

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DE MOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA**

**FACULTE DES SCIENCES DE LA  
NATURE ET DE LA VIE**

**DEPARTEMENT DES  
SCIENCES DE LA NATURE ET  
DE LA VIE**

N°: .....



**DOMAINE: SCIENCES DE LA  
NATURE ET DE LA VIE**

**FILIERE: ECOLOGIE ET  
ENVIRONNEMENT**

**OPTION: ECOLOGIE DES MILIEUX  
NATURELS**

**Mémoire présenté pour l'obtention  
du diplôme de Master Académique**

**Par: OTHMANE Djamila**

**Intitulé**

**Analyse approfondie de la structure mécanique et de  
la santé phytosanitaire des peuplements de Pin d'Alep  
dans l'écosystème forestier de Djebel Messaad (M'Sila)**

Soutenu devant le jury suivant:

<b>GHADBANE Mouloud</b>	Professeur	Université de M'sila	Président
<b>BOUNAR Rabah</b>	Professeur	Université de M'sila	Encadreur
<b>KHOUDOUR Djamel</b>	M.C.A	Université de M'sila	Examineur

**Année universitaire :2024 /2025**



## إهداء

إلى من كان لهم الفضل بعد الله في وصولي إلى هذا الإنجاز...  
إلى الأستاذين الكريمين: البروفيسور بونار رابح – عميد كلية العلوم المحترم –  
والأستاذ: كمال صغيري – رئيس مخابر كلية العلوم -  
شكرًا من القلب على ما قدمتماه من توجيه ومساعدة  
خلال هذه الرحلة العلمية في الظروف القاهرة التي أمر بها

إلى الأستاذ بلحاج عبد الحليم، الذي لم يبخل عليّ بالدعم والتشجيع  
فكان لكلماته أثر بالغ في تحفيزي ومواصلتي.

إلى رفيق دربي وزوجي العزيز: رودان عز الدين، كنت دائمًا السند الحقيقي.  
والكتف الذي أتكى عليه، فلك مني كل الامتنان والمحبة.

إلى أمي الحبيبة، بدعواتك التي رافقتني في كل خطوة، كنت نوري في الطريق.

إلى إخوتي عثمان فلة وأمينة، شكرًا لقلوبكن النقية، ودعمكن الدائم.

وإلى بناتي العزيزات روميساء و مروة، أنتما أملي وفخري، وبكما يكتمل المعنى.

لكم جميعًا، أهدي هذا العمل المتواضع، عربون وفاء وامتنان



OTHMANE Djamilia

*Remerciements*

*Tous nos remerciements et gratitude au professeur superviseur Pr.**BOUNAR Rabah** pour les conseils et l'orientation.*

*Ainsi que le jury pour discuter notre thème de mémoire de fin d'études .Avec le plus grand respect et appréciation :*

*Pr: GHADBANE Mouloud : président*

*Pr: KHOUDOUR Djamel: examinateur*

# SOMMAIRE

- Introduction
- Liste des abréviations
- Listes des figures
- Listes de tableaux

## Chapitre I: Synthèse bibliographique

I. Description générale du pin d'Alep.....	17
1. Systématique de <i>Pinus halepensis</i> Mill .....	17
2. Aire de répartition naturelle du pin d'Alep.....	17
2.1. Aire de répartition du pin d'Alep dans le monde.....	17
2.2. Aire de répartition en Algérie .....	18
3. Plasticité écologique.....	19
4. Phénologie de l'espèce Laphénologie .....	19
5. Caractéristiques botaniques du <i>Pinus halepensis</i> .....	20
6. Caractéristiques forestières.....	22
II. Structure des peuplements forestiers dans la pratique forestière .....	22
1. Attributs structuraux.....	23
1.1. Description de la structure d'un peuplement forestier .....	24
1.2. Attributs structuraux fréquemment utilisés .....	24
1.2.1. Variation de dimensions d'arbres .....	24
1.2.2. Distribution en diamètre et en hauteur des peuplements forestiers .....	25
1.2.3. Diamètres des arbres.....	25
1.2.4. Distribution en classes de diamètre à 1.30m .....	25
1.2.5. Distribution en hauteur des arbres .....	25
2. Diversité spécifique.....	26

## Chapitre II: Matériel et méthodes

I. Description de la zone d'étude .....	29
1-1- Relief de la zone d'étude .....	30
1-2- Géologie de la région d'étude .....	30
1-3- Pédologie.....	31
1-4- Les activités de la région.....	31
1-5- Les ressources en eau dans la zone de Djebel Messaad.....	32
1-6- Climat de la zone étudiée.....	33

