viabilité au tétrazolium chez les semences d'arganier (Argania spinosa) stockées pendant plusieurs années*. Canadian Journal of Forest Research, 2017. **47**(9): p. 1286-1292.
166. Pearson, R.G. and T.P. Dawson, *Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful?* Global ecology and biogeography, 2003. **12**(5): p. 361-371.
167. Thuiller, W., et al., *Predicting global change impacts on plant species' distributions: future challenges*. Perspectives in plant ecology, evolution and systematics, 2008. **9**(3-4): p. 137-152.

168. Elith, J., et al., *A statistical explanation of MaxEnt for ecologists*. Diversity and distributions, 2011. **17**(1): p. 43-57.
169. Baldwin, R.A., *Use of maximum entropy modeling in wildlife research*. Entropy, 2009. **11**(4): p. 854-866.
170. Morton, J.F. and G.L. Voss, *The argan tree (Argania sideroxylon, Sapotaceae), a desert source of edible oil*. Economic Botany, 1987. **41**(2): p. 221-233.
171. Prendergast, H.D. and C.C. Walker, *The argan: multipurpose tree of Morocco*. The Kew Magazine, 1992. **9**(2): p. 76-85.
172. Hooker, W.J., *On the "Argan" Tree of Morocco (Argania Sideroxylon)*. Hooker's Journal of Botany and Kew Garden Miscellany, 1854. **6**: p. 97-107.
173. Crespo Villalba, M.B., E. Camuñas, and J.C. Cristóbal Fernanz, *PRECISIONES COROLÓGICAS Y TAXONÓMICAS SOBRE LA FLORA DE ALICANTE*. Flora Montiberica 2007. **36**: p. 52-64.
174. Al-Menaie, H. and A. Al-Shatti, *Growing Argan trees under Kuwait's harsh environmental Conditions*. Actes du 2e Congrès international de l'arganier, Agadir, 9–11 décembre, 2013: p. 174-177.
175. Gargano, M., et al., *Acclimatization, distribution and potential economic use of Argania spinosa (Sapotaceae) in southern Italy*. FLORA MEDITERRANEA, 2021. **31**: p. 173-181.
176. Calvet, C., *Interprétation hydrique de la notion d'étage de végétation selon L. Emberger: application au Maroc (Meteoric water and Emberger's vegetation levels in Morocco)*. Bulletin de l'Association de Géographes Français, 1979. **56**(464): p. 331-339.
177. Kumar, S. and T.J. Stohlgren, *Maxent modeling for predicting suitable habitat for threatened and endangered tree Canacomyrica monticola in New Caledonia*. Journal of Ecology and natural Environment, 2009. **1**(4): p. 94-98.
178. Elith, J., et al., *Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data*. Ecography, 2006. **29**(2): p. 129-151.
179. Philips, S.j., M. Dukik, and R.E. Schapire, *Maxent software for modeling species niches and distribution (3.4.1)*, 2023.
180. Phillips, S.J. and M. Dudík, *Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation*. Ecography, 2008. **31**(2): p. 161-175.
181. Wisz, M.S., et al., *Effects of sample size on the performance of species distribution models*. Diversity and distributions, 2008. **14**(5): p. 763-773.
182. Pearson, R.G., et al., *Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar*. Journal of biogeography, 2007. **34**(1): p. 102-117.
183. Hernandez, P.A., et al., *The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods*. Ecography, 2006. **29**(5): p. 773-785.
184. Fick, S.E. and R.J. Hijmans, *WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas*. International journal of climatology, 2017. **37**(12): p. 4302-4315.
185. Baldy, C., *Comportement des blés dans les climats méditerranéens*. Ecologia mediterranea, 1986. **12**(3): p. 73-88.
186. Nouaceur, Z., B. Laignel, and I. Turki, *Changements climatiques au Maghreb: vers des conditions plus humides et plus chaudes sur le littoral algérien?* Physio-Géo. Géographie physique et environnement, 2013(Volume 7): p. 307-323.
187. (ONM), O.N.d.I.M. *le climat en Algerie*. 2021. DOI: <https://www.meteo.dz/articles/Climat>.
188. Nedjraoui, D., *Country pasture/forage resource profiles*. Algeria. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2001.
189. Djellouli, Y., *Flores et climats en Algérie septentrionale. Déterminismes climatiques de la répartition des plantes*, in *Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene. Alger 1990*, USTHB.Alger.
190. Cosandey, C. and M. Robinson, *Chapitre 1 - Les précipitations. Hydrologie continentale*. Paris: Armand Colin ed2012. 21-63.

