

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université MUSTAPHA STAMBOULI
Mascara



جامعة مصطفى أسطembولي
معسكر

FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE

THESE

POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE DOCTORAT EN SCIENCES

FILIERE : SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

**Contribution à l'étude des caractéristiques écologiques, édaphiques,
et micro-rhizosphériques de site de plantation de l'arganier dans la région
de Mascara (Algérie)**

Présentée par : MOKEDDEM Sara

Soutenue le 04/12/2025 à la bibliothèque de la faculté SNV devant le jury composé de :

Mr. BELGHERBI Benamar	Maître de conférences A	Président	Université de Mascara
Mr. BOUKHARI Yahia	Maître de conférences A	Examineur	Université de Mascara
Mr. BENCHIIHA Walid	Maître de conférences A	Examineur	Université de Relizane
Mr. MEGHARBI Ahmed	Maître de conférences A	Examineur	Université de Relizane
Mr. KECHAIRI Redha	Maître de conférences A	Examineur	Université de Tlemcen
Mr. MILOUDI Ali	Professeur	Directeur de Thèse	Université de Mascara

Année universitaire : 2024/2025.

Remerciements

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à toutes les personnes qui m'ont soutenu dans la préparation de ce projet de thèse.

Je remercie tout particulièrement Monsieur Ali MILOUDI, Professeur à l'Université de Mascara, pour avoir accepté de diriger ce travail et pour ses précieux conseils.

Ma gratitude s'adresse également à :

*Monsieur Benamar BELGHERBI, pour avoir accepté de présider le jury,
Monsieur Yahia BOUKHARI, Monsieur Oualid BENCHIHA, Monsieur Ahmed MEGHARBI et
Monsieur Redha KECHAIRI, pour leur disponibilité et leur engagement en tant que membres
du jury.*

*À toutes celles et ceux qui ont, de près ou de loin, contribué à ce travail, je tiens à adresser
l'expression de ma sincère reconnaissance.*

Sara Mokeddem

Dédicaces

À ceux qui m'ont aidée à tout surmonter, qui m'ont soutenue et encouragée :

À mes parents, pour leur amour et leurs prières constantes,

À mon époux Redha, pour sa patience et sa compréhension,

À mon fils Zakaria et ma fille Inès, source de ma motivation,

À mes frères Mohammed Hanafi et Abdelkader, pour leur présence.

Sara Mokeddem

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS

DEDICACE

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

LISTE DES ABRÉVIATIONS

Introduction générale	1
CHAPITRE I : Synthèse bibliographique	4
1. Historique	4
2. Distribution géographique	4
2.1 En Méditerranée	4
2.2 Au Maroc	5
2.3 En Algérie.....	5
3. Systématique	6
4. Caractères morphologiques	7
4.1 Bois.....	7
4.2 Système racinaire	8
4.3 Rameaux.....	9
4.4 Tronc	9
5. Caractères écologiques et botaniques de l'arganier.....	10
5.1 Écologie de l'arganier	10
5.1.1 Conditions climatiques	10
– Humidité.....	10
– Pluviométrie	11
– Température.....	11
– Altitude	11
5.1.2 Conditions édaphiques.....	12
5.1.3 Phénologie	12
5.1.3.1 Observations au Maroc	13
5.1.3.2 Observations en Algérie	14
5.1.4 Cortège floristique	16
5.2 Caractères botaniques.....	17
5.2.1 Feuilles	18
5.2.2 Fleurs	19
5.2.3 Fruit	19
5.2.4 Graine	20
5.2.5 Pulpe.....	21
6. Régénération de l'arganier	21
6.1 Par semis.....	21
6.2 Par rejets de souche	21
6.3 Par multiplication végétative.....	22
7. Usages et intérêts de l'arganier.....	22
7.1 Bois.....	23
7.2 Fourrage.....	23
7.3 Huile d'argan.....	24
8. Causes de dégradation	25
8.1 Actions anthropiques	25
8.1.1 Défrichement	25
8.1.2 Surexploitation	25
8.2 Surpâturage.....	26
8.3 Ennemis naturels	26
9. Problème de régénération naturelle	29

CHAPITRE II : Essais de germination A Mascara	30
1. Introduction	31
2. Semence	31
3. Germination.....	31
4. Dormance	31
5. Stratification.....	32
6. Matériels et méthodes.....	32
6.1 Origine des semences	32
6.2 Description de la serre	33
6.2.1 Caractéristiques géographiques et techniques	33
6.3 Méthode de stratification.....	34
2.3.1 Disposition expérimentale	34
2.3.2 Tunnel de stratification.....	34
6.4 Protocole expérimental.....	35
2.4.1 Germination par stratification.....	36
7. Suivi de germination	37
CHAPITRE III : Transplantation au site : C.E.T El Keurt (Mascara)	39
1. Introduction	39
2. Objectif de l'essai.....	39
3. Présentation de la zone d'étude	40
4. Situation géographique.....	40
4.1 Aspect socio-économique.....	41
4.2 Géologie	41
4.3 Hydrogéologie	43
4.4 Pentes.....	44
4.5 Exposition.....	44
4.6 Altimétrie.....	46
5. Étude climatique.....	46
5.1 Précipitations	47
5.2 Températures	48
5.2.1 Maximales	48
5.2.2 Minimales	48
5.3 Synthèse climatique.....	49
5.4 Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen	49
5.4.1 Climagramme d'Emberger	50
5.5 Autres facteurs climatiques	52
5.5.1 Vent	52
5.5.2 Humidité.....	52
5.5.3 Gelée.....	53
6. Étude pédologique	54
6.1 Objectifs	54
6.2 Choix de l'emplacement.....	54
6.3 Analyses en laboratoire	55
6.4 Matériel et méthode de l'étude pédologique	55
6.4.1 Phase de bureau	55
6.4.2 Phase de terrain.....	55
6.4.2.1 Relevés géologiques et topographiques.....	56
6.4.2.2 Évaluation des éléments superficiels	56
6.4.2.3 Litière	56
6.4.2.4 Éléments grossiers	57
6.4.2.5 Profil pédologique	57
6.4.3 Méthodologie laboratoire	55
6.4.3.1 Analyse granulométrique.....	57
6.4.3.2 Hydrométrie.....	58

6.4.3.3 Perméabilité.....	58
6.4.3.4 pH	59
6.4.3.5 Conductivité électrique.....	59
6.4.3.6 Cations (K^+ , Ca^{2+} , Na^+).....	59
6.4.3.7 Calcaire total.....	60
6.4.3.8 Matière organique.....	60
6.5 Résultats et interprétation	61
7. Période de transplantation	64
8. Préparation du sol au C.E.T.....	65
8.1 Choix de la zone	65
8.2 Choix des jeunes plants d'arganier.....	65
8.3 Travail préliminaire en pépinière	65
8.4 Ouverture des potêts	66
8.5 Mise en terre	66
8.6 Arrosage	67
CHAPITRE IV : Résultats et discussion	68
I – Germination par stratification	68
1. A 20 °C	68
2. A 25 °C	69
3. A 30 °C	69
4. Taux cumulés de germination	70
4.1 Selon la température	70
4.2 Selon le prétraitement.....	72
4.3 Selon les provenances.....	73
5. Précocité de germination	75
5.1 Durée	75
5.2 Vitesse	76
5.3 Taux quotidien.....	76
5.4 Taux final	76
5.5 Temps moyen et vitesse moyenne.....	76
5.6 Coefficient de vélocité.....	76
6. Interprétation des résultats.....	78
6.1 Taux de reprise	78
6.2 Effet du prétraitement.....	78
6.3 Effet de la température	79
6.4 Effet des provenances.....	80
7. Discussion	80
II – Transplantation des plants au C.E.T El Keurt.....	82
1. Comportement post-transplantation	82
1.1 Croissance en hauteur.....	82
1.2 Corrélation hauteur/diamètre.....	84
1.3 Corrélation hauteur/âge	85
2. Discussion	85
CHAPITRE V : Etude phénologique.....	87
1. Introduction	87
2. Caractéristiques phénologiques de l'arganier.....	88
3. Matériel et méthode.....	89
4. Comportement phénologique dans notre zone d'étude	89
5. Discussion	92
Conclusion et perspectives	95
Références bibliographiques.....	98
Annexes	106

Résumé
Abstract
المخلص

LISTE DES ABREVIATIONS

C.E.T	: Centre d'Enfouissement Technique
Ca ²⁺	: Ion calcium
CaCO ₃	: Carbonate de calcium
CE (μS/cm)	: Conductivité Électrique (microsiemens par centimètre)
cm	: Centimètre
CO ₂	: Dioxyde de carbone
°E	: Degré Est (coordonnée géographique)
ENSA	: École Nationale Supérieure Agronomique
°N	: Degré Nord (coordonnée géographique)
GPS	: Global Positioning System
h	: Heure
Ha	: Hectare
H	: Hydrogène (élément chimique)
INA	: Institut National Agronomique
INRF	: Institut National de la Recherche Forestière
ITMAS	: Institut Technique des Métiers de l'Agriculture Saharienne
K ⁺	: Ion potassium
km	: Kilomètre
km ²	: Kilomètre carré
m	: Mètre
mg/L	: Milligrammes par litre
ml	: Millilitre
Mo	: Matière organique
Na ⁺	: Ion sodium
PAPC	: Président de l'Assemblée Populaire Communale
pH	: Potentiel hydrogène
PVC	: Polychlorure de vinyle
UV	: Ultra-violet

LISTE DES FIGURES DANS LE TEXTE

Figure 1. Aire de répartition de l'arganier au Maroc et en Algérie	6
Figure 2a. Caractères morphologiques de l'arganier.....	8
Figure 2b. Caractères botaniques de l'arganier	9
Figure 3. Cycles de la phénologie de l'arganier de Tindouf et Adrar	13
Figure 4. Phénologie complète de l'arganier.....	15
Figure 5. Quelques Associations végétales de l'arganier A Tindouf.....	17
Figure 6. Arbre d'arganier de Boukerdel (Mostaganem) et d'Oggaz (Mascara)	18
Figure 7. Feuilles et fruits de l'arganier de Stidia (Mostaganem) et d'Oggaz	18
Figure 8. Composition florale et boutons floraux avec styles apparents	19
Figure 9. Fruits, graines et amande d'arganier	20
Figure 10. Diversité morphométrique de fruits et graines d'arganier	20
Figure 11. Etapes de transformation du fruit mûr de l'arganier jusqu'à l'obtention de l'huile.....	24
Figure 12. Dégradation de l'état sanitaire d' <i>Argania spinosa</i> A Tindouf	28
Figure 13. Graines d' <i>Argania spinosa</i> de Tindouf, Mostaganem et Mascara	33
Figure 14. (A) Vue de la serre ; (B) Installation du tunnel ; (C) Dépôt + arrosage ; (D) Germination.....	35
Figure 15. (A) Repiquage ; (B) Disposition des sachets ; (C) Vue d'ensemble ; (D) Suivi de l'élevage	37
Figure 16. Situation géographique de la commune d'El Keurt	40
Figure 17. Carte géologique de la commune d'El Keurt.....	41
Figure 18. Réseau hydrographique de la commune d'El Keurt.....	43
Figure 19. Carte des pentes de la commune El Keurt	44
Figure 20. Carte d'exposition de la commune d'El Keurt.....	45
Figure 21. Carte hypsométrique de la commune d'El Keurt.....	46
Figure 22. Pluviométrie moyenne durant la période (1999-2024)	47
Figure 23. Température maximale moyenne durant la période (1999-2024).....	48
Figure 24. Température minimale moyenne durant la période (1999-2024)	49
Figure 25. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (1999-2024).....	50
Figure 26. Situation de la zone d'étude dans le Climagramme d'Emberger.....	51
Figure 27. Localisation du profil pédologique par rapport aux transects	54
Figure 28. Triangle de texture du sol.....	62
Figure 29. Répartition des fractions granulométriques du sol.....	63
Figure 30. Vue du site d'expérimentation	66
Figure 31. Taux cumulés de germination (20 °C)	68
Figure 32. Taux cumulés de germination (25 °C)	69
Figure 33. Taux cumulés de germination (30 °C)	70
Figure 34. Taux cumulés selon température (20–30 °C).....	71
Figure 35. Taux moyens de germination selon température	72
Figure 36. Taux de germination – Oggaz	73
Figure 37. Taux de germination – Stidia	74
Figure 38. Taux de germination – Tindouf	74

Figure 39. Taux cumulés selon provenance (20–30 °C).....	80
Figure 40. Accroissement en hauteur après 104 mois.....	83
Figure 41. Boîtes A moustaches (hauteur/âge).....	84
Figure 42. Corrélation linéaire hauteur/âge.....	84
Figure 43. Régression hauteur/diamètre.....	85
Figure 40. Corrélation hauteur/âge.....	87
Figure 41. Sujets d'arganier – Stidia, Oggaz, Tindouf.....	90
Figure 42. Fruits exposés / non exposés au soleil	91
Figure 43. A : Jeunes fruits après pluie ; B : Fruits actuels et anciens.....	92
Figure 44. A : Pointes jaunes ; B : Fin bourgeonnement ; C : Début floraison.....	92
Figure 45. Floraison.....	93
Figure 46. Fructification.....	93

LISTE DES TABLEAUX DANS LE TEXTE

Tableau 1. Les espèces végétales et leurs familles recensées dans l'arganeraie de Tindouf ...	16
Tableau 2. Principaux insectes ravageurs des peuplements à <i>Argania spinosa</i>	27
Tableau 3. Organisation expérimentale des lots de graines d'arganier	36
Tableau 4. Répartition des superficies par exposition	45
Tableau 5. Données climatiques de la région d'étude (1999-2024)	47
Tableau 6. Quotient pluviométrique de la station d'étude	51
Tableau 7. Moyenne mensuelle des vitesses du vent sur la période (1999-2024)	52
Tableau 8. Humidité relative atmosphérique enregistré sur la période (1999-2024)	53
Tableau 9. Résultats des analyses granulométriques de l'échantillon n°01	62
Tableau 10. Résultats analytiques de l'échantillon n°01	63
Tableau 13. Caractérisations germinatives et Taux cumulés de germination des noyaux sous 20°, 25° et 30 °C	77

INTRODUCTION GENERALE

Plusieurs projets de plantation et de préservation de l'arganier ont été lancés en Algérie. Cette espèce d'arbre qui joue un rôle important dans l'équilibre écologique voire économique, est menacée d'extinction par des aléas naturels et la surexploitation humaine. Les changements climatiques font des perturbations alarmantes sur l'équilibre des agroécosystèmes au niveau du globe terrestre ; notamment, sur le pourtour méditerranéen (Babst *et al.*, 2013; Azzopardi *et al.*, 2020). L'aridité prolongée et l'insuffisance des ressources en eau contribuent également à l'appauvrissement des sols, et à l'augmentation de la dégradation des terrains arables par l'érosion dans les régions arides et semi-arides (Golla, 2021). Ceux-ci vont diminuer les activités agricoles et la biomasse végétale et même mettre la sécurité alimentaire mondiale en danger (Lal, 2007; Dar et Laxmipathi Gowda, 2013). En conséquence, la recherche des espèces rustiques, xérothermophiles et possédant une plasticité écologique sera une clef pour la réhabilitation des terres marginales et pauvres dans les régions arides et semi-arides (Yahi *et al.*, 2012). Notamment, notre exemple d'acclimatation de l'arganier en Algérie, surtout au niveau des zones semi – arides et arides et d'un intérêt important (Kechairi et Abdoun, 2013; Beladjemi et Kechairi, 2018; Kechairi *et al.*, 2018; Kechairi et Benmahioul, 2019; Ould Safi *et al.*, 2023; Djebbouri *et al.*, 2024).

Les arganeraies fournissent également une illustration utile d'un écosystème à écotone climatique, méditerranéen au nord et saharien au sud, d'une importance capitale pour les moyens de subsistance de l'homme ainsi qu'un élément clé de la biodiversité locale en Afrique du Nord (Kechairi *et al.*, 2024). Étant donné, sous l'effet du changement climatique, l'aire de répartition des forêts d'arganiers va probablement se contracter, sans tendance à un déplacement vers les latitudes septentrionales, qui sont considérées comme zones de refuge (Kechairi et Benmahioul, 2020; Labarca-Rojas *et al.*, 2022,2023).

L'Arganier, est une essence ligneuse xérothermique, endémique algéro-marocaine, particulièrement au nord-ouest de la région de Tindouf (Chevalier, 1943; Baumer et Zeraïa, 1999; Kechairi et Abdoun, 2016). C'est un arbre Oléo-agro-sylvo-pastoral à intérêt multiple. Cette démarche s'inscrit dans la continuité des différentes tentatives d'introduction de l'arganier en Algérie, appuyée par les essais de plantation fructueux réalisés dans plusieurs régions du pays. Parmi lesquelles celles de Bechar, Adrar, Timimoun, Mostaganem, Chlef et Alger (Kechairi et Abdoun, 2013; Beladjemi et Kechairi, 2018; Kechairi *et al.*, 2018; Kechairi et Benmahioul, 2019; Benaouf *et al.*, 2023; Ould Safi *et al.*, 2023; Djebbouri *et al.*, 2024). L'arganier joue un rôle important pour lutter contre la désertification et l'érosion, ce qui le rend un arbre particulièrement intéressant pour les programmes de développement à l'échelle

nationale et internationale. Ce choix s'inscrit dans les Objectifs de Développement Durable (ODD) définis par l'ONU en 2015. Plusieurs ODD puissent être associés, seuls les plus pertinents pour notre thématique ont été retenus, à savoir :

- ODD n°8, l'arganier présente une opportunité pour diversifier les revenus des populations rurales, notamment par la valorisation de l'huile d'argan et ses produits dérivés par la création du travail décent et la croissance économique par la fabrication et la commercialisation de produits à base de son huile extraite de ses amandons. Cette huile qui est très riche en qualités diététiques, médicinales et cosmétiques (Kouidri, 2014; Ben Mansour *et al.*, 2018; Benaouf *et al.*, 2020; Azizi *et al.*, 2024). Ce qui le rend très demandé sur le marché national et international (Kechairi et Redjem-Khodja, 2021).
- ODD n°13, pour lutter contre la désertification et le changement climatique. Étant donné l'introduction de l'arganier dans les régions potentielles (Djebbouri *et al.*, 2024), pourrait contribuer à freiner le phénomène de l'érosion, conserver et stabiliser les sols contre la dégradation.
- ODD n°15, pour la protection de la flore terrestres, car c'est une espèce rare et menacée par la disparition, indexée dans la liste rouge de l'UICN comme espèce vulnérable, leur introduction va sauvegarder notre patrimoine contre l'extinction et améliorer la biodiversité locale.

Dans beaucoup de pays en développement, les populations rurales satisfont une grande partie de leurs besoins alimentaires et énergétiques grâce aux arbres qui, par ailleurs, contribuent à la qualité de la vie. Les efforts entrepris pour conserver les forêts, tout en les rendant plus productives, porteraient d'avantage si l'on connaissait mieux les ressources des essences ligneuses à usages multiples et la façon dont elles peuvent améliorer l'existence des hommes, non seulement, la situation nutritionnelle des populations rurales, mais aussi leurs ressources économiques.

L'arganier est un arbre particulièrement résistant, pouvant vivre 150 à 200 ans. Bien adapté aux conditions arides, il constitue une essence unique en Afrique du Nord par son importance botanique, écologique et socio-économique. Ses racines profondes améliorent la stabilité des sols, limitent l'érosion et contribuent à freiner l'avancée du désert (Nouaim *et al.*, 1991).

Compte tenu de l'importance de cette essence, plusieurs travaux de recherche (Kechairi *et al.*, 2018) ont été menés dans le but d'améliorer et de préserver *Argania spinosa*.

Notre travail consiste à l'étude des caractéristiques écologiques, édaphiques et micro-rhizosphériques et de site de plantation de l'arganier dans la région de Mascara (Algérie). Cette présente étude nous a amené à articuler notre étude en trois parties distinctes :

- La première partie est consacrée à la collecte des données sur les principaux facteurs du milieu.

- La seconde partie est consacrée à l'étude écophysiological et la germination des graines d'arganier en provenance de Tindouf (Sahara), Stidia (littoral) et Mascara (semi-continental). Egalement, une présentation de la zone test de transplantation des plants à El Keurt.

- La troisième partie est consacrée aux résultats obtenus sur les techniques de germination des graines d'arganier de trois provenances et la transplantation des plants au niveau du site d'El Keurt - Mascara.

Il convient de noter que l'étude micro-rhizosphérique, bien qu'importante, n'a pas été réalisée dans le cadre de ce travail en raison de la priorité donnée au repiquage des plants dans le site expérimental. Ce volet, essentiel pour compléter l'analyse du développement de l'arganier à Mascara, sera abordé dans un article scientifique ultérieur.

- Enfin, une conclusion générale est établit sur les travaux réalisés et les résultats obtenus, puis les propositions sur les conditions de développement et de suivi de l'arganier au niveau des zones semi – arides et arides d'Algérie.

CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

L'arganier (*Argania spinosa* L. Skeels, 1757) est une essence forestière endémique algéro-marocaine, présentant une affinité tropicale. Cet arbre est sans doute l'un des plus originaux et remarquables d'Afrique du Nord, tant par son intérêt botanique que par sa valeur sociale (Boudy, 1950). L'arganier produit principalement des fruits (noix d'argan), ce qui lui confère un statut mixte d'arbre fruitier et forestier.

1. Historique

La présence de l'arganier au Maroc et en Algérie remonterait à l'ère tertiaire. Il aurait vu son aire se réduire durant les périodes froides et humides des glaciations quaternaires. Depuis, cette espèce a su parfaitement s'adapter aux conditions climatiques de la région (Peyerimhoff, 1944 ; De Pontevés *et al.*, 1990). Ibn El Baytar, médecin égyptien, mentionne dans son ouvrage *Traité des simples* (1219) que l'arganier est un arbre épineux, dont le fruit - de la taille d'une noix - contient une pulpe consommée par les caprins et une graine oléagineuse. Il y décrit également le mode artisanal d'extraction de l'huile (Charrouf, 1984). Jean Léon l'Africain (1515) signale dans son ouvrage *Description de l'Afrique* que l'huile d'argan, bien que malodorante, est utilisée dans l'alimentation (Radi, 2003). Linné (1737), à partir de rameaux secs sans fleurs, réalise la première description botanique de l'arganier sous le nom *Sideroxylon spinosium*, le rattachant alors au genre *Rhamnus* (Sapotacées).

En 1803, Ali Ibn El Abbassi, savant andalou, décrit l'arganier comme un arbre précieux se multipliant naturellement. Par la suite, Monnier (1965), alerte sur les dangers du défrichement et de l'exploitation excessive menaçant cette espèce.

2. Distribution géographique

2.1 En méditerranée

Selon Dupin (1949), l'arganier présente un bon potentiel d'acclimatation dans de nombreuses zones semi-arides d'Afrique du Nord. Chevalier (1953), souligne également que l'arganier est appelé à disparaître si on ne le protège pas ; il est aussi appelé à être répandu dans les régions semi-arides du globe s'il est sélectionné comme arbre fruitier.

Dans le bassin méditerranéen, plusieurs tentatives d'introduction ont été réalisées dont on mentionne des essais en France dès 1852 (Rieuf, 1962), cité par Kechairi et Lakhdari (2002).

En Espagne, notamment dans le sud-est du pays, l'arganier se serait acclimaté naturellement dans certaines zones à climat semi-aride (Nunez, 1979). Par ailleurs, Benzyane (1995) rapporte que des pays comme la Tunisie et la Libye ont initié des programmes d'introduction de l'arganier, motivés par ses intérêts écologique et économique.

2.2 Au Maroc

L'arganier est une espèce endémique algéro-marocaine et constitue le seul représentant nord-africain de la famille tropicale des Sapotacées (Peltier *et al.*, 1992 ; El Moussadik et Petit, 1996). Sa distribution est considérée comme singulière en raison de son isolement géographique par rapport aux autres membres de sa famille, situés à plusieurs milliers de kilomètres (Lewalle, 1991).

Selon M'Hirit et Benchekroune (2006), l'arganeraie s'étend sur environ 871 210 hectares, soit près de 18 % du domaine forestier marocain. Elle longe la façade atlantique, depuis l'embouchure de l'oued Tensift au nord jusqu'à celle de l'oued Drâa au sud, entre 29° et 32° de latitude nord (Msanda *et al.*, 2005 ; Tarrier et Benzyane, 2003).

L'arganier est également présent dans la plaine du Souss (Ribi, 1995), sur les versants sud du Haut Atlas occidental ainsi que sur les versants nord et sud de l'Anti-Atlas occidental, où il peut croître jusqu'à 1300-1500 mètres d'altitude (Msanda, 1993 *et al.*, 2005 ; Msanda, 1995). Par ailleurs, des peuplements isolés ont été signalés dans le nord-est du pays, notamment dans le massif de Beni Snassen (Tazi *et al.*, 2019 ; Achhal El Kadmiri *et al.*, 2004).

2.3 En Algérie

En Algérie, l'arganier subsiste à l'état spontané dans le sud-ouest du pays, principalement dans la région de Tindouf, entre le djebel Ourkziz et la hamada de Tindouf (Ozenda, 1983 ; Fassi, 2002 ; Kouadri, 2003). Il y pousse dans des conditions sahariennes, en particulier dans les lits d'oueds, tels que l'oued El Ma et ses affluents (Quézel et Médail, 1995 ; Benaradj, 1999). Des tentatives d'introduction ont été menées sur le littoral algérien, mais les résultats se sont révélés peu concluants (Nouaim *et al.*, 1991). Toutefois, quelques arbres d'arganier ont été observés dans différentes régions du nord : à Stidia (Mostaganem), un individu vigoureux à Oggaz (Mascara), ainsi que dans le jardin d'essais d'El Hamma à Alger.

Ces observations suggèrent un certain potentiel d'adaptation qui pourrait justifier des programmes de reforestation ciblés.

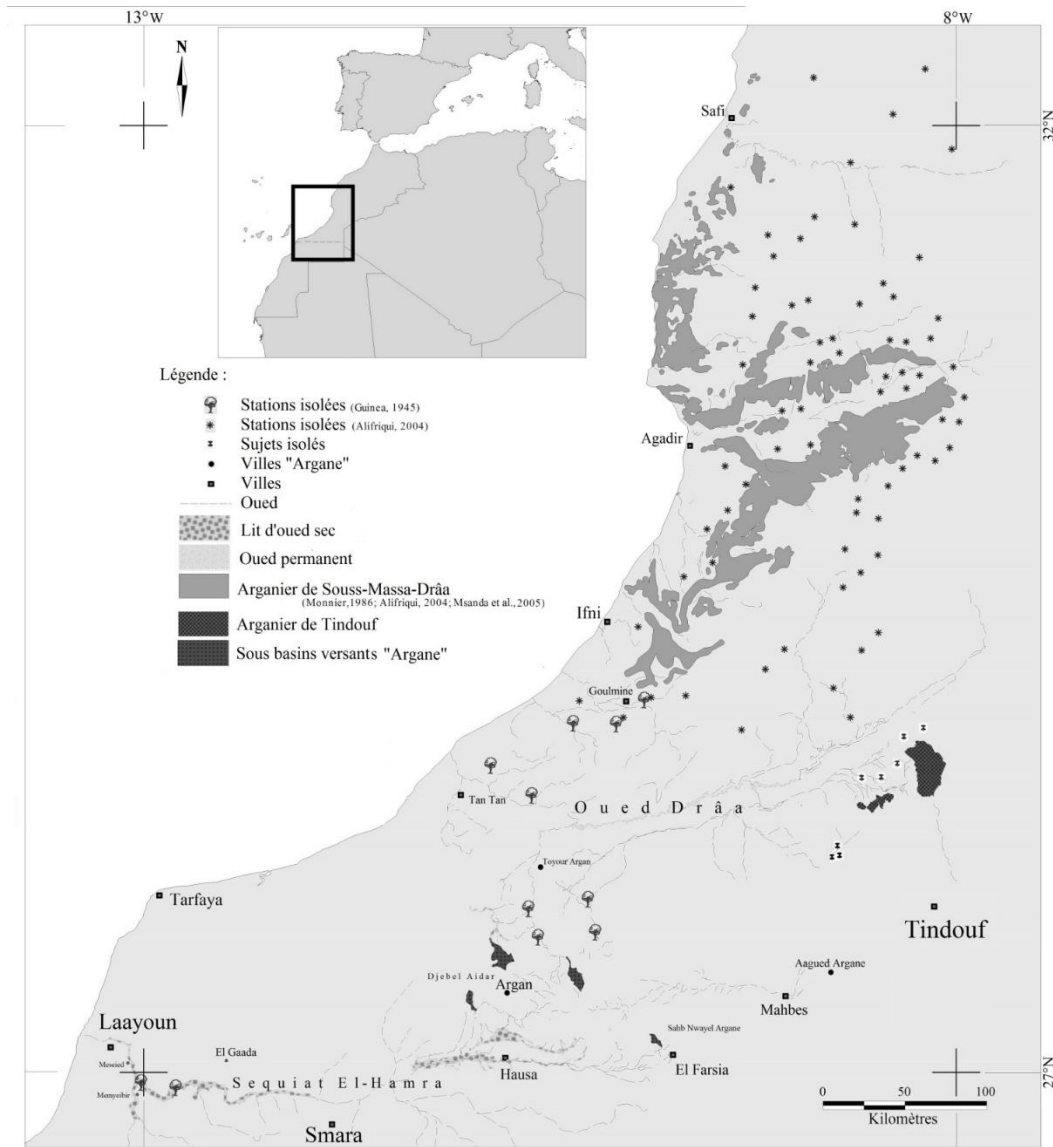


Figure 1. Aire de répartition de l'arganier en Afrique - Nord-Occidentale (Kechairi et Abdoun, 2016).

3. Systématique

L'arganier (*Argania spinosa* L. Skeels), espèce ligneuse appartenant à l'ordre des Ebénales et à la famille des Sapotacées, tire son nom du mot arabe *argan* et du mot berbère *Irgen* (en Tachelhit), désignant le noyau très dur de son fruit. Il serait également associé au village d'Argana, situé dans les collines entre Marrakech et Agadir (Miloudi, 2006). L'épithète spécifique *spinosa* signifie "épineux", en référence à l'extrémité durcie de certains rameaux en épines (Lewalle, 1991). L'arganier est une espèce avec une grande variabilité morphologique observée au niveau des fruits, rameaux et feuilles (Louali *et al.*, 1994).

Il s'agit d'un arbre adapté aux zones arides et semi-arides, et le seul représentant de cette famille tropicale au Maroc.

La première description botanique de l'arganier fut réalisée par Linné en 1737 sous le nom *Sideroxylon spinosum* (famille des Rhamnaceae, selon la classification de l'époque). Plus tard, Roemer et Schultes le renommèrent *Argania sideroxylon*, reprenant son nom vernaculaire. Le bois extrêmement dur de l'arbre justifie le nom *Sideroxylon*, signifiant "bois de fer".

La classification actuelle est la suivante :

- **Règne** : Plantae (Végétal)
- **Embranchement** : Spermatophytes
- **Sous-embranchement** : Angiospermes
- **Classe** : Dicotylédones
- **Sous-classe** : Gamopétales
- **Série** : Superovariées périsynaptiques
- **Ordre** : Ebénales
- **Famille** : Sapotacées
- **Genre** : *Argania*
- **Espèce** : *Argania spinosa* (L.) Skeels

Nom vernaculaire : Erguen (berbère), أرغان (arabe), Arganier, ou Bois de Fer

4. Caractères morphologiques de l'arganier

L'arganier (*Argania spinosa* (L.) Skeels) présente une morphologie adaptée aux conditions écologiques arides et semi-arides. Sa structure lui confère une forte résilience, aussi bien face aux sécheresses qu'aux pressions anthropiques, comme le pâturage et l'exploitation forestière. Les éléments morphologiques suivants (bois, système racinaire, rameaux et tronc) illustrent cette adaptation poussée.

4.1 Bois

Le bois de l'arganier est particulièrement dur et dense, ce qui lui confère une valeur énergétique élevée, notamment pour la fabrication de charbon de bois de grande qualité. Toutefois, le bois de l'arganier ne présente pas de cernes de croissance annuels distincts, ce qui rend difficile l'estimation de l'âge des individus (Wagret, 1962).

Malgré cette contrainte, les estimations fondées sur la morphologie et la croissance suggèrent que la longévité de l'arganier est généralement comprise entre 100 et 200 ans, bien que certains sujets puissent dépasser cette durée dans des conditions favorables.

4.2 Système racinaire

Le système racinaire de l'arganier est pivotant, avec des racines principales profondes et traçantes, capables de pénétrer des substrats rocheux. Cette configuration permet une prospection importante du sol, assurant à l'arbre l'accès à l'eau même en période de forte sécheresse (Nouaim *et al.*, 1991). Par ailleurs, les racines de l'arganier sont souvent colonisées par des endomycorhizes à arbuscules, des champignons symbiotiques formant des structures intracellulaires qui améliorent l'absorption des nutriments minéraux, en particulier le phosphore, et renforcent la tolérance à la sécheresse.

Ce phénomène a été bien documenté par Nouaim et Chaussod (1994), qui soulignent son rôle essentiel dans l'adaptation de l'arganier à des milieux édaphiques pauvres.

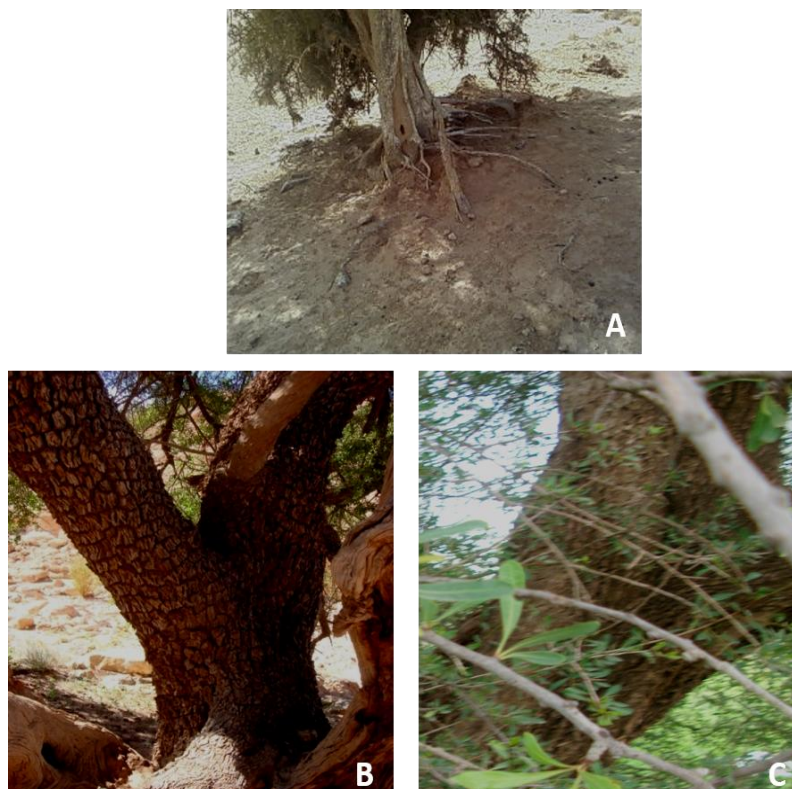


Figure 2a. Caractères morphologiques de l'arganier : A : Les racines d'arganier de Tindouf ; B : Le tronc d'arganier de Tindouf et C : Le tronc d'arganier de Oggaz (Mascara) (KECHAIRI, 2009 ; BENAOUF, 2009).

4.3 Rameaux

Les rameaux de l'arganier sont très épineux, caractéristique qui a valu à l'espèce son épithète spécifique "spinosa". Les épines résultent de la transformation de certains rameaux et constituent un mécanisme de défense efficace contre le pâturage intensif, notamment par les caprins (M'hirit *et al.*, 1998). Ces rameaux portent également de petites feuilles fasciculées, adaptées à la limitation de la transpiration dans les climats secs.

La structure épineuse confère ainsi à l'arbre un aspect buissonnant et défensif, tout en réduisant la surface exposée à la déshydratation.

4.4 Tronc

Le tronc de l'arganier peut atteindre jusqu'à 3 mètres de hauteur, avec un diamètre variant entre 0,30 et 0,40 m. Il est souvent tortueux, ramifié dès la base et parfois constitué de plusieurs tiges entrelacées. Boudy (1950) indique que, durant les 20 premières années, l'arganier présente un accroissement annuel en circonférence compris entre 1,35 et 1,80 cm, et un accroissement en hauteur de 160 à 40 cm/an, selon les conditions stationnelles.

Ces données ont été confirmées par les travaux de Nouaim *et al.* (1991) ; Khay (1989), qui soulignent la croissance relativement lente de l'espèce, typique des arbres xérophiles à longue durée de vie.



Figure 2b. Caractères botaniques de l'arganier : A : Le fruit d'arganier ; B : Les feuilles d'arganier; C : Les fleurs d'arganier (El Keurt) (Mokeddem, 2025).

5. Caractères écologiques et botaniques de l'arganier

5.1 Écologie de l'arganier

L'arganier, étant considéré comme une essence xérophile et thermophile, est adaptée aux fortes périodes de sécheresse prolongée et aux effets desséchants du vent. Cette faculté d'adaptation de l'arganier nous semble qu'elle n'est pas liée au fait que cet arbre économise l'eau, mais à sa capacité de puiser l'eau à de grandes profondeurs (Mokhtari, 2002).

L'arganier possède un système racinaire extrêmement développé. Il va puiser l'eau profond, jusqu'à 20 et 25m sous terre. En effet les racines de l'arganier représentent 5 fois sa partie aérienne, (son tronc et ses branches). Pour autant, son système racinaire est dépourvu de poils absorbants (racines latérales « magniloïdes »). Il profite d'une symbiose avec différents types de champignons pour pallier cette déficience, seuls ces derniers pouvant apporter les différents nutriments à l'arbre (Nouaim et Chaussod, 1994).

Egalement en ces mêmes périodes de sécheresse, la croissance de certains rameaux de l'arbre diminue (El Aboudi *et al.*, 1991). D'après Boudy (1950) plus qu'une région forestière est sèche (étage aride et semi-aride), et plus la densité de ses peuplements adultes est réduite, en raison que les racines ont besoin d'un espace vital considérable pour puiser l'eau du sol. Ceci sous entant que les racines sont latérales.

5.1.1 Conditions climatiques

L'écologie de l'arganier est fortement liée aux facteurs climatiques. L'analyse des données climatiques a montré que le type de climat de l'arganeraie de Tindouf est saharien à hiver tempéré et à forte aridité (Ait Hammouda, 2011 ; Ould Safi *et al.*, 2015).

Le climat de l'arganier au Maroc correspond à celui de l'étage méditerranéen semi-aride à influence océanique. L'étage aride, fortement teinté de l'influence océanique (variante tempérée), recouvre la plus grande partie de la région de l'arganier (Chaussod, 2001).

5.1.1.1 Humidité

La valeur moyenne des humidités relatives enregistrées pendant l'année est de 37.6 %, ce qui représente un taux particulièrement faible, avec, bien sûr, des variations saisonnières et journalières (Benkheira, 2009).

L'arganier se développe mieux sous l'influence de l'humidité océanique, ce qui explique son absence à l'intérieur du continent. Ainsi, l'arganeraie diminue progressivement à mesure que l'on s'éloigne de la mer, pour disparaître au-delà de 150 km de la côte (Boudy, 1950).

5.1.1.2 Pluviométrie

Au Maroc, l'idéal pour l'arganier est une précipitation de 500 mm par an, cependant une pluviométrie de 120 mm/an semble suffisante pour son développement dans certaines régions (Chaussod, 2001).

En Algérie, selon Hamel (2016), les précipitations de l'arganeraie de Tindouf varient selon la période (1994-2004), atteignant un maximum de 52 mm en octobre. Cette variabilité s'explique par l'irrégularité des pluies qui caractérisent cette région.

5.1.1.3 Température

L'arganier étant un arbre thermophile et xérophile peut supporter des températures extrêmes de 30°C et 50° C, ce qui explique son absence dans le grand Atlas (Boudy, 1952). Son aire d'implantation est limitée aux montagnes de l'Anti-Atlas en particulier dans leurs versants Sud (Debbou, 2003).

Durant la période (1994-2004), dans le sud-ouest de l'Algérie, à Tindouf, les températures minimales du mois le plus froid étaient en moyenne de 6,5 °C, tandis que les températures maximales du mois le plus chaud atteignaient 43,4 °C (Hamel, 2016).

5.1.1.4 Altitude

Sur le plan altitudinal, l'arganier se développe depuis les franges littorales jusqu'à 1300 m dans l'Anti-Atlas et 1400 à 1500 mètres sur les flancs chauds et ensoleillés du haut atlas occidental (M'hirit *et al.* 1998).

L'arganeraie de Tindouf se développe dans une région relativement homogène, caractérisée par l'extension de la plate-forme tabulaire des Hamadas et la haute région au Nord-est d'une altitude de 780 m (Hamel, 2016).

5.1.2 Conditions édaphiques

Les travaux ont montré que l'arganier est indifférent à la nature physicochimique du substrat (Gentil, 1906 ; Boudy, 1952). Ainsi, on peut affirmer que l'arganier se développe en peuplement sur les substrats les plus variés : calcaires, dolomies calcaires, grès, marnes, argiles rouges triasiatiques, schistes, quartzites, etc.