1-6-1- La température .....	33
1-6-2- Les précipitations .....	34
1-6-3- Le vent .....	35
1-6-4- Humidité.....	36
1-6-5- Evaporation.....	36
1-6-6- Gelée et Neige .....	37
1-6-7- Synthèse climatique de la zone d'étude.....	38
A- Diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls.....	38
B- Climagramme d'Emberger .....	38
2- Conclusion .....	40
II. Matériel de travail.....	42
2. Méthodologie .....	42
2-1- Choix des parcelles.....	42
2-2- Choix des individus .....	43
2-3- Mesures des paramètres dendrométriques.....	44
A. Mesure de la circonférence à 1.30 m du sol .....	44
B. Mesure de la hauteur des arbres .....	44
2-4- Évaluations de l'état sanitaire du Pin D'Alep.....	45
2-5- La description des conditions d'observation.....	45
<b>Chapitre III: Résultat et discussion:</b>	
1-1- Distribution de la densité des arbres.....	49
1-2- Corrélations (Répartition/Distribution).....	50
2. Analyse des caractéristiques dendrométriques des arbres de Pin d'Alep.....	50
2-1- Distribution des circonférences des arbres .....	50
2-2- Distribution de la hauteur des arbres de Pin d'Alep.....	51
2-3- Corrélations (Hauteur/circonférences).....	51
3. Évaluation de l'état sanitaire des arbres de Pin d'Alep.....	52
3-1- État du houppier .....	52
3-2- Visibilité du houppier .....	53
3-3- Le statut social du houppier .....	53
3-4- Couleur des feuilles .....	54
3-5- Fructification.....	54
4. Évaluation de l'état mécanique du bois.....	55
4-1- Présence des défauts de bois.....	55
4-2- Nature des défauts de bois.....	56

<b>4-2-1- Lencœud.....</b>	<b>56</b>
<b>4-2-2- La Gélivure .....</b>	<b>56</b>
<b>4-2-3- Fibretorse .....</b>	<b>57</b>
<b>4-3- Les insectes.....</b>	<b>57</b>
<b>4-4- Dégâts forestiers et lutte environnementale .....</b>	<b>58</b>
<b>4-5- Couleur du bois .....</b>	<b>59</b>
<b>5. Conclusion .....</b>	<b>60</b>
<b>-Résumé</b>	
<b>-Référence bibliographique.</b>	

## Liste des figures

- Figure 1. Répartition de pin d'Alep dans le monde (Caudullo et al., 2017). Figure 2. Aire de répartition du pin d'Alep en Algérie (Bentouati, 2006). Figure 3.A : Aiguilles (2025)
- Figure 3.B: Ecorces (2025)
- Figure 3.C : Cônes (2025)
- Figure 3.D : Tronc (2025)
- Figure 04: Carte administrative du Sud de M'Sila avec présentation de zone d'étude
- Figure 05: Carte géologique de la wilaya de M'sila avec présentation de zone (A.N.R.H , 2005).
- Figure 06: Courbes des températures mensuelles (maximales, minimales et moyenne ) durant la période de (2000 /2016) .
- Figure 7: Précipitations moyennes mensuelles en (mm) de la région de Djelfa durant la période (2000-2016).
- Figure 8 : Variations des vitesses moyennes mensuelles en (mm) de la région de Djelfa durant la période (2000-2016).
- Figure 9: L'humidité moyenne mensuelle en (%) de la région de Boussaâda durant la période (2000-2016).
- Figure 10 : Evaporation de la station de Djelfa durant la période (2000-2016)
- Figure 11: Gelée et Neige de la station de Djelfa durant la période (2000-2016)
- Figure 12: Diagramme Ombro thermique de la zone d'étude (2000-2016).
- Figure 13: Climagramme D'EMBERGER avec une représentation de l'emplacement du climat de la zone d'étude durant la période qui s'étale entre 2000 et 2016
- Figure 14. Délimitation des parcelles dans la forêt de Pin D'Alep (2025) Figure 15. Méthode d'échantillonnage des arbres dans les parcelles.
- Figure 16. Mesure de la circonférence d'un arbre (2025) Figure 17. Mesure de la hauteur des arbres (2025)
- Figure 18. Répartition de nombre de pied de Pin d'Alep selon les parcelles de la pinède de Djebel Messaad
- Figure 19 : Distribution des pieds des arbres selon les parcelles de la pinède de Djebel Messaad
- Figure 20. Répartition d'un nombre de pied d'arbres par classe de circonférence de la pinède de Djebel Messaad
- Figure 21 . Répartition du nombre de pied d'arbres par classe de hauteur selon les parcelles de la pinède de Djebel Messaad
- Figure 22. Distribution des arbres de Pin d'Alep selon l'état du houppier
- Figure 23. Distribution des arbres de Pin d'Alep selon le niveau de visibilité

Figure24 .Distribution des arbres de Pin d'Alep selon le statut social.