191. Mahlstein, I., J.S. Daniel, and S. Solomon, *Pace of shifts in climate regions increases with global temperature*. Nature Climate Change, 2013. **3**(8): p. 739-743.
192. Bensaâd, A., *Climat et potentialités agricoles en Algérie*. Travaux de l'Institut de Géographie de Reims, 1994. **85**(1): p. 5-14.
193. Schilling, J., et al., *Climate change, vulnerability and adaptation in North Africa with focus on Morocco*. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2012. **156**: p. 12-26.
194. Bencherif, S., *L'élevage pastoral et la céréaliculture dans la steppe algérienne. Évolution et possibilités de développement*, 2011, AgroParisTech.
195. Hanley, J.A. and B.J. McNeil, *The meaning and use of the area under a receiver operating characteristic (ROC) curve*. Radiology, 1982. **143**(1): p. 29-36.
196. Hoffman, J.D., et al., *Predicting potential occurrence and spread of invasive plant species along the North Platte River, Nebraska*. Invasive Plant Science and Management, 2008. **1**(4): p. 359-367.
197. Yan, H., et al., *Prediction of the spatial distribution of Alternanthera philoxeroides in China based on ArcGIS and MaxEnt*. Global Ecology and Conservation, 2020. **21**: p. e00856.
198. Phillips, S., *A brief tutorial on Maxent*. American Museum of Natural History, 2017.
199. Tahrouch, S., et al., *Phenolic compounds of Argan tree, Argania spinosa (endemic species of South Western Morocco)*. TOJSAT, 2011. **1**(4): p. 17-23.
200. Kechairi, R., M. Ould Safi, and B. Benmahiou, *Etude comparative de deux plantations d'Argania spinosa (L.) Skeels (Sapotaceae) dans le Sahara Occidental Algérien (Tindouf et Adrar)*. International Journal of Environmental Studies, 2017. **75**(2): p. 294-308.
201. MOUMENI, A., *ETUDE DES TECHNIQUES TRADITIONNELLES D'IRRIGATION DANS LA REGION DE TIMIMOUN.(Gourara)*, 2018, université ibn khaldoun-tiaret.
202. BERKANE, A., *L'EFFET DE L'ORIENTATION D'UN BATIMENT SUR LE POTENTIEL DE VENTILATION NATURELLE DANS LES REGIONS A CLIMAT CHAUD ET SEC (BECHAR, ADRAR, TAMANRASSET)*, 2019, Université Mohamed Khider-Biskra.
203. S Meradi, Z.B., et al., *L'élevage ovins dans les zones oasiennes; cas de la wilaya de Biskra (Algérie)*. 2016.
204. Emberger, L., *À propos de la distribution géographique de l'arganier*. Bulletin de la Société des sciences naturelles du Maroc, 1924. **4**(7): p. 151-153.
205. Quézel, P., *Réflexions sur l'évolution de la flore et de la végétation au Maghreb méditerranéen*. Vol. 1. 2000: Ibis Press Paris.
206. Reclus, E., *Nouvelle géographie universelle*. Vol. 2. 1885: Hachette.
207. Capus, G. and D. Bois, *Les produits coloniaux: origine, production, commerce*1912: A. Colin.
208. Chevalier, A., *L'argan, les marmulanos et les noyers, arbres d'avenir en Afrique du nord, en Macaronésie et dans les régions semi-désertiques du globe si on les protège et si on les améliore*. Rev. Int. Bot. Appl. Agric. Trop, 1953: p. 165-168.
209. Kechairi, R., *Structure élémentaire de l'arganeraie Argania spinosa L. Skeels de Tindouf (Sahara occidental algérien)*. Ecologia mediterranea, 2021. **47**(2).
210. Koutoua, A., *Analyse écologique, phytosociologique et évaluation des bilans des plantations à arganier (Argania spinosa) en vue de la régénération et de la réhabilitation de ses écosystèmes naturels (Région d'Agadir, Taroudant et Tiznit, DREF/SO, Maroc)*. Mémoire de 3ème cycle, ENFI, Salé, Maroc, 113p, 2006.
211. Kouzmine, Y., *L'espace saharien algérien, Dynamiques démographiques et migratoires*, 2003, Laboratoire THEMA, Institut de Géographie, Université de Franche-Comté.
212. Dubief, J., *le climat du Sahara*. Vol. 2. 1963: Institut de Recherches Sahariennes, Alger. 298.
213. KECHEBAR, M.S.A., *CARACTERISATION DE L'ARGANIER (Argania spinosa L.) EN ALGERIE ET IMPACT DE LA SALINITE*, in *Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département de Biologie et Ecologie Végétale*2016, Université Des Frères Mentouri Constantine.
214. Djellouli, Y., *Étude climatique et bioclimatique des hauts plateaux du Sud Oranais Wilayade Saida*, 1981, Université des Sciences et de la Technologie H. BOUMEDIENE. Alger.