L'arganier pousse sur tous les types de sols, y compris les sols salés (Nouaim *et al.*, 1991), on le retrouve sur les schistes, les roches calcaires et les alluvions. Cependant, il semble exclure les sols à sable mobile (Nouaim et Chaussod, 1993). L'arganier supporte une large gamme de pH allant de 4.6 à 7.5 (Nouaim *et al.*, 1991). En Algérie, l'unité géologique de la Hamada du Drâa, au nord-ouest de Tindouf où pousse l'arganier, constitue un complexe gréseux-argileux, généralement formé à la base par un conglomérat, suivi de dalles calcaires ou dolomitiques. La hamada est en général assez plate, avec une horizontalité rarement perturbée (Vila, 1980 ; Guiraud, 1990).

L'arganier croît sur une grande diversité de sols : schistes, calcaires, alluvions, y compris des sols salins. Il évite toutefois les sables mobiles (Nouaim *et al.*, 1991).

5.1.3 Phénologie

Le phénomène de défoliation est notable : des arbres entiers peuvent perdre leur feuillage en saison défavorable, menant une vie ralentie avant de reverdir (Emberger, 1938). L'observation mensuelle des stades phénologiques de l'arganier montre un cycle bisannuel qui comprend une floraison retardée des boutons floraux durant le mois le plus chaud de l'année (Kechairi *et al.*, 2018) (Figure 3).

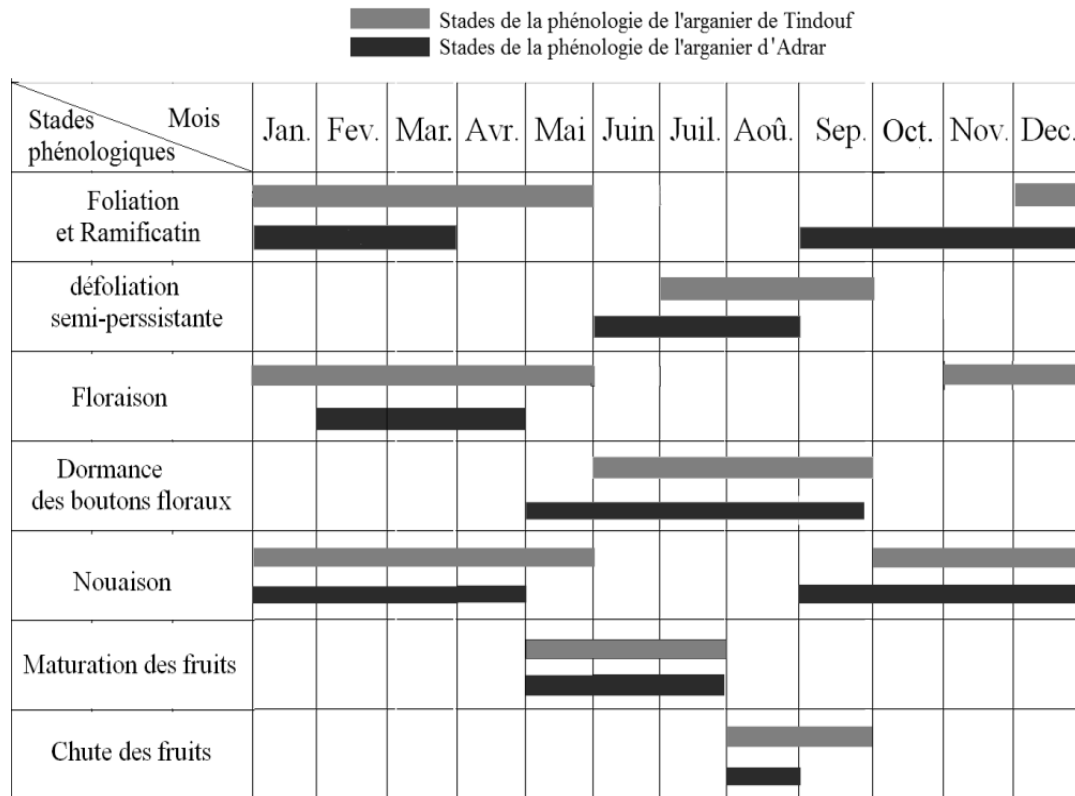


Figure 3. Cycles de la phénologie de l'arganier de Tindouf et Adrar (Kechairi *et al.*, 2018).

La foliation commence en octobre, après les premières pluies. La floraison a lieu généralement au printemps et dans certaines conditions climatiques en automne d'où un échelonnement de la maturation des fruits sur une grande partie de l'année de mai à septembre (Nouaim *et al.*, 1991).

En milieu continental, l'arganier développe un enracinement traçant et fasciculé lui permettant une prospection de l'espace de plus de 60 m² et de résister à la sécheresse (Nouaim, 1990). Ce même auteur a constaté que les racines de l'arganier portent des endomycorhizes, champignons symbiotiques à vésicules et à arbuscules jouant très probablement un rôle dans la résistance de l'arbre à la sécheresse et dans la nutrition minérale.

5.1.3.1 Observations phénologiques sur l'arganier au Maroc

Selon Lieth (1974), la phénologie correspond à l'étude des rythmes saisonniers des plantes et de la chronologie de leurs stades de développement, en relation directe avec les conditions climatiques. Métro (1953), à partir d'observations menées sur les arganiers de l'arboretum de

l'Oued Cherrat à Rabat, rapporte que la foliation débute en octobre, après les premières pluies. L'état de l'arbre est alors le suivant :

- Il a perdu la totalité des feuilles de la saison de végétation précédente.
- De petits fruits préexistants commencent à grossir.
- Des feuilles se développent en bouquets sur les rameaux du printemps précédent.
- En Janvier la foliation est complète et de jeunes rameaux poussent.
- En Février les rameaux poussent et les fleurs apparaissent.
- Les fruits grossissent rapidement et la croissance de la végétation continue jusqu'au juin mais le maximum de floraison reste incomplètement développé jusqu'aux premières pluies de l'automne suivant.
- En juin, la croissance des rameaux s'arrête et les fruits commencent à jaunir.
- En juillet, les fruits sont à maturité presque totale.
- En août commence la défoliation.

D'après Ferradous *et al.* (1996), il y a trois types d'arganiers : les précoces, les tardifs et les intermédiaires. Les fruits des premiers, issus de la fécondation des fleurs de l'automne de l'année précédente, mûrissent au mois de mai ; ceux du second, issus de la fécondation des fleurs du printemps de l'année précédente, mûrissent au mois d'août et le troisième type fructifie le long de la saison humide. De ce fait, ces arbres portent des fruits de différentes tailles.

5.1.3.2 Observations phénologiques sur l'arganier en Algérie

Selon Miloudi (2006) les observations effectuées sur la phénologie de l'arbre d'arganier de la station d'Oggaz se résument comme suit :

- Période estivale (saison d'été), on observe la maturation des fruits, la chute partielle des feuilles et aussi l'apparition de jeunes feuilles. Simultanément, les bourgeons situés à l'extrémité des rameaux commencent à se lignifier. Leur ouverture marque la fin du stade de nouaison.
- Période d'octobre à décembre : Les rameaux continuent leur croissance et se lignifient et les feuilles achèvent leur maturité.
- Janvier à Mars : Quelques fleurs apparaissent sur les rameaux de l'année précédente et sur ceux de l'année en cours.

- Avril à mai : C'est la fin du stade de bourgeonnement. L'ouverture de la majorité des fleurs indique l'achèvement du stade de floraison.
- Juin à septembre : La maturation totale des fruits, ensuite la chute des fruits de l'année et apparition de quelques fruits de petite taille, les feuilles deviennent jaunâtres, se dessèchent et finissent par tomber (Figure 4).

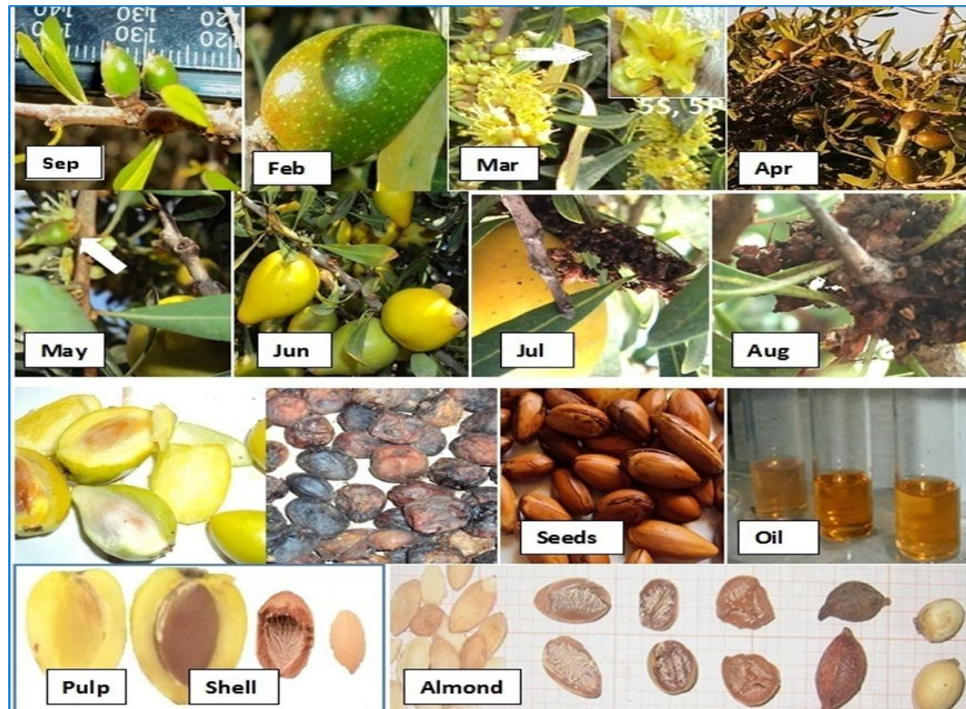


Figure 4. Phénologie complète de l'arganier : floraison-fructification-maturation et décomposition des éléments constitutifs du fruit (pulpe, graine, amande, coque)
(Benaouf, 2016 ; 2021)

Benchettouh (1999) rapporte dans son mémoire d'ingénieur sur la phénologie de l'arganier à Stidia (Mostaganem) les différents stades observés :

- Un stade de grossissement des fruits en octobre sur les rameaux de l'année précédente.
- Les bourgeons apparaissent dès le début du mois de mars
- La foliation commence au mois d'avril
- La floraison s'étale d'avril jusqu'à la fin du printemps
- Le stade de maturation et de chute des fruits intervient en été (à partir de la mi- juin)
- Un stade de fructification est observé au début de l'automne vers le mois du septembre.

D'après les travaux de Kechairi *et al* (2018) sur la phénologie de l'arganier de Tindouf (Sud algérien), la floraison débute précocement en automne. Alors, la floraison est observée en novembre et s'achève au mois de mars, la foliation est sub-persistante où la cime d'arganier prend la couleur verdâtre durant toute l'année. La croissance des fruits s'achève au mois de mars et la maturation complète avec la couleur jaunâtre dorée est observée au mois de juin.

5.1.4 Cortège floristique

Selon Boudy (1952), le cortège floristique de l'arganier reflète une influence saharo-tropicale. Association végétale typique : *Juniperus oxycedrus oxycedrus* ; *Ziziphus lotus* ; *Olea europaea* ; *Ceratonia siliqua* ; *Tetraclinis articulata* ; *Euphorbia* spp. ; *Pistacia atlantica* ; *Acacia gummifera* ; *Rhus tripartitum* ...etc. L'étude de Kechairi (2009) révèle une steppe arborée à *Argania spinosa* riche de 75 espèces, réparties en 67 genres et 29 familles, incluant des éléments saharo-sindiens, sahariens, méditerranéens, tropicaux et soudano-deccaniens. Selon Ould Safi (2014), le cortège floristique de l'arganeraie de Tindouf présente également une diversité notable, plusieurs familles y étant représentées. Plus récemment, Kechairi *et al.* (2024) ont recensé une liste élargie atteignant 120 espèces, confirmant la richesse floristique de l'écosystème arganier. Ainsi, l'association végétale de l'arganier se caractérise par une composition complexe issue du mélange d'espèces atlantiques et tropicales (Tableau 1 ; Figure 5).

Tableau.1 Espèces végétales et leurs familles recensées dans l'arganeraie de Tindouf.

Espèces	Familles	Biogéographie (Ozenda, 1991)
<i>Argania spinosa</i>	Sapotacées	Sud-ouest Marocain et Sahara Nord-occidental (Tindouf) / Endémique algéro-marocaine
<i>Acacia raddiana</i>		
<i>Anabasis aretioide</i>	Légumineuses	Afr. Trop. Et Arabie
<i>Rhus tripartitus</i>	Chénopodiacées	Sahara oranaïs
<i>Anvillea radiata</i>	Térébinthacées	Saharo-médit
<i>Randoniaa fricana Coss</i>	Composées	Sahara
<i>Launea arborecans</i>	Résédacées	Sahara sept
<i>Pancratum saharae</i>	Composées	Sahara
<i>Heleanthemum lippii</i>	Liliacées	Saharo-Trop
<i>Gymnocarpos decander</i>	Cistacées	Saharo-Sind
<i>Purgularia tamentosa</i>	Caryophyllacées	Saharo-médit
<i>Panicum turgidum Forsk</i>	Asclépiadacées	Saharo-Sind
<i>Farsetia ramosissima</i>	Graminées	Saharo-Sind
<i>Convovulus trabutianus</i>	Crucifères	Saharo-Sind
<i>Retama retam</i>	Convolvulacées	Sahara Occidental
	Légumineuses	Saharo-Sind



Figure 5. Quelques Associations végétales de l'arganier à Tindouf : *Acacia raddiana* à oued Targant ; B : *Rhus tripartitus* à oued EL-Gahouene ; C : *Retama retam* à l'oued El-Ma ; D, E et F : Les principales plantes herbacées rencontrées dans l'arganeraie de Tindouf (*Pancratium saharae*, *Farsetia ramosissima tamentosa*, *Purgularia*) (Ould Safi, 2014)

5.2 Caractères botaniques de l'arganier :

L'arganier (*Argania spinosa* L. Skeels), espèce endémique algéro-marocaine, appartient à la famille des Sapotacées, laquelle regroupe environ 600 espèces réparties sur environ 40 genres. Cet arbre représente un cas unique dans cette famille essentiellement tropicale, car il constitue la seule espèce vivant en dehors de son aire biogéographique, dans un climat méditerranéen aride à semi-aride (Emberger, 1960). D'un point de vue morphologique, l'arganier présente une silhouette évoquant l'olivier. Il peut atteindre 8 à 10 mètres de hauteur (Figure 6). Le tronc est court, généralement de 2 à 3 mètres, tortueux, et parfois constitué de plusieurs tiges entrelacées (Saint Laurent, 1932). Sa couronne est large et étalée lorsque l'arbre est intact, mais devient dense et arrondie en cas d'élagage.

L'arganier est une espèce à floraison printanière, parfois automnale, selon les conditions climatiques. La pollinisation est principalement anémophile (80 %), mais une partie entomophile (20 %) est aussi observée (Thiery, 1987).

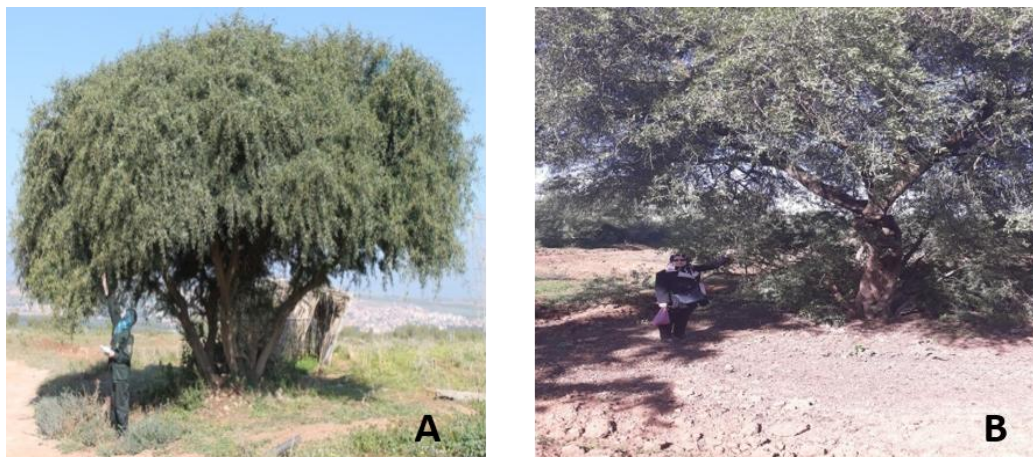


Figure 6. A : Arbre d'arganier de Boukerdel (Mostaganem) et B : Arbre d'arganier d'Oggaz-Mascara (pendant la récolte des graines) (Mokeddem, 2013)

5.2.1 Feuilles

Les feuilles de l'arganier sont sub-persistantes, c'est-à-dire qu'elles peuvent rester sur l'arbre une grande partie de l'année, y compris en saison sèche, sauf en cas de sécheresse sévère où une chute foliaire est observée pour limiter la transpiration (Emberger, 1938 ; Emberger, 1960). Elles sont alternées, souvent regroupées en fascicules, lancéolées ou en forme de spatule, atténuées en un pétiole court. La nervure médiane est bien marquée, avec des nervures latérales fines et ramifiées. Leur face supérieure est d'un vert sombre, tandis que la face inférieure est plus claire (Figure 7).



Figure 7. A : Feuilles et fruits de l'arganier de Stidia (Mostaganem) et B : Feuilles et fruits de l'arganier d'El Keurt (Mascara) (Mokeddem, 2025)

5.2.2 Fleurs

Les fleurs de l'arganier sont hermaphrodites, petites, à teinte jaune verdâtre ou parfois blanche. Elles sont groupées en glomérules axillaires. Le calice comprend cinq sépales pubescents, précédés de deux bractées. La corolle est campanulée, formée de cinq pétales obtus et arrondis (Figure 8).



Figure 8. Composition florale et boutons floraux avec styles apparents (Kechairi, 2018).

Après la fécondation, la fleur donne naissance à une drupe verte jaunâtre, de la taille d'une grosse olive, connue sous le nom d'argan (Emberger, 1938 ; Mensier, 1957).

5.2.3 Fruit

Le fruit de l'arganier est une drupe dont la forme est variable. Alaoui *et al.* (2002) figure les dimensions de la forme (longueur et largeur) des écotypes suivants : **Arrondie** (22,9 × 21,2 mm) ; **Ovale** (32,5 × 19,6 mm) et **Conique** (38,4 × 18,9 mm). Au centre se trouve une amande résultant de graines concrescentes, contenant généralement un ou deux embryons (Figure 9). Cette graine composée est albuminée et riche en huile (Nouaim *et al.*, 1991). La couleur du fruit varie du vert au jaune clair. Les deux formes à pointe obtuse et pointe aiguë sont bien représentées dans la station de Tindouf (Baumer et Zeraia, 1999).

Le péricarpe charnu (pulpe) représente 55 à 75 % du poids du fruit à l'état frais. Il contient des canaux laticifères, renfermant un latex guttoïde collant, mais en faible quantité, ce qui ne permet pas une valorisation industrielle (M'hirit *et al.*, 1998).

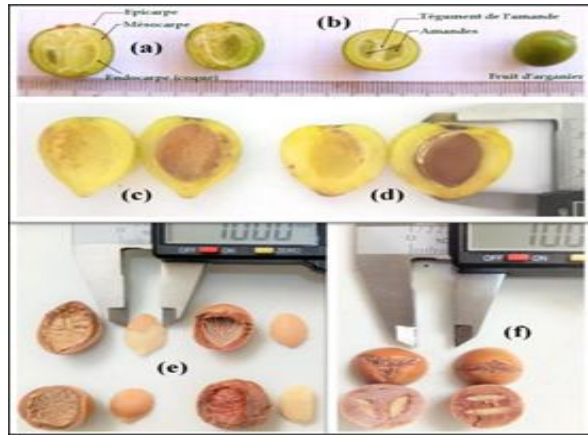


Figure 9. Fruits, graines et amande d'arganier : Coupes transversale et longitudinale de petit fruit d'arganier (a, b) ; coupe longitudinale de fruit d'arganier mûres de forme ovale apiculée (c) et de forme ovale (d) ; Coupes sur graines et formes d'amandes : longitudinales (e), et transversales (f) (Kechairi, 2018).

5.2.4 Graine

La graine de l'arganier, communément appelée « noyau » (Figure 10), est extrêmement dure et protège une ou plusieurs amandes elliptiques, oléagineuses et aplaties, représentant généralement qu'un vingtième du poids total du fruit (Emberger, 1938). Ce noyau joue un rôle protecteur important pour l'embryon, particulièrement dans un contexte écologique aride. Des caractérisations morphométriques récentes réalisées sur 4017 graines d'*Argania spinosa* issues de plusieurs provenances en Algérie montrent une variation significative des dimensions des graines selon l'origine géographique, ce qui reflète la diversité intraspécifique et peut influencer la germination et le développement des plants (Bendellaa *et al.*, 2023).



Figure 10. Diversité morphométrique de fruits et graines d'arganier (Kechairi, 2018).

5.2.5 Pulpe

La pulpe du fruit, également appelée péricarpe, constitue la couche externe entourant la graine. Son aspect et sa couleur évoluent avec le degré de maturation :

- **Vert** à l'état immature.
- **Jaune veiné de rouge** à maturité.
- **Brun foncé** après dessèchement (Wagret, 1962).

La pulpe est charnue, amère, mais particulièrement riche en glucides solubles ou facilement hydrosolubles. Elle contient aussi de la cellulose, des protides et divers composés lipophiles extraits par le benzène. Selon Sandret (1957), cette pulpe représente un complément nutritionnel important pour le bétail, surtout en saison sèche.

6. Régénération de l'arganier

La régénération de *l'Argania spinosa* est un processus complexe fortement influencé par les conditions écologiques, les pressions anthropiques et la stratégie de reproduction adoptée. Bien que l'arganier possède une certaine plasticité pour se régénérer par plusieurs voies, son renouvellement naturel reste globalement limité dans les peuplements spontanés, notamment à cause de la dégradation croissante de son biotope.

6.1 Par semis

La régénération sexuée de l'arganier par semis naturel est rarement observée en forêt, en particulier dans les peuplements dégradés. Ce phénomène est associé à la faible germination naturelle des graines, à la consommation ou au ramassage des fruits et graines, et à la pression du pâturage intensif, qui détruit les plantules émergentes et perturbe le microclimat du sous-bois (Nouaim et Chaussod, 1993 ; Alouani et Bani-Aameur, 2003). Ces pratiques humaines réduisent la disponibilité des graines viables et augmentent la compaction et l'érosion du sol, limitant significativement la régénération naturelle de l'espèce.

6.2 Par rejets de souche

La régénération végétative par rejets de souche constitue une stratégie adaptative importante chez l'arganier, en particulier dans les environnements soumis à des contraintes écologiques sévères.

Toutefois, cette forme de régénération spontanée reste globalement rare dans les conditions actuelles du milieu (M'hirit, 1989). Elle peut toutefois être favorisée à la suite de perturbations telles que les coupes forestières ou les incendies (Khay, 1989). Des études ont montré que l'arganier possède une capacité remarquable à produire des rejets même à un âge avancé, pouvant aller jusqu'à 150 à 200 ans (Nouaim *et al.*, 1991), ce qui témoigne de la résilience physiologique de l'espèce.

Concernant sa reproduction sexuée, les premiers fruits peuvent apparaître dès l'âge de 3 à 5 ans, mais le rendement optimal en production de noix n'est atteint qu'autour de 60 ans (Maamri *et al.*, 2000), ce qui illustre la lenteur de la maturité productive chez cette espèce pérenne.

6.3 Par multiplication végétative

En plus des mécanismes naturels, la régénération de l'arganier peut être favorisée artificiellement par la multiplication végétative, notamment par bouturage et greffage.

Ces techniques sont de plus en plus utilisées au Maroc pour la mise en place de vergers d'arganier à finalité agroforestière ou industrielle, avec des résultats jugés satisfaisants en termes de reprise et de productivité (Nouaim *et al.*, 1993).

D'autre part, les techniques de multiplication *in vitro* ont également été explorées avec succès.

Selon Mangin (1990), la culture *in vitro* à partir de tissus de pieds-mères ne pose pas de difficultés majeures et permet de produire un grand nombre de plants génétiquement homogènes, ce qui représente une avancée significative pour les programmes de conservation et d'amélioration génétique de l'espèce.

7. Usage et intérêt de l'arganier

L'arganier (*Argania spinosa*), arbre endémique algéro-marocain, est d'un intérêt capital tant sur le plan écologique qu'économique et social.

Grâce à sa grande capacité d'adaptation aux milieux semi-arides, arides et sahariens, il joue un rôle fondamental dans la lutte contre l'érosion, la stabilisation des sols, la conservation de l'eau et la lutte contre la désertification (Boudy, 1952 ; Errouati, 2005).

Son système racinaire profond et ramifié, combiné à la stratification végétale qu'il favorise, permet de fixer les sols et de protéger contre l'impact des pluies torrentielles et des vents violents. Par ailleurs, l'arganier contribue activement à l'enrichissement du sol par l'apport de matière organique issue de la chute des feuilles et des péricarpes desséchés (Challot, 1949 ; Ehrig, 1974). Dans les zones de bordures des oueds, il stabilise les berges et régule les écoulements hydriques, participant ainsi à la régénération des nappes phréatiques. Benzyane et Khatouri (1991) confirment que cet arbre constitue un rempart naturel contre la désertification des zones pré-sahariennes.

De plus, toutes ses parties sont valorisables, que ce soit dans l'artisanat, l'agroalimentaire, le fourrage, ou encore la cosmétique, où l'on explore de nouveaux usages notamment à partir des extraits foliaires (Pumareda *et al.*, 2006).

7.1 Bois

Le bois de l'arganier est réputé pour sa dureté exceptionnelle et sa longévité. Il est utilisé localement pour la fabrication d'objets à usage domestique tels que les charrues, ustensiles de cuisine, outils agricoles ou encore pour la construction des habitations rurales. Ses perches servent de poutres ou de structures de toitures dans les architectures traditionnelles. Ce bois fournit également un charbon de haute qualité, avec un rendement élevé pouvant atteindre un quintal par stère (Alexandre, 1985), ce qui le rend particulièrement prisé pour les usages énergétiques domestiques.

7.2 Fourrage

L'arganier joue un rôle essentiel dans l'alimentation animale, en particulier dans les périodes de sécheresse où les feuilles, jeunes rameaux et fruits représentent une ressource fourragère stratégique pour les caprins, ovins et camelins (Quézel, 2000). Le tourteau d'argan, sous-produit de l'extraction de l'huile, est très apprécié des ruminants pour sa richesse nutritionnelle (Charrouf, 1995). De plus, un tapis herbacé dense se développe à l'ombre des arganiers, fournissant une source secondaire de pâturage (Errouati, 2005). La pulpe des fruits, souvent négligée, possède en réalité une excellente valeur nutritive, contenant environ 20 % de sucres, 13 % de cellulose, 6 % de protéines et 2 % de matières grasses (Fellat-Zarrouk *et al.*, 1987). D'après Sandret (1957), 100 kg de pulpe sèche équivalent en valeur fourragère à 85 kg d'orge, ce qui fait de ce résidu un aliment complémentaire précieux pour le bétail.

7.3 Huile d'argan

L'huile extraite du fruit de l'arganier est sans doute le produit le plus emblématique de l'arbre (Figure 11). Elle est très recherchée tant pour ses usages alimentaires que cosmétiques (Quézel, 2000). En alimentation, elle est appréciée pour son goût de noisette et ses bienfaits nutritionnels.

Sur le plan médicinal, elle est traditionnellement utilisée pour prévenir le dessèchement cutané, ralentir le vieillissement de la peau, traiter l'acné, la varicelle, les douleurs articulaires, et prévenir les affections cardiovasculaires, notamment chez les personnes exposées au risque d'athérosclérose (Charrouf, 1999). L'analyse chimique de l'huile révèle une composition remarquable en acides gras insaturés (78,36 %), principalement l'acide oléique (46,67 %) et l'acide linoléique (31,49 %). Les acides gras saturés représentent 21,63 %, dominés par l'acide palmitique (15,75 %) et l'acide stéarique (5,48 %) (Debbou, 2003). Cette richesse lipidique confère à l'huile d'argan d'excellentes propriétés antioxydantes et régénératrices, justifiant son succès croissant à l'échelle internationale.

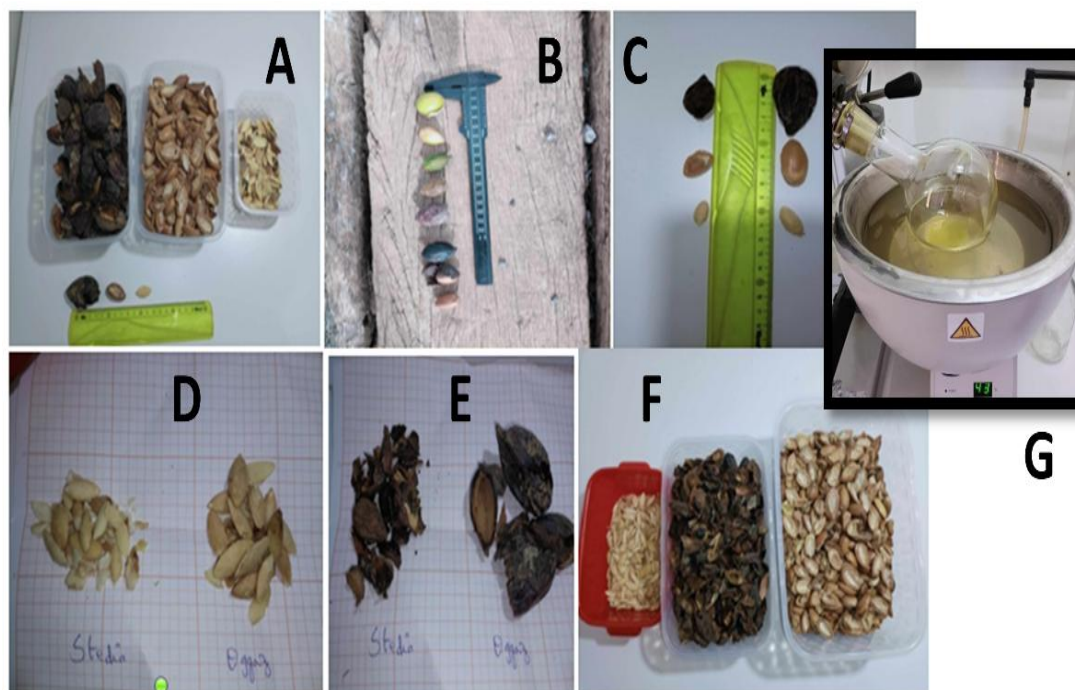


Figure 11. Etapes de transformation du fruit mûr de l'arganier jusqu'à l'obtention de l'huile (Benaouf, 2016 ; 2021)

8. Causes de dégradation de l'arganeraie dans son milieu naturel

8.1 Action de l'homme

8.1.1 Défrichement

Le défrichement constitue historiquement l'une des premières formes d'agression contre l'arganeraie. Dès le XVI^e siècle, une grande partie des peuplements d'arganiers fut détruite pour faire place à la culture de la canne à sucre (Berthier, 1966). Au XVIII^e siècle, les rapports des agents consulaires britanniques signalaient l'existence d'une forêt dense d'arganiers s'étendant jusqu'à Oualidia, aujourd'hui disparue (Monnier, 1965 ; Errafia, 1975). Depuis le début du XX^e siècle, cette régression s'est intensifiée. Dans la région de Chiadma, autrefois couverte d'arganiers, ces arbres ont désormais totalement disparu sur plusieurs dizaines de kilomètres.

Morton et Voss (1987) estiment que 150 000 à 200 000 ha d'arganeraies ont disparu depuis 1900. À Essaouira, Bucher (1954) rapporte une perte annuelle de 2 000 ha entre 1918 et 1924, causée par l'exploitation intensive du bois. Durant la Seconde Guerre mondiale, 40 000 ha ont été affectés par les coupes dans la région d'Agadir (M'hirit, 1989).

Depuis les années 1970, une politique agricole orientée vers l'intensification des cultures irriguées a aggravé la situation (El Yousfi, 1988). De nombreux puits illégaux ont été creusés dans les plaines, entraînant une baisse critique du niveau de la nappe phréatique (Driouch, 1989), accentuant ainsi la vulnérabilité de l'arganier. Le recul de cette couverture végétale expose les sols nus à l'érosion éolienne, favorisant l'apparition de dunes mobiles et la désertification (Cassimi, 1988 ; Karmouni, 1989).

8.1.2 Surexploitation

La surexploitation du bois d'arganier est une autre cause majeure de dégradation. Chevalier (1943) souligne que plusieurs régions anciennement boisées sont aujourd'hui désertiques. Selon Dupin (1949), la densité des arbres variait historiquement de 150 à 250 arganiers/ha dans la plaine du Souss, contre 50 arbres/ha dans les zones plus fragiles comme l'Anti-Atlas. Cette densité est aujourd'hui tombée à 30 arbres/ha (M'hirit, 1989), en raison des coupes répétées et non contrôlées.

Dans la région d'Essaouira, Bucher (1954) confirme que 2 000 ha par an ont disparu entre 1918 et 1924. Durant la Seconde Guerre mondiale, 40 000 ha supplémentaires ont été dégradés dans la région d'Agadir (M'hirit, 1989).

Bien que le prélèvement moyen en bois soit estimé à 2 stères/ha/an, l'accroissement naturel de la biomasse ligneuse ne dépasse pas 0,25 à 0,5 stère/ha/an, ce qui démontre un déséquilibre flagrant entre l'exploitation et le renouvellement (Bencheikroun et Buttoud, 1989).

Les besoins en bois des populations locales, notamment dans la région d'Agadir, sont estimés à 500 000 stères/an, un volume bien supérieur à la capacité de production naturelle de l'écosystème.

8.2 Surpâturage

Le surpâturage constitue une pression permanente sur l'écosystème arganier. Il affecte non seulement l'arbre lui-même, mais aussi les espèces ligneuses et herbacées qui assurent la résilience de l'écosystème (Delperugia, 1990 ; Ayad, 1989).

Aouad (1989) explique que l'accroissement du cheptel est motivé davantage par des considérations culturelles et sociales que par une logique de gestion rationnelle. En période de sécheresse, les populations nomades poussent leurs troupeaux jusqu'à la plaine du Souss, où les camelins causent des dommages sévères en broutant systématiquement les jeunes rameaux. Cette situation empêche la régénération naturelle des arbres et contribue à leur vieillissement prématuré.

8.3 Ennemis naturels

Du point de vue phytosanitaire, l'arganier montre une certaine résistance aux maladies cryptogamiques. Aucune infection fongique grave n'a été signalée à ce jour, à l'exception de la présence de lichens sur les troncs dans les zones côtières (M'hirit *et al.*, 1998). En revanche, des insectes ravageurs et des rongeurs représentent une menace plus concrète. Parmi eux, l'écureuil de Barbarie (*Atlantoxerus getulus*) et le rat des sables sont connus pour attaquer les fruits de l'arganier, détruisant les amandes et compromettant la reproduction de l'espèce (M'hirit *et al.*, 1998). La liste complète mentionnée par Rungs en 1950 (M'hirit *et al.*, 1998) est résumée dans le tableau.2.

Tableau.2 Principaux insectes ravageurs des peuplements à *Argania spinosa* (D'après Rungs, 1950)

Insecte ravageur	Ordre	Dégâts engendrés
Le criquet : <i>Schistocera gregaria</i> Forsk	Orthoptère	Dégradation de jeunes pousses.
<i>Sinoxylon ceratoniae</i> L	Coléoptère	Xylophage dégradant les troncs fraîchement coupés.
<i>Xylomedes coronata</i> Mars	Coléoptère	Xylophage dégradant le bois coupé.
<i>Pinechora fasciatata</i> Steph	Coléoptère	Xylophage dégradant le bois mort.
<i>Bolivarta oculata</i> Esc	Coléoptère	Xylophage dégradant les différents types de bois.
La mouche des fruits d'Arganier	Diptère	S'attaque aux fruits.
Les cochenilles	Homoptère	Dégradation du feuillage.

D'après Ould Safi (2014), la caractérisation sanitaire de l'arganeraie de Tindouf a révélé que les différents peuplements sont en état critique, avec un début de dégradation attribué à plusieurs facteurs biotiques et abiotiques, notamment la sécheresse, la dégradation du sol, les termites et le surpâturage.

Aucun arbre mort n'a été observé, ce qui illustre la grande résistance de l'arganier, surnommé "arbre de fer", aux différents stress environnementaux. L'absence des sujets morts est due à leur exploitation rapide par les riverains, notamment les Sahraouis et ceci pour satisfaire leurs besoins en bois de chauffage ce qui indique la forte pression anthropique exercée sur l'arganeraie de Tindouf (Figure 12).



Figure 12. Les différents aspects de dégradation de l'état sanitaire d'*Argania spinosa* dans la région de Tindouf : A : Dessiccation d'une branche sous l'effet de la sécheresse ; B : Dénudation des racines de l'arganier sous l'effet de l'érosion hydrique ; C : Batteries des véhicules rejetées dans l'Arganeraie à Merkala provoquant ainsi une pollution chimique ; D : Criquet pèlerin constaté sur le feuillage de l'arganier ; E : Fruit d'*Argania spinosa* attaqué par la cochenille blanche ; F : Feuillage de l'arganier attaqué par les acariens ; G : Dégâts du rat du sable sur les graines de l'Arganier à Merkala ; H : Pâturage caprin à Oued Bouyadhine ; I : Dégâts des termites (*Psammotermes hybostoma*) sur les troncs d'Arganier (Ould Safi, 2014).

9. Problème de régénération de l'arganier

Si toutes les observations concordent pour dire que l'absence de la régénération de l'arganier n'est pas liée à une carence physiologique de l'arbre car les souches rejettent abondamment et les graines germent facilement (El Aboudi, 1990).

Ce même auteur signale qu'il a été observé des plantules de très jeunes arbres dans les zones protégées, alors les causes de l'absence de régénération seraient autres.

Ainsi, en raison de la surpopulation et les revenus importants tirés de l'huile, toutes les noix d'argan sont précieusement ramassées ; les quelques graines qui auraient échappé à la récolte et qui auraient germé ne dépassent pas le stade de la plantule car elles sont systématiquement broutées par les animaux (Les chèvres en particulier). La surexploitation et le surpâturage sont également à l'origine de la quasi-disparition de touffes d'épineux qui autrefois protégeaient probablement les germinations naturelles contre les animaux et l'insolation (M'hirit, 1989).

Monnier (1965) considère que le principal mode de régénération de l'arganeraie est le rejet de souche car un arbre coupé forme une couronne de rejets qui poussent vigoureusement. Selon ce même auteur, dès la deuxième ou la troisième année, ces rejets portent des fruits mais une mise en défens pendant une durée de 6 à 15 ans est nécessaire pour les mettre définitivement à l'abri d'une extermination par les chèvres ou les chameaux. Les rejets issus de souches donnent des brins élancés souvent utilisés comme piquets à tomates (Monnier, 1965). Le second mode de régénération de l'arganier est le semis de graines, s'il ne se fait plus de façon "naturelle" sous l'arbre ou à proximité ; il est pratiqué en pépinière (El Mazzoud et Errafia, 1977). Néanmoins, le problème de la transplantation des plants n'est pas actuellement résolu de façon satisfaisante parce que les taux de survie observés un an ou deux après le repiquage étant beaucoup trop bas (Khay, 1989). Les jeunes plants poussent très lentement et seront exposés beaucoup aux contraintes environnementales même si une mise en défens efficace est appliquée (M'hirit, 1989). Toutefois, l'arganier peut aussi se multiplier par bouture à partir de jeunes pousses, mais cette technique reste plus délicate. Nouaim *et al.*, (1990) signalent que des travaux récents sur la multiplication végétative *in vitro* ont abouti à la production par micro-propagation de plants d'arganier génétiquement contrôlés. Si la phase de multiplication est maîtrisée, celle relative à l'enracinement reste plus délicate et plus aléatoire.

CHAPITRE II : ESSAIS DE GERMINATION DES GRAINES D'ARGANIER

1. Introduction

La germination étant un phénomène biologique très complexe qui nécessite la maîtrise et l'identification des facteurs responsable de son déroulement. La graine d'arganier est pourvue d'une enveloppe très dure créant un obstacle naturel à la pénétration de l'eau. Certains auteurs comme Binet et Brunel (1968), Come (1970) dévient le phénomène germination de la graine en trois phases : l'imbibition correspondant à la réhydratation de la graine par une prise d'eau à l'état liquide, puis la germination sensu – stricto consistant à l'activation de la physiologie de la graine après l'imbibition et enfin la germination morphologique marquant la perforation de l'enveloppe par la radicule due à un allongement cellulaire. Selon Come (1970), les graines d'un même échantillon germent en des temps différents car elles ne sont pas toutes dans un même état physiologique. La connaissance de la précocité de la germination des graines permettrait une classification des géotypes (Obendorf et Wetlaufer, 1984). La durée de la germination est aussi souvent citée comme critère possible de vigueur (Puech, 1986) et l'écart entre les premières et les dernières graines germées influe sur la réussite de la plante (Ungar et Badger, 1989). En effet des graines, à germination lente, sont plus longtemps exposées à des accidents provoquant de mauvaises levées et un grand écart entraîne une irrégularité dans le développement des plants à cause de leur différence d'âge et de l'accroissement de la concurrence (Gray, 1976).

Pour lever cette contrainte liée à la nature biologique de la graine, nous réalisons une pré-imbibition à l'eau de durées variables avant le semis. Nous mettons ensuite les graines dans les conditions expérimentales déjà décrites pour évaluer l'influence de la pré-imbibition, des conditions thermiques et de la provenance des graines.