Figure 25. Spectre de la distribution des arbres de Pin d'Alep selon la couleur des feuilles

Figure 26 . Spectre de distribution des arbres de Pin d'Alep selon la fructification

Figure27.Variation de la présence des défauts des arbres de Pin d'Alep selon les parcelles

Figure 28 : photo (2025)

Figure29:photo (2025)

Figure 30 : Spectre du taux de répartition de la nature de défauts dans l'ensemble des parcelles

Figure31:Spectre du taux de présence de la chenille processionnaire dans l'ensemble des parcelles

Figure32.Spectre de distribution des arbres de Pin d'Alep selon la couleur du bois dans l'ensemble des parcelles.

## Liste des tableaux

**Tableau01:** Les cantons de Djebel Messaad et Boussaâda.

**Tableau02:** Répartition des zones agricoles dans la commune de Djebel Messaad en hectares:  
Saison agricole (2015/2016)

**Tableau03:** Elevages des animaux dans la commune de Djebel Messaad

**Tableau04:** Elevage des poules

**Tableau05:** Les ressources d'eaux de la zone de Djebel Messaad

**Tableau 06: Les températures moyennes mensuelles, minimales et maximales (°C).**

**Tableau07:** Précipitations moyennes mensuelles en (mm) de la région de Djelfa durant la période (2000-2016).

**Tableau08:** L'humidité moyenne mensuelle en (%) de la région de Djelfa durant la période (2000-2016).

**Tableau09:** Evapotranspiration en (mm) de la région de Djelfa durant la période (2000-2016).

**Tableau10:** Le nombre moyen des jours de gelées et le nombre de jours de gelée par mois de la région de Djelfa durant la période (2000-2016).

**Tableau11:** Valeurs du quotient pluviométrique de la région d'étude.

**Tableau12:** Les coordonnées géographiques des parcelles de pind' Alep.

**Tableau13:** Les cinq classes sanitaires du protocole DEPEFEU (Nageleisen, 2000)

**Tableau14:** Les niveaux de visibilité utilisés pour le houppier évaluable.

**Tableau15:** Classes de statut social des arbres.

**Tableau16:** protocole de DEPEFEU synthétique pour les parcelles des résineux.

**Tableau17:** les niveaux de fructification.

# INTRODUCTION

## Introduction :

Le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) est considéré comme un élément fondamental et incontournable du couvert végétal méditerranéen. Il représente un patrimoine forestier de grande importance pour les pays riverains de la Méditerranée, en particulier pour l'Algérie (Boudy, 1950 ; Nahal, 1962).

Cette essence figure parmi les plus couramment introduites en plantation en raison de sa croissance rapide, de sa résistance aux milieux secs, de sa capacité à recoloniser les espaces détériorés et à s'installer sur des terrains dépourvus de végétation (Zavala et Zea, 2004).

En Algérie, le pin d'Alep occupe près de 35 % de la superficie forestière du Nord, soit environ 850 000 hectares. Il forme des peuplements significatifs, présentant des valeurs écologiques diverses (Bentouati, 2006 ; Guit, 2015).

Cette espèce est essentiellement présente à l'état spontané dans les zones de l'Est et du Centre du pays, notamment au niveau des chaînes telliennes et sahariennes (Guit, 2015). Bien que le pin d'Alep soit observé dans toutes les zones bioclimatiques du pays, de la côte à l'Atlas saharien, il atteint son développement optimal dans les milieux semi-arides (Kadik, 2005 ; Djerrad, 2016). Sa grande faculté d'adaptation et sa vigueur naturelle en font une espèce de choix pour les opérations de reforestation à grande échelle (Quézel, 2002 ; Kadik, 2005 ; Guit, 2015 ; Djerrad, 2016).

Depuis plusieurs années, dans les régions arides et semi-arides, les peuplements de pin d'Alep subissent une détérioration importante, conséquence des pressions croissantes d'origine humaine (exploitation illégale, surpâturage, incendies) combinées à des facteurs climatiques défavorables comme les sécheresses prolongées, entraînant un recul significatif de cette espèce forestière (Bentouati, 2006 ; Rached-Kanouni et al., 2020).