215. Graham, C.H., et al., *New developments in museum-based informatics and applications in biodiversity analysis*. Trends in ecology & evolution, 2004. **19**(9): p. 497-503.
216. Fortunel, C., et al., *Environmental factors predict community functional composition in Amazonian forests*. Journal of Ecology, 2014. **102**(1): p. 145-155.
217. Nouaim, R. and R. Chaussod, *Rôle des mycorhizes dans l'alimentation hydrique et minérale des plantes, notamment des ligneux de zones arides*. Cahiers options méditerranéennes, 1996. **20**.
218. Guisan, A. and W. Thuiller, *Predicting species distribution: offering more than simple habitat models*. Ecology letters, 2005. **8**(9): p. 993-1009.
219. Peterson, A.T. and J. Soberón, *Species distribution modeling and ecological niche modeling: getting the concepts right*. Natureza & Conservação, 2012. **10**(2): p. 102-107.
220. Azzopardi, B., et al., *Climate and environmental change in the Mediterranean basin—Current situation and risks for the future*, 2020, MedECC: First Mediterranean assessment report (MAR1).
221. Mohamed, Z., et al., *Microbial activities and physicochemical properties of coniferous forest soils in two forest areas (arid and semi-arid) of western Algeria*. Revista Bosque, 2019. **40**(2): p. 163-171.
222. Kechairi, R., *Structure élémentaire de l'arganeraie Argania spinosa L. Skeels de Tindouf (Sahara occidental algérien)* Ecologia mediterranea, 2021. **27**(2): p. 73-84.
223. Benlahbil, S., et al., *Seasonal variability in flowering phenology in three natural populations of Argania spinosa (L.) Skeels*. International Journal of Agriculture and Forestry, 2015. **5**(4): p. 249-266.
224. Meslem, H., et al., *Effect of water deficit on Argan tree seedlings (Argania spinosa L. Skeels): Morphological and physiological aspect*. African Journal of Biotechnology, 2015. **14**(12): p. 1020-1028.
225. Chevalier, A., *Les Sapotacées à graines oléagineuses et leur avenir en culture*. Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée, 1943. **23**(260): p. 97-159.
226. Baumer, M. and L. Zeraïa, *La plus continentale des stations de l'arganier en Afrique du nord*. Revue forestière française, 1999. **51**(3): p. 446-452.
227. Djebbouri, K., et al., *Potential regions for Argan tree plantations in Algeria using MaxEnt bioclimatic modelling*. International Journal of Environmental Studies, 2024: p. 1-13.
228. Beladjemi, S. and R. Kechairi, *Varietal Variability of argan tree foliage Argania spinosa (L) Skeels in various bioclimatic stages in Algeria*. Genetics Biodiversity Journal, 2018. **2**(1): p. 1-8.
229. Müftüoğlu, N.M., C. Türkmen, and Y. Çıkılı, *Toprak ve bitkide verimlilik analizleri 2014*: Nobel Akademik Yayıncılık.
230. Kaddour, D., *Contribution à la connaissance des sols du Nord de l'Algérie*, 2000, INA.
231. Mikko, S., *Micronutrients and the nutrient status of soils: a global study*, in *FAO SOILS BULLETIN* 1982: ROME.
232. Estefan, G., R. Sommer, and J. Ryan, *Methods of Soil, Plant, and Water Analysis* 2013.
233. Le Houérou, H.N., *The shrublands of Africa. (in Fodder trees and shrubs in range and farming systems in North Africa (by A. El Aich))*. Legume trees and other fodder trees as protein sources for livestock, 1989.
234. El Aich, A., *Fodder trees and shrubs in range and farming systems in North Africa*. Legume Trees and Other Fodder Trees as Protein Sources for Livestock. FAO Animal Production and Health, Paper, 1992. **102**: p. 61-73.
235. Kechairi, R., et al., *Pastoral structure in Tindouf's argan grove (Algerian Sahara)*. Brazilian Journal of Animal and Environmental Research, 2025. **8**(1): p. 1-10.
236. Cherrouf, Z., *Valorisation de l'arganier : résultats et perspectives*. . Actes du 5e colloque produits naturels d'origine végétale (Québec 7-9 août 2001), Université du Québec, Chicoutimi, Québec pp : 261-270., 2002.