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'effet de différentes températures d'incubation sur la germination des graines d'*Argania spinosa*, en fonction de leur origine géographique. Trois provenances ont été sélectionnées : Tindouf (zone aride fraîche), Stidia – Mostaganem (zone semi-aride fraîche) et Oggaz – Mascara (zone semi-aride fraîche).

En soumettant les graines à différentes conditions thermiques, nous cherchons à caractériser la variabilité inter- provenance de la réponse germinative, dans le but de mieux cerner l'adaptabilité écologique de l'arganier à notre station expérimentale et aux contraintes abiotiques imposées.

2. Semence

La graine représente l'aboutissement du développement de l'ovule fécondé. Elle se compose principalement de trois éléments : les téguments (ou enveloppes externes), l'amande, et l'embryon. L'embryon, généralement unique, constitue l'élément vital de la graine et peut être accompagné d'un tissu de réserve, appelé albumen ou endosperme, qui fournit les nutriments nécessaires au développement initial de la plantule (Belkhodja, 2001). Chez l'arganier (*Argania spinosa*), la graine est particulièrement protégée par une coque lignifiée très dure, qui peut influencer sur sa capacité à germer.

3. Germination

La germination, au sens strict, débute par l'imbibition de la graine (absorption d'eau par les téguments) et se poursuit jusqu'à l'émergence de la radicule, premier signe visible de la reprise de croissance embryonnaire (Miloudi, 2006). Elle peut être décrite en quatre phases successives:

3.1 Phase d'imbibition : absorption rapide de l'eau par la graine, déclenchant les processus métaboliques internes.

3.2 Phase d'activation métabolique : réactivation des enzymes et du métabolisme cellulaire.

3.3 Phase de divisions cellulaires (mitoses) : prolifération cellulaire au niveau embryonnaire.

3.4 Phase d'élongation de la radicule : manifestation physique de la germination par rupture des téguments et croissance de la radicule.

Ces étapes sont sensibles aux facteurs environnementaux tels que la température, l'humidité et l'aération du substrat.

4. Dormance

La dormance désigne l'état dans lequel une graine viable ne germe pas malgré des conditions environnementales favorables. Elle peut être de nature physiologique (due à des inhibiteurs internes ou à l'immaturité de l'embryon), physique (imperméabilité des téguments à l'eau ou aux gaz), ou morphologique (embryon non complètement développé au moment de la dissémination).

Chez *Argania spinosa*, la dormance semble majoritairement de type physique et physiologique, en raison de la dureté de la coque et de la sensibilité de l'embryon à la déshydratation (Miloudi, 2006).

5. Stratification

La stratification est une technique pré-germination visant à lever la dormance des semences en les soumettant à des conditions contrôlées d'humidité et de température pendant une durée déterminée. Elle favorise notamment la dégradation des inhibiteurs de germination et le ramollissement des téguments, facilitant ainsi l'imbibition et la germination (Geneve, 2003). Une alternance de températures jour/nuit peut optimiser le processus, en imitant les variations thermiques naturelles. Chez l'arganier, la stratification sur substrat humide (sable fin) permet non seulement de conserver la vitalité de l'embryon, mais également de faciliter la rupture mécanique de la coque (Ounis *et al.*, 2002).

6. Matériels et Méthodes

6.1. Origine des Semences

Dans notre étude, trois provenances de noyaux d'arganier ont été utilisées. Il s'agit de noyaux emportés de la réserve de l'arganeraie de Tindouf, de Stidia (Mostaganem) et d'Oggaz (Mascara) ; et qui ont été récoltés à maturité au mois de juin 2013. Elles ont ensuite été conservées dans des cartons à l'abri de la lumière, placée à l'air libre pour un séchage aux conditions ambiantes de température (25–35°C) et d'humidité relative fluctuante (40–50%), cependant le nettoyage et le tri reste très long et fastidieux en raison de la dureté de la coque extérieur. Cette méthode de stockage vise à éviter la perte de viabilité sans induire un dessèchement excessif.

6.1.1 Description des semences d'*Argania spinosa* des trois provenances : (Figure 13).

Dimension (mm x mm) : 25 x 10mm (en moyenne).

Nombre de cotylédon : Dicotylédoné.

Contour : Ovale, fusiforme, rond, allongé, sphérique, oblongue....

Couleur : Marron

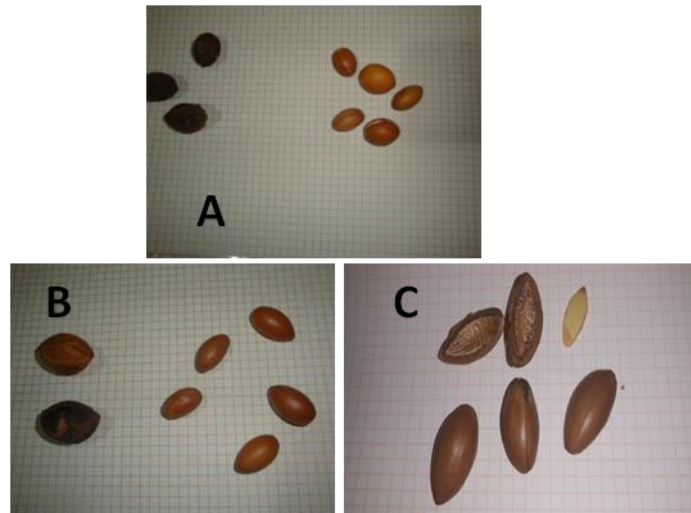


Figure 13. A: Graines d'*Argania spinosa* de Tindouf (forme ovale) ; B: Graines d'*Argania spinosa* de Mostaganem (Stidia) (forme allongée) et C: Graines d'*Argania spinosa* de Mascara (Oggaz) (forme fusiforme) (Mokeddem, 2013)

6.2 Description de la serre

L'expérimentation a été conduite dans une serre située au sein de la pépinière de la cité Bel Air, dénommée « Le Martyre Mascari Mohammed », implantée dans la wilaya de Mascara. Cette infrastructure est localisée à environ deux (2) kilomètre de la faculté des sciences de la nature et de la vie de l'Université Mustapha Stambouli de Mascara et à proximité de la Conservation des Forêts de la wilaya. La création de cette pépinière a été officialisée par la décision n°765 en date du 23 mai 2011, émise par Monsieur le Président de l'Assemblée Populaire Communale (PAPC) de Mascara. La pépinière est gérée par les services de la conservation des forêts de Mascara.

6.2.1 Caractéristiques géographiques et techniques de la pépinière

- **Coordonnées géographiques** : Latitude N 35°24'0,9'' – Longitude E 0°8'36,7''
- **Adresse** : Rue Yakhou Abdelhalim, Mascara.
- **Altitude** : 594 mètres.
- **Superficie totale** : 76 ares (soit 7 600 m²).
- **Longueur du périmètre** : 270 mètres.

Il s'agit d'une serre professionnelle, construite à partir de structures en acier galvanisé et en PVC épais. Elle est conçue pour offrir une protection optimale contre les facteurs climatiques extrêmes tels que le vent, la pluie et la grêle. Elle est également traitée anti-UV, ce qui permet de protéger les cultures tout en diffusant uniformément la lumière naturelle.

La température y est réglable, ce qui permet de moduler les conditions microclimatiques internes selon les besoins des phases expérimentales. Cette installation offre ainsi un environnement contrôlé propice aux travaux de germination, d'élevage en pépinière et de suivi du développement des jeunes plants.

6.3 Méthode de stratification

Le rôle de la stratification est de favoriser la multiplication sexuée de l'arganier (*Argania spinosa*) en utilisant cette technique comme traitement pré-germinatif des graines. Le protocole appliqué consistait à placer les graines dans un substrat de sable fin et humide, sous serre, dans des conditions contrôlées de température. Trois régimes thermiques ont été testés afin d'évaluer leur effet sur le comportement germinatif des semences : 20 °C, 25 °C et 30 °C.

Les essais ont été réalisés dans un tunnel en plastique, partiellement enterré dans la pépinière « Le Martyre Mascari Mohammed » à Mascara. Ce tunnel a été conçu pour reproduire un microclimat favorable à la germination et limiter les pertes de graines dues aux prédateurs (insectes, rongeurs, oiseaux). Il permet également d'assurer une stabilité hygrométrique, en réduisant les échanges d'air et l'évapotranspiration. L'enfouissement partiel contribue à stabiliser les variations thermiques, garantissant ainsi le maintien d'un taux d'humidité constant et offrant une protection supplémentaire aux graines.

6.3.1 Disposition expérimentale

Six placettes ont été aménagées à l'intérieur de la serre, avec deux placettes par provenance (traitée et témoin) pour les graines d'Oggaz, Stidia et Tindouf. Le fond de chaque placette a été uniformément recouvert d'une couche de sable fin soigneusement nivelé. Un arrosage manuel avec un arrosoir de jardinier a été réalisé avant le semis, puis renouvelé après la mise en place des graines, dans le but de maintenir une humidité constante du substrat tout au long de la période de stratification.

6.3.2 Caractéristiques du tunnel de stratification

- **Localisation** : Pépinière « Le Martyre Mascari Mohammed », Mascara
- **Structure** : Tunnel en plastique semi-enterré
- **Dimensions du tunnel** : Largeur : 5 mètres, longueur : 5 mètres et hauteur : 20 centimètres (Figure 14).

Ce dispositif a permis de conduire les essais dans un environnement semi-contrôlé, offrant à la fois une protection physique et une stimulation thermique adaptée à l'étude des exigences germinatives de l'espèce.

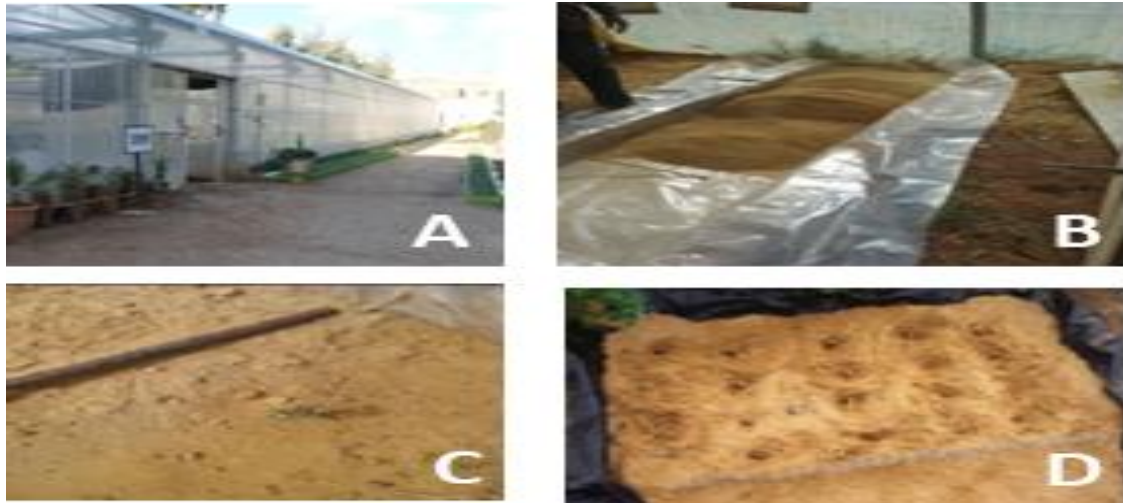


Figure 14. A : Vu de la serre au niveau de la pépinière ; B : Mise en place du tunnel dans la serre ; C : Dépôt des noyaux dans le sable et arrosage (la stratification) et D : Noyaux germés par stratification (vu de la radicule des graines germées) (Mokeddem, 2014)

6.4 Protocole expérimental

Le délai de germination est l'intervalle de temps entre le semis des graines et les premières graines germées. Il est variable selon les caractéristiques biologiques de la graine, les techniques utilisées et les conditions de germination (Belkhodja, 1996). Chaque espèce dispose d'une précocité de germination spécifique à sa nature (Renard, 1975). Cependant, la reprise des plants après plantation est le facteur primordial à l'évolution du succès de la régénération artificielle, qu'elle est conditionnée par les méthodes de plantation et d'élevage des plants en pépinière (Miloudi et Belkhodja, 2009).

La graine ne germe que si l'embryon a la possibilité de s'imbiber (Côme, 1975). Dans ce but, les noyaux désinfectés à l'aide d'une solution diluée d'eau de Javel ont été soumis à un protocole germinatif standardisé, reconnu pour favoriser un taux de germination élevé chez l'arganier (Kechairi et Lakhdari, 2002; Miloudi et Belkhodja, 2009).

Selon ce protocole, un simple trempage des noyaux d'arganier dans l'eau pendant quatre jours (96 heures) permet d'améliorer significativement le taux de germination.

6.4.1 Germination par stratification

La germination a été initiée après une phase de stratification humide sur un lit de sable fin maintenu humide (Geneve, 2003), exposant les graines aux variations de température ambiantes. Cette stratification favorise à la fois le ramollissement progressif de la coque et le maintien de la viabilité des amandons (Younis *et al.*, 2007).

Pour chaque provenance, nous disposons un tunnel en plastique creusés dans la terre avec du sable fin sous serre en pépinière « Le Martyre Mascari Mohammed » à Mascara en septembre 2014. Chaque tunnel renfermant deux lots (lot trempé et lot témoin), chaque lot contient 80 noyaux.

Le premier lot contient des graines ayant subi un trempage de 96h tandis que le second lot comprend des graines témoin sans traitement. L'arrosage a été effectué durant la mise en stratification afin de maintenir une humidité constante du substrat. La température demeure un facteur limitant qui intervient directement sur la germination (Younis *et al.*, 2007). Pour laquelle, les lots de germination de chaque provenance ont été mis sous diverse température 20°, 25° et 30°C. La germination a été suivie quotidiennement pendant une durée de trente jours (01 mois) (Tableau 3).

Tableau 3. Organisation expérimentale des lots de graines d'arganier selon provenance, traitement et température.

Provenances	Oggaz		Stidia		Tindouf	
Prétraitements	Trempage 96h	Témoin	Trempage 96h	Témoin	Trempage 96h	Témoin
à 20°C	80 noyaux	80 noyaux	80 noyaux	80 noyaux	80 noyaux	80 noyaux
à 25°C	80 noyaux	80 noyaux	80 noyaux	80 noyaux	80 noyaux	80 noyaux
à 30°C	80 noyaux	80 noyaux	80 noyaux	80 noyaux	80 noyaux	80 noyaux

Les paramètres quantifiés reposent sur les éléments suivants : Une graine est considérée comme germée lorsque la radicule a percé les enveloppes. La germination sensu stricto commence avec l'imbibition de la semence et se termine avec le début de la croissance marquée par l'allongement de la radicule (Miloudi et Belkhodja, 2009). La vitesse de germination est le temps nécessaire à la germination des semences après la date de semis.

Le temps de latence est le temps mis pour avoir les premières graines germées. La capacité germinative est le pourcentage maximal de germination obtenu dans les conditions choisies par l'expérimentateur (Mazliak *et al.*, 1982).

7. Suivi de germination

Les essais ont débuté en septembre 2014 et se sont étalés jusqu'au mois de décembre de la même année. Pour chaque provenance (Mascara, Mostaganem et Tindouf), on a effectué un essai mensuel à différente température (20, 25 et 30°C) et les graines germées sont placées au même moment dans les sachets remplis d'un autre substrat (50% sable, 25% terre, 25% terreau). L'apport régulier d'eau par irrigation sur l'ensemble des placettes consiste à maintenir l'humidité constante du sable.

Le nombre de graines germées par stratification à différente température (20, 25 et 30°C) sous serre est dénombré régulièrement jusqu'à la stabilisation du taux de germination (30 jours environ). Les noyaux germés obtenus après chaque essai de stratification sont repiqués dans des sachets de polyéthylène perforés, puis disposés dans des cagettes. (Figure15).

L'arrosage des semis germés et repiqués dans le nouveau substrat a été effectué à l'aide d'un arrosoir de jardinier à bec fin, cette technique est répétée selon le besoin. Les gouttelettes d'eau doivent être fines pour ne pas risquer de ressortir les graines ou d'emporter la couche qui les couvre.

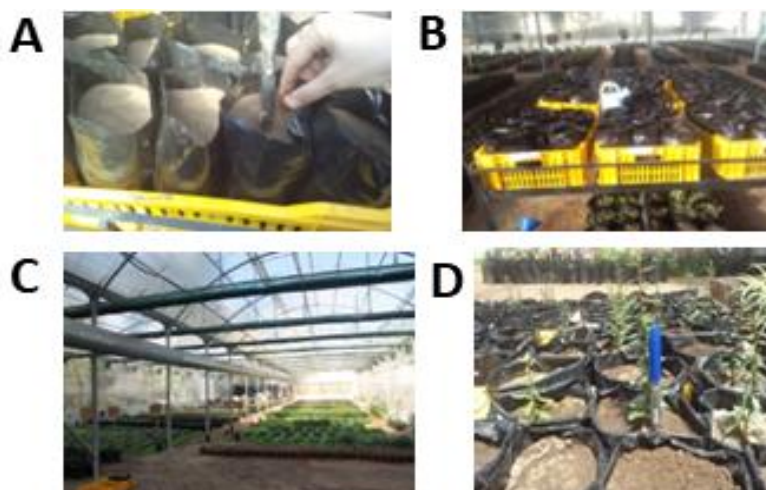


Figure15. A : Repiquage des noyaux germés dans les sachets ; B: Disposition des sachets dans des cagettes selon les provenances ; C : Vu de l'ensemble de la pépinière et D : Suivi de l'élevage des plants en pépinière (Mokeddem, 2014).

Les essais de germination ont été réalisés sous serre dans la pépinière par stratification à différentes températures : 20 °C, 25°C et 30°C et à la lumière du jour.

Les essais ont débuté le 7 septembre 2014 et se sont poursuivis jusqu'à la fin du mois de décembre de la même année. Pour chaque provenance (Mascara, Mostaganem et Tindouf) on a effectué un essai mensuel à différente température (20, 25 et 30°C).

Nous avons mis ensuite les graines dans les conditions expérimentales déjà décrites pour évaluer l'influence de la pré imbibition, de la stratification, des traitements thermiques et des périodes de récolte sur la précocité, la vitesse, la durée et le taux final de germination.

CHAPITRE III : TRANSPLANTATION AU SITE EXPERIMENTAL ((C.E.T) EL KEURT- MASCARA)

1. Introduction

Le problème majeur qui se pose actuellement au niveau des forêts demeure sur le pourcentage élevé des échecs après les transplantations ou les reboisements. Il est bien connu que le développement des arbres, la croissance en hauteur et en diamètre, donc le rendement en mètre cubes (production, fructification) dépend de leur constitution génotypique et de leurs réactions aux conditions offertes par le milieu. La régénération naturelle était limitée par des contraintes d'ordre physiologique, climatique, édaphique, biotique, elle devient de plus en plus difficile d'où le recours à la régénération artificielle qui s'est avérée nécessaire. La reprise des plants après plantation qui est le facteur primordial à l'évolution du succès de la régénération artificielle est conditionné pour beaucoup par les méthodes de plantation et d'élevage des plants en pépinière. Dans ce cadre nous essayons de présenter les résultats obtenus à la suite de notre expérimentation afin de contribuer à la recherche de solutions pouvant cerner les problèmes liés à la transplantation.

2. Objectif de l'essai

Notre étude vise à introduire une arganeraie expérimentale dans la région d'El Keurt, près du chef-lieu de Mascara. Le but de cet essai est de mettre en place un dispositif expérimental afin d'appréhender l'acclimatation des plants d'arganier transplantés au centre d'enfouissement technique (C.E.T). Ce site a été choisi pour ses conditions sécurisées et contrôlées, garantissant la protection des plantations, l'accès à l'eau et la continuité du suivi, assurant ainsi la fiabilité des résultats. Les plantules produites par stratification (sable humide) possèdent un système racinaire pivotant avec un développement rapide et puissant allant de 1 à 1,8 Cm. Les plantules d'arganier sont très fragiles et nécessitent ainsi une acclimatation avant de les placer sous les conditions naturelles de notre station d'étude (C.E.T d'El Keurt) par la mise en pots (sachets de polyéthylènes remplis d'un autre substrat (50% sable, 25% terre, 25% terreau) de 9 cm de diamètre et 30 cm de hauteur perforés et mises dans des cagettes sous serre). Les plants ont été élevés en pépinière pendant une période de 18 mois.

3. Présentation de la zone d'étude d'El Keurt-Mascara

Le site, objet de notre étude, est situé à El keurt, à l'Ouest de la Commune de Mascara, cette région a fait l'objet de la réalisation d'un centre d'enfouissement technique (C.E.T), destiné à la gestion des déchets solides urbains.

L'assiette foncière du centre d'enfouissement technique (C.E.T.) d'El Keurt a été délimitée depuis plusieurs années et s'étend sur une superficie de 41 hectares. Le centre d'enfouissement technique (C.E.T.) d'El Keurt est réalisé pour l'ensemble du groupement des communes suivantes : Mascara, Mamounia, Tizi, El Keurt, Froha, Tighennif, El Bordj, Khalouia, Bouhanifia, Maoussa, Matemore, Ain Farés, Schaïlia, Sidi Boussaid, Ain Fekan, Guerdjoum, Ghriss, Sidi Kada.

4. Situation géographique du site dans son espace limitrophe

Notre site d'étude se trouve à 4 km à l'ouest du chef-lieu Mascara ($0.05185833^{\circ}\text{E}$; $35.36155556^{\circ}\text{N}$), qui fait partie des Monts de Béni-Chougrane au nord-ouest de l'Algérie.

Il se situe à 92 km du littoral de Stidia, à Mostaganem, où l'on trouve des sujets vigoureux d'arganiers âgés de plus de 80 ans, ainsi qu'une plantation réussie de 500 plants réalisée en 2007 (Benaouf *et al.*, 2015). De plus, elle est distante de 73 km au nord-ouest, du sujet vigoureux d'Oggaz (Figure 16). Elle est limitée :

- Au Nord, par les communes de Hacine et de Mamounia.
- Au Sud, par la commune de Tizi.
- A l'Est, par les communes de Mascara et de Mamounia.
- A l'Ouest ; par les communes de Hacine et de Tizi.

Cette zone test cadre dans un espace délimité en longitude par $0^{\circ}03'06,69''\text{Est}$ et en latitude par $35^{\circ}21'41,60''\text{Nord}$.

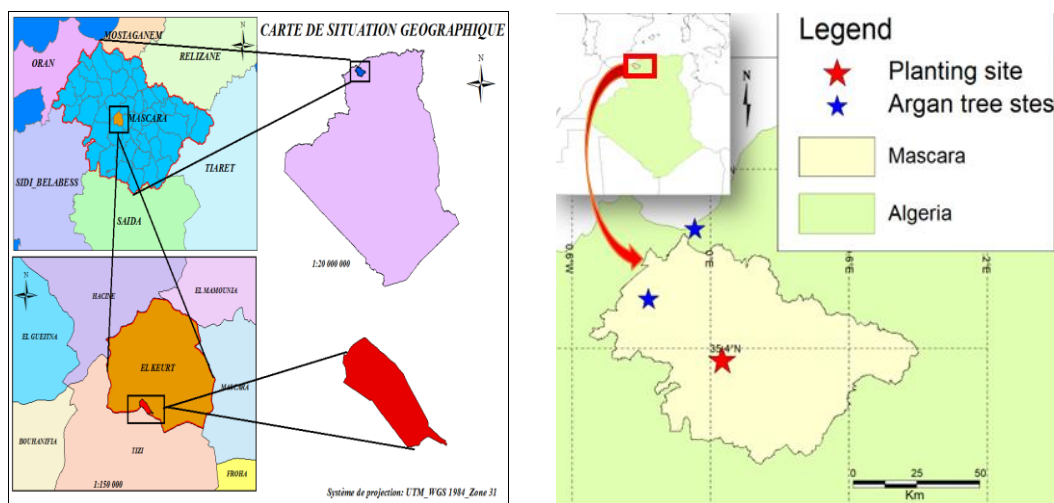


Figure 16. Situation géographique de la commune d'El Keurt.

4.1 Aspect socio-économique

Au dernier recensement de la population de 2022, elle comptait 6 091 habitants, soit une densité moyenne de 148,6 habitants/km². Sur le plan spatial, la commune d'El Keurt s'étend en grande partie, dans le nord, sur les monts des Béni-Chougrane et au sud sur les premiers contacts avec la plaine de Ghriss. Sa population est regroupée dans une agglomération chef lieu de commune, ou répartie dans la zone éparsée constituée de petits douars.

4.2 Géologie

La région s'insère dans deux grands ensembles géologiques :

L'anticlinal au nord, constitué de terrains miocènes avec un cœur crétacé et des formations éocènes dans la partie sud-ouest, et le synclinal, composé en profondeur de terrains miocènes et du jurassique supérieur. La zone d'étude se situe à l'extrême sud de la plaine de Ghriss, recouverte par des alluvions récentes. Le site proprement dit repose sur des formations marneuses bleuâtres à grisâtres, alternant avec des lits sablonneux et devenant plus argileux, reflétant l'influence directe de la géologie locale sur le substrat (C.E.T. Mascara, 2016).

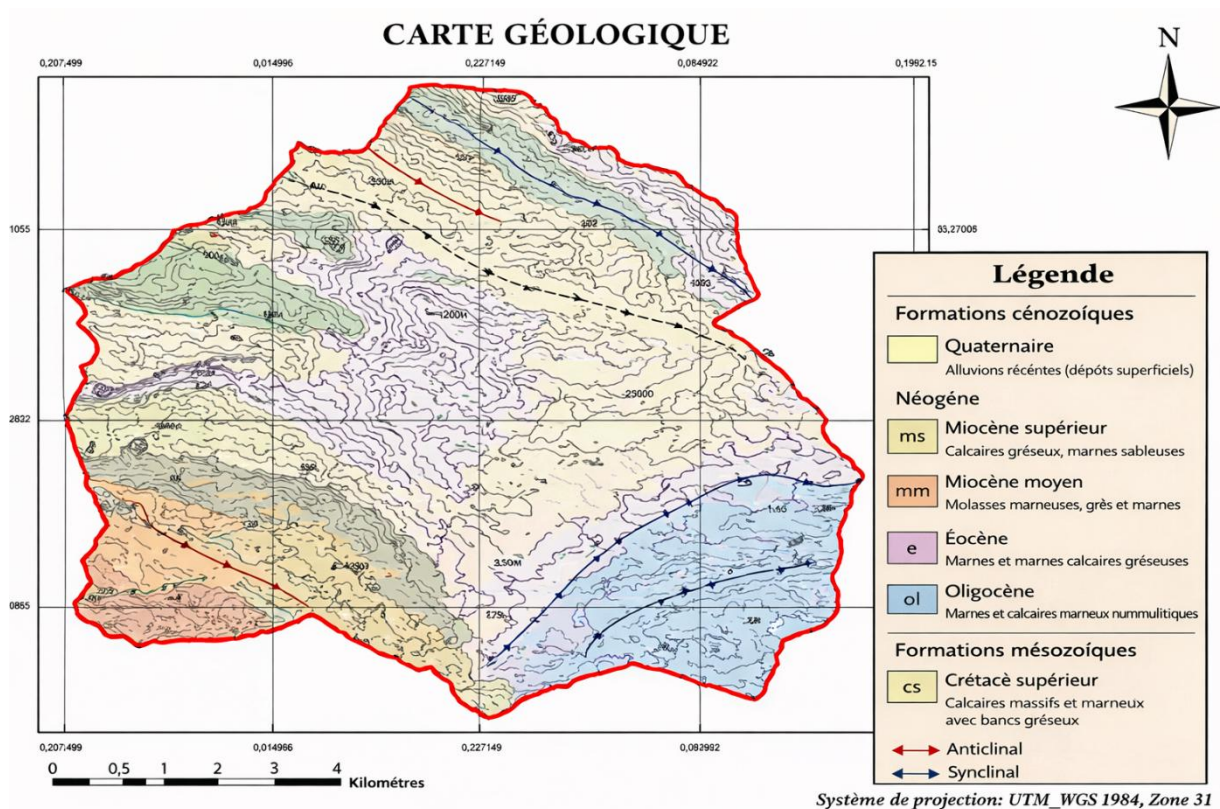


Figure 17. Carte géologique de la commune d'El Keurt (C.E.T. Mascara, 2016).

Les terrains qui constituent cette partie des monts sont à peu près les mêmes que ceux que l'on rencontre dans le tell. Il est à noter la faible extension du trias, l'absence du Jurassique, la prédominance du Crétacé supérieur et moyen sur le terme inférieur, celle de l'Eocène sur l'Oligocène (Figure 17). Quant aux formations néogènes, elles sont bien représentées sur les deux versants Nord et sud du massif. C'est un massif crétacéo-numilitique complètement ceinturé par des terrains Néogènes. Le substratum Crétacé est redressé et recouvert en discordance par le Miocène (Source : (C.E.T) Mascara, 2016). Trois grandes classes lithologiques peuvent être retenues :

a- Les roches tendres : ce sont des roches très sensibles à l'érosion, cette classe regroupe :

- Les marnes constituent la formation qui domine largement dans les monts de Béni-Chougrane. Elles présentent des teintes différentes d'une région à une autre. Elles sont tantôt jaunâtres en surface et bleuâtres en profondeur, tantôt grises ou rougeâtres et souvent sableuses. Souvent avec les marnes nous rencontrons des lambeaux de grès qui s'y intercalent.
- Les argiles : qui sont grises et délitescents, très boueuses en hiver. Elles sont localisées notamment dans les collines du bassin versant de l'oued Fergoug.
- A ces roches, s'ajoutent celles peu cohérentes tels que, les grès et les roches calcaires.

b- Les roches moyennement tendres : ces roches sont peu sensibles à l'érosion. Elles regroupent les conglomérats, les roches dures et cohérentes avec intercalation de marne.

c- Les roches dures : qui sont résistantes à l'érosion, on y trouve le calcaire dur, les grès durs et les poudings.

Les roches dures et moyennement tendres ont une faible extension dans la zone des monts de Béni-Chougrane, on les rencontre surtout dans les différents massifs de la région. Les monts de Béni-Chougrane ont un soubassement marno-calcaire crétacé, des couches marneuses et gréseuses miocènes, surmontées de grès pliocènes. Les sols sont argilo-limoneux sur marnes (vertisols) et sablo-limoneux sur grès plus ou moins calcaires (sols rouges fersiallitiques, sols bruns calcaires plus ou moins vertiques et colluvions). Le sous-sol local est composé de la marne. A hauteur du centre d'enfouissement technique (C.E.T) les formations marneuses ont une épaisseur d'au moins une centaine de mètres. La teneur en calcaire peut varier entre 25 % et 75 %, le reste étant constitué d'argile (Source : (C.E.T) Mascara, 2016).

4.3 Hydrogéologie

Les aquifères de la zone des Béni-Chougrane sont localisés dans les bancs calcaires du crétacé situés dans la partie haute du massif et dans la partie basse des niveaux gréseux et sableux du miocène. La direction dominante des écoulements est une direction de la plaine de Ghriss (Figure 18). Les aquifères de la plaine de Ghriss :

- Les alluvions récentes du pliocènes, contenant la nappe phréatique.
- Les niveaux inférieurs sont alimentés par les grès des Béni-Chougrane.

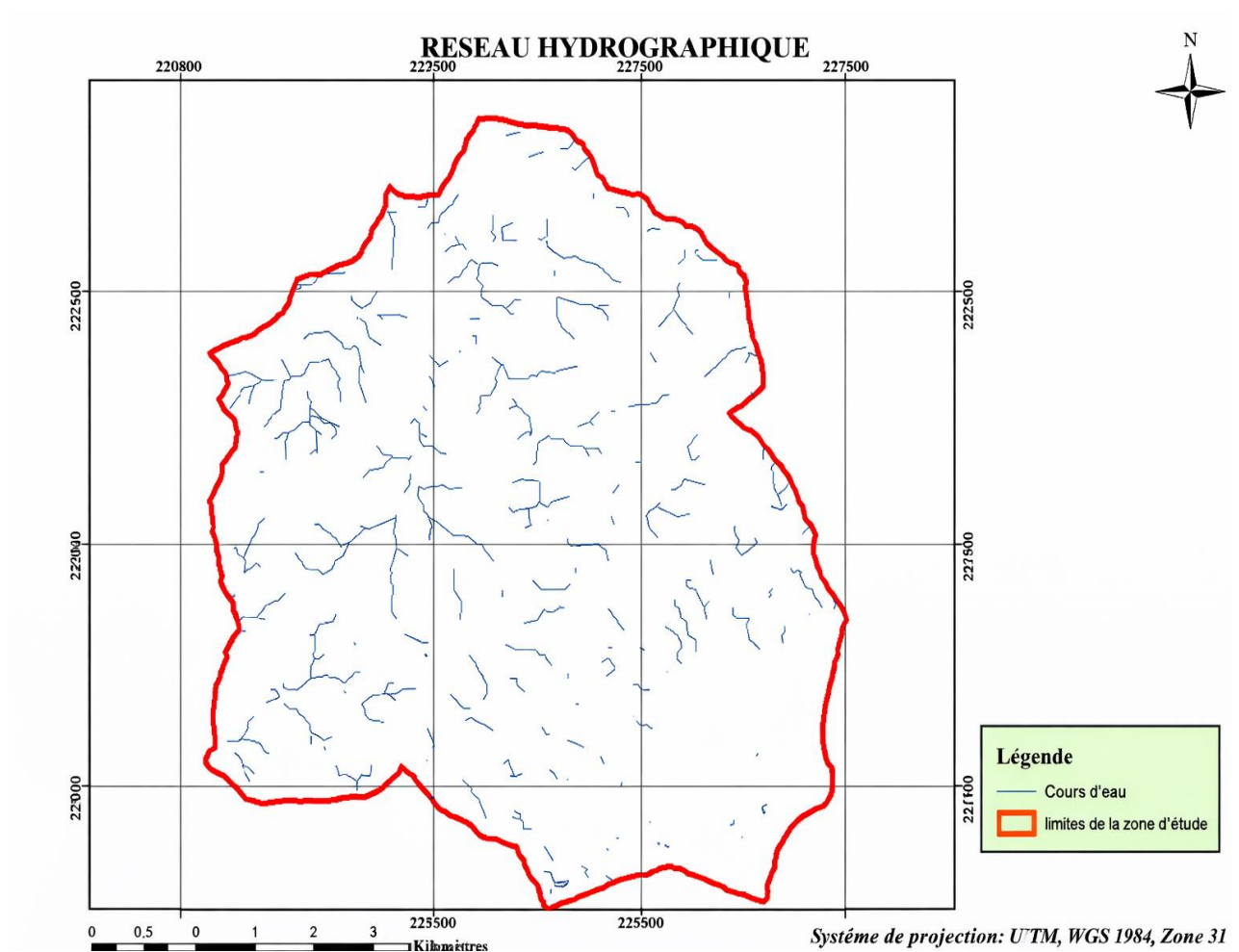


Figure 18. Réseau hydrographique de la commune El Keurt. ((C.E.T) Mascara, 2016).

4.4 Pentas

Quatre (04) classes de pentas ont été arrêtées. La majeure partie des pentas dans la zone d'étude, qui est de 75 %, est représentée par des pentas moyennes de 5-12 %. Au second rang viennent les pentas fortes de 12-25% avec un pourcentage de 21 %. En outre les très fortes pentas (plus de 30%) ne représentent que 3 % de la surface totale de la zone test (Figure 19).

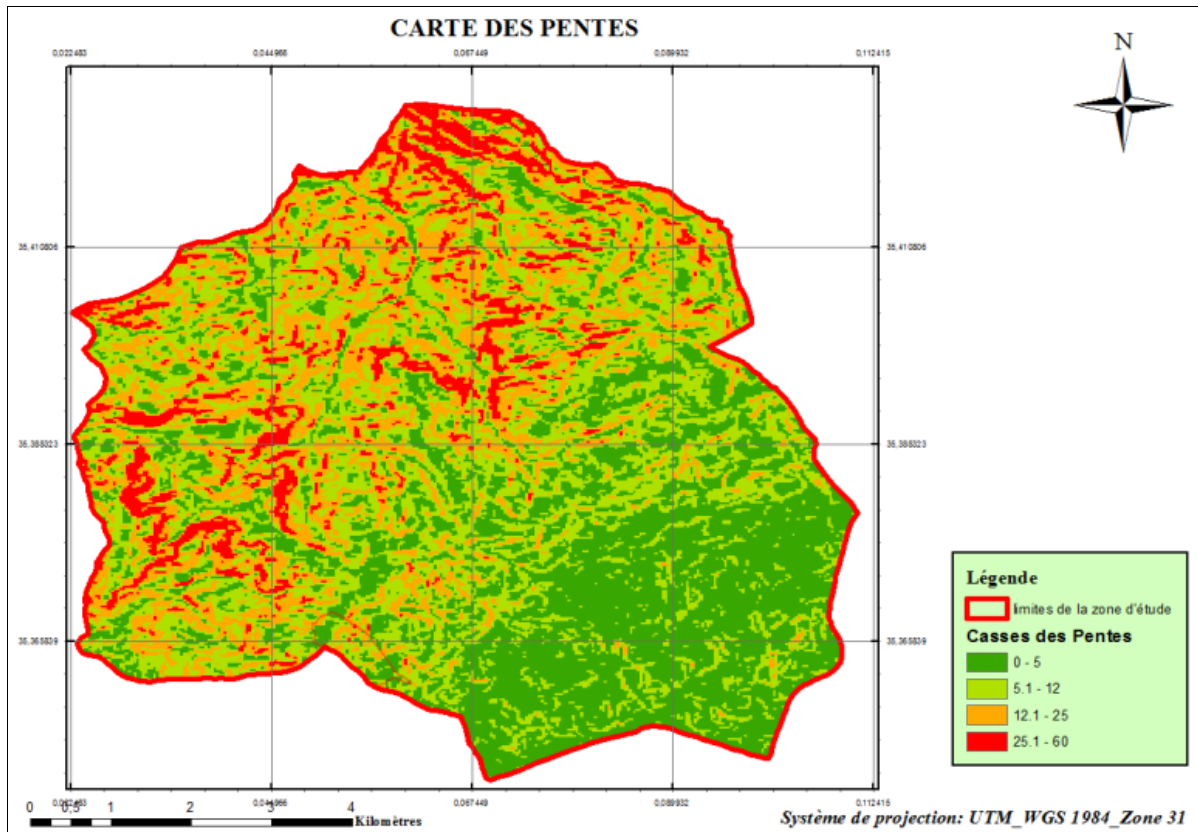


Figure 19. Carte des pentes de la commune El Keurt. ((C.E.T) Mascara, 2016).

L'érosion actuelle dans le site est fort préoccupante et inquiétante. Il est assez difficile de parcourir cette zone sans rencontrer des entailles ou des morsures sur les versants en pentes faibles ou en forte déclivité.

4-5 Exposition

Le facteur exposition est un élément qui revêt une importance non négligeable dans les opérations d'aménagement forestier. En effet, la température et l'évaporation sont des éléments dépendant en grande partie de cet élément, il en est de même dans toute opération de plantation ou le choix des espèces dépend des propriétés édaphiques des sols, de l'altitude et de l'exposition.

Ce dernier élément est d'autant plus important dans les milieux assez contraignants d'un point de vue climatique (milieux subaride et aride) ainsi, les versants en position d'abri et à exposition sud dans les zones arides et semi arides se distinguent par des bioclimats assez contraignants et les équilibres au sein des écosystèmes de ces milieux sont très fragiles (Figure 20).

Tableau 4. Répartition des superficies par exposition.

Exposition	Nord-Ouest	Nord	Sud-Ouest	Ouest	Sud	Sud-Est	Est	Nord-Est
Superficie%	32%	22%	18%	07%	11%	02%	07%	01%

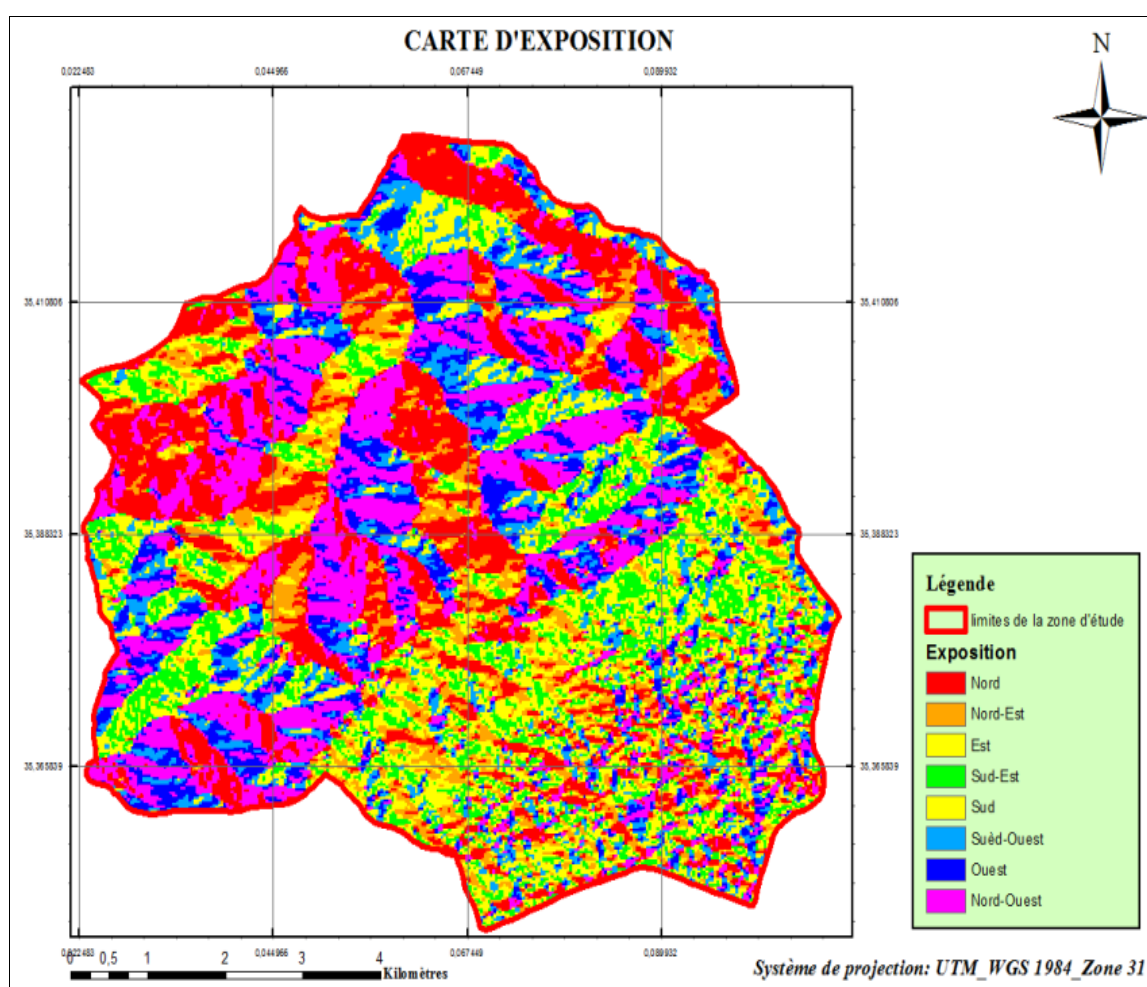


Figure 20. Carte d'exposition de la commune El Keurt. ((C.E.T) Mascara, 2016).