Le massif de Djebel Messaad constitue l'un des derniers grands ensembles naturels de pin d'Alep dans la partie semi-aride de l'Atlas saharien algérien (Hani et al., 2020 ; Hani et al., 2021). Face au processus de désertification qui affecte le nord de l'Algérie, cette forêt joue un rôle de rempart écologique contre l'avancée du désert (Hani et al., 2021). Cependant, cette zone boisée a été partiellement modifiée par les activités humaines, souvent dans le but de répondre à leurs besoins.

Afin de mieux comprendre les mécanismes de dégradation des systèmes forestiers, qu'ils soient naturels ou induits par l'homme, l'étude de la végétation constitue une approche pertinente. En effet, la flore d'une région reflète les processus de sélection naturelle influencés par le climat, la nature du sol, le relief, et les interventions humaines (Adedire, 2002 ; Orthmann, 2005 ; Parmentier, 2005).

Une évaluation approfondie des ressources forestières en place et de leur évolution repose notamment sur l'analyse de la composition floristique, la structure des peuplements et leur dynamique de régénération, d'où l'intérêt d'un inventaire forestier.

De nombreux travaux ont été réalisés autour de la diversité géologique, écologique, climatique, morphologique et dendrologique dans les pays méditerranéens et en Algérie (Nahal, 1962 ; Debazac et Tomassone, 1965 ; Kadik, 1984 ; Spencer, 1985 ; Bariteau, 1992 ; Meddour, 1992 ; Safar, 1994 ; Nicault, 1999 ; Bentouati, 2006 ; Guit, 2015 ; Djerrad, 2016 ; Sarmoum et al., 2016 ; Hani et al., 2020 ; Hani et al., 2021). D'autres recherches ont porté sur la variabilité chimique des composés métaboliques et des huiles essentielles issues du pin d'Alep (Schiller et al., 1986 ; Dob et al., 2007 ; Abi-Ayad et al., 2011 ; Djerrad, 2016).

Depuis la parution du rapport Brundtland, mettant en avant le concept de développement durable, la gestion des forêts de pin d'Alep doit dorénavant intégrer les dimensions économiques, écologiques, sociales et humaines. Contrairement à d'autres essences forestières, cette espèce reste encore peu explorée du point de vue économique en Algérie. Ce manque d'informations freine une évaluation objective de son importance. Un diagnostic approfondi permettrait de mieux cerner ses aptitudes et ses potentialités au sein de son environnement, et d'optimiser sa valorisation.

Cette étude vise à établir une base de données solide et à analyser de manière systématique la viabilité du pin d'Alep dans la forêt de Djebel Messaad.

Les objectifs spécifiques découlant de cette démarche sont les suivants :

- Évaluer l'état écologique global du peuplement de pin d'Alep dans le massif de Djebel Messaad (état sanitaire, structure, stabilité, dynamique actuelle...).
- Identifier les facteurs de pression, les hiérarchiser selon leur impact, et analyser leur influence sur l'évolution de l'espèce dans cette forêt.
- Mettre en valeur le potentiel de reboisement de cette essence.
- Élaborer un schéma de gestion durable de l'écosystème (proposer un plan d'aménagement adapté à la situation actuelle et aux perspectives futures), conciliant préservation et mise en valeur du pin d'Alep.

Le présent mémoire s'articule autour de quatre grandes parties :

- La première (revue bibliographique) présente un état des connaissances disponibles sur le sujet à travers une collecte documentaire.
- La deuxième (cadre physique) décrit globalement le site d'étude ainsi que les approches méthodologiques utilisées pour mener à bien le travail.
- La troisième (matériel et méthodes) détaille la zone de recherche, les unités d'échantillonnage, les outils de collecte, ainsi que les procédés statistiques mobilisés pour l'analyse des données (structure des peuplements, paramètres mécaniques et sanitaires).
- La quatrième (résultats et discussion) présente et commente les données récoltées de manière rigoureuse et comparative.

Enfin, une conclusion vient synthétiser les principaux constats, analyser les tendances mises en évidence par les traitements statistiques, et proposer des pistes de gestion et de valorisation future de cet écosystème forestier.