237. Radi, N., *L'Arganier arbre du sud ouest marocain, en péril, aprotéger*, 2003, Université de Nantes, France.
238. FELLAT-ZARROUK, K., S. SMOUGHEN, and R. MAURIN, *Etude de la pulpe du fruit de l'arganier (Argania spinosa L. Skeels) du Maroc. Matière grasse et latex*. Acts Inst. Agro. Vét. Rabat, 1987: p. 17-22.
239. Tisserand, J.L., *Présentation des tables de la valeur alimentaire pour les ruminants des fourrages et sous-produits d'origine méditerranéenne*. 1991.
240. AOAC, *Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis*. 15th ed ed1990, Arlington, VA, USA.
241. Van Soest, P.J., J.B. Robertson, and B.A. Lewis, *Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition*. Journal of Dairy Science, 1991. **74**(10): p. 3583–3597.
242. INRA, *Alimentation des bovins, ovins et caprins ; Besoins des animaux – Valeurs des aliments (Tables Inra 2007)*2010.
243. FOSS, *Analyse des fibres en nutrition animale (Insoluble cellulosique, fibre au détergent neutre et fibre au détergent acide – Méthodes officielles et possibilités d'automatisation*, 2018.
244. Nacima, Z.-Z., *Valeur nutritive des ressources fourragères utilisées en Algérie*, 2015, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou.