4.6 Altimétrie

L'altitude d'un relief ou d'un ensemble de reliefs est un facteur vital aussi bien pour la végétation que pour les populations qui y vivent. L'altitude maximale n'atteint pas les 800 m puisque le point le plus élevé est de 750m. L'altitude minimale est de 420 m, elle est localisée surtout au niveau des plaines limitrophes du centre d'enfouissement technique (C.E.T.) d'El Keurt. L'altitude moyenne est de 470 m (Figure 21).

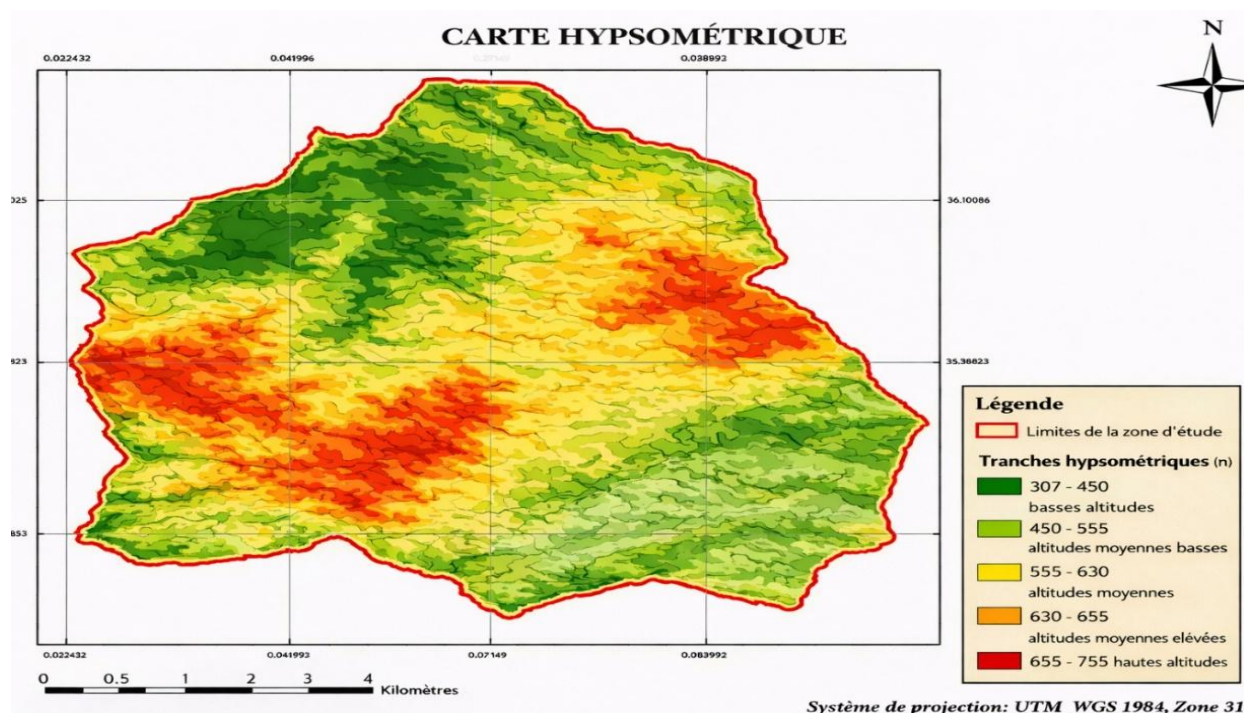


Figure 21. Carte hypsométrique de la commune El Keurt. ((C.E.T) Mascara, 2016).

5. Etude climatiques

Le climat influence fortement le développement de la végétation à travers deux principaux paramètres : les précipitations et la température. Ces facteurs agissent directement sur la typologie et la distribution des espèces végétales. Comme le soulignent Bary-Lenger *et al.* (1979), précipitations et températures constituent les fondements du climat et déterminent la végétation locale.

Les données bioclimatiques de la région d'étude, enregistrées sur une période de 25 ans (1999–2024), sont présentées dans le tableau 5 et proviennent des archives de la station météorologique de Ghriss-Mascara.

Tableau 5. Données climatiques de la région d'étude (1999-2024).

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
m °C	3,3	3,9	6,0	7,8	11,3	15,6	19,2	19,3	16,1	12,3	7,5	4,8
M °C	15,1	16,5	19,4	22,4	26,8	32,3	36,7	36,2	31,0	26,9	19,4	16,5
P(mm)	48	35	35	36	24	8	1	5	18	28	51	40

5.1 Les précipitations

Les données pluviométriques de la station de Ghriss-Mascara indiquent une répartition saisonnière typique du climat méditerranéen. La figure 22 montre l'irrégularité de la pluviométrie aux niveaux mensuel, annuel et interannuel. Cette variabilité a des répercussions directes sur l'équilibre des écosystèmes forestiers. Elle souligne également l'absence de précipitations durant la période estivale, pouvant s'étendre jusqu'à quatre (04) mois, facteur majeur de mortalité des jeunes reboisements.

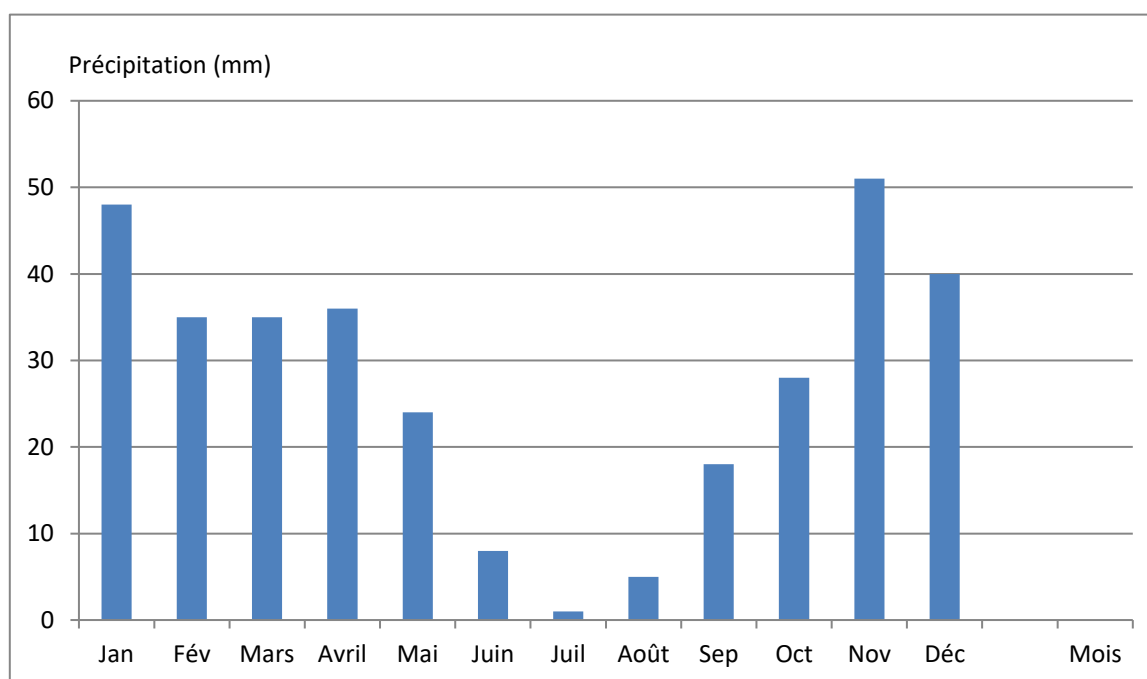


Figure 22. Pluviométrie moyenne durant la période (1999-2024).

La figure 22 indique que la tranche pluviométrique la plus élevée est enregistrée au mois de novembre, représentant environ 15 % de la pluviométrie annuelle. La période la mieux arrosée s'étend sur six (06) mois, de novembre à avril.

5.2 Températures

Les températures, qui varient selon les saisons, dépendent notamment de facteurs tels que l'altitude et la distance par rapport à la mer (Ozenda, 1982).

5.2.1. Températures moyennes des maximas :

Les températures maximales moyennes présentent une forte amplitude saisonnière, avec un pic estival très élevé. La figure 23 montre une variation saisonnière marquée des températures maximales moyennes. Les valeurs augmentent progressivement de l'hiver vers l'été, passant d'environ (15 °C) en janvier à un maximum enregistré au mois de juillet, atteignant près de (36,7 °C). Cette évolution traduit l'influence du climat méditerranéen à tendance continentale de la région, caractérisé par des étés chauds et secs et des hivers relativement modérés.

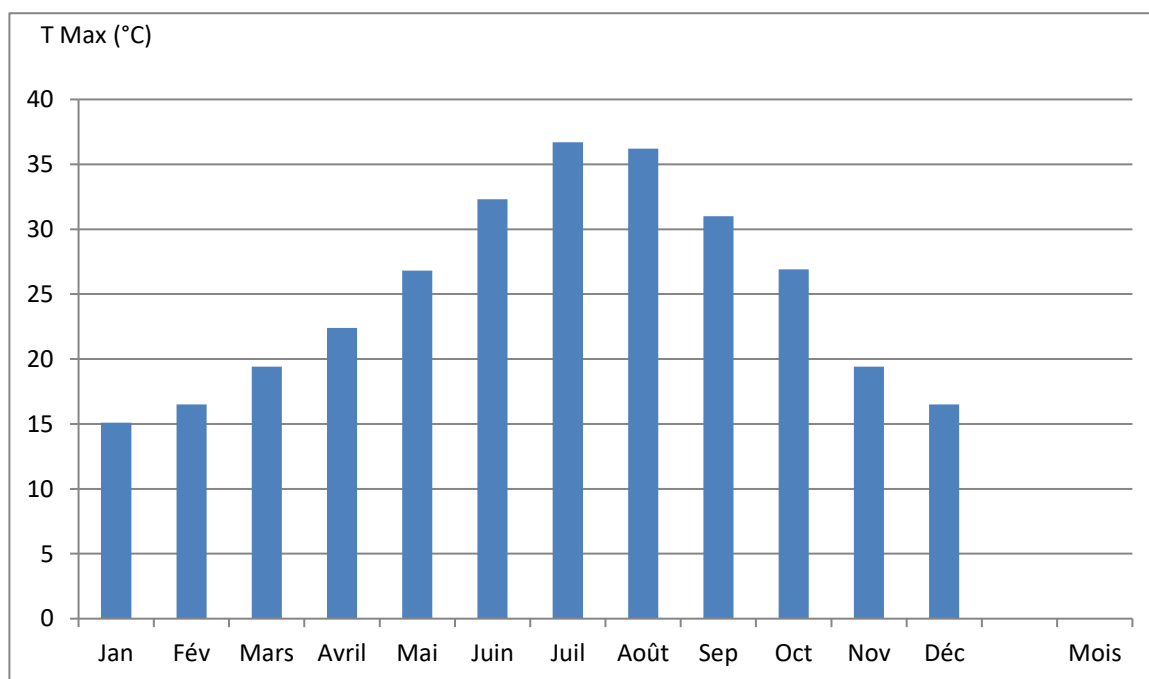


Figure 23. Température maximale moyenne durant la période (1999-2024).

5.2.2. Températures moyennes des minimas :

Les températures minimales moyennes présentent une variation saisonnière nette au cours de l'année. Les valeurs les plus basses sont enregistrées durant la période hivernale, avec un minimum observé en janvier (3,3 °C), suivi de février (3,9 °C) et décembre (4,8 °C) (Figure 24). Ces températures traduisent des conditions hivernales relativement froides, susceptibles d'entraîner des stress thermiques, notamment pour les jeunes plants.

La baisse progressive observée à partir de septembre (16,1 °C) marque la transition vers la saison froide.

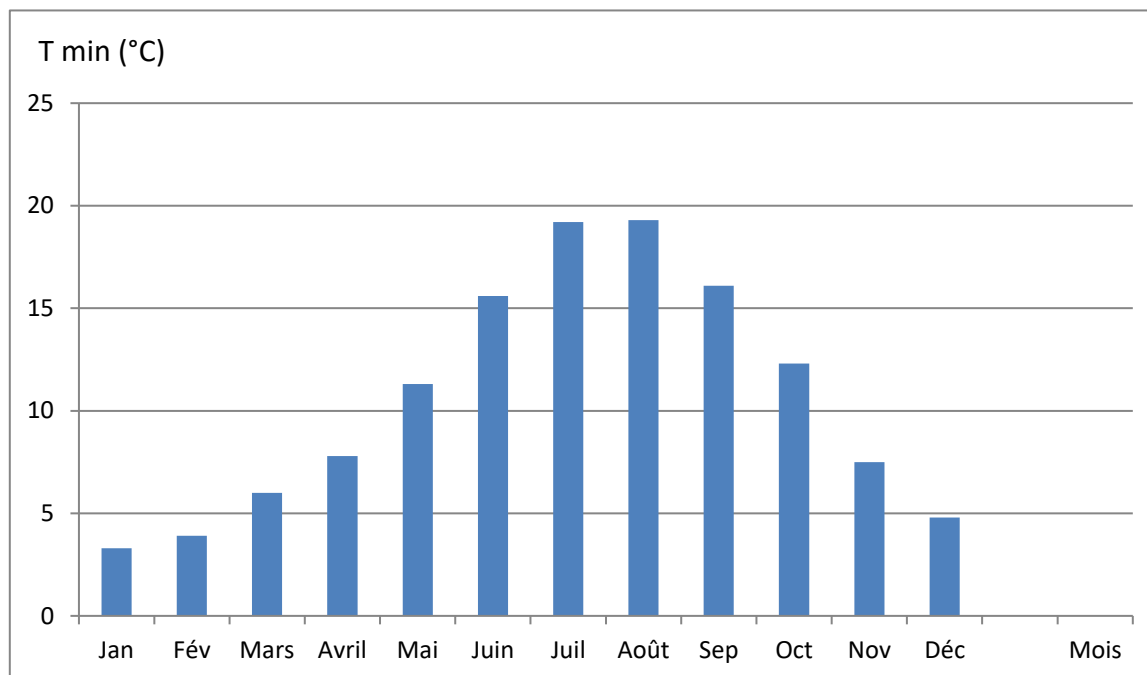


Figure 24. Température minimale moyenne durant la période (1999-2024).

5.3 Synthèse climatique

Depuis la date de la transplantation de l'arganier le 02 mars 2016, aucune températures minimales ($\leq 0^{\circ}\text{C}$) n'a été enregistrée dans la station d'étude, jusqu'à janvier 2019, où une période du gel de deux semaines a été enregistré. Cette observation est particulièrement significative, car l'arganier est particulièrement vulnérable au gel, notamment durant son stade juvénile. Ces résultats suggèrent que la région de Mascara, avec ses conditions climatiques modérées, pourrait constituer un site prometteur pour l'arganiculture.

5.4 Diagrammes ombrothermiques de Bagnouls et Gaussen (1953)

Selon Bagnouls et Gaussen (1953), la caractérisation du climat repose sur une représentation graphique croisée des précipitations mensuelles (P, en mm) et des températures moyennes mensuelles (T, en °C), en appliquant une échelle dans laquelle 1 °C correspond à 2 mm de précipitations (soit $P = 2T$). Cette méthode permet de distinguer deux grandes saisons climatiques : une saison humide et une saison sèche. Une période est qualifiée de « saison sèche » lorsque la courbe des précipitations descend en dessous de la courbe des températures dans le diagramme ombrothermique.

Autrement dit, un mois est considéré comme sec si la quantité de précipitations (P) est inférieure ou égale à deux fois la température moyenne (T) du même mois. D'après la figure 25, correspondant au diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (1953), la période sèche s'étend sur six mois de l'année, conformément aux données relevées sur la période 1999-2024.

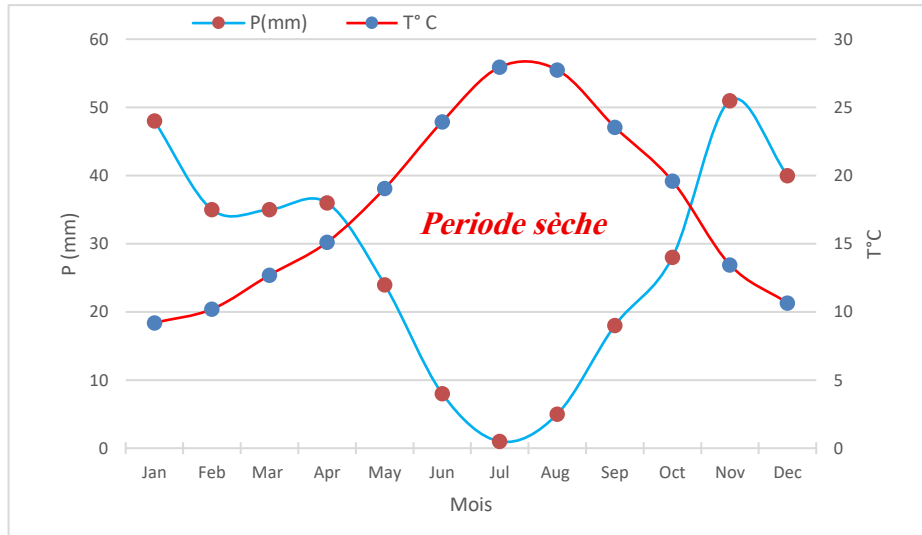


Figure 25. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (1999-2024).

5.4.1 Climagramme d'Emberger

Emberger (1930) a proposé un climagramme permettant de déterminer les étages bioclimatiques. Ce climagramme est construit à partir du calcul du quotient pluviothermique Q_2 , défini par l'équation suivante :

$$Q_2 = \frac{2000 \times P}{M^2 - m^2}$$

Avec ;

Q_2 : Quotient pluviothermique d'EMBERGER

P : Précipitations moyennes annuelles en mm ;

M : Moyenne des maxima thermiques du mois le plus chaud en °K ;

m : Moyenne des minima thermiques du mois le plus froid en °K ;

$M-m$: Amplitude thermique ; M et m : exprimés en degrés absolus ($T^{\circ}k = T^{\circ}C + 273,2$).

Tableau 6. Quotient pluviométrique de la station d'étude.

Paramètre de la station (C.E.T - EL Keurt)	P (mm)	T°C Max	T°C min	Q_2
0°03'06,69 "Est 35°21'41,60"Nord. Altitude : 514 m	397	36,7	3,3°	40,8

Notre zone d'étude se situe au niveau de l'étage semi-aride inférieur, caractérisé par un hiver frais. Les données climatiques présentées dans le tableau 6 montrent une pluviométrie annuelle moyenne de 397 mm, avec des températures maximales atteignant 36,7 °C et des températures minimales pouvant descendre jusqu'à 3,3 °C. L'indice du quotient pluviothermique (Q_2) est évalué à 40,8, ce qui confirme le caractère semi-aride du climat local (Figure 26). Ces conditions climatiques, marquées par un déficit hydrique modéré et des températures extrêmes relativement limitées, sont particulièrement importantes pour l'étude de l'acclimatation et du développement des plants d'arganier, qui sont sensibles aux périodes de sécheresse prolongée et aux températures basses.

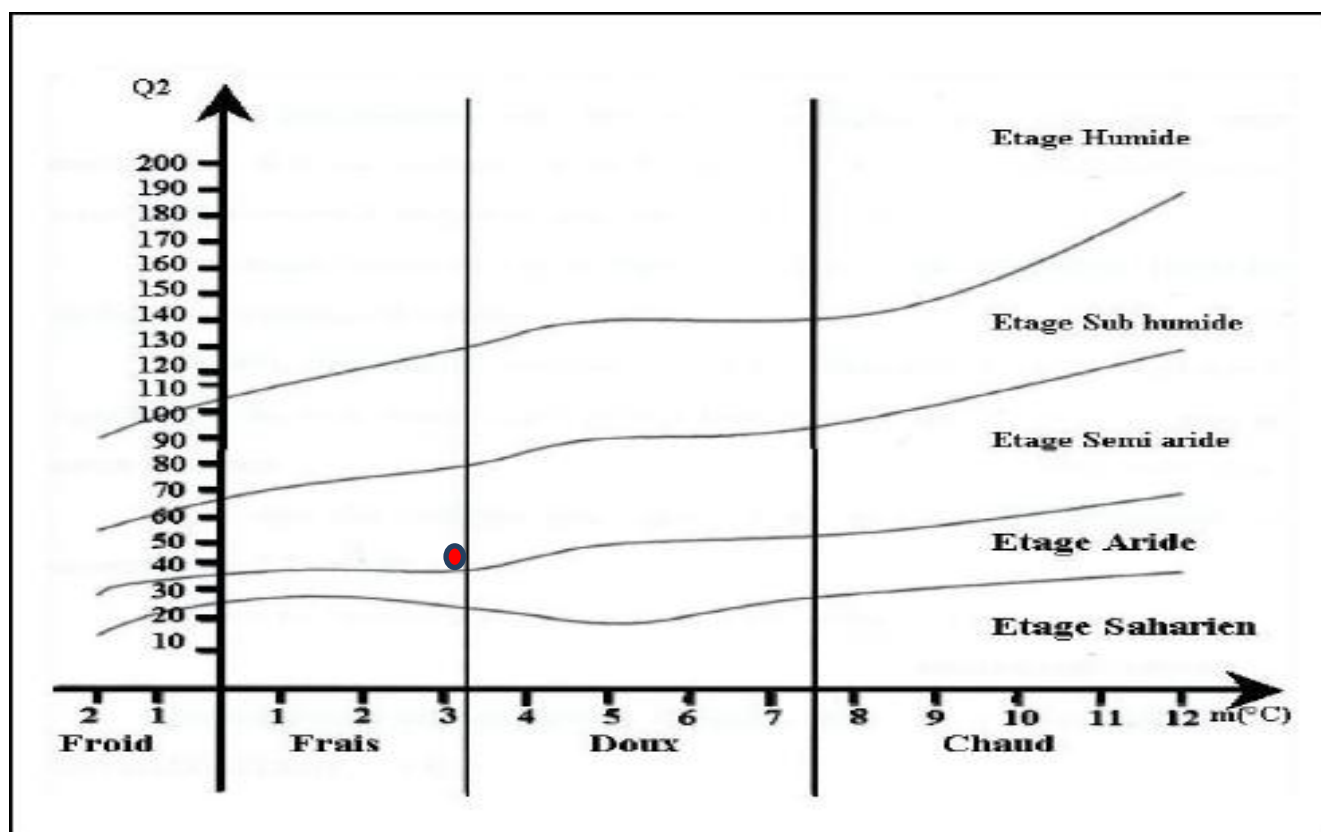


Figure 26. Situation de la zone d'étude dans le Climagramme d'Emberger.

5.5 Autre facteurs climatiques

A côté de ces principaux facteurs climatiques un certain nombre de facteurs peuvent exercer une certaine influence sur la végétation, parmi les plus importants, citons l'humidité relative atmosphérique, le vent et la gelée.

5.5.1 Vent

La force du vent est évaluée à l'aide d'une échelle dite échelle télégraphique, qui permet de catégoriser l'intensité du vent en fonction de ses effets observables. Cette échelle est divisée en plusieurs niveaux allant de 0 à 9. Le niveau 0 correspond à un état de calme absolu, tandis que les niveaux 1 à 2 indiquent un vent faible. Les niveaux 3 à 4 désignent un vent modéré, suivis des niveaux 5 à 6 représentant un vent assez fort. Un vent fort est noté entre les niveaux 7 et 8, et enfin, le niveau 9 correspond à un vent violent, pouvant aller jusqu'au stade d'ouragan. Cette classification simplifiée permet une estimation rapide et pratique de la force du vent, particulièrement utile dans les contextes où des instruments de mesure précis ne sont pas disponibles.

Tableau 7. Moyenne mensuelle des vitesses du vent sur la période (1999-2024).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Vents (m/s)	9,25	11	10.2	10.2	10.4	10.2	10	9.25	9.05	9.1	9.8	9.2

Les données relatives à la vitesse du vent sur la période 1999-2024 (Tableau 7) montrent que la vitesse moyenne mensuelle maximale est enregistrée au mois de février, atteignant 11 m/s.

5.5.2 Humidité

L'humidité relative de l'air représente un indicateur fondamental du contenu en vapeur d'eau dans l'atmosphère. Elle est définie comme le rapport entre la teneur réelle de l'air en vapeur d'eau et la teneur maximale qu'un air saturé peut contenir à la même température (Ozenda, 1978).

Exprimée en pourcentage, cette mesure permet d'apprécier le degré de saturation de l'air, ce qui a une importance considérable dans les phénomènes météorologiques, les échanges hydriques des végétaux, ainsi que dans les processus de condensation et d'évaporation.

Les résultats présentés dans le tableau 8, indiquent que les valeurs les plus élevées de l'humidité relative sont enregistrées durant la saison hivernale. La valeur maximale moyenne est observée au mois de décembre, atteignant 79%, tandis que la valeur minimale moyenne est relevée en juillet, avec un taux de 43%. Il convient également de noter que le degré hygrométrique moyen annuel s'élève à 66 %, traduisant une humidité relativement modérée sur l'ensemble de l'année.

Tableau 8. Humidité relative atmosphérique enregistré sur la période (1999-2024).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Humidité (%)	78.5	77.2	73.1	73.3	66	52.5	43	46.5	58	65	81	79

L'humidité joue un rôle fondamental dans la vie des peuplements forestiers. Elle compense souvent, lorsqu'elle est élevée, le déficit pluviométrique enregistré durant la saison sèche de la zone relevant surtout de l'étage semi-aride. (Seltzer, 1946)

5.5.3 Gelée

Elles s'étalent sur une durée d'environ 40 jours par an à compter du mois de novembre jusqu'à la fin de février. Elles causent des dégâts considérables sur les jeunes plants de la régénération naturelle ou du reboisement. Depuis la date de la transplantation de l'arganier le 02 mars 2016, aucune températures minimales ($\leq 0^{\circ}\text{C}$) n'a été enregistrée dans la station d'étude, jusqu'à janvier 2019, où une période du gel de deux semaines a été enregistré.

Cette observation est particulièrement significative, car l'arganier est particulièrement vulnérable au gel, notamment durant son stade juvénile.

Ces résultats suggèrent que la région de Mascara, avec ses conditions climatiques modérées, pourrait constituer un site prometteur pour la plantation de l'arganier.

6. Méthodes d'étude pédologique

L'étude pédologique constitue une étape essentielle dans l'analyse des écosystèmes terrestres, en particulier lorsqu'il s'agit de comprendre les relations entre le sol et la végétation. Elle nécessite un ensemble de méthodes et de matériels adaptés au prélèvement, à l'analyse et à la description des profils de sol.

6.1 Objectifs principaux de l'étude pédologique

Dans le cadre de notre station d'étude, l'analyse pédologique a poursuivi plusieurs objectifs :

- Décrire et analyser les substrats présents dans la station.
- Etablir la relation sol–arbre, en particulier celles conditionnant l'acclimatation de l'arganier (*Argania spinosa*) aux caractéristiques édaphiques locales.

6.2 Choix de l'emplacement du profil pédologique

Le choix de l'emplacement pour la réalisation du profil pédologique est une étape essentielle. Nous avons choisi d'installer le profil au centre de la placette d'étude (figure 27), afin d'obtenir un échantillon représentatif du site.

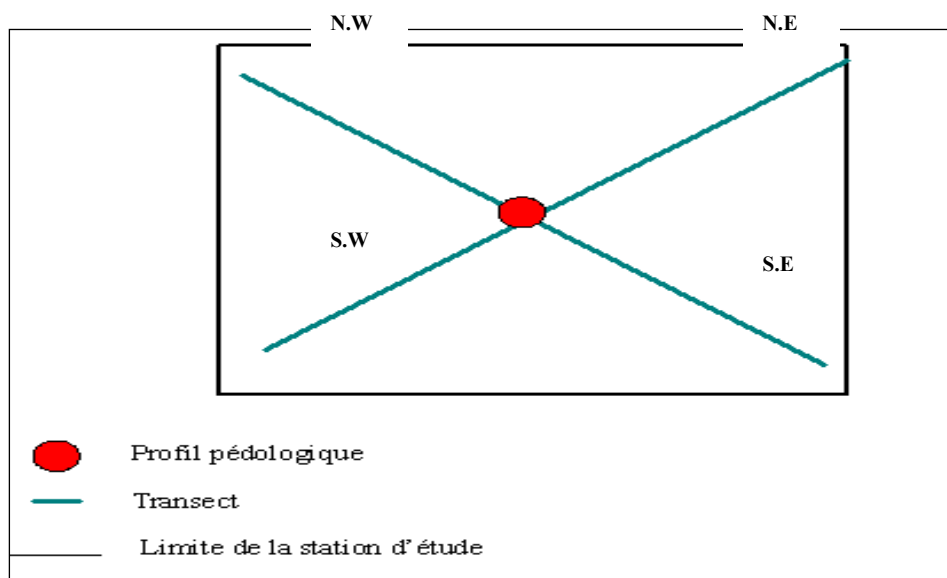


Figure 27. Localisation du profil pédologique par rapport aux transects.

La reconnaissance et la délimitation des horizons pédologiques ont été effectuées en tenant compte de plusieurs critères :

- La couleur (à l'aide de la charte de Munsell).
- La texture (analyse tactile sur le terrain, confirmée par sédimentométrie au laboratoire).
- La structure (granulaire, prismatique, massive, etc.).
- La teneur en matière organique, estimée visuellement puis confirmée en laboratoire.

Le prélèvement des échantillons pour chaque horizon identifié a été réalisé avec soin, à l'aide d'outils propres et adaptés, puis les échantillons ont été conditionnés dans des sachets étiquetés avant leur transport au laboratoire.

6.3 Analyses au laboratoire

Une fois au laboratoire, les échantillons ont fait l'objet d'analyses physico-chimiques et biologiques visant à :

- Déterminer la granulométrie.
- Mesurer le pH, la conductivité électrique.
- Évaluer la teneur en matière organique, en azote total et en carbone.
- Caractériser la capacité de rétention en eau et la porosité.

Ces données permettront de mieux comprendre les conditions édaphiques influençant la croissance et l'adaptation de l'arganier.

6.4 Matériel et méthode de l'étude pédologique

L'étude pédologique menée dans notre station d'étude, centre d'enfouissement technique (C.E.T d'El Keurt) s'est déroulée en trois phases principales : la phase de bureau, la phase de terrain, et la phase de laboratoire.

Chacune de ces étapes vise à fournir une caractérisation intégrée du sol, en lien avec les facteurs écologiques affectant notamment l'acclimatation de l'arganier (*Argania spinosa*).

6.4.1 Phase de bureau

Cette phase préparatoire consiste à :

- Consulter les documents cartographiques et les publications existantes sur la station d'étude.
- Identifier les objectifs d'analyse en lien avec les caractéristiques pédologiques.
- Préparer le matériel nécessaire pour les prélèvements de terrain (pelle, tarière, sachets, fiches de terrain, GPS, etc.).

6.4.2 Phase de terrain

6.4.2.1 Caractérisation géomorphologiques et topographiques de la zone d'étude d'El Keurt :

Ces relevés permettent de :

- Localiser précisément la zone d'étude à l'aide des coordonnées géographiques.
- Caractériser la topographie : altitude, pente, exposition, et morphologie du site.

6.4.2.2 Evaluation des éléments de surface :

Une première analyse de l'occupation du sol permet d'identifier les principaux types de recouvrement : végétation, éléments grossiers, croûte superficielle, etc.

Cette étape est essentielle pour évaluer l'érosion hydrique et éolienne (Melzi, 1986), ainsi que la dynamique de la végétation.

6.4.2.3 Etude de la litière :

La litière, indicateur du fonctionnement écologique (Duvignaud, 1974), est décrite qualitativement (épaisseur, composition, taux de décomposition) en tant que source de matière organique.

6.4.2.4 Inventaire des éléments grossiers :

Les éléments grossiers (>2 mm), tels que blocs, cailloux et graviers (Crbt, 1978), influencent la porosité et l'infiltration de l'eau (Pouget, 1980). Leur origine (roche mère ou transportés) est notée ainsi que leur abondance en surface et dans le profil.

6.4.2.5 Réalisation du profil pédologique :

Le profil est réalisé au centre de la placette, pour garantir sa représentativité. Les horizons sont identifiés selon leur couleur, texture, structure, et teneur en matière organique. Des échantillons sont prélevés et conditionnés soigneusement pour analyse.

6.4.3 Phase du laboratoire :

C'est la séparation des parties grossières du sol à l'aide d'un tamis à maille de 2 mm de diamètre, les échantillons sont étalés sur papier pour les faire sécher à l'aire libre.

Les analyses pédologiques ont porté sur la granulométrie, matière organique, pH, salinité, calcaire total, la conductivité et les cations K^+ , Na^+ et Ca^{++} .

Les analyses de nos échantillons sont effectuées dans le laboratoire de la faculté des sciences de la nature et de la vie - université Mustapha Stambouli Mascara.

6.4.3.1 Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique a pour objectif de déterminer la texture du sol par la répartition des particules minérales en classes de diamètre. Elle a été réalisée selon la méthode internationale, modifiée par l'utilisation de la pipette de Robinson, conformément aux recommandations d'Aubert (1982).

Après prélèvement, une masse représentative de sol fin (< 2 mm) a été utilisée. La matière organique a été éliminée par traitement à l'eau oxygénée, puis les particules ont été dispersées par addition d'hexamétaphosphate de sodium, suivie d'une agitation mécanique afin d'assurer une dispersion complète.

Les fractions fines (argiles, limons fins et grossiers) ont été déterminées par prélèvements successifs à des profondeurs et des temps de sédimentation définis, en application de la loi de Stokes. Les fractions sableuses (sables fins et grossiers) ont été séparées par tamisage. Les résultats ont permis de classer les sols selon leur texture.

6.4.3.2 Détermination de l'humidité du sol

L'humidité du sol correspond à la quantité d'eau contenue dans l'échantillon, exprimée en pourcentage de la masse sèche. Elle a été déterminée par la méthode de séchage à l'étuve :

1. Un échantillon de 10 g de sol préalablement tamisé (<2 mm) a été placé dans une boîte de pesée de masse.
2. La boîte contenant l'échantillon a été pesée avec précision (poids initial : boîte + sol humide).
3. L'échantillon a été mis à sécher dans une étuve à 105 °C pendant 15 heures pour éliminer toute l'eau libre.
4. Après refroidissement dans un dessiccateur, l'échantillon a été pesé (poids final : boîte + sol sec).

La teneur en eau du sol est calculée selon la formule :

$$\text{Humidité (\%)} = \frac{\text{Poids sol humide} - \text{Poids sol sec}}{\text{Poids sol sec}} \times 100$$

6.4.3.3 Perméabilité

La perméabilité d'un sol correspond à la vitesse d'infiltration de l'eau (pluie ou gravité), exprimée en cm/s ou en cm/h selon la rapidité du phénomène.

La préparation des échantillons de sol prélevés a été réalisée comme suit :

1. Les échantillons ont été étalés sur du papier pendant deux semaines afin de sécher à l'air libre.

2. Les échantillons secs ont ensuite été écrasés délicatement (sans broyage) pour homogénéisation.
3. Enfin, ils ont été tamisés afin d'éliminer les particules grossières et obtenir une granulométrie homogène pour l'essai de perméabilité.

6.4.3.4 Dosage de l'acidité du sol (pH)

Le pH du sol caractérise son état acide ou basique, correspondant à la concentration en ions H^+ libres dans l'eau du sol. Le pH influence la dégradation sanitaire du sol et constitue un paramètre clé pour son évaluation chimique.

La mesure a été réalisée sur un extrait de pâte saturée selon les méthodes standard. Une fois l'extrait préparé, le pH a été déterminé électriquement à l'aide d'un pH-mètre, et la valeur a été lue directement sur l'appareil. Cette procédure fournit le pH réel du sol, reflétant l'acidité actuelle de l'échantillon.

6.4.3.5 Mesure de la conductivité électrique

La conductivité électrique (CE) permet d'estimer la teneur totale en sels dissous d'un échantillon de sol, fournissant ainsi une indication rapide de sa salinité.

La mesure a été réalisée à l'aide d'un conductimètre, sur un extrait de sol approprié, et les résultats sont exprimés en mmhos/cm à 25 °C. Cette méthode fournit une évaluation fiable de la concentration en ions dissous dans le sol et constitue un paramètre important pour caractériser sa fertilité et de son aptitude à l'acclimatation de la végétation, comme l'arganier.

6.4.3.6 Dosage des cations K^+ , Ca^{++} , Na^+

Le dosage des cations solubles du sol, tels que K^+ , Ca^{2+} et Na^+ , permet d'évaluer la composition ionique et la fertilité chimique du sol. La méthodologie appliquée est détaillée comme suit :

1. Préparation de l'échantillon : les échantillons de sol prélevés sont séchés à l'air, tamisés à 2 mm pour éliminer les éléments grossiers, puis homogénéisés. Une masse précise de 20 g de sol est utilisée pour chaque extraction.

2. Extraction des cations : les cations solubles sont extraits en préparant un extrait saturé, c'est-à-dire en ajoutant juste assez d'eau distillée pour saturer les pores du sol. L'échantillon est agité mécaniquement pendant 1 heure, puis filtré pour obtenir un extrait clair.

3. Dosage par spectrophotométrie à flamme : l'extrait filtré est mesuré à l'aide d'un spectrophotomètre à flamme calibré avec des solutions étalons. La concentration en ions (mg/L) est déterminée pour chaque cation. Les mesures sont réalisées en double ou triple répétition pour assurer la précision.

4. Calcul des résultats : les concentrations mesurées dans l'extrait sont converties en teneur dans le sol sec (meq/100 g ou mg/kg), fournissant une estimation fiable de la disponibilité en K^+ , Ca^{2+} et Na^+ pour la végétation.

6.4.3.7 Dosage du calcaire total

Le calcaire total correspond à l'ensemble des carbonates présents dans le sol. Il est déterminé par réaction chimique avec l'acide chlorhydrique (HCl) selon la méthode du Calcimètre de Bernard (Bourbia, 1988).

Lorsque le sol réagit avec l'HCl, les carbonates produisent du CO_2 . Le volume de gaz libéré est proportionnel à la quantité de calcaire dans l'échantillon : plus il y a de calcaire, plus le volume de CO_2 est important. La méthodologie appliquée est détaillée comme suit :

1. Echantillon de 20 g de sol sec et tamisé est placé dans le Calcimètre.
2. L'échantillon est mis en contact avec une quantité précise d'HCl.
3. Le CO_2 libéré est mesuré par déplacement de liquide ou tout autre dispositif adapté.
4. La teneur en calcaire total est calculée et exprimée en % de $CaCO_3$ dans le sol sec.

6.4.3.8 La teneur en matière organique

La matière organique joue un rôle essentiel dans l'amélioration des propriétés physiques (structure, porosité, rétention d'eau) et chimiques (capacité d'échange, disponibilité des nutriments) du sol, et constitue une source importante d'azote pour les plantes. La méthodologie appliquée est détaillée comme suit :

1. Une masse précise d'échantillon (environ 10 g de sol tamisé <2 mm) est pesée dans une capsule de pesée préalablement tarée.
2. L'échantillon est ensuite calciné dans un four à 700 °C pendant 2 heures, afin de détruire toute matière organique.
3. Après refroidissement dans un dessiccateur, la capsule contenant le résidu minéral est repesée avec précision.
4. La teneur en matière organique est calculée par différence de masse avant et après calcination, selon la formule :

$$\text{Matière organique (\%)} = \frac{\text{Poids initial} - \text{Poids résidu}}{\text{Poids initial}} \times 100$$

6.5 Résultats du terrain et interprétation

La répartition de la végétation résulte de l'interaction complexe entre divers facteurs, notamment les conditions climatiques, les caractéristiques édaphiques ainsi que les pressions anthropiques (Bouchetata, 2003).

De manière générale, les sols sablonneux limoneux des monts de Beni-Chougrane se distinguent par leur texture légère et bien drainée, ce qui favorise l'aération des racines et facilite l'infiltration de l'eau. Cependant, cette texture, associée à une faible profondeur, rend ces sols particulièrement sensibles à l'érosion et à la perte de matière organique (Lal, 2007). Malgré une teneur moyenne en humus, ces sols présentent une fertilité modérée, car la nature sableuse limite la capacité de rétention des éléments nutritifs essentiels (Singer et Munns, 2006 ; Brady et Weil, 2017). Ils appartiennent souvent à des classes pédologiques moyennement évoluées, caractérisées par une faible différenciation des horizons et une tendance à la dégradation sous l'effet des pratiques agricoles intensives ou de la déforestation, comme cela a été observé dans la région des monts de Beni-Chougrane (Rhouma *et al.*, 2014; Bencherif et Boucelha, 2012).

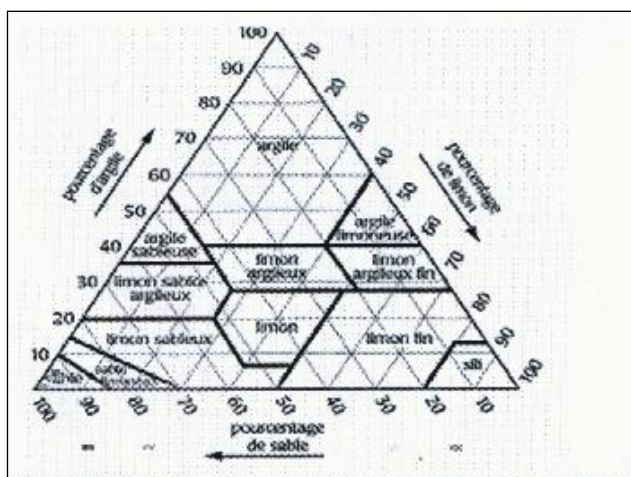


Figure 28. Triangle de la texture du sol.

Selon les résultats d'analyse granulométrique, les sols présentent une teneur moyenne en sable de 59 %, un taux de limon compris entre 26 % et 28 %, et une proportion d'argile variant de 10 % à 13 %. D'après le triangle textural de l'USDA (United States Department of Agriculture - Département de l'Agriculture des États-Unis), cette composition classe le sol dans la catégorie : sol sablonneux-limoneux, caractérisée par une dominance du sable avec une proportion considérable de limon et une faible teneur en argile (Figure 28).

Ce type de sol combine une bonne aération avec une capacité modérée de rétention en eau et en éléments nutritifs.

Tableau 9. Résultats des analyses granulométriques de l'échantillon n°01.

Horizons (0 à 50 cm)	Argile%	Limon%	Sable%
Echantillon n°01	12.5	26.8	56.8

D'après le tableau 9 et la figure 29, l'assiette du centre d'enfouissement technique (C.E.T) est constituée principalement par des sables fins limoneux peu marneux parfois argileux et quelques traces de graviers, leurs répartitions selon la représentation graphique est la suivante:

- 3.80% de graviers;
- 10.10% de gros sable;
- 46.70% de sable fin;
- 26.80% de limon ;
- 12.5% d'argile.

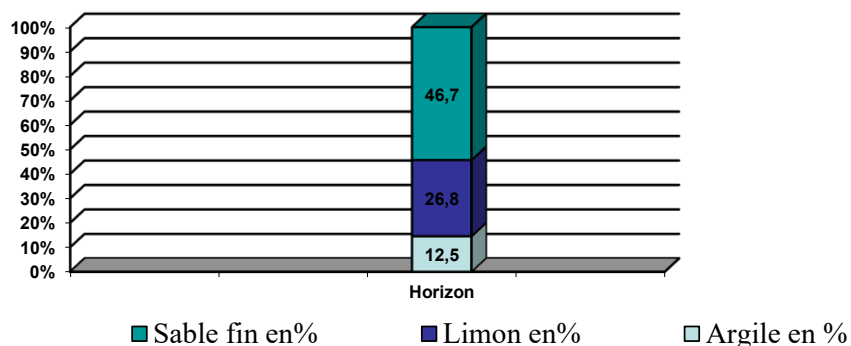


Figure 29. Répartition des fractions granulométriques de l'horizon du sol.

L'analyse physico-chimique du sol met en évidence plusieurs caractéristiques importantes reflétant sa fertilité et son état général. Le pH mesuré à 7,70 indique un sol modérément alcalin, ce qui peut influencer la disponibilité de certains éléments nutritifs. Le taux de calcaire actif, relativement faible (1,2 %), suggère une légère pauvreté en calcaire actif, tandis que la teneur en calcaire total (9,64 %) classe ce sol parmi les sols modérément calcarifères.

La composition en cations échangeables révèle une prédominance du calcium (33 mg/L), suivi du sodium (0,8 mg/L) et du potassium (0,05 mg/L), ce qui traduit un déséquilibre ionique fréquent dans les sols de régions semi-arides (Tableau 10).

Par ailleurs, la salinité élevée ($CE = 1084 \mu S/cm$) indique un risque de salinisation important, susceptible de limiter la croissance de certaines espèces végétales sensibles. Enfin, le taux de matière organique, limité à 1 %, confirme la pauvreté organique du sol, typique des environnements exposés à une faible couverture végétale et à une minéralisation rapide de la matière organique.

Tableau 10. Résultats analytiques de l'échantillon n°01.

Horizons (0 à 50 cm)	pH	CE us/cm	CaCO ₃ %		Na ⁺ mg/l	Ca ⁺⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Mo%	H%
			total	actif					
Echantillon n°01	7.70	1084	9,64	1,2	0,8	33	0,05	1	0.80

L'étude de la vitesse d'infiltration de l'eau (pluie), de gravité en cm par seconde (ou par heure, si la vitesse est lente) de l'échantillon révèle une perméabilité faible, limitant les infiltrations d'eau et favorisant ainsi le ruissellement de surface.

L'étude granulométrique de l'horizon pédologique met en évidence une texture sablonneux-limoneuse, avec une forte proportion de sable fin (46,70 %) et le limon (26,80%), accompagnés de (10,10 %) de gros sable, (12,50%) d'argile et (3,80 %) de graviers. Cette texture relativement fine confère au sol des propriétés mécaniques modérées, avec une certaine sensibilité à la compaction et une capacité moyenne de rétention en eau. Du point de vue morphologique, le terrain est peu accidenté, une caractéristique favorable à l'implantation de l'arganier, espèce nécessitant des conditions topographiques stables pour un bon enracinement et une croissance durable. L'existence de bons sols est très limitée. Ces derniers sont destinés aux cultures et se localisent dans les dépressions, les lits d'oued, les dayas et les piémonts de montagnes du fait que leurs situations permettent l'accumulation d'éléments fins et d'eau (Khader, 2004).

Balesdent, (1996) signale que "la matière organique a de multiples propriétés qui lui confère des fonctions primordiales dans les agros et les écosystèmes et en font une composante importante de la fertilité", parmi les multiples rôles de la matière organique, on peut citer :

- Augmente l'aération du sol, pénétration des racines, l'infiltration de l'eau, la résistance au comptage.
- Diminue l'énergie requise pour le travail du sol.
- Diminue le durcissement de la surface du sol.
- Limite les risques d'érosion.
- Augmente la réserve en eau du sol.
- Contribue à la fertilité chimique.
- Elle a une capacité d'échange qui dans certains milieux comme les sols sableux, elle est la principale réserve des bases disponibles (K^+ , Na^+ , Ca^{++}).
- Elle est le substrat énergétique des organismes hétérotrophes du sol dont l'activité de décomposition a un effet positif sur les propriétés physique du sol.

7. Période de la transplantation

Généralement les périodes de la transplantation sont choisies en fonction de la pluviométrie. Ainsi en Algérie les plantations s'effectuent entre le mois de septembre et mars. Dans notre cas la transplantation a été effectuée le 2 mars 2016, parce que c'est la meilleure période pour éviter la gelée, la température est sauf exception élevée, le sol se trouve dans un bon état, l'humidité est élevée après les pluies enregistrées durant cette période.

8. Préparation du sol pour la mise en terre

8.1 Choix de la zone d'étude

La station faisant l'objet d'expérimentation est située à El Keurt, à l'ouest de la commune de Mascara. Le choix du site a été effectué en raison de :

- Surveillance assurée par les agents du centre d'enfouissement technique (C.E.T).
- Présence d'un mur qui sépare l'administration et notre zone d'étude et qui sert de brise vent.
- Robinet avec tuyau et bassin d'eau destiné pour l'arrosage situé à 10 m de la parcelle.
- Sol meuble et riche en matières organiques.
- Faciliter des observations à tout moment.
- Moyens matériels et humains de la pépinière du centre d'enfouissement technique (C.E.T) disponibles et réquisitionnés pour le bon déroulement de l'expérimentation.

8.2 Choix des jeunes plants d'arganier

Nous avons pris les cagettes qui contiennent les plants de bonne qualité de la provenance d'Oggaz qui ont une hauteur d'environ $39,2 \pm 7,1$ cm. Ce choix a été fait sur la base du fait que notre placette de plantation ne permet pas de planter intensivement que quarante plants. Aussi que, ces plants choisis sont plus proches de la provenance de Oggaz sur le plan acclimatation.

L'étude micro-rhizosphérique n'a pas pu être menée, en raison du repiquage des plants sur le site expérimental d'El Keurt. Malgré le soutien précieux des agents du (C.E.T. – El Keurt) et les mesures de suivi mises en place, une perte de plants, principalement due à la sécheresse et aux travaux à proximité, a réduit le nombre de sujets disponibles. Cette limitation a empêché l'étude de la croissance racinaire, tout en soulignant l'importance de la sélection initiale et de l'accompagnement technique pour le succès des plantations expérimentales.

8.3 Travail préliminaire en pépinière

Quatre opérations étaient nécessaires avant la transplantation :

- Mensuration de la hauteur des plants en pépinière.
- Numérotation des plants.
- Elimination des sujets qui présente des anomalies.
- Nettoyage et désherbage.

8.4 Ouverture de potêts

Cette étape consiste en l'ouverture de 40 potets de dimensions $40 \times 40 \times 40$ cm chacun, avec un écartement de $2,5 \times 2,5$ m entre eux. Les plants ont été transportés avec précaution depuis la pépinière jusqu'à la placette expérimentale de transplantation située à El-Keurt, au niveau du centre d'enfouissement technique (C.E.T).

8.5 Mise en terre

La plantation a été effectuée en date du 2 mars 2016 et elle s'est déroulée de la manière suivante :

- Enlèvement des plants d'arganiers de la pépinière « Le Martyre MASCARI Mohammed » ;
- Transport des plants dans le camion de la conservation des forêts de Mascara envers le centre d'enfouissement technique (C.E.T), notre zone expérimentale.
- Prélèvement des sachets et mise en terre en fonction du protocole expérimental.
- Arrosage des plants avec l'eau de robinet en raison de 5L/plants.
- Entourage des plants avec du grillage pour éviter la prédation par les rongeurs et les pourtours des trous avec des pierres pour la stabilisation de l'eau d'irrigation dans les potêts (Figure 30).

Le grillage a été retiré le mois de juin 2016, après 3mois de la mise en terre pour une meilleure ramification des plants d'arganier.

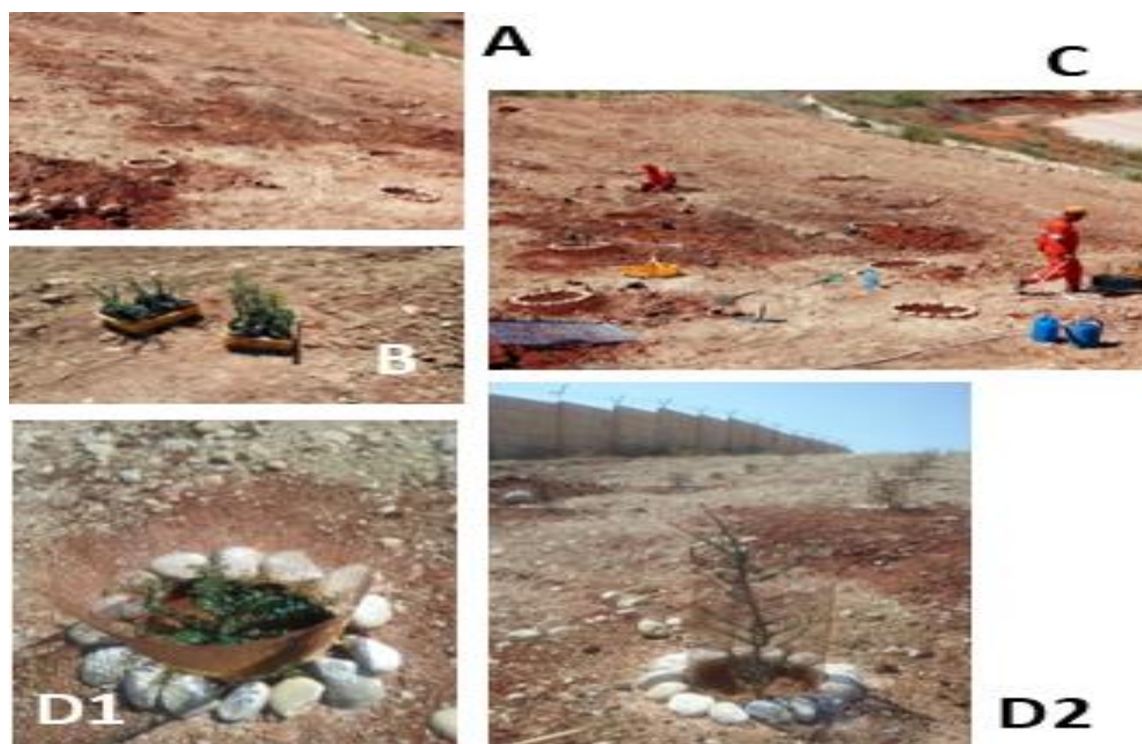


Figure 30. Sur le site d'expérimentation : A : Ouverture de potets ; B : Transport des plants de la pépinière au champ ; C : Mise en terre des plants ; D1 et D2 : Entourage des plants avec du grillage et des pierres (Mokeddem, 2016).

8.6 Arrosage

Le premier arrosage a été effectué lors de la mise en terre des plants. Durant les six premiers mois de la plantation, l'arrosage a été effectué une fois par semaine avec un arrosoir de jardinage. Il s'agit de cinq litres par potêt.

Après cette période, les plants d'arganier ont été laissés sans irrigation, exposés aux conditions climatiques naturelles du site.

CHAPITRE IV : Résultats de germination des graines et de transplantation des plants d'arganier au site expérimental – ((C.E.T) El Keurt – Mascara)

I – Résultats de la germination des graines d'arganier

Les données de germination ont été soumises à une analyse statistique afin de comparer l'effet des températures et des prétraitements. Les moyennes ont été comparées à l'aide d'une analyse de variance (ANOVA) à un facteur, suivie d'un test de comparaison des moyennes au seuil de signification de 5 % ($p < 0,05$).

1. Germination par stratification à 20°C

Les résultats de germination des graines de différentes origines montrent des variations significatives en termes de temps.

Les graines provenant d'Oggaz, après un séjour de 96 heures dans de l'eau de robinet, ont germé tardivement, à partir du 14^{ème} jour à une température de 20°C.

En revanche, les graines de Stidia ont montré une germination plus précoce, dès le 8^{ème} jour. Les graines de Tindouf ont commencé à germer à partir du 10^{ème} jour (Figure 31). Ces résultats suggèrent que la provenance des graines pourrait influencer leur réponse au processus de germination.

Sur la base du nombre total de graines utilisées (N_t), nous calculons le pourcentage des graines en germination (N_i) selon la relation : $T_g = N_i \times 100/N_t$.

Le taux de germination (T_g) est exprimé en pourcentage et cette formule permet d'évaluer l'efficacité de la germination dans les conditions expérimentales appliquées, les résultats numériques correspondants sont présentés en annexe (Tableau 1).

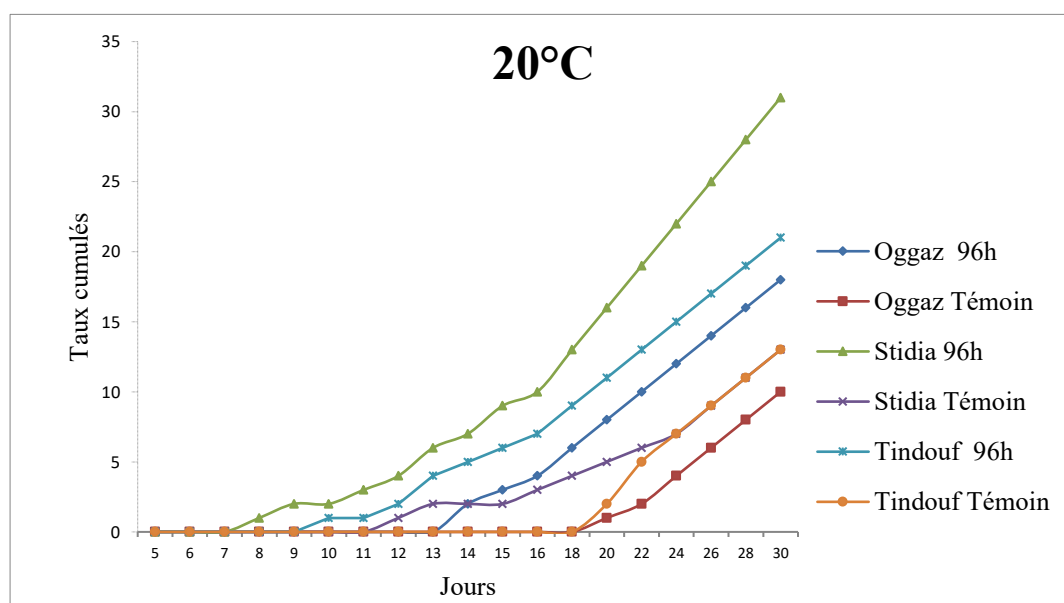


Figure 31. Taux cumulés de la germination des graines de trois provenances (témoins et trempées dans l'eau pendant 96 heures) en fonction de la température à 20°C.

2. Germination par stratification à 25°C

À 25°C, les graines des trois sites (Oggaz, Stidia et Tindouf) ont montré des différences marquées en termes de vitesse de germination :

Les graines de Stidia ont germé les premières, dès le 5^{ème} jour, suggérant une meilleure adaptation aux températures élevées.

En revanche, celles d'Oggaz et de Tindouf ont germé plus tardivement, à partir du 7^{ème} jour (Figure 32). Ces résultats indiquent des variations dans la capacité d'adaptation des graines selon leur origine (voir Annexe, Tableau 2).

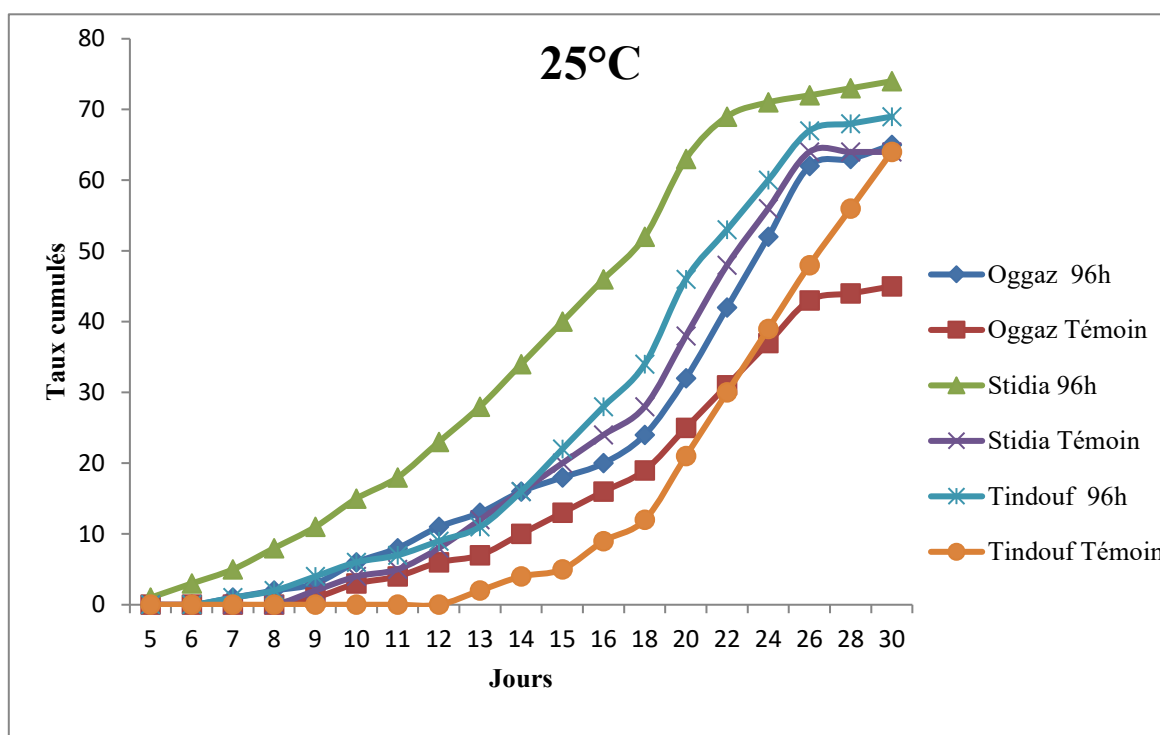


Figure 32. Taux cumulés de la germination des graines de trois provenances (témoins et trempées dans l'eau pendant 96 heures) en fonction de la température à 25°C.

3. Germination par stratification à 30°C

À 30°C, les graines d'Oggaz ont germé à partir du 12^{ème} jour, tandis que celles de Stidia ont montré une germination plus précoce, dès le 8^{ème} jour. Les graines de Tindouf, quant à elles, ont également germé à partir du 12^{ème} jour (Figure 33).

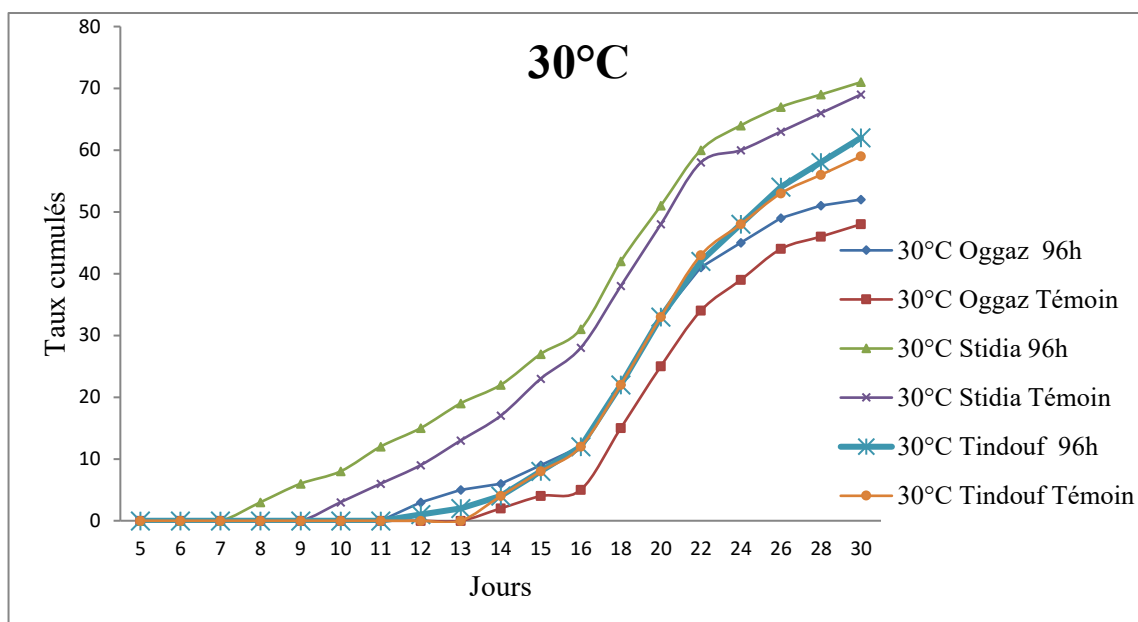


Figure 33. Taux cumulés de la germination des graines de trois provenances (témoin et trempées dans l'eau pendant 96 heures) en fonction de la température à 30°C.

Ces observations indiquent que l'intervalle de température de 25°C à 30°C est très favorable à la germination des graines des trois provenances, mais les différences dans les temps de germination et les taux de réussites peuvent être attribuées à des facteurs génétiques et écologiques propres à chaque région d'origine. Les graines de *Stidia*, en particulier, semblent mieux adaptées à des températures élevées, tandis que celles d'Oggaz et de Tindouf montrent des résultats plus modérés. Les résultats numériques correspondants sont présentés en annexe (Tableau 3).

4. Taux cumulés de germination

Notre étude est basée sur trois variables importantes : températures (20 °C 25 °C et 30 °C), prétraitement (trempage dans l'eau de robinet pendant 96 heures) et la provenance (Oggaz, *Stidia* et Tindouf).

4.1 En fonction des températures

Les résultats de germination des graines montrent des variations significatives en termes de taux de réussite selon leur origine. A 20 °C, les graines d'Oggaz ont présenté un taux de germination de 23%, celles de *Stidia* 39%, et celles de Tindouf 25%. A 25 °C, les graines de *Stidia* ont atteint un taux de germination de 91%, celles de Tindouf 86%, et celles d'Oggaz 81%.

Les graines ont présenté des variations de leur taux de germination selon leur provenance à 30 °C. Les graines de Stidia ont atteint un taux de 89 %, celles de Tindouf 78 % et celles d'Oggaz 66 % (Figure 34).

Ces résultats indiquent que les graines de Stidia possèdent la meilleure aptitude germinative à cette température comparativement aux autres origines.

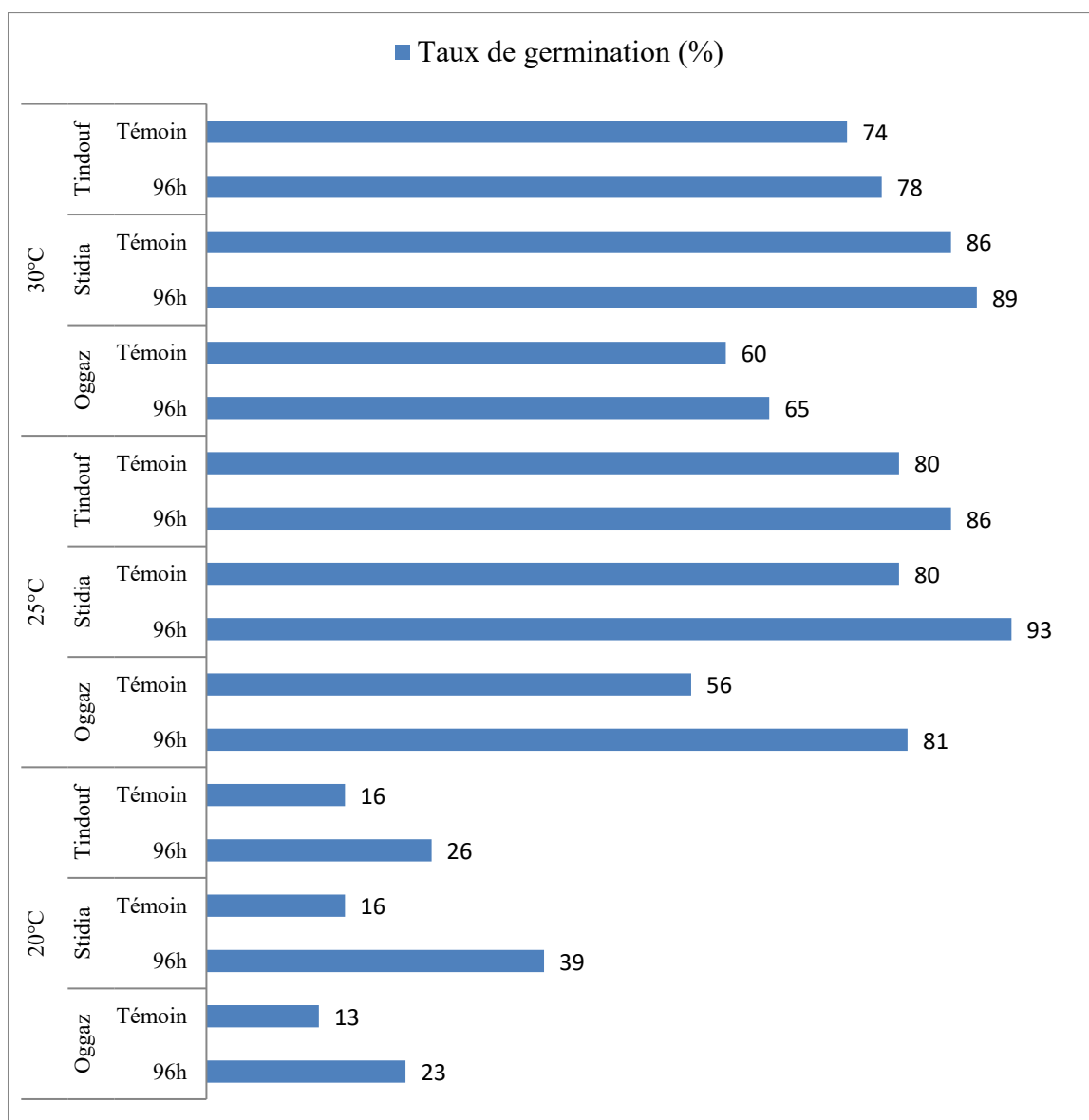


Figure 34. Taux cumulés de la germination des graines de trois provenances en fonction de la température à (20°C 25°C30°C).

4.2 En fonction du prétraitement

Les résultats obtenus montrent qu'un pré trempage des graines à l'eau courante est nécessaire pour une bonne germination.

La durée du pré-trempage à l'eau est de 96h. Les graines pré-trempées ont montré une germination plus rapide et un taux de réussite significativement plus élevé par rapport aux graines témoins, qui ont germé tardivement et avec un taux de germination très faible.

Ces observations confirment que le pré-trempage contribue à surmonter la dormance des graines, probablement en favorisant l'imbibition et en activant les processus métaboliques nécessaires à la germination (Figure 35).

Ces résultats soulignent l'importance de cette pratique dans les protocoles de production de plants d'arganier, notamment pour améliorer les taux de réussite dans les projets de plantation d'arganier.

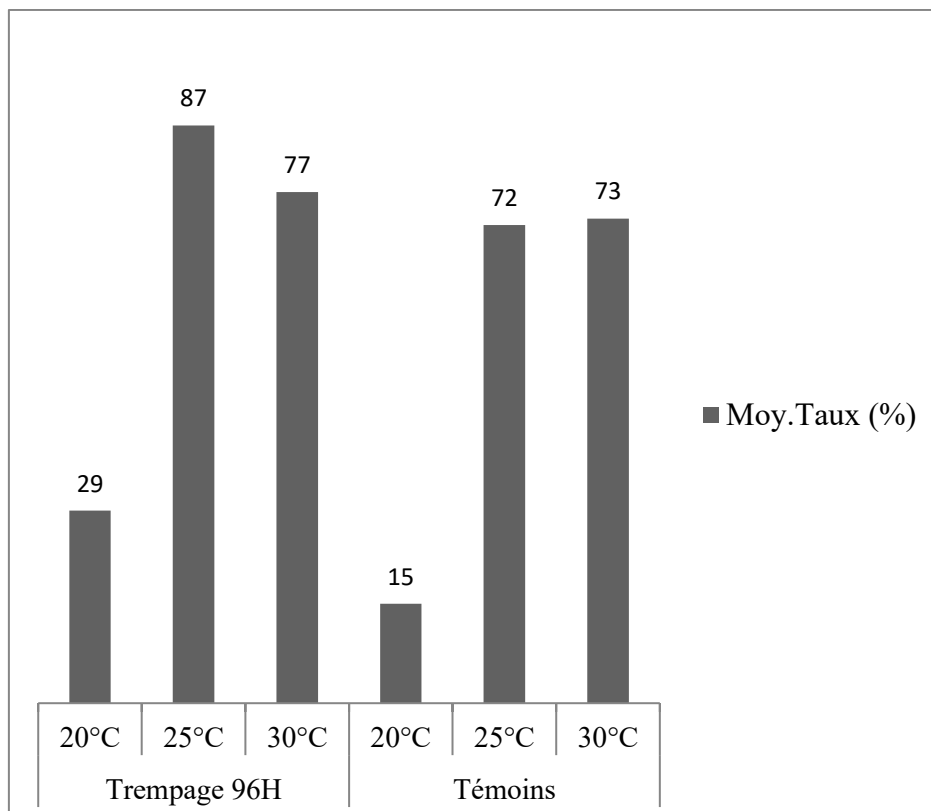


Figure 35. Taux moyens de la germination en fonction de la température à (20°C 25°C 30°C).

4.3 En fonction des provenances

S'agissant de la provenance, il a été relevé que les graines de Stidia et Tindouf dépassent celles d'Oggaz de point de vue taux de germination. Les graines d'arganier issues de trois provenances présentent des différences non significatives du point de vue taux, vitesse et temps moyen de germination. Pour les graines d'Oggaz, le taux moyen de germination est passé de 22% à 20°C dans le premier essai, à 81% dans le second essai à 25°C (Figure 36).

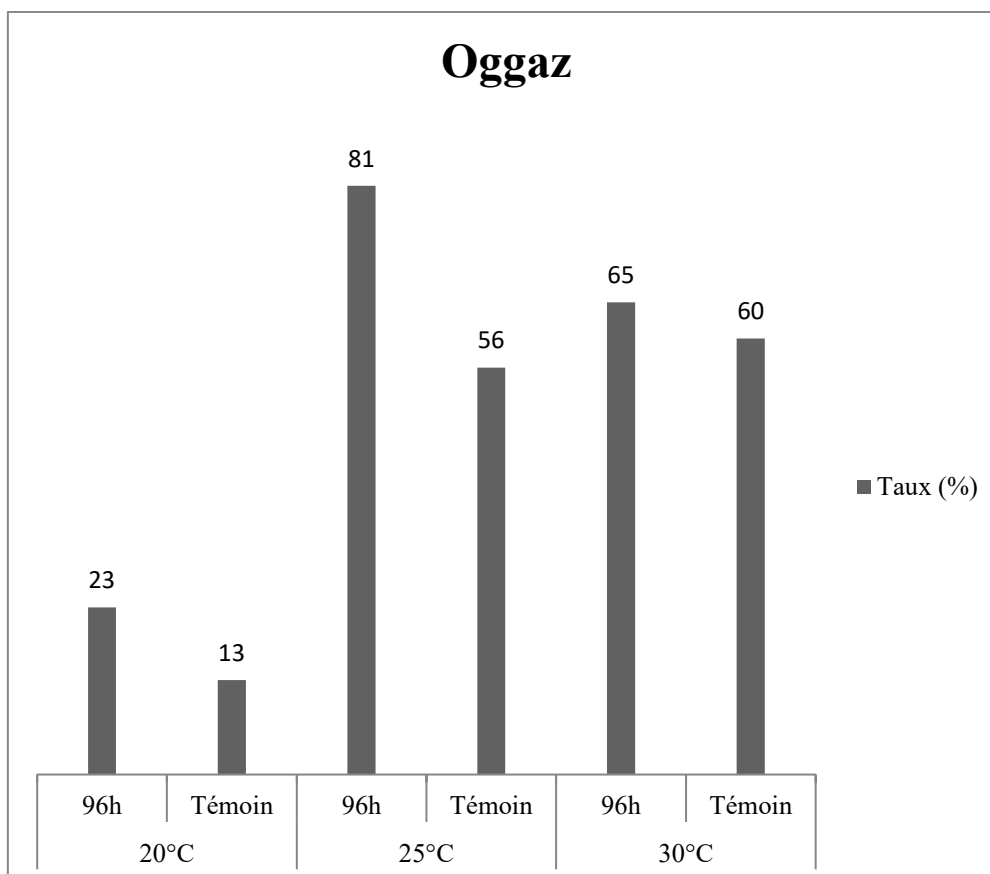


Figure 36. Taux de la germination des graines d'Oggaz en fonction de la température à (20°C 25°C 30°C).

Pour les graines de Stidia, le taux moyen de germination est passé de 39% à 20°C dans le premier essai à 91% dans le second à 25°C. Malgré qu'elles ont donné de bons résultats, on note que le taux moyen de germination a baissé à 89% à 30°C (Figure 37).

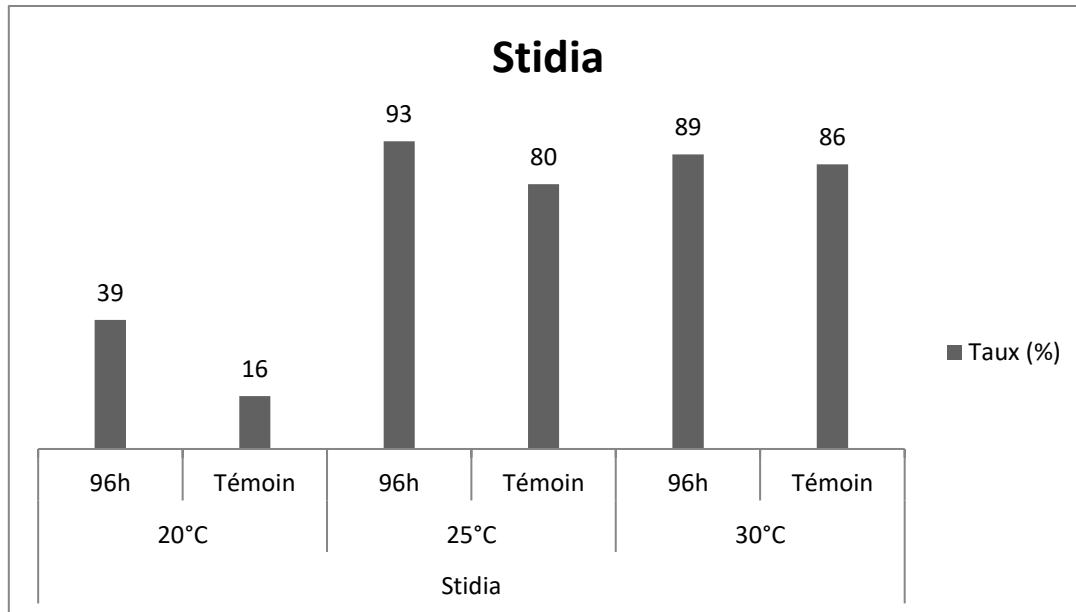


Figure 37. Taux de la germination des graines de Stidia en fonction de la température à (20°C 25°C30°C).

Pour les graines de Tindouf le taux moyen de germination est passé de 25% à 20°C dans le premier essai à 86% dans le second essai à 25°C (Figure 38).

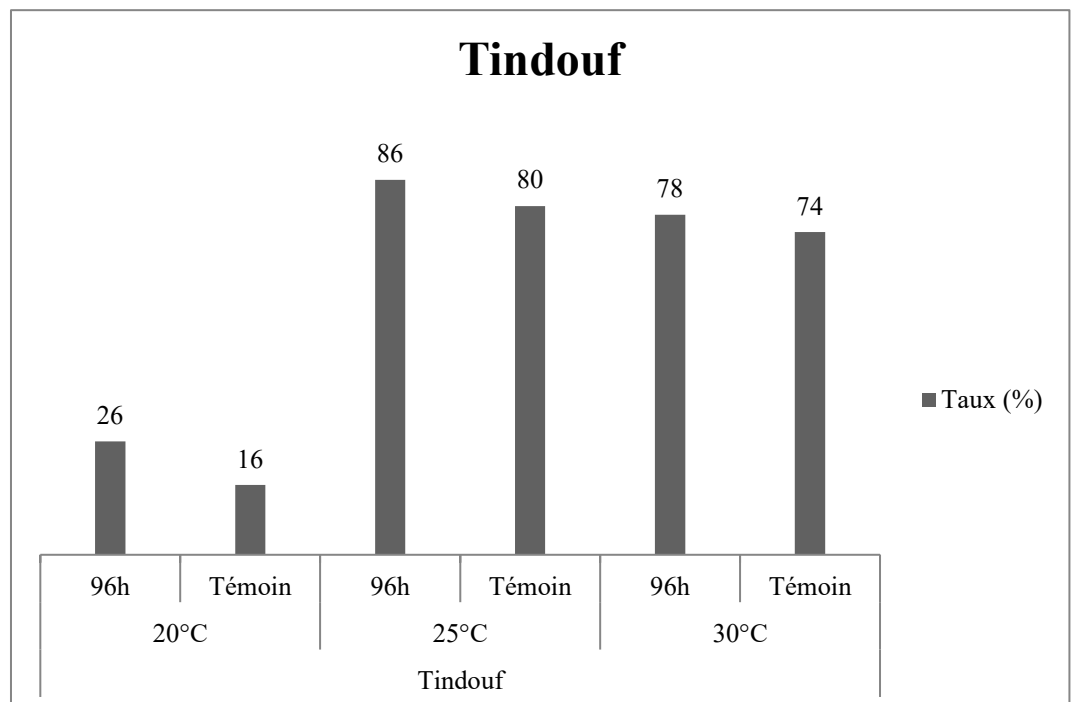


Figure 38. Taux de la germination des graines de Tindouf en fonction de la température à (20°C 25°C30°C).

5. Précocité de la germination

En général, chaque espèce dispose d'une précocité de germination spécifique à sa nature. Même placée dans les mêmes conditions expérimentales, le début d'apparition de la radicule à travers la membrane n'aura pas lieu en même temps chez toutes les graines (Renard, 1975). Ce paramètre est déterminé lorsque nous observons les premières graines germées.