تثمين غراسات شجرة الأركان (*Argania spinosa* (L)) في الجزائر

ملخص

في الجزائر يتواجد شجر الأركان (*Argania spinosa*) في حالته الطبيعية في الشمال الغربي من ولاية تندوف، حيث يواجه تهديدات متزايدة ناجمة عن استمرار الجفاف والضغط البشرية. وفي هذا السياق، تُعد حماية هذا النوع النباتي ضرورة ملحة من خلال تنفيذ عمليات غرس موجهة داخل مجاله الطبيعي (*In-situ*) وخارجه (*Ex-situ*). يهدف هذا العمل إلى جرد الوضع الراهن لغراسات الأركان في الجزائر ودراسة القياسات الشجرية (الدندرومترية)، إضافة إلى تحديد المناطق البيئية الملائمة لزراعته اعتماداً على النمذجة البيئية MaxEnt، كما تم تحليل خصائص كيميائية للتربة في ثلاث مواقع غرس الأركان و تم تقييم القيمة الغذائية العلفية لأوراقه. أظهرت الملاحظات الميدانية أن غراسات الأركان تبقى محدودة جداً من حيث المساحة، إذ لا يتجاوز عدد الأشجار في أغلب المواقع خمسين شجرة. كما تبين أن معظم هذه الغراسات تقع في المحطات التجريبية التابعة للمعاهد الفلاحية والغابية. ويُعزى هذا الوضع إلى ضعف إنتاج الشتلات في المشاتل نتيجة انخفاض نسب الإنبات وارتفاع معدلات نفوق الشتلات. كما أن نسبة الوفيات خلال السنة الأولى بعد الغرس تتجاوز في الغالب 90%، مما يؤدي غالباً إلى فشل كلي دون بقاء أي نبتة على قيد الحياة، وهو ما يجعل إنجاح عمليات الغرس صعباً للغاية. أظهرت القياسات الشجرية أن نمو الأركان يتأثر بشكل واضح بنوعية المناخ، حيث تكون نسبة النمو أعلى في المناخ شبه الرطب مقارنةً بالمناخين شبه الجاف والصحراوي. كما لوحظ وجود اختلافات في مساحة ومحيط الأوراق بين المواقع المدروسة، مما يعكس تنوعاً ظاهرياً (فوتوبياً) واضحاً. ومن خلال النمذجة البيئية باستخدام برنامج MaxEnt، تبين أن الشمال الغربي للجزائر يُعد المنطقة الأكثر ملاءمة لغرس الأركان، بينما تُعد المناطق الصحراوية والسهوبية أقل ملاءمة من الناحية البيومناخية. وتتوافق هذه النتائج مع المتطلبات البيئية المعروفة للأركان، خصوصاً من حيث كميات الأمطار السنوية ($160 \text{ mm} < P < 1400 \text{ mm}$) ودرجات الحرارة الدنيا ($2,5^\circ\text{C} < T_{\text{min}} < 6,5^\circ\text{C}$). أما بالنسبة لولاية تندوف، فيُظهر شمال الولاية أنه الأنسب لزراعة الأركان في البيئة الصحراوية وفقاً لنتائج نموذج MaxEnt. من الناحية الإدايفية (الترايبية)، يُظهر الأركان قدرة كبيرة على التكيف، إذ يستطيع النمو في تربة فقيرة نسبياً دون الحاجة إلى نسب مرتفعة من العناصر الغذائية (الفوسفور، البوتاسيوم والأزوت). كما أن تركيز هذه العناصر في الأوراق لا يرتبط مباشرةً بمحتواها في التربة السطحية وتُشتم أوراق الأركان بـ قيمة غذائية معتبرة، إذ تحتوي على نسبة منخفضة من الألياف (> 17%)، وعلى البروتينات (< 10%) والمواد الدهنية (< 3%)، إضافة إلى قيمة علفية مرتفعة تُقدَّر بـ 0.91 وحدة غذائية للحليب (UFL) و0.83 وحدة غذائية للحم (UFV).

الكلمات المفتاحية: شجرة الأركان، الوضعية الحالية، الغراسات، المناخ الحيوي، التربة، القيمة العلفية، الجزائر.

Valorisation des plantations à arganier *Argania spinosa* (L) en Algérie

Résumé

En Algérie, l'arganier (*Argania spinosa*) se trouve à l'état naturel dans le nord-ouest de la wilaya de Tindouf, où il fait face à des menaces croissantes liées à la persistance de la sécheresse et à la pression anthropique. Dans ce contexte, la préservation de cette espèce apparaît comme une nécessité urgente, à travers la mise en œuvre de plantations assistées à la fois dans son aire naturelle (*in-situ*) et en dehors de celle-ci (*ex-situ*). Ce travail vise à dresser l'état actuel des plantations d'arganier en Algérie, à étudier leurs paramètres dendrométriques, et à identifier les zones écologiques favorables à son implantation à l'aide de la modélisation environnementale (MaxEnt). Par ailleurs, des caractéristiques chimiques des sols de trois sites de plantation ont été analysées, et la valeur nutritive des feuilles a été évaluée. Les observations de terrain montrent que les plantations d'arganier restent très limitées en superficie : dans la majorité des sites, le nombre d'arbres ne dépasse pas une cinquantaine. La plupart de ces plantations se situent dans des stations expérimentales relevant d'instituts agricoles et forestiers. Cette situation s'explique par la faible production de plants dans les pépinières, due à un faible taux de germination et à une forte mortalité des jeunes plants. Le taux de mortalité au cours de la première année après la plantation dépasse généralement 90 %, entraînant souvent un échec total sans survie d'aucun individu, ce qui rend la réussite des opérations de reboisement extrêmement difficile. Les mesures dendrométriques ont révélé que la croissance de l'arganier est fortement influencée par le type de climat : elle est plus élevée en climat sub-humide qu'en climats semi-aride et saharien. Des différences significatives ont également été observées dans la surface et la circonférence des feuilles entre les sites étudiés, traduisant une variabilité phénotypique marquée. La modélisation environnementale réalisée avec le logiciel MaxEnt a montré que le nord-ouest de l'Algérie constitue la zone la plus favorable à la plantation de l'arganier, tandis que les régions steppiques et désertiques apparaissent moins adaptées d'un point de vue bioclimatique. Ces résultats concordent avec les exigences écologiques connues de l'espèce, notamment en ce qui concerne les précipitations annuelles ($160 \text{ mm} < P < 1400 \text{ mm}$) et les températures minimales ($2,5^\circ\text{C} < T_{\text{min}} < 6,5^\circ\text{C}$). Pour la wilaya de Tindouf, la partie nord ressort comme la plus adaptée à la plantation de l'arganier en milieu saharien selon les résultats du modèle MaxEnt. Sur le plan édaphique, l'arganier montre une grande capacité d'adaptation, pouvant se développer sur des sols relativement pauvres sans exiger des teneurs élevées en éléments nutritifs (le phosphore, le potassium et l'azote). De plus, la concentration de ces éléments dans les feuilles n'est pas directement corrélée à leur contenu dans le sol superficiel. Les feuilles d'arganier présentent une valeur nutritionnelle intéressante, avec une faible teneur en fibres (< 17 %), une richesse en protéines (> 10 %) et en matières grasses (> 3 %), ainsi qu'une valeur fourragère élevée estimée à 0.91 UFL (unité fourragère lait) et 0.83 UFV (unité fourragère viande).