Dans ce cas, la précocité de la germination est exprimée par le taux des premières graines germées correspondant à l'intervalle de temps entre le semis des graines et les premières graines germées (Belkhodja, 1996).

5.1 Durée de la germination

Lorsque les graines placées dans les conditions optimales ne germent pas immédiatement après le semis, on dit qu'elles présentent un délai de germination. D'après Aissa (1981) l'état de dormance des semences semblerait dépendre de l'arbre semencier.

Selon le même auteur, la durée de germination est variable selon les caractéristiques biologiques de la graine, les techniques utilisées et les conditions de germination. La durée de la germination est le temps (en jours) imparti entre les premières graines germées et la fin de la germination.

5.2 Vitesse de la germination

Elle caractérise la variation dans le temps des taux de germination dès l'apparition de la première pointe de la radicule d'une des graines jusqu'à la stabilité de la germination. Elle peut s'exprimer par différentes méthodes :

- Par le taux de germination obtenu à un moment donné.
- Par le temps nécessaire à l'obtention de 50 % de germination.
- Par le coefficient de vélocité (Cv) proposé par KOTOWSKI (1926) avec un temps moyen de germination (Tm).

$$Cv = \frac{N_1 + N_2 + N_3 + \dots + N_n}{N_1T_1 + N_2T_2 + N_3T_3 + \dots + N_nT_n} \times 100$$

$$T_m = \frac{N_1T_1 + N_2T_2 + N_3T_3 + \dots + N_nT_n}{N_1 + N_2 + N_3 + \dots + N_n}$$

- N_1 = nombre de graines germées au temps T_1 .
- N_2 = nombre de graines germées entre le temps T_1 et T_2
- $N_3, \dots, N_n$ = graines germées au temps $T_3 \dots \dots$ jusqu'au temps T_n .

Timson (1965) a proposé de calculer la vitesse de germination par la somme des pourcentages partiels obtenus.

$$Z_n = N_1 + N_2 + \dots \dots \dots N_n$$

$N_1, N_2, N_3, \dots \dots \dots, N_n$ représentent les pourcentages de graines germées après un jour, deux jours, $\dots \dots$, n jours.

Nous avons retenu les deux formules de Kotowski consistant à calculer le coefficient de vélocité (C_v), et le temps moyen de germination (T_m).

5.3 Taux quotidien de la germination

Le taux quotidien de la germination est calculé sur la base du nombre de graines nouvellement germées à chaque observation (Tableau 11).

5.4 Taux final de la germination

Ce taux est obtenu par l'addition des taux quotidiens des graines germées dès le début de l'essai jusqu'à la fin de la germination (Tableau 11).

5.5 Détermination de la vitesse et du temps moyen de la germination

La vitesse de germination est considérée comme étant le temps mis par les graines pour germer (Belkhodja, 1996). Pour mieux étudier les facteurs agissant sur la germination, nous adoptons deux formules simples : Le coefficient de vélocité (C_v) (1) proposé par Kotowski (1926) et le temps moyen de germination (T_m) (2) qui représente l'inverse x 100 du coefficient de vélocité (Tableau 11).

5.6 Coefficient de vélocité

Dans notre cas, nous considérons deux variables (x et y) associées respectivement à deux caractères (Température et pré traitement des graines et/ ou provenance des graines).

Ainsi, nous cherchons à déterminer dans quelle mesure les variables x et y auxquelles sont associés les deux caractères considérés sont indépendants par l'intermédiaire du coefficient de corrélation calculé (r_c). Ce coefficient est compris entre -1 et +1.

- Si $r_c = 0$: les caractères auxquels sont associés les variables x et y sont indépendantes.
- Si $0 < r_c < 1$: la corrélation est positive (x et y varient dans le même sens).
- Si $-1 < r_c < 0$: la corrélation est négative (x et y varient en sens contraire).

Tableau 11. Caractérisations germinatives et Taux cumulés de la germination des noyaux des trois provenances sous diverses températures 20°, 25° et 30°C.

T°C	Provenances	Traitement	Nbr. Semis Par lot	Nbr. Germé	Durée de latence	Vitesse de germination	Coefficient de vélocité	Temps moyen de germination	Capacité germinative (%)
20°C	Oggaz	Tr. 96h	80	18	13	0,89	4,5	22	22,5
		Témoin	80	10	16	0,39	3,8	25,8	12,5
	Stidia	Tr. 96h	80	31	7	1,69	4,8	20,5	38,75
		Témoin	80	13	11	0,62	4,40	22,6	16,25
	Tindouf	Tr. 96h	80	21	9	1,05	4,7	20,9	26,25
		Témoin	80	13	17	0,53	4,03	24,7	16,25
25°C	Oggaz	Tr. 96h	80	65	6	3,62	5,01	19,9	81,25
		Témoin	80	45	8	2,47	5,06	19,7	56,25
	Stidia	Tr. 96h	80	74	4	5,32	6,3	15,8	92,5
		Témoin	80	64	8	3,60	5,2	19,1	80
	Tindouf	Tr. 96h	80	69	6	4	5,2	18,8	86,25
		Témoin	80	64	12	2,87	4,2	23,2	80
30°C	Oggaz	Tr. 96h	80	52	11	2,73	5,01	19,9	65
		Témoin	80	48	13	2,33	4,7	21,2	60
	Stidia	Tr. 96h	80	71	7	4,41	5,6	17,8	88,75
		Témoin	80	69	9	3,97	5,3	18,6	86,25
	Tindouf	Tr. 96h	80	62	11	3,06	4,7	21,1	77,5
		Témoin	80	59	13	2,95	4,8	20,8	73,75

6. Interprétation des résultats de la germination

6.1 Taux de reprise de la germination

Les taux cumulés de germination des noyaux de différentes provenances montrent une variation significative à travers les trois températures optées dans cette étude. D'après Renard (1975), le début d'apparition de la radicule à travers la membrane n'aura pas lieu en même temps chez toutes les graines dans les mêmes conditions expérimentales, les unes ne germent pas à cause de la dureté du tégument et les autres à cause de facteurs endogènes inhibiteurs ou dormants.

Toutefois, l'intervalle de température entre 25° à 30°C est très favorable à la germination des graines des trois provenances, avec une légère différence dans les temps de germination et les taux de succès peuvent être attribuées à des facteurs génétiques et écologiques propres à chaque région d'origine.

Les graines de *Stidia*, en particulier, semblent mieux adaptées à des températures élevées, tandis que celles d'Oggaz et de Tindouf montrent des résultats plus modérés.

6.2 Effet des prétraitements sur la germination des graines d'arganier

(Test de Kruskal-Wallis)

Les résultats présentés dans la figure 31 montrent que le trempage des noyaux d'arganier dans l'eau pendant 96 heures améliore le comportement germinatif par rapport aux lots témoins. Les noyaux prétraités se caractérisent par une durée de latence plus courte et des taux de germination plus élevés, tandis que les noyaux témoins présentent une germination plus tardive et des taux faibles.

L'effet des prétraitements sur la germination a été évalué à l'aide du test de Kruskal-Wallis. Les résultats de ce test indiquent une différence statistiquement significative entre les lots prétraités et les lots témoins ($p < 0,05$), confirmant l'influence du trempage sur la germination des graines.

Ces résultats suggèrent que le trempage favorise la levée de la dormance des graines, en facilitant l'imbibition et l'activation des processus métaboliques nécessaires à la germination.

Ces résultats soulignent l'importance de cette pratique (prétraitement) pour des délais restreints de germinations et augmenter les taux de réussite pour une meilleure production des plants d'arganier.

6.3 Effet de la température sur la germination des graines d'arganier (Test ANOVA)

L'effet de la température sur la germination a été évalué à l'aide d'une analyse de variance à un facteur (ANOVA), appliquée aux taux de germination obtenus aux températures de 20 °C, 25 °C et 30 °C. Les résultats de l'ANOVA mettent en évidence un effet significatif de la température sur le taux de germination des graines d'arganier ($p < 0,05$), confirmant que les conditions thermiques influencent à la fois le temps d'apparition de la germination et l'efficacité globale du processus germinatif.

À 20 °C, les noyaux provenant d'Oggaz présentent une germination tardive, débutant au 14^e jour, comparativement à ceux de Stidia qui montrent une germination plus précoce dès le 8^e jour. Les graines originaires de Tindouf commencent à germer à partir du 10^e jour. Les taux de germination enregistrés à cette température sont globalement faibles, avec des valeurs de 20,5 % et 26,25 % respectivement pour les provenances d'Oggaz et de Tindouf, contre 38,75 % pour Stidia.

À 25 °C, les graines de Stidia sont les premières à germer dès le 5^e jour, correspondant au meilleur délai de germination observé dans cette étude, tandis que celles d'Oggaz et de Tindouf commencent à germer à partir du 7^e jour. À cette température, les taux de germination atteignent des valeurs élevées, avec 92,5 % pour Stidia, 86,25 % pour Tindouf et 81,25 % pour Oggaz, indiquant une performance germinative optimale.

À 30 °C, la germination des graines d'Oggaz et de Tindouf débute à partir du 12^e jour, tandis que les graines de Stidia germent plus précocement dès le 8^e jour. Les taux de germination obtenus sont de 65 % pour Oggaz, 77,5 % pour Tindouf et 88,75 % pour Stidia, traduisant une performance intermédiaire par rapport à celle observée à 25 °C.

La température de 25 °C apparaît comme la plus favorable, permettant une germination plus rapide et des taux de réussite plus élevés, quelle que soit la provenance des graines.

6.4 Influence de la provenance des graines sur la germination

Les résultats montrent que la provenance des graines influence le comportement germinatif, notamment la vitesse de germination, avec des différences statistiquement significatives mises en évidence par le test de Student ($p < 0,05$). Les graines de la provenance de Stidia présentent un bon comportement germinatif à l'ensemble des températures testées, suivies par celles de Tindouf. À 20 °C, ces deux provenances se distinguent par une germination plus rapide que celle observée pour les graines provenant d'Oggaz (Figure 39).

Ces différences peuvent s'expliquer par la variabilité des conditions écologiques des zones d'origine des graines, telles que le climat et les caractéristiques édaphiques, susceptibles d'influencer la qualité physiologique des semences et leur capacité d'adaptation aux conditions expérimentales.

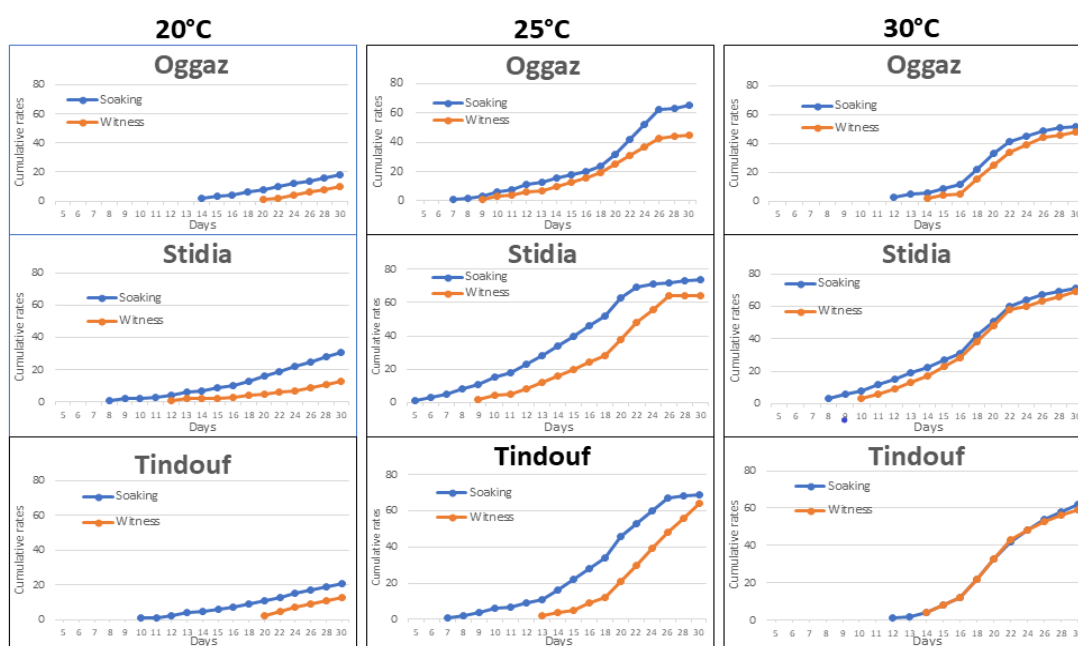


Figure 39. Taux cumulés de la germination des noyaux d'arganier de trois provenances (témoins et trempés 96 heures) en fonction de diverses températures 20°, 25° et 30°C.

7. Discussion

Le temps de latence a varié de 5 à 6 jours selon la provenance à 25° et 30°C. En revanche, à 20°C, tous les lots témoins ont germé tardivement. Les noyaux ayant séjourné dans l'eau du robinet pendant 96 heures ont germé à partir du 6^{ème} jour pour celles de Mostaganem et Tindouf, et du 7^{ème} jour pour celles de Mascara.

La vitesse de germination correspond à la durée nécessaire pour que les semences germent après le semis. En effet, les lots ayant subi un trempage dans l'eau pendant 96 heures suivies d'une stratification ont présenté les vitesses de germination les plus élevées par rapport aux lots témoins.

La provenance de Stidia a atteint une vitesse de germination maximale de 5,32 à 25°C. La vitesse de germination semble être davantage influencée par les traitements appliqués aux noyaux que par leur provenance.

Le temps moyen de germination correspond à la durée moyenne nécessaire pour la germination des graines après semis. A 25°C, il est de 15 jours pour la provenance de Stidia, 17 jours pour la provenance de Tindouf et 19 jours pour celle de Oggaz. Pour les noyaux d'Oggaz, le taux moyen de germination est passé de 22% à 20°C lors du premier essai à 81% dans le second à 25°C. Un phénomène similaire a été observé pour les graines de Mostaganem, où le taux moyen de germination est passé de 38% à 20°C à 92% à 25°C. Cependant, malgré ces bons résultats, une légère baisse a été notée à 30°C, avec un taux moyen de 89%, en raison des moisissures observées sur les cotylédons. Cette diminution pourrait également s'expliquer par une température trop élevée, défavorable à la germination et au développement de la radicule. Quant aux graines de Tindouf, leur taux moyen de germination est passé de 26% à 20°C dans le premier essai à 86% dans le second à 25°C, confirmant l'influence positive de cette température sur le processus germinatif. Dans les mêmes conditions expérimentales, le taux de germination atteint 50% pour les noyaux de la provenance d'Oggaz (Slimani, 1996) et 80% (Kechairi et Lakhdari, 2002). Pour la provenance de Mostaganem, le taux est 80% (Miloudi, 2006) et atteint 90% (Baoui, 2001). Pour la provenance de Stidia, le taux dépasse 80% (Benaouf, 2009).

Sur la base des discussions précédentes relatives à la connaissance et la détermination des conditions optimales pour la germination des graines d'arganier, nous pourrions en conclure qu'un pré traitement des graines à l'eau pendant 4 jours et plus avant la réalisation du semis est indispensable pour assurer des taux de germination élevés. Dans le même contexte, nous signalons que l'intervalle thermique favorable à une germination précoce et significative s'étale entre de 25° à 30°C. A cela s'ajoute le choix des graines à maturité physiologique complète, constituant un paramètre important dans la réussite de la germination chez l'arganier.

Au terme de cette étude et compte tenu des commentaires et des conclusions auxquelles nous avons abouti sur la germination, il nous paraît important de proposer quelques orientations susceptibles d'apporter des informations supplémentaires pour une meilleure connaissance de l'arganier en Algérie.

II – Résultats de transplantation des plants d'arganier au site expérimental – (C.E.T El Keurt – Mascara)

1. Comportement des plants transplantés

Les plants d'arganier séjournés 18 mois en pépinière ont été mis en terre par la transplantation le 2 mars 2016. Le comportement d'accroissement en hauteur des sujets d'arganier plantés a été mesuré en 14, 26, 80 et 104 mois. Le diamètre des tiges au collet a été mesuré à l'âge de 104 mois. Après 80 mois de transplantation, seulement trois sujets ont desséché. Néanmoins, lors de la campagne des mesures à l'âge de 104 mois, nous avons trouvé encore, huit sujets ont été arrachés à cause des travaux de la mise en terre des câbles électrogène.

1.1 Suivi d'accroissement en hauteur

La germination par stratification en pépinière a favorisé le développement d'un système racinaire robuste et ramifié, ce qui explique la croissance rapide et significative de la partie aérienne après la transplantation.

Les plants poussant pendant 14 mois en pépinière atteignent 39,2 cm de hauteur en moyenne pendant la transplantation. Après 12 mois de transplantation, la hauteur moyenne des jeunes plants est de 68,96 cm. Toutefois, les plants âgés de 80 mois atteignent 134,02 cm de hauteur en moyenne (Figure 40).

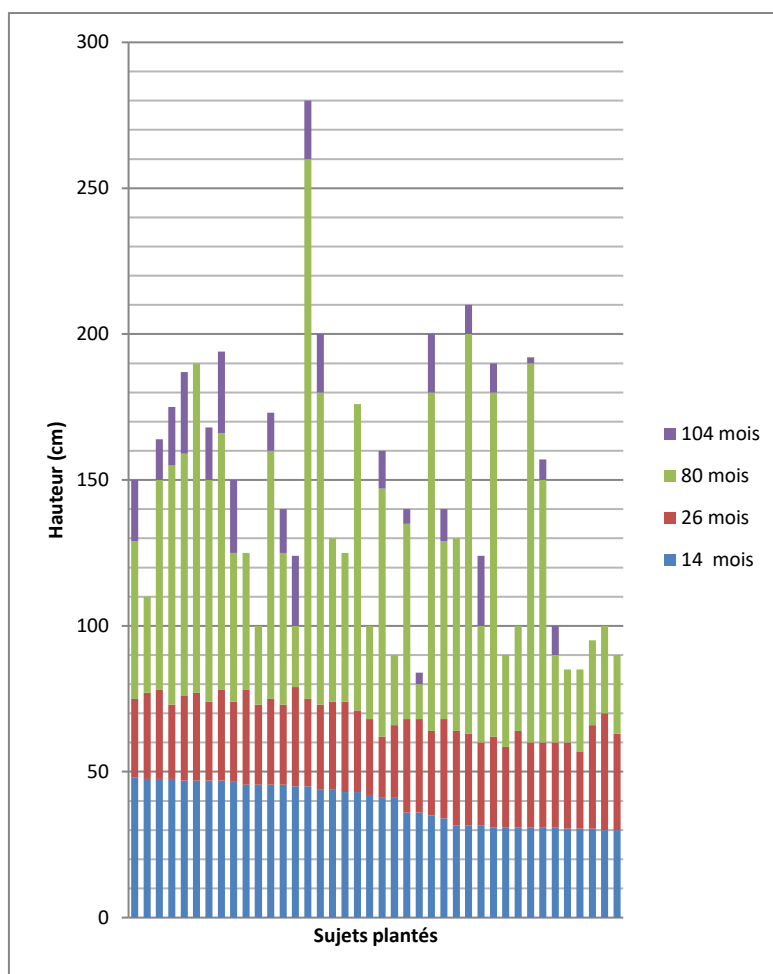


Figure 40. Accroissement en hauteur après 104 mois de transplantation.

D'après la figure 41, les sujets transplantés atteignent une hauteur moyenne de $39,2 \pm 7,1$ cm après 14 mois de transplantation. Jusqu'à l'âge de 26 mois, l'accroissement en hauteur y prend un rythme sensiblement lent avec une hauteur moyenne de $69 \pm 6,6$ cm. A l'âge de 80 mois, l'accroissement en hauteur entre les sujets a une différenciation significative avec une hauteur moyenne de $134 \pm 40,3$ cm, peut-être due par l'effet de la concurrence vitale racinaire, vu que l'éloignement étroit entre les potets avec $2,5 \times 2,5$ m. Actuellement, il est recommandé d'implanter les plants en respectant un espacement minimal de 3×4 mètres entre les potets (Achour *et al.*, 2021). À l'âge de 104 mois les sujets vivant ont une hauteur moyenne de $160 \pm 40,9$ cm par rapport un diamètre de $6,5 \pm 2,5$ cm.

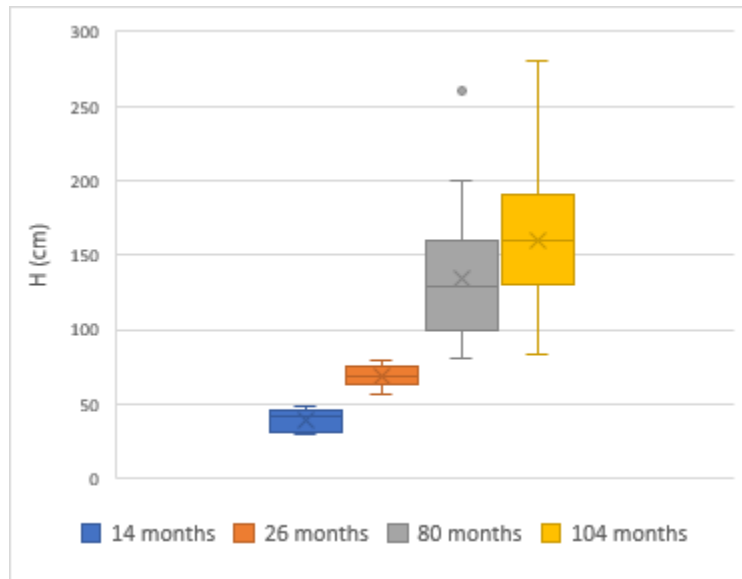


Figure 41. A : Boîtes à moustaches (Hauteur moyenne/âge ; B : Corrélation linéaire (Hauteur/âge) de sujets plantés.

1.2 Corrélation (Hauteur/diamètre)

Dans notre étude, La régression linéaire entre le diamètre (D) et la hauteur (H) des plants d'arganier est décrite par l'équation : $H \text{ (cm)} = 121,9 + 5,92 \times D \text{ (cm)}$, avec un coefficient de détermination $R^2 = 13,4 \%$. La faible valeur de R^2 indique que la hauteur des plants n'est que peu expliquée par leur diamètre, suggérant l'influence d'autres facteurs sur la croissance verticale (Figure 42).

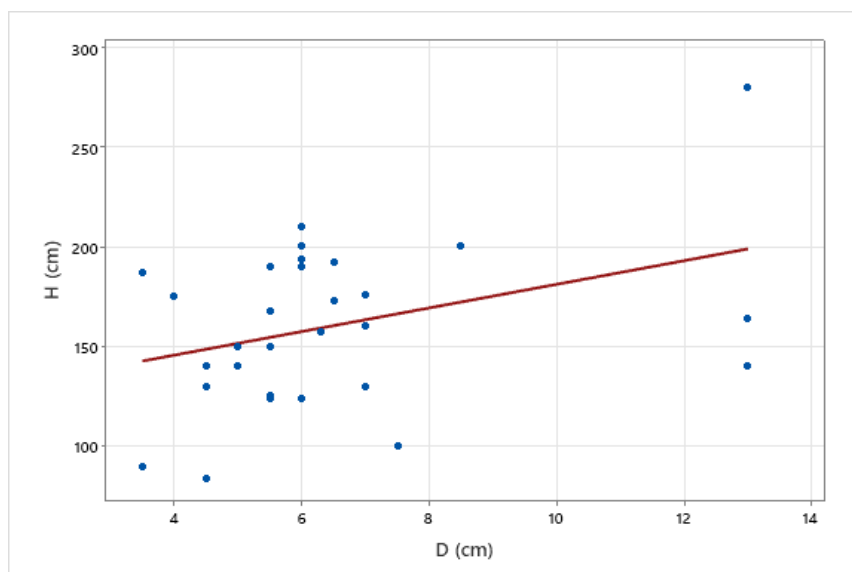


Figure 42. Régression hauteur/diamètre des plants d'arganier à l'âge de 104 mois.

1.3 Corrélation (hauteur/âge)

La relation entre la hauteur des plants d'arganier et leur âge a été évaluée par un test d'ajustement via une régression linéaire, donnant l'équation : $H \text{ (cm)} = 27,98 + 1,296 \times \text{âge (mois)}$, avec un coefficient de détermination $R^2 = 98,8 \%$. Cette valeur élevée de R^2 indique que le modèle de régression ajuste très bien les données et que l'âge explique la majeure partie de la variation de la hauteur.

L'arganier se distingue par une croissance en diamètre particulièrement lente (Boudy, 1952). Durant les 20 premières années, l'arganier présente au Maroc, une croissance en hauteur variant entre 20 et 30 cm/an dans des parcelles clôturées et surveillées (Bénismail and Benzaki, 1998). Pareil, dans une région plus arrosée un accroissement annuel moyen a été enregistré de 38 cm/an (Achour et al., 2021). Dans notre cas, nous avons trouvé un accroissement de 29,7 cm/an (Figure 43).

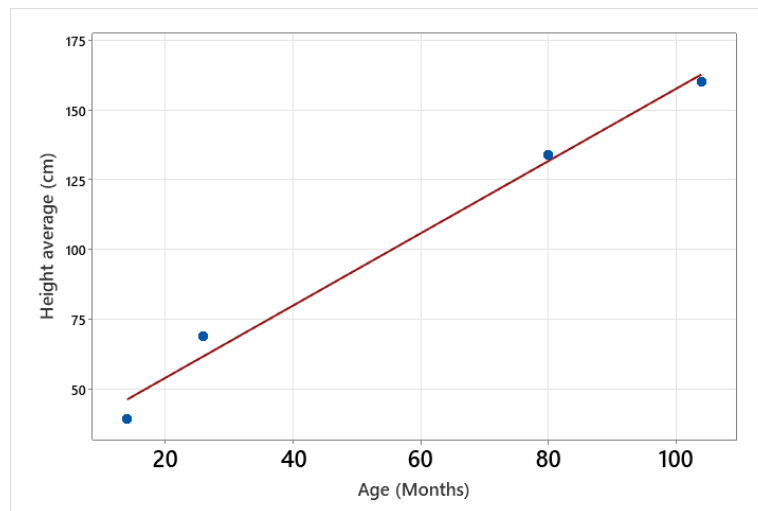


Figure 43. Corrélation linéaire (Hauteur/âge) de sujets plantés.

2. Discussion

L'arganier a une haute valeur écologique, peut être utilisé pour caractériser l'intérêt floristique particulier dans son aire de répartition naturelle à Tindouf, et généralement sur sites ex situ de l'introduction. Il peut donc être un outil utile à des fins de conservation de la richesse floristique (Yahi *et al.*, 2012). Les résultats obtenus dans le cadre de cette étude montrent que les graines issues de la provenance d'Oggaz, après avoir séjourné en pépinière sous conditions contrôlées, présentent un taux de reprise satisfaisant et un bon comportement de croissance une fois transplantées sur le site expérimental d'El Keurt.

Cette capacité d'adaptation s'explique en partie par la proximité géographique entre les deux localités, situées dans la même wilaya (Mascara), et partageant des conditions climatiques similaires. Ces observations confirment la bonne aptitude à l'acclimatation. Trois sujets ont présenté un dessèchement après 80 mois de la transplantation. Ce phénomène pourrait être attribué à plusieurs facteurs : un stress hydrique, une exposition directe aux vents ou une mauvaise reprise racinaire due à un défaut de motte ou un choc physiologique. Cette mortalité partielle souligne l'importance d'un suivi rigoureux après la plantation, incluant des apports hydriques réguliers et un paillage protecteur du collet.

Il serait pertinent de valoriser cette source de semences, en encourageant la récolte systématique des graines à Oggaz et leur utilisation dans des programmes de plantation à plus grande échelle. L'essai d'acclimatation de l'arganier dans la wilaya de Mascara constitue une opportunité d'intérêt écoforestier, contribuant à l'enrichissement du couvert végétal, à la diversification des essences ligneuses et à la lutte contre la désertification. Bien que les résultats préliminaires soient prometteurs, le succès de cette initiative repose sur l'engagement des acteurs locaux, le soutien institutionnel et la poursuite des recherches pour adapter les pratiques culturelles et des conditions de germination et de croissance.

CHAPITRE V : ETUDE PHENOLOGIQUE DE L'ARGANIER
AU SITE EXPERIMENTAL – ((C.E.T) EL
KEURT - MASCARA)

1. Introduction

La phénologie est définie comme l'étude de la chronologie des stades de développement physiologique des plantes, en relation avec les variations temporelles et climatiques (Zeraia, 1981). Selon Ferradous *et al.* (1996), trois types phénologiques d'arganiers peuvent être distingués : les précoces, à floraison automnale et chute des fruits au printemps suivant, les tardifs, à floraison hivernale et fructification estivale et les intermédiaires, à floraison prolongée de l'automne au printemps, avec une chute des fruits échelonnée du printemps à l'été. Selon Benchattouh (1999), Miloudi (2006), Kechairi (2009), deux types phénologiques d'arganiers ont été identifiés. Les arganiers tardifs, observés notamment à Stidia et Oggaz, fleurissent une fois par an au printemps. Ils portent simultanément deux générations de fruits : ceux noués au cours de la campagne en cours, et ceux de la campagne précédente en cours de maturation.

Les arganiers précoces, identifiés dans la région de Tindouf, débutent leur floraison en automne. La chute des fruits mûrs commence généralement au printemps de l'année suivante. Les observations phénologiques issues des travaux de Métro (1953), Montoya (1984) et Miloudi (2006) indiquent que l'arganier développe ses premières feuilles en octobre, la floraison devient de plus en plus marquée en février, la maturation des fruits intervient en juillet, et la chute des feuilles débute au mois d'août.



Figure 40. A : Sujets d'arganier de la station de la Stidia (Mostaganem) ; B : Sujet d'arganier de la pépinière d'Oggaz (Mascara) et C : Sujets d'arganier de la station de El Keurt (Mascara) (Mokeddem, 2025).

2. Caractéristiques phénologiques de l'arganier



Figure 41. A : Fruits d'arganier situés dans la partie de l'arbre non exposée à l'ensoleillement ; B : Fruits localisés dans la partie supérieure de l'arbre, exposée au soleil et C : Fruits observés sur les rameaux en zone exposée, avec une répartition de 1 à 5 fruits par rameau et de 1 à 2 fruits par nœud (Mokeddem, 2025).

Le suivi phénologique a porté à la fois sur les stades de floraison et ceux de la fructification, qui permettant de mieux comprendre les rythmes biologiques de l'espèce dans les conditions environnementales locales.

a- Stades de floraison

Deux phases principales ont été observées :

- **Apparition des bourgeons floraux** : cette phase marque le début du cycle reproductif. Les bourgeons floraux, reconnaissables à leur teinte jaunâtre et à leur disposition terminale ou axillaire, apparaissent généralement sur les rameaux de l'année en cours ainsi que sur ceux de l'année précédente. Leur développement est influencé par les conditions climatiques, notamment la température et l'humidité.
- **Développement et épanouissement des fleurs** : les bourgeons floraux évoluent progressivement vers des fleurs complètes. Cette étape est essentielle, car elle conditionne la réussite de la pollinisation et la mise en place ultérieure des fruits. La densité florale ainsi que la synchronisation de la floraison peuvent varier selon les individus et les sites.

b- Stades de fructification :

La fructification de l'arganier a été divisée en trois grandes étapes phénologiques :

- **Développement du fruit** : à la suite de la pollinisation, les ovaires fécondés donnent naissance aux jeunes fruits. Ceux-ci connaissent une croissance progressive jusqu'à atteindre leur taille physiologique normale. En moyenne, un fruit mature présente une longueur de 20 mm et un diamètre de 10 mm. Cette étape du développement fruitier, d'une durée pouvant atteindre plusieurs mois, se révèle particulièrement vulnérable aux facteurs abiotiques, en particulier le stress hydrique et les fluctuations thermiques. Ces derniers exercent une influence déterminante sur la dynamique de croissance, la taille finale des fruits et, potentiellement, sur le rendement global de l'arbre.

- **Maturité du fruit** : les fruits parviennent à maturité lorsque la pulpe devient charnue et que la couleur du péricarpe change, passant généralement du vert au jaune ou brun clair. À ce stade, la teneur en humidité diminue, et les réserves énergétiques sont mobilisées pour la formation du noyau et la graine.

- **Séchage et chute du fruit** : la dernière phase est caractérisée par le dessèchement progressif du fruit sur l'arbre. Le fruit devient alors ligneux, la pulpe se rétracte, et le fruit finit par tomber naturellement au sol. Ce processus de sénescence fruitière peut être influencé par la température estivale, les précipitations et le vent.

3. Matériel et méthode

Cette étude vise à caractériser les différentes phases phénologiques de l'arganier dans le site expérimental d'El Keurt- Mascara au centre d'enfouissement technique (C.E.T). Alors, un suivi phénologique mensuel a été effectué sur vingt neuf (29) sujets d'arganier pendant deux cycles végétatifs consécutifs. Les observations ont porté sur les phases de floraison, de fructification, de foliation et de sénescence.

4. Comportement phénologique dans notre zone d'étude ((C.E.T) El Keurt - Mascara)

Les résultats obtenus dans notre zone expérimental à El Keurt confirment un comportement phénologique tardif de l'arganier, similaire à celui observé dans les stations d'Oggaz (Mascara) et Stidia (Mostaganem) (Miloudi, 2006 ; Benaouf, 2017). La floraison y est printanière (mars à mai), et la maturation des fruits intervient environ 16 mois après la

floraison, avec chute des fruits mûrs en août. Ces observations sont en cohérence avec les travaux de Métro (1953) et Montoya (1984) au Maroc, qui indiquent un cycle bisannuel de fructification. Le grossissement des jeunes fruits commence en automne, mais leur maturation complète n'est atteinte qu'à l'été de l'année suivante.

Les périodes clés du cycle végétatif sont centrées autour de deux moments :

- Février–avril : Floraison et croissance végétative active
- Juin–septembre : Maturation des fruits, chute des feuilles, et début de la foliation.

Période de suivi de la phénologie : Automne - Novembre 2024



Figure 42. A : Apparition des jeunes fruits à la suite des premières pluies et B : Des fruits de la campagne en cours et de la campagne précédente (Mokeddem, 2025).

La floraison automnale (novembre à mars) et la maturation printanière des fruits chez les arganiers de Tindouf (Kechairi, 2009) indiquent une adaptation spécifique au climat saharien. Ces différences suggèrent une plasticité phénologique importante de l'espèce selon les régions bioclimatiques.

Période de suivi de la phénologie : Hiver 2025

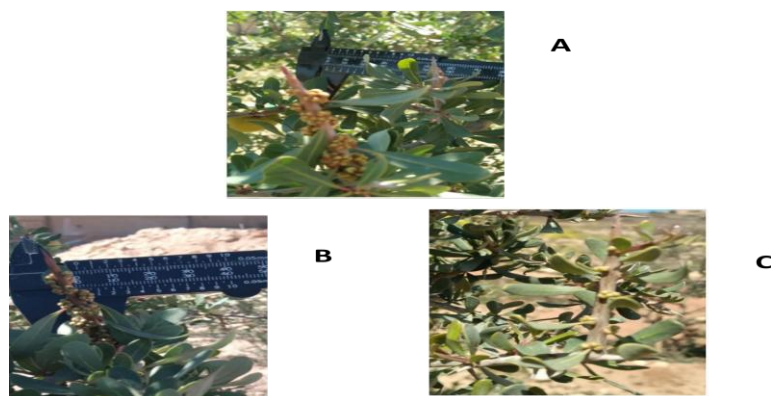


Figure 43. A : Apparition de pointes jaunes sur les rameaux de l'année en cours ;B : Fin du stade de bourgeonnement et C : Début de la floraison (Mokeddem, 2025).

Ce stade correspond à l'apparition de pointes jaunes sur les rameaux, représentant les jeunes bourgeons. Une fois leur développement achevé, l'arbre entre en phase de bourgeonnement, suivie par l'initiation florale.

Période de suivi de la phénologie : Début de printemps - Mars 2025



Figure 44. Floraison : A : Ouverture des fleurs sur les rameaux ; B : Apparition des fruits et C: Fin du stade de floraison (Mokeddem, 2025).

La population d'*Argania spinosa* de la station d'El Keurt, composée de 29 individus, présente un cycle phénologique tardif, avec floraison printanière et fructification étalée sur environ 16 mois. Les rythmes observés sont en adéquation avec ceux décrits dans les régions telliennes d'Algérie. L'espèce montre une grande stabilité dans l'enchaînement de ses stades phénologiques, bien que des adaptations régionales soient observées selon les conditions climatiques locales.

Période de suivi de la phénologie : Printemps (Mai 2025)



Figure 45. Fructification : A : Présence de deux générations de fruits ; B : Les fruits noués de la présente campagne et C : Les fruits noués de la campagne passée en cours de maturation. (Mokeddem, 2025).

Il s'agit de la phase de maturation des fruits, au cours de laquelle deux types de fruits peuvent être observés : les premiers, encore en phase de croissance, proviennent de la campagne en cours, tandis que les seconds, issus de la campagne précédente, sont en cours de maturation.

5. Discussion

L'étude de la phénologie constitue un outil fondamental pour la compréhension du fonctionnement des écosystèmes végétaux. Elle permet de déterminer avec précision les périodes d'activité de la végétation, essentielles pour l'évaluation de la productivité. Elle contribue également à l'analyse des relations entre les rythmes saisonniers des espèces et les facteurs abiotiques du milieu, facilitant ainsi l'identification des variables écologiques déterminantes et la prévision des réponses adaptatives des plantes face aux fluctuations climatiques. Dans le cas de l'arganier, cette approche revêt un intérêt particulier, notamment en lien avec son rôle dans les systèmes agro-sylvo-pastoraux, où il participe à l'alimentation animale par ses feuilles et les ressources qu'il génère (Grouzis *et al.*, 1991).

Les arganiers de notre station d'étude (El Keurt) présentent un comportement phénologique tardif. La floraison y est généralement observée entre mars et mai, tandis que la chute des

fruits mûrs intervient au cours du mois d'août de l'année suivante. Ces arbres ne fleurissent qu'une seule fois par an, au printemps, et portent simultanément deux générations de fruits : les fruits noués au cours de la campagne en cours et ceux issus de la floraison de la campagne précédente, encore en phase de maturation. Cette configuration indique un cycle de fructification d'une durée moyenne de 16 mois, confirmant le caractère bisannuel partiel du développement fruitier, tel que rapporté par (Kechairi *et al.*, 2018). Par ailleurs, l'apparition de nouveaux fruits est souvent déclenchée par les premières pluies automnales. Ces jeunes fruits proviennent d'une floraison antérieure, dont la fécondation est restée en dormance durant l'été sec. Ce phénomène de quiescence estivale est levé lorsque les conditions hydriques redeviennent favorables. Ainsi, ces fruits poursuivent leur développement pendant l'hiver et le printemps, pour atteindre leur maturité entre juin et juillet de l'année suivante, soit au début de l'été. À l'inverse, dans la région de Stidia (Mostaganem), située en zone littorale méditerranéenne, les arganiers bénéficient d'un climat plus humide et de températures plus modérées, ce qui favorise une floraison légèrement plus précoce et une maturation plus rapide (généralement en 12 à 13 mois). Cette différence met en évidence l'influence déterminante du climat et du sol sur le cycle phénologique de l'arganier, ainsi que sa plasticité écologique face à des contextes environnementaux contrastés.

Il est également important d'ajouter que l'arganier reste toujours vert ou ne perd qu'une partie de son feuillage, exceptionnellement pendant les années où la sécheresse est très forte, la défoliation peut être totale pour éviter un stress hydrique. En effet, grâce à ses mécanismes biologiques, l'arbre d'arganier régule ses fonctions biologiques pour mieux résister aux conditions du milieu très difficiles et attend le changement favorable pour qu'il puisse déclencher ses fonctions physiologiques (Miloudi, 2006).

Selon les observations de DUPIN (1949), il y a lieu de signaler le caractère bisannuel de la formation et la maturation du fruit ; par conséquent nous pensons que l'arganier présente aussi " ce caractère bisannuel" car les jeunes fruits tardifs ne complètent leur croissance qu'en présence des pluies de l'automne suivant.

Les données observées indiquent également qu'à partir du mois de juin, s'amorce un processus parallèle de maturation des fruits et de sénescence foliaire. Le jaunissement progressif des feuilles, suivi de leur chute régulière, accompagne la chute presque complète des fruits mûrs. Cette période de transition physiologique est immédiatement suivie par l'apparition de nouvelles feuilles, marquant le début d'un nouveau cycle végétatif.

Ces observations mettent en évidence l'adaptation de l'arganier aux conditions climatiques semi-arides, en particulier par le décalage temporel de certains stades phénologiques, lui permettant d'optimiser l'utilisation des ressources hydriques disponibles. D'après les résultats des observations sur le comportement phénologique de l'arganier vis-à-vis des conditions du milieu naturel, nous pourrions signaler que l'espèce (Sapotacée) se manifeste activement durant les périodes de l'année où la température est élevée.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Notre étude apporte une contribution à la mise en place d'un arborétum expérimental sous forme d'arganeraie dédié à l'acclimatation, à la multiplication et l'extension de l'arganier au niveau du territoire de la wilaya de Mascara, en premier lieu. Un dispositif germinatif a été adopté afin d'obtenir un taux de reprise le plus considérable et d'appréhender les potentialités de l'acclimatation de l'espèce à travers l'étude de comportement des plants transplantés au champ, a pour objet d'une programmation des plantations à grande échelle dans les régions arides et semi-arides.

D'après les résultats obtenus, nous signalons que la germination est plus au moins étalée pour les graines d'*Argania spinosa* des trois provenances qui n'ont pas séjourné dans de l'eau du robinet (lots témoins), tandis que les graines ayant séjourné dans l'eau de robinet pendant 96 heures ont germé dès le 5^{ème} jour pour les graines de Mostaganem à 25°C et le 8^{ème} jour 30° C avec des taux de germination de 91% et 89% par contre les graines de Mascara et Tindouf ont montré leur 1^{ère} germination le 7^{ème} jour à 25°C et le 12^{ème} jour à 25°C avec des taux de germination de 81% et 86% puis le nombre augmente graduellement pour atteindre son maximum et se stabiliser après trois semaines en général.

La température joue un rôle très important sur la germination des graines, elle stimule les activités enzymatiques et aussi la vitesse de la germination. Les exigences thermiques dépendent d'une espèce à autre. Les températures 25° et 30°C s'avèrent favorables pour la germination de la majorité des graines, notant bien que cette espèce supporte l'humidité atmosphérique, et cette dernière est favorisée dans la pépinière (plus la température est élevée plus l'évaporation augmente). En comparaison avec certains travaux effectués en Algérie sur les possibilités de multiplication de l'arganier par graines dans un intervalle thermique de 25° à 30°C, nous retenons que les taux de germination varient selon les provenances des graines.

Les résultats obtenus par Benaouf (2009, 2017) montrent les mêmes données concernant les taux et le début de germination, les graines de Tindouf débutent la germination de 2 à 4 jours de retard par rapport à celles de Mostaganem, ce retard dans la germination des graines peut être lié à la morphologie différente des graines, les graines de Tindouf sont pourvues d'une coque relativement dure et épaisse.

Les résultats concernant la relation entre la vitesse et le temps moyen de germination, la température, la nature du pré traitement et la provenance des graines. Ils indiquent l'existence d'une corrélation entre la durée de pré-imbibition des graines à l'eau et la température de

germination. La durée de pré imbibition des graines d'arganier est très courte, lorsque la température optimale de germination est élevée (30 °C). La variation des paramètres de germination des graines d'arganier que nous avons mesuré est signalée par de nombreux auteurs travaillant dans le domaine. Par exemple, Come (1975) rapporte qu'une graine ne germe que si l'embryon a la possibilité de s'imbiber. Mazliak (1982) conclue que la température demeure un facteur limitant qui intervient directement sur la germination en agissant sur la vitesse des réactions chimiques. En outre, Nouaim et Chaussod (1993) affirment que l'arganier peut se régénérer par semis, mais des échecs importants sont observés. Ces mêmes auteurs rapportent qu'un simple trempage des graines d'arganier à l'eau pendant trois ou quatre jours favorisera un pourcentage de germination élevé.

Dans notre cas, le trempage des graines à l'eau pendant 96 heures avant le semis, montre un effet positif sur la précocité et des taux importants de graines germées (81%, 93% et 86%) dans l'intervalle thermique de 20°C et 30°C. En comparaison avec certains travaux effectués en Algérie sur les possibilités de multiplication des graines d'arganier dans un intervalle thermique de 20° à 30°C, nous retenons que les taux de germination varient selon les provenances des graines. Par exemple pour les graines prélevées de Tindouf, le taux de germination atteint 50% (Slimani, 1996), ce taux augmente jusqu'à 70% (Kechairi et Lakhdari, 2002) et 80% pour les graines récoltées de la station d'Oggaz - Mascara. Pour les graines de la station de Mostaganem, la germination arrive jusqu'à un taux de 90% de graines germées (Baoui, 2001) et des taux de 55%, 70% et 80% dans l'intervalle thermique de 25°C à 30°C (Miloudi, 2006). Et le taux dépasse 80 % pour les graines récoltées de la station de Stidia et Tindouf (Benaouf, 2009). Par ailleurs, Renard (1975) note que parmi les graines mises en essai (mêmes conditions d'expérimentation) certaines ne germent pas, les unes à cause de la dureté du tégument et les autres à cause de facteurs endogènes inhibiteurs ou dormants.

Dans ces conditions, il est indispensable de réaliser les conditions optimales pour la germination.

Les résultats finaux de notre tentative de cultiver des arganiers dans la région de Mascara, ont en effet été très fructueux et encourageants à le prendre comme modèle pour les zones aride, semi-aride et sèches et en comparaison avec le travail de ceux en l'Algérie. Les tentatives de plantation de l'arbre de l'arganier ont été fructueuses dans plusieurs zones à l'extérieur de l'aire naturelle de Tindouf, selon Beladjemi et Kechairi (2018), Succès de l'Arganiculture

dans les régions suivantes : la ville de Tindouf, Bachar, Adrar, Timumoun, Mostaganem, Mascara, Alger (jardin d'essais et Harrache).

Les données observées indiquent également qu'à partir du mois de juin, s'amorce un processus parallèle de maturation des fruits et de sénescence foliaire.

Le jaunissement progressif des feuilles, suivi de leur chute régulière, accompagne la chute presque complète des fruits mûrs. Cette période de transition physiologique est immédiatement suivie par l'apparition de nouvelles feuilles, marquant le début d'un nouveau cycle végétatif. Ces observations mettent en évidence l'adaptation de l'arganier aux conditions climatiques semi-arides, en particulier par le décalage temporel de certains stades phénologiques, lui permettant d'optimiser l'utilisation des ressources hydriques disponibles.

Les arganiers de notre station d'étude (El Keurt) présentent un comportement phénologique tardif. La floraison y est généralement observée entre mars et mai, tandis que la chute des fruits mûrs intervient au cours du mois d'août de l'année.

Au terme de cette étude et compte tenu des commentaires et des conclusions auxquelles nous avons abouti sur les méthodes de germination, il nous paraît important de proposer quelques orientations susceptibles d'apporter des informations supplémentaires pour une meilleure connaissance des techniques de germination dans les conditions contrôlées et pour des essais de la mise en place des arganeraies expérimentales dédiées à l'acclimatation et à la multiplication des espèces végétales au niveau de la wilaya de Mascara.

La plantation reste le meilleur moyen pour l'extension de l'arganier en Algérie. Alors, nous pensons qu'il est temps de s'occuper du comportement des plantules de l'arganier en pépinière et effectuer des essais de plantation à titre expérimentale avec un suivi rigoureux pour connaître son interaction avec le milieu afin de pouvoir maîtriser les différentes méthodes de multiplication et de garantir la production des plants de bonne qualité.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Achour A., Defaa C., Yigouti A., Bouiche L., Hossayni A., Elmousadik A., et Bellefontaine R. (2021) - *Éléments techniques pour réussir une plantation d'arganiers : Cas de Tifaddine*. Dossier : Enjeux de la gestion des forêts au Maroc.
- Achhal El Kadmiri M., Ziri R., et Khattabi A. (2004) - Etat des peuplements forestiers du massif de Beni Snassen. *Bulletin de la Société Forestière du Maroc*, 18(1), 23-36.
- Aissa D. (1981) - Les facteurs de dégradation de l'arganier du sud-ouest marocain. Pp(160-1).
- Ait Hammouda M. (2011) - *Analyse écologique et climatique de l'arganeraie dans le sud-ouest algérien : cas de Tindouf*. Mémoire de Master en sciences agronomiques, Université de Tindouf, Algérie. 85 p.
- Alexandre J. (1985) - *Le bois d'Argania spinosa et ses usages traditionnels dans le sud marocain*. Annales de l'INRA Maroc, 8, 23-37.
- Alouani M. et Bani-Aameur F. (2003) - *Viabilité, dormance et régénération des semences d'Argania spinosa L. Skeels : contraintes écologiques et impact des pressions humaines*. Forêts Méditerranéennes, 24, 429-434.
- Aouad R. (1989) - *Élevage et gestion des ressources pastorales dans les arganeraies du Maroc*. Rabat : Institut Agronomique et Forestier du Maroc.
- Aubert J. E. (1982) - *Analyse granulométrique des sols : méthodes et recommandations*. Paris: INRA, 178 p.
- Ayad R. (1989) - *Etude de la végétation et de la gestion des arganeraies au Maroc*. Rabat : Institut Agronomique et Forestier du Maroc.
- Azizi S., Dalli M., Roubi M., Moon S., Berrichi A., Maleb A., Kim S.-H., Gseyra N., et Kim B. (2024) - Insights on phytochemistry and pharmacological properties of *Argania spinosa* L. Skeels: A comprehensive review. *ACS Omega*, 9(34), 36043 - 36065.
- Azzopardi B., Balzan M. V., Cherif S., Doblas-Miranda E., Dos Santos M., Dobrinski P., Falder M., Hassoun A. E. R., Giupponi C., et Koubi V. V. (2020) - Climate and environmental change in the Mediterranean basin - Current situation and risks for the future. *MedECC, First Mediterranean Assessment Report (MAR1)*.
- Babst F., Poulter B., Trouet V., Tan K., Neuwirth B., Wilson R., Carrer M., Grabner M., Tegel W., et Levanic T. (2013) - Site- and species-specific responses of forest growth to climate across the European continent. *Global Ecology and Biogeography*, 22(6), 706-717.
- Bagnouls F., et Gaussen H. (1953) - Dry periods et végétation. Comptes rendus hebdomadaires des seances de l'Academie des sciences, 236(10), 1075-1077.
- Bagnouls F., et Gaussen H. (1957) - Les climats biologiques et leur classification. *Annales de Géographie*, 66, 193-220.
- Balesdent J. (1996) - La matière organique des sols : dynamique et fonctions. In : *La fertilité des sols*. INRA Éditions, Paris, 45-64
- Baoui B. (2001) - *Essai de multiplication générative et transplantation des plants d'arganier (Argania spinosa L. Skeels) dans le plateau de Mostaganem* (Mémoire d'ingénieur d'État. Université de Mostaganem.
- Barbero M., Loisel R., et Quézel P. (1995) - Les essences arborées des îles méditerranéennes : leur rôle écologique et paysager. *Ecologia Mediterranea*, 21(1), 53-69.
- Bary-Lenger F., Martin J., et Dupont P. (1979) - *Climat et végétation : principes de bioclimatologie appliquée*. Paris : Masson.
- Baumer M., et Zeraïa L. (1999) - La plus continentale des stations de l'arganier en Afrique du Nord. *Revue Forestière Française*, 51(3), 446-452.
- Beladjemi S., et Kechairi R. (2018) - Varietal variability of argan tree foliage *Argania spinosa* (L.) Skeels in various bioclimatic stages in Algeria. *Genetics and Biodiversity Journal*, 2(1), 1-8.

- Belkhodja M. (1996) - *Etude de la germination et des facteurs influençant le semis des espèces forestières méditerranéennes*. Revue Forestière Méditerranéenne, 17, 35-44.
- Belkhodja M. (2001) - Action de la salinité sur les teneurs en proline des organes adultes de trois lignées de fève (*Vicia faba* L.) au cours de leur développement. *Acta Botanica Gallica*, 143(1), 21-28.
- Benaradj A. (1999) - Contribution à l'étude écologique et floristique de l'arganeraie de Tindouf (Sud-Ouest algérien). Mémoire d'ingénieur agronome, Institut National Agronomique (INA), El Harrach, Algérie, 78 p.
- Ben Mansour R., Ben Slema H., Falleh H., Tounsi M., Kechabar M. S. A., Ksouri R., et Megdiche-Ksouri W. (2018) - Phytochemical characteristics, antioxidant, and health properties of roasted and unroasted Algerian argan (*Argania spinosa*) oil. *Journal of Food Biochemistry*, 42(5), e12562.
- Benaouf Z. (2009) - Etude physiologique et comportementale des plantules d'arganier (*Argania spinosa* (L.) Skeels) soumis à un stress hydrique. Mémoire de Magistère, Université des Sciences et Technologies Houari Boumediene (USTHB), Bab Ezzouar, Alger.
- Benaouf Z., Miloudi A., Souidi Z., et Arabi Z. (2015) - Reproductivity et phenology of argan *Argania spinosa* (L.) Skeels a rare tree endemic to the west of Algeria. *Pakistan Journal of Botany*, 47(6), 2181-2188.
- Benaouf Z. (2017) - Etude phénologique et apport de la mycorhization sur la croissance de l'arganier (*Argania spinosa* (L.) Skeels) dans l'Ouest Algérien. Thèse de Doctorat, Université des Sciences et Technologies Houari Boumediene (USTHB), Bab Ezzouar, Alger.
- Benaouf Z., Benbahi I., Djorf O., Souidi Z., et Kechairi R. (2020) - Importance of Argan Oil in Human Health According to the Dosage of Antioxidants in the Algerian Argan Fruits (*Argania spinosa*). *Avicenna Journal of Medical Biotechnology*, 12(1), 66.
- Benaouf Z., Kechairi R., Djorf O., et Kies M. L. (2023) - Fruiting et productivity of the Argan (*Argania spinosa*) tree and evaluation of the nutritional value of its early and late fruits from western Algeria. *International Journal of Fruit Science*, 23(1), 151-164.
- Bencherif S. et Boucelha L. (2012) - Dégradation des sols et dynamiques d'occupation des terres dans les monts de Beni-Chougrane (Algérie). *Sécheresse*, 23(4), 267-275.
- Benchettouh A. (1999) - *Étude phénologique de l'arganier à Stidia (Mostaganem)* (Mémoire d'ingénieur). INA, Alger.
- Bendellaa H., Kechairi R., Megharbi A., Kholkhal D., Dich I., Allaloui H., et Azzaz G. (2023) - Morphometric characteristics of *Argania spinosa* seeds according to provenances in Algeria. *Genetics et Biodiversity Journal*, 7(2), 109-119. <https://doi.org/10.46325/gabj.v7i2.366>
- Benismail M. C., et Oudadsi M. (2015) - Vers une "Arganiculture" intensive : identification et présélection d'individus aux caractères d'intérêt agronomique chez l'arganier (*Argania spinosa* L. skeels). Résumé des communications de 3ème congrès international de l'arganier, 17-19 décembre 2015, Agadir (Maroc).
- Benkheira H. (2009) - *Caractérisation climatique et impacts sur la végétation du sud-ouest algérien : cas de l'arganeraie de Tindouf*. Mémoire de Master en sciences de l'environnement, Université de Tindouf, Algérie. 72 p.
- Benzyane M., et Khatouri M. (1991) - L'arganier (*Argania spinosa* (L.) Skeels) : rôle écologique et socio-économique dans les zones arides et semi-arides du Maroc. *Forêt Méditerranéenne*.
- Benzyane M. (1995) - *L'arganier, Argania spinosa (L.) Skeels : écologie, biologie et perspectives de domestication*. Revue Forestière Française, 47(6), 503-512.

- Berthier J. (1966) - *Histoire de l'arganier et des défrichements au Maroc*. Paris : Editions du CNRS.
- Binet A., et Brunel J. (1968) - *Physiologie de la germination des graines*. Paris : Masson.
- Bouchetata A. (2003) - Contribution à l'étude de la dégradation des sols sous l'effet des facteurs anthropiques dans le Nord-Ouest algérien. Mémoire de Magister, Université d'Oran, Algérie.
- Boudy P. (1950) - Monographie et traitement de l'arganier *Argania spinosa*. In *Économie forestière nord-africaine II - Monographies et traitement des essences forestières* (pp. 382-416). Editions Larose.
- Boudy P. (1952) - Arganier (*Argania spinosa*). Guide du forestier en Afrique du Nord, 185-195.
- Boudy P. (1958) - Economie forestière nord-africaine: Description forestière du Maroc, (Vol.3) (Larousse ed.).
- Bourbia A. (1988) - *Pédologie : notions de base et méthodes d'analyse des sols*. Office des Publications Universitaires (OPU), Alger.
- Brady N.C. et Weil R.R. (2017) - *The Nature and Properties of Soils* (15^e éd.). Pearson Education, New York.
- Braun-Blanquet J. (1964) - *Pflanzensoziologie: Grundzuge der Vegetationskunde* : Springer, (3^{ème} Ed.). Wien New York. 865p.
- Bucher W. (1954) - *Rapport sur l'état des arganeraies de la région d'Essaouira*. Rabat : Institut Forestier du Maroc.
- Cassimi A. (1988) - *Erosion et désertification dans le Sud marocain*. Rabat : Institut Agronomique et Forestier du Maroc.
- Centre d'Enfouissement Technique (C.E.T.) – El Keurt. (2016) - Etude et suivi des travaux de construction du C.E.T. El Keurt, Wilaya de Mascara. Etude d'impact sur l'environnement. Bureau d'Étude M.A.T.H.E., Constantine, Algérie. 70 p.
- Challot H. (1949) - *Contribution à l'étude écologique de l'arganier*. Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle du Maroc, 19, 87-102.
- Charrouf Z. (1984) - *L'arganier (Argania spinosa L.) : morphologie, écologie et utilisation traditionnelle de l'huile*. Thèse de Doctorat, Université Mohamed V, Rabat, Maroc.
- Charrouf Z. (1995) - Valorisation d'*Argania spinosa* (L.) Sapotaceae: Etude de la composition chimique et de l'activité biologique du tourteau et de l'extrait lipidique de la pulpe. These doctorat ex-Sciences, Univ. Mohammed V, Rabat. Maroc. 97.
- Charrouf Z. (1999) - Valorisation des produits de l'arganier pour une gestion durable des zones arides du sud ouest marocain. In : Actes du 4^{ème} Colloque Produits naturels d'origine végétale, Ottawa, ON, Canada : 26-29. 98.
- Charrouf Z., et Guillaume D. (1999) - Ethnoeconomical, ethnomedical, et phytochemical study of *Argania spinosa* (L.) Skeels. *Journal of ethnopharmacology*, 67(1), 7-14.
- Charrouf Z., et Guillaume D. (2009). Sustainable Development in Northern Africa: The Argan Forest Case. *Sustainability*, 1(4), 1012-1022.
- Chaussod R. (2001) - *Écologie et biologie de l'arganier (Argania spinosa) : implications pour sa conservation et sa gestion*. Thèse de doctorat, Université de Montpellier II, France. 135 p.
- Chevalier A. (1943) - Taxonomie, biogéographie et sélection des palmiers du genre *Elæis*. *Revue de Botanique Appliquée et d'Agriculture Coloniale*, 23(266), 295-307.
- Chevalier A. (1953) - Le Sahara vu par les chercheurs scientifiques. *Journal d'Agriculture Traditionnelle et de Botanique Appliquée*, 33(369), 281-285.
- Come D. (1970) - *La germination des graines : aspects physiologiques et morphologiques*. Paris : CNRS Editions. pp. 11-26.

- Come D. (1975) - *Principes de physiologie végétale – Germination*. (cité dans plusieurs mémoires et synthèses bibliographiques sur la germination, décrivant comment l'eau doit pénétrer l'embryon pour que la germination s'amorce et comment l'oxygène et la température interagissent pendant l'imbibition). Paris : Hermann. pp. 129 – 225.
- Crbt. (1978) - *Classification granulométrique des sols*. Alger : CRBT (Centre de Recherches du Bâtiment et des Travaux Publics), Document technique.
- Daget P. (1968) - Quelques remarques sur le degré de continentalité des climats de la région holarctique. CNRS CEPE, Montpellier, 12.
- Daget P. (1977) - Le bioclimat méditerranéen: analyse des formes climatiques par le système d'Emberger. *Vegetatio*, 34(2), 87-100.
- Dar W. D., et Laxmipathi Gowda, C. (2013) - Declining agricultural productivity et global food security. *Journal of Crop Improvement*, 27(2), 242-254.
- Debbou F. (2003) - *L'arganier (Argania spinosa) : écologie et gestion durable dans le sud marocain*. Thèse de doctorat, Université Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc. 145 p.
- Delperugia J. (1990) - Aménagement sylvo-pastorale de la forêt de la forêt d'arganier. Rome : FAO. Rapport, 10 p.
- De Pontevés E., Bourbouze A., et Narjisse H. (1990) - Occupation de l'espace, droit coutumier et législation forestière dans un terroir de l'arganeraie septentrionale au Maroc. *Les Cahiers de la Recherche Développement*, (26), 28-43.
- Diaz-Barradas M. C., Zunzunegui M., Ain-Lhout F., Jáuregui, J., Boutaleb S., Alvarez-Cansino L., et Esquivias M. P. (2010) - Seasonal physiological responses of *Argania spinosa* tree from Mediterranean to semi-arid climate. *Plant and Soil*, 337(1), 217-231.
- Djebbouri K., Kechairi R., Djebbouri M., Megharbi A., et Ould Safi M. (2024) - Potential regions for Argan tree plantations in Algeria using MaxEnt bioclimatic modelling. *International Journal of Environmental Studies*, 81(2), 795-807.
- Driouch A. (1989) - *Gestion de l'eau et impacts sur les écosystèmes forestiers dans le Sud marocain*. Rabat : Institut Agronomique et Forestier du Maroc.
- Dupin L. (1949) - L'arganier survivant de la flore tertiaire, providence du Sud marocain. *Élevages et Cultures*, 3, 28-34.
- Duvignaud P. (1974) - *La synthèse écologique*. Paris, Doin, 380 p.
- Ehrig H. (1974) - *Ecologie et rôle hydrologique de l'arganier dans le sud marocain*. Revue Forestière Méditerranéenne, 5, 45-58
- El Abidine A. Z. (2003) - Le dépérissement de l'arganier au Maroc : facteurs écologiques et propositions d'aménagement. *Sécheresse*, 14(4), 209-218.
- El Aboudi, A. (1990) - *Typologie des arganeraies inframéditerranéennes et écophysiologie de l'arganier (Argania spinosa (L.) Skeels) dans le Sous (Maroc)*. Thèse de Doctorat, Université Joseph Fourier, Grenoble I, 113 p.
- El Aboudi, A., Benabid, A., et Boudy, P. (1991) - *Effets de la sécheresse sur la croissance de l'arganier (Argania spinosa L.) au Maroc*. *Journal of Arid Environments*, 21(3), 221-230.
- El Mazzoudi, H., et Errafia, M. (1977) - *Contribution à l'étude de la germination des noix d'argan (Argania spinosa L.) par des prétraitements chimiques*. *Annales de la Recherche Forestière au Maroc*, 17, 59-66.
- El Mousadik A., et Petit R. J. (1996b) - High level of genetic differentiation for allelic richness among populations of the argan tree (*Argania spinosa* (L.) Skeels) endemic to Morocco. *Theoretical et Applied Genetics*, 92(7), 832-839.
- El Rhaffari L., et Zaid A. (2002) - Argan (*Argania spinosa*). In A. Zaid (Éd.), *Les espèces forestières tropicales à usages multiples* (pp. 139-159). FAO.

- El Yousfi S. M. (1988) - *La dégradation du couvert forestier dans le Sud-Marocain : cas de l'arganeraie d'Admine (Souss) entre 1969 et 1986*. Mémoire de troisième cycle, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc, 117 p
- Emberger L. (1925) - *Le domaine naturel de l'arganier*. Bulletin de la Société Botanique de France, 72, 770-774.
- Emberger L. (1930) - *La végétation de la région méditerranéenne. Essai d'une classification des groupements végétaux*. Revue de Botanique Appliquée et d'Agriculture Coloniale, 10, 641-662.
- Emberger L. (1938) - *La définition phytogéographique du climat désertique*. Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord, 29, 257-267.
- Emberger L. (1960) - *La végétation de la région méditerranéenne. Essai d'une classification des groupements végétaux*. Annales de Géographie, 69, 563-572.
- Errafia A. (1975) - *Étude historique et écologique de l'arganeraie marocaine*. Rabat : Publications Universitaires Marocaines.
- Errouati M. (2005) - *Contribution à l'étude écologique et socio-économique de l'arganier (Argania spinosa L.) au Maroc*. Revue Marocaine de Biologie, 23, 45-59.
- Fallah M., Dupraz C., et Dauzat M. (2001) - Impact des protections individuelles à effet de serre sur des plants d'arganier en conditions hydriques non limitantes. Forêt Méditerranéenne, 22(3), 235-240.
- Fassi M. (2002) - *L'arganier (Argania spinosa (L.) Skeels) : écologie, variabilité génétique et conservation*. Thèse de doctorat, Université Ibn Zohr, Agadir, Maroc. 150 p.
- Fellat-Zarrouk H., Benjelloun M., et Khattabi H. (1987) - *Composition chimique de la pulpe des fruits d'Argania spinosa L.* Bulletin de l'INRA Maroc, 9, 101-110.
- Ferradous A., Louali S., et El-Hassani R. (1996) - *Phénologie et morphologie des fruits de l'arganier (Argania spinosa) au Maroc*. Journal Marocain des Sciences Agronomiques, 18(2), 45-52.
- Gargano M., De Mastro G., D'Amico F. S., Di Gristina E., et Barone G. (2021) - Acclimatization, distribution et potential economic use of *Argania spinosa* (Sapotaceae) in southern Italy. *Flora Mediterranea*, 31, 173-181.
- Geneve R. L. (2003) - Impact of temperature on seed dormancy. *HortScience*, 38(3), 336-340.
- Gentil L. (1906). Contribution à la géologie et à la géographie physique du Maroc. Annales de Géographie, 15, 133-151.
- Golla B. (2021) - Agricultural production system in arid et semi-arid regions. *International Journal of Agricultural Science and Food Technology*, 7(2), 234-244.
- Gray D. (1976) - The influence of seed quality on crop establishment. *Horticultural Abstracts*, 46(7), 415-422.
- Grouzis M., Le Houérou H. N., et Montaña, C. (1991) - Écologie et productivité de l'arganier (*Argania spinosa* L. Skeels) et de ses formations végétales. *Acta Oecologica*, 12, 121-134.
- Guiraud R. (1990) - *Evolution post-triasique de l'avant-pays de la chaîne alpine en Algérie : d'après l'étude du Bassin du Hodna et des régions voisines*. Mémoires — Office national de la géologie (Algérie), n° 3, 259 p
- Hamel F. (2016) - Contribution à l'étude morphométrique des graines d'arganier *Argania spinosa* (L.) Skeels (famille : sapotacées) et les essais de germination au laboratoire. (Master en écologie), Université de Tlemcen, Algérie.
- Hammoumi A. E. H., El Bouzdoudi B., Bani-Aameur F., et Ferradous A. (2020) - Premiers résultats de la sélection clonale de l'arganier dans la région de Souss (Maroc). *Nature et Technology*, 23, 22-30.

- Ibn-Al-Baytār. (1219) - Al-djamie Li Mufradat Al-Adwiya wa Al-Aghdiya. Leclerc, L., 1877 : Traité des simples, Notices et extraits des manuscrits de la bibliothèque nationale, 23, 1-476.
- Karmouni M. (1989) - *Dynamiques de l'érosion et gestion des sols arides au Maroc*. Casablanca : Université Hassan II, Faculté des Sciences.
- Kechairi R., et Lakhdari A. (2002) - Contribution à l'étude de l'arganier (*Argania spinosa* L. Skeels). Essais de multiplication par semis au laboratoire à Mascara (Mémoire d'ingénieur d'Etat), Université Mustapha Stambouli, Mascara. 69p.
- Kechairi, R. (2009) - Contribution à l'étude écologique de l'arganier *Argania spinosa* (L.) Skeels dans la région de Tindouf (Algérie). Mémoire de Magistère, Université des Sciences et Technologies Houari Boumediene (USTHB), Bab Ezzouar, Alger.
- Kechairi R., et Abdoun F. (2013) - Les essais pilotes de régénération artificielle de l'arganier à Tindouf en Algérie (pp. 63-67). Agadir, Maroc.
- Kechairi R., et Abdoun F. (2016) - 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*, 73(2), 286-293.
- Kechairi R., Ould Safi M., et Benmahioul B. (2018) - Etude comparative de deux plantations d'*Argania spinosa* (L.) Skeels (Sapotaceae) dans le Sahara Occidental algérien (Tindouf et Adrar). *International Journal of Environmental Studies*, 75(2), 294-308.
- Kechairi R., et Benmahioul B. (2019) - Comportement des plants d'Arganier (*Argania spinosa* L. Skeels, Sapotaceae) au sud-ouest algérien (Tindouf, Bechar et Adrar). *International Journal of Environmental Studies*, 76(5), 800-814.
- Kechairi R., et Benmahioul B. (2020) - Évidence cartographique de la dissémination récente de l'arganier au nord du Maroc. *Algerian Journal of Arid Environment*, 10(2), 70-77.
- Kechairi R., et Redjem-Khodja A. (2021, juin) - Huile d'Argan de Tindouf, perspective sur la traçabilité et défis. In *Actes du colloque*, Alger, pp. 87-89.
- Kechairi R., Benaouf Z., Ould Safi M., Megharbi A., et Benmahioul B. (2024) - Ecosystems with the endemic argan tree (*Sideroxylon spinosum* L.): their flora and fauna (Algerian Sahara). *Biodiversity: Research and Conservation*, (75).
- Khader F. (2004) - Les sols de la région de Mascara et leur aptitude à l'aménagement agricole. Thèse de Magistère, Mustapha Stambouli, Mascara, 69p.
- Khay M. (1989) - Traitement sylvicoles et aménagement. In : Formation forestière continue, thème "Arganier", Station de Recherche forestière, Rabat, 13-17 mars 1989. pp :59 - 65.
- Kouadri F. (2003) - Contribution à l'étude écologique et phytogéographique de l'arganier (*Argania spinosa* (L.) Skeels) dans la région de Tindouf (Sud-Ouest algérien). *Revue des Sciences Agronomiques*, 12, 45-58.
- Kollmann J., Meyer S. T., Bateman R., Conedera M., Dehnen-Schmutz K., Essl F., ... et Pysek P. (2022) - Quantifying impacts of biological invasions: what is to be done? *Conservation Letters*, 15(3), e12849.
- Labarca-Rojas Y., Hernandez-Bermejo J. E., Herrera-Molina F., Hernández-Clemente M., et Quero, J. L. (2023) - Assessing argan tree (*Argania spinosa* (L.) Skeels) ex-situ collections as a complementary tool to in-situ conservation and crop introduction in the Mediterranean basin. *Trees*, 37(2), 567-581.
- Labarca-Rojas Y., Hernandez-Bermejo J. E., Quero J. L., et Herrera-Molina F. (2022) - Bioclimatic habitat limitations for argan trees (*Argania spinosa* (L.) Skeels) in Northern Africa and Spain. *Regional Environmental Change*, 22(1), 14.
- Lal R. (2007) - Soil erosion impacts on agronomic productivity and environment quality. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 26, 123-150.

- Lewalle J., (1991) - *L'arganier (Argania spinosa (L.) Skeels) : éléments pour une biogéographie et une écologie historique*. Bulletin de la Société Royale de Botanique de Belgique, 124, 89-102.
- Lieth H. (1974) - *Phenology and Seasonality Modeling*. Berlin: Springer-Verlag.
- Linné C. V. (1737) - *Flora Lapponica*. S. Schouten. Amsterdam, Netherlands.
- Louali S., Benjelloun, H., et M'Hirit, O. (1994) - *Étude de la variabilité morphologique de l'arganier (Argania spinosa) au Maroc*. Thèse de doctorat, Université Hassan II, Maroc. 120 p.
- Louati M., Uçarlı C., Arıkan B., Ghada B., Salhi Hannachi A., et Turgut-Kara N. (2019) - Genetic, morphological, and biochemical diversity of argan tree *Argania spinosa* L. (Sapotaceae) in Tunisia. *Plants*, 8(9), 319.
- Mainguet M. (1999) - *Aridity: Droughts and human development*. Springer.
- Mangin P. (1990) - *La multiplication in vitro des plantes forestières : applications à l'arganier (Argania spinosa L. Skeels)*. Revue Forestière Française, 42, 125-134.
- Mazliak P. (1982) - *Croissance et développement. Physiologie végétale II*. Paris : Hermann. pp. 129–225.
- Mazliak P., Côme D., Duret R., Duret B., Jacques R., Penon P., et Rolet J.-C. L. (1982) - *Croissance et développement: Physiologie végétale II*. Collection Méthodes. Paris : Hermann.
- Melzi S. (1986) - *Etude de la dégradation des sols en zones arides et semi-arides*. Options Méditerranéennes, Série A, 3, 45-56.
- Mensier A. (1957) - *L'arganier (Argania spinosa L. Skeels) : étude morphologique et descriptive du fruit*. Bulletin de la Société des Sciences Naturelles du Maroc, 37, 55-72.
- Métro A. (1953) - *Technique de mise en valeur des dunes littorales de l'Atlantique marocain*. Annales de la Recherche Forestière du Maroc, rapport annuel 1952, pp. 3-48.
- Miloudi A. (2006) - Les réponses physiologiques et biochimiques de l'arganier (*Argania spinosa* (L.) Skeels) aux facteurs abiotiques naturels. Thèse Doctorat, labo de physiologie végétale, Inst. de Biologie, Univ. Es Sénia, Oran. 100p. 293.
- Miloudi A., et Belkhodja M. (2009) - The contribution to the research of the germination conditions of Argan seeds (*Argania spinosa* L. Skeels): The particular study of the water pre-soaking duration and the harvest year of seeds effects on the germination. *European journal of scientific research*, 25(3), 376-383.
- Mhirit O. (1987) - Etat actuel des connaissances sur le Cedre. Element pour un programme de recherche.- Rapport Comité CFA/CEF/CFPO, Silva Mediterranea. 283p.
- Mhirit O. (1989) - L'Arganier, une espèce fruitière forestière à usage multiple. In : Formation Forestière Continue, Thème "l'Arganier" 13-17 Mars 1989. Station de Recherches Forestières, Rabat. pp : 32-58. 284.
- Mhirit O., et Elabid A. (1989) - Note de synthèse, in : Formation forestière continue, Thème «l'arganier», station de recherche forestière, Rabat, Maroc. 6-8. 288.
- Mhirit O., Benzyane M., Benchekroun F., El Yousfi S. M., et Bendaanoun M. (1998) - L'arganier, une espèce fruitière-forestière à usages multiples (Mardaga ed.): Sprimont, Belgique. 286. Mhirit, O., et Blérot, P. (1999). Le grand livre de la forêt marocaine : Editions Mardaga. 287.
- M'Hirit O., Bani-Aameur F., El Yousfi S. M., El Mousadik A., Msanda F., et Romane F. (2004) - *L'arganier: Une espèce fruitière-forestière à usages multiples*. 154 p.
- Mhirit O., et Benchekroun F. (2006) - Les écosystèmes forestiers et périforestiers: situation, enjeux et perspectives pour 2025. Contribution au Rapport sur le Développement Humain (RDH50) Maroc, GT8-7, 397-483. 285.

- Mhirit O., et Et-Tobi M. (2010) - Les écosystèmes forestiers face au changement climatique: situation et perspectives d'adaptation au Maroc, Programme d'études « Changement climatique impacts sur le Maroc et options d'adaptation globales ». Rapport : IRES, Maroc. 260 p.
- Mokhtari M. (2002) - Le greffage de l'arganier un challenge pour la multiplication clonale. Bull de Transfert de Technologie en Agriculture, 95, 3-4.
- Monnier Y. (1965) - Les problèmes actuels de l'arganeraie marocaine. Revue Forestière Française, 11, 750.
- Montoya A. (1984) - *Cycle de fructification de l'arganier et implications pour la production d'huile*. Casablanca : Université Hassan II, Faculté des Sciences.
- Morsli A. (1999) - Essai de vitropropagation de l'arganier : *Argania spinosa* (L.) Skeels à partir de vitrosemis. Thèse de magistère, protection de la nature, INA, 89 p.
- Morton J. F., et Voss G. L. (1987) - The argan tree (*Argania sideroxylon*, Sapotaceae), a desert source of edible oil. Economic botany, 41(2), 221-233. doi:10.1007/bf02858970.
- Msanda F., et al. (1993) - Contribution à l'étude écologique de l'arganier dans le Sud marocain. *Journal of Arid Environments*, 25(2), 145-158.
- Msanda F. (1995) - Croissance et adaptation de l'arganier (*Argania spinosa*) dans les zones semi-arides du Maroc. *Journal of Mediterranean Ecology*, 1, 45-52.
- Msanda F., El Aboudi A., et Peltier J. P. (2005) - Biodiversité et biogéographie de l'arganeraie marocaine. *Systematics and Biodiversity*, 2(2), 133-143.
- Nara K. (2006) - Ectomycorrhizal networks and seedling establishment during early primary succession. *New Phytologist*, 169(1), 169-178.
- Nerd A., Eteshola E., Borowy N., et Mizrahi Y. (1994) - Growth et oil production of argan in the Negev Desert of Israel. *Industrial Crops et Products*, 2(2), 89-95. 320.
- Nerd A., Irijimovich V., et Mizrahi Y. (1998) - Phenology, breeding system et fruit development of Argan (*Argania spinosa*, Sapotaceae) cultivated in Israel. *Economic botany*, 52(2), 161-167.
- Nouaim R. (1990) - *Observation du système racinaire et de la symbiose mycorhizienne chez Argania spinosa (arganier)*. Communication, Maroc.
- Nouaim R., Chaussod R., et Fassi M. (1990) - *Travaux récents sur la multiplication végétative in vitro de l'arganier (Argania spinosa)*. Rapport scientifique, Maroc.
- Nouaim R., Chaussod R., et Fassi M. (1991) - *Étude écologique et morphologique de l'arganier (Argania spinosa) dans le sud-ouest marocain*. Thèse de doctorat, Université de Montpellier II, France. 120 p.
- Nouaim R., et Chaussod R. (1993) - *L'Arganier (Argania spinosa (L.) Skeels). Le Flamboyant*, Bulletin de liaison des membres du réseau Arbres Tropicaux, 27, 7-9.
- Nouaim R., et Chaussod R. (1994) - Mycorrhizal dependency of micropropagated argan tree (*Argania spinosa*): I. Growth et biomass production. *Agroforestry systems*, 27(1), 53-65. doi:10.1007/bf00704834 323.
- Nunez J. (1979) - Ensayos de introducción del argán (*Argania spinosa*) en el sureste de Espana. *Anales del Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias (INIA)*, Madrid.
- Obendorf R. L. et Wettlaufer S. H. (1984) - *Precocious germination during in vitro growth of soybean seeds*. *Plant Physiology*, 76(4), 1024-1028.
- Ould Safi, M. (2014) - *Caractérisation et état sanitaire de l'arganeraie de Tindouf*. Mémoire de Magister en Foresterie, Département des Sciences de l'Agronomie et des Forêts, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers, Université Abou Bekr Belkaïd - Tlemcen, Algérie. 62 p.
- Ould Safi M., Kechairi R., et Benmahioul B. (2015) - Situation sanitaire de l'arganeraie de Tindouf (Algérie) : Rôle des termites et champignons associé. Dossier spécial : "Innovation en forêt méditerranéenne" *Forêt Méditerranéenne*, 36(3), 311-318. 333.

- Ould Safi M., Kechairi R., Khersi M., Boudffeur S., Ayada S.A.B., Bahidi A., Nani A. et Ameer A.A. (2023) - Argan tree cultivation in Algerian desert Sahara (case of Adrar Province). *International Journal of Environmental Studies* 81(2), 795-807 doi: 10.1080/00207233.2023.2222604.
- Ounis M., Labhilili M., Bouharmont J. (2002) - Effet de la stratification et de la scarification sur la levée de dormance des graines d'*Argania spinosa* L. Skeels. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 6(2), 85-90.
- Ozenda P., et Lucas M. (1975) - Documents de cartographie écologique. Résumé, 16, 49-64.
- Ozenda P. (1978) - *La végétation de la chaîne alpine dans l'espace montagnard européen*. Paris, Masson, 331 p.
- Ozenda P. (1982) - Les végétaux dans la biosphère (Doin ed.). Paris. 335 p.
- Ozenda P. (1983) - *Flore du Sahara*. 2^e édition. Paris : CNRS, 662 p.
- Ozenda P. (1991) - *Flore du Sahara*. 3^{ème} Edition. CNRS, Paris. 662p.
- Peltier J.-P., El Aboudi A., Carlier G., et Doche B. (1992) - 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*, 23(1-2), 5-16.
- Peyerimhoff P. D. (1944) - Coléoptères du Sahara marocain et du Sahara occidental. *Bulletin de la Société des Sciences Naturelles du Maroc*, 24, 90-110.
- Puech R. (1986) - Étude de la germination chez diverses espèces forestières. *Revue Forestière Française*, 38(4), 281-292.
- Pumareda L., Henry F., Charrouf Z., Pauly G., et Falconnet G. (2006) - Valorisation des feuilles d'arganier: impact environnemental. *Bois et forêts des tropiques* (287), 35-44.
- Pouget M. (1980) - *Les relations sol-végétation dans les steppes sud-algériennes*. Paris : ORSTOM, 555 p.
- Pulido M., Schnabel S., Lavado Contador J. F., Lozano-Parra J., et González F. (2017) - The impact of heavy grazing on soil quality et pasture production in rangelets of SW Spain. *Let Degradation et Development*, 28(2), 562-572.
- Quezel P., et Médail F. (1995) - La région circum-méditerranéenne, centre mondial majeur de biodiversité végétale. Actes des rencontres de l'Agence Régionale pour l'Environnement Alpes-Provence-Côte d'Azur, 152-160. 366.
- Quezel P. (2000) - *Réflexions sur l'évolution de la flore et de la végétation au Maghreb méditerranéen*. Thèse de doctorat, Université de Montpellier II, France. 117 p.
- Radi N. (2003) - L'Arganier arbre du sud ouest marocain, en péril, aprotéger. Thèse Doctorat en pharmacie, Université de Nantes, France. 59p.
- Renard H. A. (1975) - Les techniques de la germination: critères pratiques et signification. *Recycling of ecologists et biologists. Formation permanente en écologie et biologie, France*, 24-35.
- Rhouma A., Khatir H. et Chenchouni H. (2014) - Érosion hydrique et dégradation des sols dans les zones montagneuses semi-arides du Nord-Ouest algérien. *Revue des Régions Arides*, 33, 55-68.
- Ribi, H. (1995) - L'arganier (*Argania spinosa*): distribution et écologie. *Revue Forestière Méditerranéenne*, 16(3), 123-132.
- Rieuf P. (1962) - Les champignons de l'arganier. *Cahiers de la Recherche Agronomique*, 15, 1-25.
- Rungs R. (1950) - *Contribution à l'étude de la flore et de la végétation du Maroc*. Paris : Institut Scientifique du Maroc.
- Saint-Laurent J. (1932) - *L'arganier (Argania spinosa L.) Skeels : étude botanique et forestière*. Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle du Maroc, 12, 1-56.
- Sandret A. (1957) - *Étude chimique et nutritive de la pulpe du fruit d'Argania spinosa L. Skeels*. Bulletin de la Société des Sciences Naturelles du Maroc, 37, 73-88.