Mots clés : *Argania spinosa*, état des lieux, plantations, bioclimat, sol, valeur fourragère, Algérie.

Valorization of Argan Tree *Argania spinosa* (L) Plantations in Algeria

Abstract

In Algeria, the argan tree (*Argania spinosa*) occurs naturally in the north-west of the wilaya of Tindouf, where it faces increasing threats linked to the persistence of drought and anthropogenic pressure. In this context, the preservation of this species appears as an urgent necessity through the implementation of assisted plantations both within its natural range (*in-situ*) and outside it (*ex-situ*). This work aims to establish the current state of argan tree plantations in Algeria, to study their dendrometric parameters, and to identify the ecological areas suitable for its establishment using environmental modeling (MaxEnt). In addition, the chemical characteristics of the soils of three plantation sites were analyzed, and the nutritional value of the leaves was evaluated. Field observations show that argan plantations remain very limited in area: in most sites, the number of trees does not exceed fifty. Most of these plantations are located in experimental stations belonging to agricultural and forestry institutes. This situation is explained by the low production of plants in nurseries, due to a low germination rate and high mortality of young plants. The mortality rate during the first year after planting generally exceeds 90%, often leading to total failure with no surviving individuals, which makes the success of reforestation operations extremely difficult. Dendrometric measurements revealed that the growth of the argan tree is strongly influenced by the type of climate: it is higher in sub-humid climates than in semi-arid and Saharan climates. Significant differences were also observed in the surface area and circumference of the leaves between the studied sites, reflecting marked phenotypic variability. Environmental modeling carried out with the MaxEnt software showed that the north-west of Algeria constitutes the most favorable area for argan tree planting, while steppe and desert regions appear less suitable from a bioclimatic point of view. These results are consistent with the known ecological requirements of the species, particularly regarding annual precipitation ($160 \text{ mm} < P < 1400 \text{ mm}$) and minimum temperatures ($2.5^\circ\text{C} < T_{\text{min}} < 6.5^\circ\text{C}$). For the wilaya of Tindouf, the northern part appears to be the most suitable for argan tree planting in the Saharan environment according to the results of the MaxEnt model. From an edaphic point of view, the argan tree shows a great capacity for adaptation, being able to develop in relatively poor soils without requiring high levels of nutrients (phosphorus, potassium, and nitrogen). Moreover, the concentration of these elements in the leaves is not directly correlated with their content in the surface soil. The leaves of the argan tree present an interesting nutritional value, with a low fiber content (< 17%), a richness in proteins (> 10%) and fats (> 3%), as well as a high forage value estimated at 0.91 UFL (milk forage unit) and 0.83 UFV (meat forage unit).

Keywords: *Argania spinosa*, assessment, plantations, bioclimate, soil, forage value, Algeria.