- Seltzer P. (1946) - *Le climat de l'Algérie*. Institut de Météorologie et de Physique du Globe, Alger : Gouvernement Général de l'Algérie, 219 p.
- Setret F. (1957) - La pulpe d'argane, composition chimique et valeur fourragère: variation en cours de la maturation. *Annales de la Recherche Forestière au Maroc*, 152-177.
- Singer M.J. et Munns D.N. (2006) - *Soils: An Introduction* (6^e éd.). Upper Saddle River, New Jersey : Pearson Prentice Hall.
- Slimani S. (1996) - *Contribution à l'étude de l'arganier (Argania spinosa (L.) Skeels) de deux provenances Tindouf–Mostaganem : étude expérimentale sur la germination des graines et extraction d'huile d'argan*. Mémoire d'ingénieur d'Etat en Agronomie, Faculté des Sciences Agronomiques, Université Sidi Bel-Abbès, Algérie, 102 p.
- Slimani S., Bencheikh N., et Aissani N. (2022) - Importance de l'arganier (*Argania spinosa* L. Skeels) dans la lutte contre la désertification et la sécurité alimentaire. *Revue Scientifique et Technique Forêt et Environnement*, 26, 35-42.
- Solowey E. M. (2001) - Combating desertification with plants. In D. Pasternak et A. Schlissel (Éds.), *Pasternak et Schlissel* (pp. 257-261). Springer US.
- Tarrier M. R., et Benzyane M. (2003) – L'arganeraie marocaine se meurt : problématique et bio-indication. *Science et Changements Planétaires / Sécheresse*, 14(1), 60–62.
- Tazi M., Ait El Mekki A., et El Faskaoui B. (2003) - L'arganiculture: état des lieux et perspectives de développement. *New Medit*, 18(3), 51-60.
- Thierry L. (1987) - L'arganier au Maroc : sa description, ses méthodes de multiplication et son application en reforestation. (Thèse d'Ingénieur), IPESA, ATH.
- Ungar I. A. et Badger K. S. (1989) - Germination and establishment of halophytes on coastal saline substrates. *Botanical Review*, 55(2), 157-178.
- Vila J.-M. (1980) - *La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens*. Thèse de Doctorat d'État, Université Pierre et Marie Curie (Paris VI), 3 volumes.
- Wagret J. (1962) - *Recherches sur l'arganier (Argania spinosa) et ses propriétés boisées*. Thèse de doctorat, Université de Paris, France. 98 p.
- Yahi N., Vela E., Benhouhou S., De Belair G., et Gharzouli R. (2012) - Identifying important plants areas (key biodiversity areas for plants) in northern Algeria. *Journal of Threatened Taxa*, 4(8), 2753-2765.
- Younis A., Riaz A., Ahmed R., et Raza A. (2007) - Effect of hot water, sulphuric acid et nitric acid on the germination of rose seeds. In *Uniformiser SVP la mise en forme* (pp. 105-108)
- Zahidi A. et Bani-Aameur F. (1998) - Une méthode d'échantillonnage des feuilles d'arganier (*Argania spinosa*). *Annales de la Recherche Forestière (Maroc)*, 31, 66-79.
- Zahidi A. et Bani-Aameur F. (1999) - Phénologie de la foliation de l'arganier. In F. Bani-Aameur (Éd.), *Colloque international sur les ressources végétales : l'arganier et les plantes des zones arides et semi-arides* (pp. 173-176). Faculté des Sciences, Agadir.
- Zeraia L. (1981) - *Essai d'interprétation comparative des données écologiques, phénologiques et de production subéro-ligneuse dans les forêts de chêne-liège de Provence cristalline (France méridionale) et d'Algérie*. Thèse de Doctorat d'Etat en Sciences, Université Aix-Marseille III. 367 p.

ANNEXES

Tableau 1. Taux de germination des graines des trois provenances (Oggaz, Stidia et Tindouf) par stratification au niveau de la pépinière de Mascara à 20°C

DATE DU SEMIS LE : 07/9/2014 à 09 h		Nombre de graines germées à 20°C					
Date	Nombre de jours	Graines d'Oggaz		Graines de Stidia		Graines de Tindouf	
		Pré imbibition 96h	Témoin	Pré imbibition 96h	Témoin	Pré imbibition 96h	Témoin
15/9	8	0	0	1	0	0	0
17/9	10	0	0	1	0	1	0
19/9	12	0	0	2	1	1	0
21/9	14	2	0	3	1	2	0
23/9	16	2	0	3	1	2	0
25/9	18	2	0	3	1	2	0
27/9	20	2	1	3	1	2	2
29/9	22	2	1	3	1	2	3
01/10	24	2	2	3	1	2	2
03/10	26	2	2	3	2	2	2
05/10	28	2	2	3	2	2	2
07/10	30	2	2	3	2	2	2
Nombre total des noyaux par lot		80	80	80	80	80	80
Nombre des noyaux germés		18	10	31	13	20	13
TAUX DE GERMINATION		23%	13%	39%	16%	25%	16%

Tableau 2. Taux de germination des graines des trois provenances (Oggaz, Stidia et Tindouf) par stratification au niveau de la pépinière de Mascara à 25°C

DATE DU SEMIS LE : 15/10/2014 à 08 h		Nombre de graines germées à 25°C					
Date	Nombre de jours	Graines d'Oggaz		Graines de Stidia		Graines de Tindouf	
		Pré imbibition 96h	Témoin	Pré imbibition 96h	Témoin	Pré imbibition 96h	Témoin
20	5	0	0	1	0	0	0
22	7	1	0	4	0	1	0
24	9	2	1	6	2	3	0
26	11	5	3	7	3	3	0
28	13	5	3	10	7	4	2
30	15	5	6	12	8	11	3
02/11	18	6	6	12	8	12	7
03/11	20	8	6	11	10	12	9
05/11	22	10	6	6	10	7	9
07/11	24	10	6	2	8	7	9
09/11	26	10	6	1	8	7	9
11/11	28	1	1	1	0	1	8
13/11	30	2	1	1	0	1	8
Nombre total des noyaux par lot		80	80	80	80	80	80
Nombre des noyaux germés		65	45	74	64	69	64
TAUX DE GERMINATION		81%	56%	93%	80%	86%	80%

Tableau 3. Taux de germination des graines des trois provenances (Oggaz, Stidia et Tindouf) par stratification au niveau de la pépinière de Mascara à 30°C

DATE DU SEMIS LE : 17/11/2014 à 08 h		Nombre de graines germées à 30°C					
Date	Nombre de jours	Graines d'Oggaz		Graines de Stidia		Graines de Tindouf	
		Pré imbibition 96h	Témoin	Pré imbibition 96h	Témoin	Pré imbibition 96h	Témoin
23	6	0	0	0	0	0	0
25	8	0	0	3	0	0	0
27	10	0	0	5	3	0	0
29	12	3	0	7	6	1	0
01/12	14	3	2	7	8	3	4
03/12	16	6	3	9	11	8	8
05/12	18	10	10	11	10	10	10
07/12	20	11	10	9	10	11	11
09/12	22	8	9	9	10	9	10
11/12	24	4	5	4	2	6	5
13/12	26	4	5	3	3	6	5
15/12	28	2	2	2	3	4	3
17/12	30	1	2	2	3	4	3
Nombre total des noyaux par lot		80	80	80	80	80	80
Nombre des noyaux germés		65	45	74	64	69	64
TAUX DE GERMINATION		65%	60%	89%	86%	78%	74%

Tableau 4. Taux de germination des graines des trois provenances (Oggaz, Stidia et Tindouf) par stratification au niveau de la pépinière de Mascara à 20°C, 25°C et 30°C

T°C	Provenances	Essais	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	18	20	22	24	26	28	30	Taux (%)
20°C	Oggaz	96h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	4	6	8	10	12	14	16	18	23
		Témoin	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	4	6	8	10	13
	Stidia	96h	0	0	0	1	2	2	3	4	6	7	9	10	13	16	19	22	25	28	31	39
		Témoin	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	2	3	4	5	6	7	9	11	13	16
	Tindouf	96h	0	0	0	0	0	1	1	2	4	5	6	7	9	11	13	15	17	19	21	26
		Témoin	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	5	7	9	11	13	16
25°C	Oggaz	96h	0	0	1	2	3	6	8	11	13	16	18	20	24	32	42	52	62	63	65	81
		Témoin	0	0	0	0	1	3	4	6	7	10	13	16	19	25	31	37	43	44	45	56
	Stidia	96h	1	3	5	8	11	15	18	23	28	34	40	46	52	63	69	71	72	73	74	93
		Témoin	0	0	0	0	2	4	5	8	12	16	20	24	28	38	48	56	64	64	64	80
	Tindouf	96h	0	0	1	2	4	6	7	9	11	16	22	28	34	46	53	60	67	68	69	86
		Témoin	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	5	9	12	21	30	39	48	56	64	80
30°C	Oggaz	96h	0	0	0	0	0	0	0	3	5	6	9	12	22	33	41	45	49	51	52	65
		Témoin	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	5	15	25	34	39	44	46	48	60
	Stidia	96h	0	0	0	3	6	8	12	15	19	22	27	31	42	51	60	64	67	69	71	89
		Témoin	0	0	0	0	0	3	6	9	13	17	23	28	38	48	58	60	63	66	69	86
	Tindouf	96h	0	0	0	0	0	0	0	1	2	4	8	12	22	33	42	48	54	58	62	78
		Témoin	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	8	12	22	33	43	48	53	56	59	74

Tableau 5. Mesure des plants après transplantation

Provenance; Oggaz (Mascara)	1ère mesure 02/03/2016	2ème mesure en février 2017	3ème mesure 11/11/2022	4ème mesure 25/11/2024	Mesure du diamètre 25/11/2024
Numéro de plant	H(cm)	H(cm)	H(cm)	H(cm)	(cm)
1	48	75	129	150	5,5
2	47,5	77	110	arraché (passage de fils d'électricité)	arraché (passage de fils d'électricité)
3	47,5	78	150	164	13
4	47,5	73	155	175	4
5	47	76	159	187	3,5
6	47	77	190	190	6
7	47	74	150	168	5,5
8	47	78	166	194	6
9	46,5	74	125	150	5
10	45,5	78	125	(passage de fils d'électricité)	(passage de fils d'électricité)
11	45,5	73	100	arraché (passage de fils d'électricité)	arraché (passage de fils d'électricité)
12	45,5	75	160	173	6,5
13	45,5	73	125	140	13
14	45	79	100	124	6
15	45	75	260	280	13
16	44	73	180	200	6
17	44	74	130	130	7
18	43	74	125	125	5,5
19	43	71	176	176	7
20	42	68	100	Desséché et coupé	Desséché et coupé
21	41	62	147	160	7
22	41	66	90	90	3,5
23	36	68	135	140	4,5
24	36	68	80	84	4,5
25	35	64	180	200	8,5
26	34	68	129	140	5
27	31,5	64	130	130	4,5
28	31,5	63	200	210	6
29	31,5	60	100	124	5,5
30	31	62	180	190	5,5
31	31	58,5	90	Arraché	Arraché
32	31	64	100	Arraché	Arraché

33	31	60	190	192	6,5
34	31	60	150	157	6,3
35	31	60	90	100	7,5
36	30,5	60	85	Arraché	Arraché
37	30,5	57	85	Arraché	Arraché
38	30,5	66	95	Arraché	Arraché
39	30	70	100	Arraché	Arraché
40	30	63	90	Arraché	Arraché



Figure1. Chronologie des étapes de développement de l'arganier : de la pépinière à la transplantation

Tableau 6. Répartition mensuelle moyenne des précipitations (1999-2024)

ANNEES	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	TOTAL/AN
1999	30	35,8	50,3	0	5,8	0,3	0	5,7	39,3	31,8	38,4	75,3	312,7
2000	0	0	4,9	8,7	18	0	0,2	7,3	28,4	48	90	14,5	220
2001	49,8	44,5	4,4	13,7	29	0	0,3	0	14,5	0	59,9	21,4	237,5
2002	2,6	0,8	26,3	33,5	45,4	0	0	11,7	0	17,4	80,2	12,2	230,1
2003	66,7	53,9	14,3	49,5	13,9	3,6	0	13,9	18	33,9	27	60,1	354,8
2004	17,3	39,5	11,4	19,2	84,3	8,5	3,3	2,4	14,7	45,7	56,7	77,6	380,6
2005	26,7	30,7	20,6	2,1	0,7	1,9	1,8	0	13	37,5	87,4	15,8	238,2
2006	113,7	47,1	13,5	11,4	49,9	5,8	1,7	0	6,5	2,7	5,9	93,3	351,5
2007	43,6	44,3	66,8	57,7	11	0	0,3	0,7	25,9	88,7	44,8	14,1	397,9
2008	20,8	18	29,2	14,6	40,9	3	10,8	0,4	46,4	44,1	63,7	85	376,9
2009	73	29,7	33,1	75	6,7	1,2	0	1	31,3	1	32,5	39,1	323,6
2010	78,3	54,3	63,8	33	42,2	0	0	48	5,3	49,7	54,6	19,7	448,9
2011	38,9	43,1	17,8	59,9	80,3	27,8	0,5	11,2	5,6	34,7	70,5	21,8	412,1
2012	17,9	71,5	27,2	62,5	3	1,9	0	15,1	3,4	40,3	127,8	46,1	416,7
2013	67,7	75,6	57,6	155,4	22,2	7,4	0,9	0,3	29,5	5,5	61,1	78,9	562,1
2014	41	65,7	40,3	5,7	6,4	67,9	0	1,5	30,6	40	54,6	77,7	431,4
2015	87,9	70,6	39	0	9,4	2,7	0,8	2,8	10,5	71,5	55,5	0,3	351
2016	31,5	59,6	108,8	47	22,1	3,1	2,8	0	4,1	3,4	49,2	90,8	422,4
2017	207,4	6,3	19,6	5,8	27,2	2,1	1,2	5,6	1,8	20,7	35,2	43,6	376,5
2018	61,2	31,76	113,28	51,3	23,86	27,17	0	2,04	64	54,6	57,9	8,63	495,74
2019	60,2	9,15	9,91	58,4	3,05	0	3,04	4,06	26,93	13,21	61,48	29,47	278,9
2020	25,91	0	13,97	70,35	7,62	0	4,31	0	7,11	3,05	32,01	53,32	217,65
2021	29,73	2,53	22,59	24,39	16,76	5,84	0,51	0	5,08	2,03	50,53	23,87	183,86
2022	10,15	11,94	75,93	68,83	36,06	7,62	6,1	6,1	6,1	18,03	15,25	14,74	276,85
2023	26,16	34,79	0,76	0	7,87	21,09	0	0	22,33	2,79	9,64	13,22	138,65
2024	9,66	32,27	21,6	0	2,04	0,76	0	2,79	4,32	13,72	0	3,29	90,45

Source : (Station météorologique de Ghriss, Mascara - 2025)

Tableau 7. Répartition mensuelle moyenne des températures T en (°C) (1999-2024)

RELEVES	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	TOTAL
2024	12	12,7	16,1	17	21,3	24,3	30	29,5	24	20,3	17,2	9,5	233,9
2023	8,7	10,7	14,7	18,4	19	24,8	31,3	28,8	23,4	21	14,5	10,9	226,2
2022	8,3	11,2	12,7	13,1	21,1	26,4	28,8	29,1	24,7	23,2	15,4	14	228
2021	9,6	13,4	13,2	16,7	20,6	24,2	29,5	29,1	24,6	18,5	11,5	10,9	221,8
2020	7,6	12,4	14,3	18,1	22,4	24,5	29,9	29,1	23,6	17,6	15,2	10,8	225,5
2019	7,3	9,5	12,7	14,6	20,1	23,1	28,6	28,1	23,7	18,7	12,7	11,6	210,7
2018	9,7	8	12,3	15,2	17,3	23	27,6	27,6	24,3	17,8	13,1	10,1	206
2017	8,2	12,5	13,3	15,9	21,2	26	28,2	27,4	22,7	18,6	12,2	9,3	215,5
2016	11,7	12	10,9	14,7	18,8	23,7	27,9	26,7	23,4	20,5	13,3	11	214,6
2015	7,9	8,1	11,1	16,9	20,2	22,4	28,5	28	22,9	19,8	13,4	11,4	210,6
2014	10,2	10,7	10,8	15,7	17,8	21,7	25,2	26,3	24,6	19,9	14,9	9	206,8
2013	9,2	8,3	12,5	13,5	15,5	20,3	25,4	26,1	22,5	21	11	9,3	194,6
2012	8	6,2	11,4	12,4	19	25,4	27,2	29,4	23,6	19,3	14,3	10,2	206,4
2011	9,9	8,9	14,3	17,4	19,5	23,3	27,1	28,3	23,7	18,6	14,1	9,3	214,4
2010	11	12	13,2	15,9	17,3	22,3	28,5	27,7	23,2	17,6	13,7	11,8	214,2
2009	9,6	9,3	13	12,4	19,7	24,9	28,4	26,7	22,3	19,4	18,6	12,2	216,5
2008	9,4	15	12	15,2	18,4	23,3	27,4	27,8	23,7	19	11,1	8,9	211,2
2007	9,7	12	10,6	14,1	17,7	24,7	27,4	28	24	17,8	11,6	8,8	206,4
2006	8,1	8,9	13,1	17,5	21,9	24,8	29,6	26,9	22,5	21,3	18,5	10,4	223,5
2005	5,8	6,2	12,2	14	20,5	24,4	28,1	26,2	21,8	19,4	12	8,7	199,3
2004	9	11	12	13,9	15,8	23,4	27,1	27,8	24,5	20,1	11,4	9	205
2003	8,3	8,9	12,9	14	18,2	26,4	28,6	27,4	22,8	18,7	13,3	9,4	208,9
2002	8,7	9,6	12,4	14,1	18,5	25,7	25	24,7	21,8	18,4	13	11,6	203,5
2001	9,7	9,5	14,5	14,2	17,2	25,3	27	27,6	23,2	21,4	11,7	8,9	210,2
2000	6,4	10,1	12,7	14,8	19,8	24,4	27,2	27,7	22,3	16,3	12,7	11,5	205,9
1999	8,8	7,5	12,2	14,8	21,1	23,3	26,7	27,3	22,8	20,3	10,7	8,9	204,4

Source : (Station météorologique de Ghriss, Mascara - 2025)

Tableau 8. Répartition mensuelle moyenne des températures minimales Tm (°C) (1999-2024)

RELEVES	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	juin	Juillet	Aout	Sept	Oct	Nov	Dèce	TOTAL
2024	3	6,8	5,8	7,5	12,5	17,6	18,7	19,2	14,3	9,8	3,5	4	122,7
2023	4,7	6,1	4	7,6	10,5	14,6	18,5	17,8	15,2	11,9	6,9	5,6	123,4
2022	1,4	3,6	3,6	8,6	10,7	13,6	18,4	20,2	15,2	13,1	6,1	2,5	117
2021	5,3	5,3	4,6	7,3	8,6	13,3	16,3	17,1	16,9	11,9	9,6	3,7	119,9
2020	3,5	2,3	6,9	6,7	8,5	11,2	17	17,1	15	12,7	5,5	3,9	110,3
2019	0,4	-0,7	4,6	5,6	9,5	16,3	17,7	19,6	15,2	11,8	9,3	4,2	113,5
2018	3,5	2,2	5,4	9,6	12,8	15,2	18,3	19,6	15,3	10,8	9,1	2,7	124,5
2017	3	6,8	5,8	7,5	12,5	17,6	18,7	19,2	14,3	9,8	3,5	4	122,7
2016	4,7	6,1	4	7,6	10,5	14,6	18,5	17,8	15,2	11,9	6,9	5,6	123,4
2015	1,4	3,6	3,6	8,6	10,7	13,6	18,4	20,2	15,2	13,1	6,1	2,5	117
2014	5,3	5,3	4,6	7,3	8,6	13,3	16,3	17,1	16,9	11,9	9,6	3,7	119,9
2013	3,5	2,3	6,9	6,7	8,5	11,2	17	17,1	15	12,7	5,5	3,9	110,3
2012	0,4	-0,7	4,6	5,6	9,5	16,3	17,7	19,6	15,2	11,8	9,3	4,2	113,5
2011	3,5	2,2	5,4	9,6	12,8	15,2	18,3	19,6	15,3	10,8	9,1	2,7	124,5
2010	6,7	7	7,5	8,9	10	14,1	19,6	19,8	16	10,3	8,2	6,2	134,3
2009	6,1	2,8	6,5	5,7	11,1	16,1	19	18,9	15,7	10,8	8,4	6,3	127,4
2008	2,4	4,1	4,6	6,2	12,8	15,1	19	18,8	17	13,6	5,8	4,6	124
2007	2,4	7,1	4,1	9,5	9,4	13,7	18,2	19,8	16,4	11,8	5,1	2,8	120,3
2006	7,8	3,9	6,1	10,2	14,9	17,6	21,2	18,8	15	13,2	8,6	6,5	143,8
2005	-0,7	0,5	6,7	6,8	11,9	16,3	20,3	17,2	15,2	12,9	7,6	3,2	117,9
2004	3,6	5,2	5,4	6,3	10,1	15,2	18,6	19,9	17,1	13,8	6,3	4,9	126,4
2003	4,1	4,1	6,5	7,1	10,3	16,9	20,2	19,2	15,6	13,7	7,8	4,6	130,1
2002	1,9	1,5	5,6	7	11	17,4	16,9	17,5	14,2	11,2	7,7	6,9	118,8
2001	4,9	2,7	7,1	5,6	9,6	15,6	18,2	19,7	17	14,3	7,1	3,6	125,4
2000	-0,6	1,3	4,2	7	12,7	15,2	18,8	18,2	15,1	10,8	7,9	6,4	117
1999	3,4	2	6,5	6,1	12,9	15,8	18,2	20,2	16,1	14,5	4,8	4,4	124,9

Source : (Station météorologique de Ghriss, Mascara - 2025)

Tableau 9. Répartition mensuelle moyenne des températures maximales TM (1999-2024)

RELEVÉS	Jan	Fév	Mar	Avril	Mai	juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nove	Déc	Total
2024	19,8	18,5	23,2	24	29,3	32,5	38,3	36,9	31,2	26,8	24	16,9	321,4
2023	15	16,5	22,8	27,3	26,2	33,2	40,2	38,2	31,9	28,6	22,2	17,9	320
2022	15,7	18,5	17,7	19,2	29,2	34,5	38,1	38,1	32,2	31	22,9	20,8	317,9
2021	15,6	20,4	19,7	23,9	28,7	31,9	37,9	37,5	32	26	16,4	17,3	307,3
2020	15,4	21,7	20,1	22,4	29,6	32,5	38,3	38	31,7	25,7	22,3	15,4	313,1
2019	14,8	17,7	20,7	21,8	28,7	32	37	36,6	31,6	26,6	17,9	18,1	303,5
2018	16,5	14,2	17,3	21,5	24,5	31,3	36,3	36,5	31,2	24,8	19,9	19	293
2017	13,3	18,1	20,8	24,2	29,8	34,4	37,7	35,6	31,2	27,3	20,8	19,6	312,8
2016	18,6	17,8	17,8	21,8	27	32,8	37,2	35,5	31,6	29,1	19,7	16,3	305,2
2015	14,4	12,5	18,6	24,8	29,6	31,2	38,6	35,7	30,5	26,4	20,5	20,3	303,1
2014	15	16,1	16,9	24,1	26,9	30,1	34,1	35,4	32,2	27,8	20,2	14,3	293,1
2013	14,9	14,2	18	20,4	22,4	29,3	33,7	35,1	29,9	29,2	16,5	14,7	278,3
2012	15,6	12,5	18,1	19,1	28,5	34,5	36,6	39,1	32	26,8	19,3	16,2	298,3
2011	15,6	15,6	19,2	25,2	26,1	31,3	35,8	37	32	26,4	19,1	15,8	299,1
2010	15,2	17	18,8	22,9	24,5	30,4	37,4	35,5	30,4	24,7	18	17,3	292,1
2009	13	15,8	19,5	19,1	28,3	33,7	37,8	34,4	28,8	28	22,8	18	299,2
2008	10,3	18,7	19,4	24,1	23,9	31,5	35,8	36,7	30,4	24,4	16,4	13,1	284,7
2007	17	16,9	17	18,6	25,9	29,7	36,6	36	31,5	23,8	18,2	14,8	286
2006	13,2	13,9	20,1	24,7	28,9	32	37,9	34,9	29,9	29,3	22,4	14,4	301,6
2005	13,5	12,5	18,5	21,7	29,8	31,6	36,2	35,2	28,7	27,3	17,6	14,3	286,9
2004	16	18,1	18,5	21,5	22,1	31,7	35,8	36,7	32,6	27,6	17,4	13,6	291,6
2003	12,9	13,8	20,1	21,4	20,4	35,5	37,3	36,4	30,8	24,7	19,2	15,2	287,7
2002	16,7	18,5	19,7	21,1	25,8	33,7	33,1	32	30,1	26,8	18,7	17,7	293,9
2001	15,5	16,3	22,2	22,7	24,9	34,5	35,9	36,2	30,6	29,4	17	15,3	300,5
2000	14,7	19,2	21	23	27,3	33,2	36,3	36,8	30,5	22,9	18,5	17,6	301
1999	14,8	13	18	23,1	29,7	30,9	35	35,3	30,3	27,1	16,8	13,9	287,9
Total	280,2	300,5	362,2	423,5	501,8	612	688,8	679,5	584	509	359,1	302,4	
Moyenne	14,8	15,7	19	22,2	26,3	32,1	36,2	35,7	30,8	26,7	18,9	16,1	294,5

Source : (Station météorologique de Ghriss, Mascara - 2025)

Tableau 11. Humidité relative moyenne (%) (1999-2024).

RELEVES	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nove	Déc
2024	55,7	62,7	50,7	45,8	39,7	42,9	32,6	39,1	49,9	54,6	52,7	57,8
2023	62,8	54,5	47,6	31,7	48,6	45,6	29,7	28,1	57	49,4	54,5	65,1
2022	55,7	58,3	67,2	70	48,6	35,1	37	34,5	45,9	38,9	52,7	52,3
2021	69,6	50,7	57,2	55,1	48,7	45,9	30,5	36,6	51,3	45,1	73,5	64,1
2020	67,9	58,7	57,9	60,7	46,1	38,7	33,3	33,2	45,9	47,2	51,8	73,6
2019	76,3	70,5	68,8	72	53,5	57	47,7	50,2	64,3	59,5	78,7	76,8
2018	76,1	80,3	79,8	74,2	70,2	57,5	71,6	76	64,9	69,7	77,7	79,9
2017	80,9	70,4	69,6	66,1	57,6	51,2	40	47,1	53,3	58,6	61,2	79,6
2016	77	72,8	76,6	74,8	62,1	42,5	43,3	49,3	51,4	57,8	71,3	85,3
2015	79,5	82,4	76,9	66,9	55,9	51	39,7	50,4	57,7	73	80,2	68,6
2014	80,8	79,6	75,9	67,2	58,8	56,6	45,8	44,4	57,0	63	73,7	81,7
2013	81,1	76,6	76,8	76,9	73,1	56,4	57,6	52,5	65,5	62,6	79,1	83,2
2012	74,7	75,8	77	74,4	57	45,2	37,7	33,6	49,8	62,3	82	82,7
2011	79,2	78,8	66,7	64,3	66,6	56,5	46,1	48,1	61,1	65,7	78	81,9
2010	8,08	78,4	77,6	74,6	66,1	55,4	45,9	59,3	63,3	72,5	72,7	70,9
2009	87,3	78,4	75,9	76,3	56,8	47,4	38,9	60,1	66,6	63,6	59	77,7
2008	81	59,4	67,9	60,6	65,7	51,1	45,6	47,3	65,4	73,8	79,2	84,5
2007	73,9	79,3	73,6	82,9	63,4	53,4	43,6	50,8	62,5	72,2	75,5	77
2006	78,8	82,6	74,7	68,5	63,4	50,9	36,6	46,8	54,5	54,7	59,3	78,7
2005	75,9	75,4	79,5	68	60,8	53,7	47,4	48,6	58,7	62,4	79,5	81,1
2004	81,9	77,3	77,6	71,8	78	64,9	49,8	47	51,9	57	76,2	78,7
2003	77,3	79	76,3	76,7	71,8	56,4	43,3	48,6	59,3	75	80,4	81,8
2002	68,1	64,1	68,2	65	58,2	48,7	51	58,6	59,5	64,4	73,8	74,2
2001	71,9	72,5	65,5	58,1	57,8	37,6	35,5	44,4	60,9	56,4	78,3	76,2
2000	75,4	63,7	62,5	53,2	59,4	45,2	41,7	38,2	54,2	67,8	72,1	66,2
1999	73,1	76,8	74,8	59,4	48,4	54,2	47,1	48,6	58,1	63,3	74,2	80,4

Source : (Station météorologique de Ghriss, Mascara - 2025)



Figure 2. Présentation de la serre dans la pépinière « Mascari Mohammed »



Figure 3. Présentation de la stratification dans la pépinière



Figure 4. Préparation du site expérimental pour la mise en terre des plants d'arganiers



Figure 5. Plant d'arganier desséché après transplantation

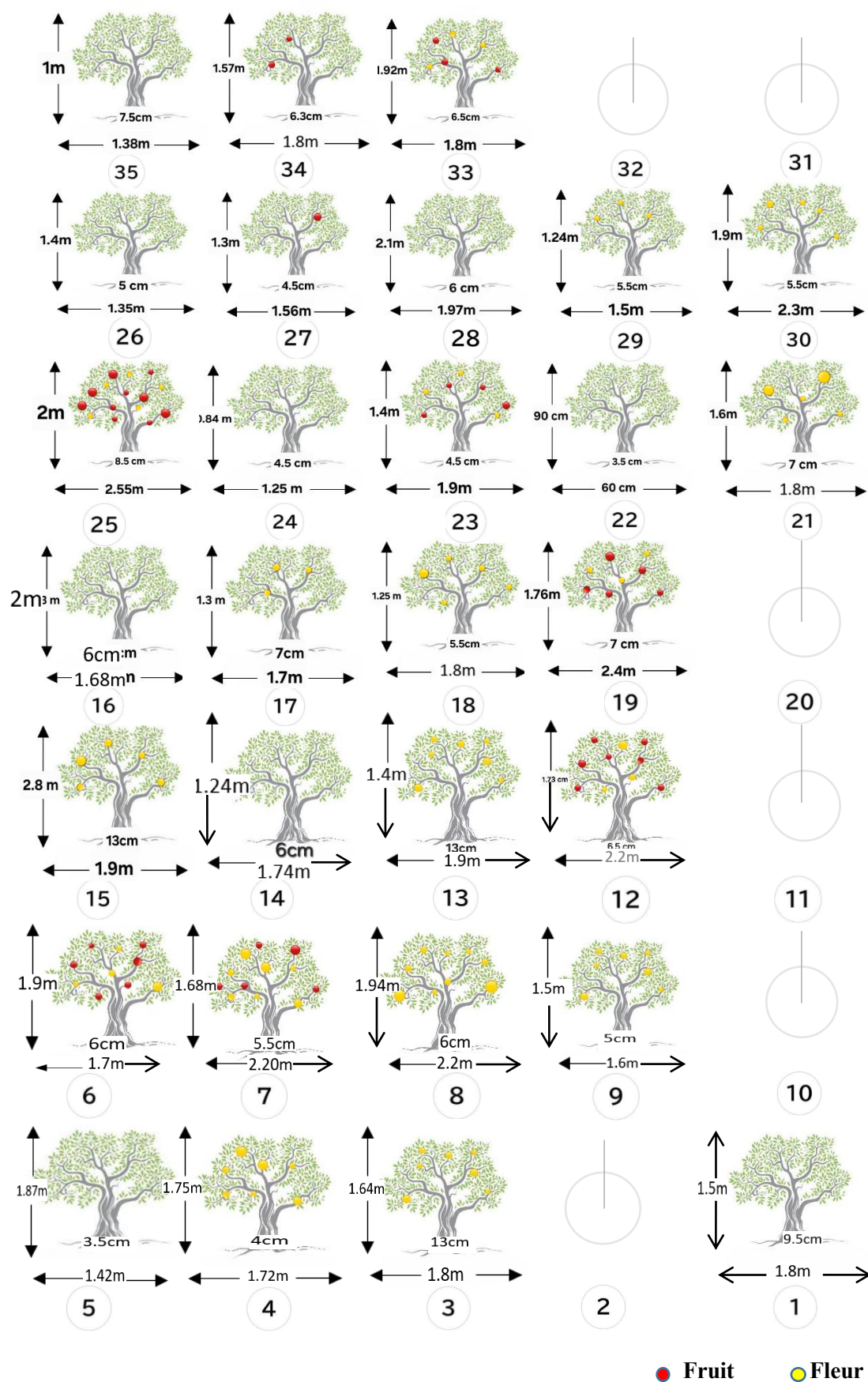


Figure 6. Schématisation de l'arganeraie expérimentale d'El Keurt -Mascara avec des mesures dendrométriques (Novembre, 2024)

Résumé

Plusieurs projets de plantation et de préservation de l'arganier ont été lancés en Algérie. Cette espèce d'arbre qui joue un rôle important dans l'équilibre écologique voire économique, est menacée d'extinction par des aléas naturels et la surexploitation humaine. La présente étude s'intéresse aux taux de germination et au comportement des plants d'arganier *Argania spinosa* (L.) Skeels transplantés à El-Keurt, wilaya de Mascara au nord-ouest de l'Algérie.

Un trempage des noyaux en eau pendant 4 jours, suivi d'une stratification sur sable humide de trois provenances (Oggaz-Mascara, Stidia-Mostaganem et Tindouf) à trois températures 20°, 25° et 30°C pour chacune avec témoins sous serre. Un bon taux de reprise de 93% est enregistré à 25°C pour la provenance Stidia par rapport à 86% pour celle d'Oggaz. A 30°C, les graines d'Oggaz ont atteint un taux de germination de 66%, celles de Stidia 89%, et celles de Tindouf 78%. L'intervalle de température entre 25° à 30°C est très favorable à la germination des graines des trois provenances. L'acclimatation est considérée réussite pour 29/40 plants, soit 72,5% à l'âge de 104 mois, où les sujets ont un diamètre de $6,5 \pm 2,5$ cm et un accroissement en hauteur de $160,1 \pm 40,9$ cm/an. Notre région d'étude est située dans l'étage bioclimatique semi-aride inférieur à hiver tempéré et reçoit des précipitations moyennes annuelles de 397 mm et une température minimale 3,3°C de mois le plus froid pour la période (1997-2024).

L'analyse physico-chimique du sol met en évidence plusieurs caractéristiques importantes reflétant sa fertilité et son état général. La phénologie indique qu'à partir du mois de juin, s'amorce un processus parallèle de maturation des fruits et de sénescence foliaire. Le jaunissement progressif des feuilles, suivi de leur chute régulière, accompagne la chute presque complète des fruits mûrs. Cette période de transition physiologique est immédiatement suivie par l'apparition de nouvelles feuilles, marquant le début d'un nouveau cycle végétatif. Ces observations mettent en évidence l'adaptation de l'arganier aux conditions climatiques semi-arides, en particulier par le décalage temporel de certains stades phénologiques, lui permettant d'optimiser l'utilisation des ressources hydriques disponibles.

Ces résultats ont ouvert l'espoir d'une plantation de cette espèce dans les zones marginales des régions arides et semi-arides, notamment à Mascara (Algérie).

Mots clés : *Argania spinosa* (L.) Skeels, graines, stratification, germination, plantation, Mascara, Algérie.

Abstract

Several argan tree (*Argania spinosa* (L.) Skeels) planting and conservation projects have been launched in Algeria. This tree species, which plays an important ecological and even economic role, is currently threatened with extinction due to natural constraints and human overexploitation. The present study investigates seed germination rates and the growth performance of argan seedlings transplanted to El-Keurt, Wilaya of Mascara, north-western Algeria. The experiment involved soaking the kernels in water for four (4) days, followed by stratification in moist sand using seeds from three provenances (Oggaz–Mascara, Stidia–Mostaganem, and Tindouf) at three temperature regimes (20, 25, and 30 °C), each with greenhouse controls. A high survival rate of 93% was recorded at 25 °C for the Stidia provenance, compared with 86% for Oggaz. At 30 °C, germination rates reached 66% for Oggaz seeds, 89% for Stidia seeds, and 78% for Tindouf seeds. The temperature range between 25 and 30 °C proved highly favorable for seed germination across the three provenances. Acclimatization was considered successful for 29 out of 40 plants (72.5%) at 104 months of age, with a mean stem diameter of 6.5 ± 2.5 cm and an annual height increment of 160.1 ± 40.9 cm.

The study area is located in the lower semi-arid bioclimatic zone with mild winters, receiving an average annual rainfall of 397 mm and a minimum temperature of 3.3 °C during the coldest month over the period 1997–2024. Physico-chemical soil analyses revealed several key characteristics reflecting soil fertility and overall condition. Phenological observations indicate that from June onwards, a parallel process of fruit maturation and leaf senescence occurs. Progressive leaf yellowing followed by regular leaf fall coincides with the near-complete drop of mature fruits. This physiological transition period is immediately followed by the emergence of new leaves, marking the onset of a new vegetative cycle.

These findings highlight the argan tree's adaptation to semi-arid climatic conditions, particularly through the temporal shift of certain phenological stages, enabling optimization of available water resources. The results provide promising prospects for the plantation of this species in marginal areas of arid and semi-arid regions, especially in Mascara (Algeria).

Keywords : *Argania spinosa* (L.) Skeels, seeds, stratification, germination, plantation, Mascara, Algeria.

المخلص

عدة مشاريع لغرس شجرة الأركان والمحافظة عليها أطلقت في الجزائر، هذه الشجرة التي تلعب دور مهم في التوازن البيئي وحتى الاقتصادي مهددة بالاندثار نتيجة العوامل الطبيعية المختلفة والاستغلال المفرط للإنسان. هذه الدراسة تهتم بنسب إنبات البذور وسلوك نمو شتلات الأركان *Argania spinosa* (L.) Skeels بعد غرسها بمنطقة الكرط (El-Keurt)، بولاية معسكر، شمال-غرب الجزائر. تم نقع نوى الأركان لثلاث مناطق (عقاز- معسكر، ستيديا - مستغانم وتندوف) في الماء لمدة أربعة (4) أيام ثم الترقيد (stratification) على رمل رطب في ثلاث درجات حرارة (20°، 25° و 30°م) لكل منطقة نوى منقوعة مع الشاهد داخل المشتلة. سُجلت نسبة مرتفعة في الإنبات بلغت 93% عند درجة حرارة 25°م لبذور ستيديا، مقابل 86% لبذور عقاز. عند درجة حرارة 30°م، بلغت نسبة الإنبات 66% لبذور عقاز، و 89% لبذور ستيديا، و 78% لبذور تندوف. تعتبر درجة الحرارة بين 25° و 30°م ملائمة جداً لإنبات بذور الأركان للمناطق الثلاثة المدروسة. يعد تأقلم الأركان ناجح بالنسبة لـ 29 شجيرة من أصل 40، أي بنسبة 72,5%، عند عمر 104 أشهر، حيث متوسط قطر الساق $6,5 \pm 2,5$ سم، ومتوسط الزيادة الطولي $160,1 \pm 40,9$ سم. تقع منطقة الدراسة بالطابق المناخي شبه الجاف الأدنى ذو شتاء معتدل، بمعدل سنوي للأمطار يقدر بـ 397 مم ودرجة حرارة دنيا قدرها 3,3°م خلال أبرد شهر، وذلك للفترة الممتدة من 1997 إلى 2024.

أظهرت التحاليل الفيزيائية والكيميائية للتربة خصائص مهمة تعكس خصوبتها وحالتها العامة. كما بينت المعطيات الميدانية أنه ابتداءً من شهر جوان، تبدأ مرحلة نضج الثمار بالتزامن مع بداية اصفرار الأوراق. وبصاحب اصفرار الأوراق وسقوطها التدريجي سقوط شبه تام للثمار الناضجة، لتتبع ذلك مباشرة مرحلة ظهور الأوراق الجديدة، معلنة انطلاق دورة نباتية جديدة تُبرز هذه النتائج قدرة شجرة الأركان على التكيف مع الظروف المناخية شبه الجافة، لاسيما من خلال الإزاحة الزمنية لبعض المراحل الفينولوجية، مما يسمح لها بتحسين استغلال الموارد المائية المتاحة. وقد فتحت هذه النتائج آفاقاً واعدة لإمكانية غرس هذه الشجرة في المناطق الهامشية للمناطق الجافة وشبه الجافة، لا سيما بولاية معسكر (الجزائر).

الكلمات المفتاحية: *Argania spinosa* (L.) Skeels، البذور، الترقيد، الإنبات، الغرس، معسكر، الجزائر.