# Chapitre I: Synthèse Bibliographique

## I. Présentation générale du pin d'Alep :

### 1. Classification botanique de *Pinus halepensis* Mill. :

Appelé aussi pin de Jérusalem, pin blanc (en Provence) ou encore *Aleppo pine* en anglais, cet arbre fut identifié pour la première fois par Duhamel en 1755 sous le nom de *Pinos hierosolymitana*. Par la suite, en 1768, Miller en proposa la désignation actuelle : *Pinus halepensis* Mill. (Nahal, 1962). Cette espèce appartient au sous-règne des Tracheobiontes, à la division des Spermaphytes, au groupe des Gymnospermes, à la classe des Pinopsida, à l'ordre des Coniferales, à la sous-famille des Pinoideae et au genre *Pinus* (Camus, 1914). Ce genre comprend principalement deux espèces dominantes : *Pinus halepensis* Mill. et *Pinus brutia* Ten. (Lieutaghi, 2004).

La classification taxonomique selon Farjon (1996) s'établit ainsi :

- **Règne** : Plantae
- **Division** : Spermaphyta
- **Sous-division** : Gymnospermae
- **Classe** : Pinopsida
- **Ordre** : Abietales
- **Famille** : Pinaceae (anciennement Abietaceae)
- **Sous-famille** : Pinoideae
- **Genre** : *Pinus*
- **Sous-genre** : *Eupinus*
- **Espèce** : *Pinus halepensis* Mill.

### 2. Répartition géographique naturelle du pin d'Alep :

#### 2.1. Répartition mondiale du pin d'Alep :

Il est important de noter que malgré son nom, le pin d'Alep ne pousse pas naturellement dans la région d'Alep en Syrie (Nahal, 1962). Cette espèce est largement implantée autour du bassin méditerranéen (voir Figure 1). Elle couvre au total plus de 3,5 millions d'hectares répartis entre différents pays :

- **En Algérie**, le pin d'Alep est abondamment présent sur la majorité des chaînes montagneuses, depuis le Tell côtier jusqu'à l'Atlas saharien. D'après Kadik (1987), la surface couverte par cette essence avoisine les 850 000 ha.
- **En Tunisie**, il s'étend sur environ 340 000 hectares, surtout dans les zones montagneuses de la dorsale tunisienne (Souleres, 1969).
- **Au Maroc**, le pin d'Alep est rare à l'état naturel ; il couvre près de 65 000 ha, dispersés en peuplements éparés le long de la côte méditerranéenne, dans les régions du Rif, du Moyen et du Haut Atlas (Quézel, 1986 ; Bentouati, 2006).
- **En Espagne**, cette espèce est bien représentée, occupant environ 15 % des forêts du pays (Montéro, 2000).
- **En France**, la surface occupée par les peuplements de pins a connu une augmentation notable, passant de 36 000 ha à 232 000 ha en l'espace d'un siècle (Brochiero et al., 1999).
- **En Italie**, *Pinus halepensis* couvre à peu près 20 000 ha, principalement situés dans les zones côtières (Seigue, 1985).



Figure1. Répartition de pin d'Alep dans le monde (Caudullo et al., 2017).

### 1.1. Aire de répartition en Algérie:

En Algérie, *Pinus halepensis* se retrouve dans l'ensemble des zones bioclimatiques, avec une dominance marquée dans les régions semi-arides (voir Figure 2). Grâce à sa grande capacité d'adaptation et à sa robustesse, cette espèce a su se développer et former d'importants ensembles boisés. Elle est présente sur tout le territoire national, d'est en ouest, depuis les zones côtières jusqu'aux hauts reliefs du Tell et de l'Atlas saharien. Son développement optimal s'observe notamment sur les versants nord de l'Atlas saharien, où elle forme des formations forestières importantes. À l'est du pays, on distingue les vastes forêts de Tébessa, qui s'étendent sur environ 90 000 hectares, ainsi que celles des Aurès, avec plus de 100 000 ha, incluant notamment les pinèdes de Béni Imloul (72 000 ha), celles des Ouled Yagoub et des Béni Oudjana (Bentouati, 2006).

Dans la région centrale, on recense les forêts de Médéa-Boghar et de Théniet El Had, s'étendant respectivement sur 52 000 ha et 47 000 ha. Il convient aussi de mentionner les anciennes forêts naturelles des Monts des Ouled Nail dans la wilaya de Djelfa (Gaouas et al., 1997 ; Bentouati, 2006).

À l'ouest, dans la région oranaise, on retrouve de larges massifs forestiers concentrés autour des zones de Sidi Bel Abbès, Saïda, ainsi que dans les montagnes de l'Ouarsenis (Quézel et Barbero, 1992 ; Mezali, 2003).

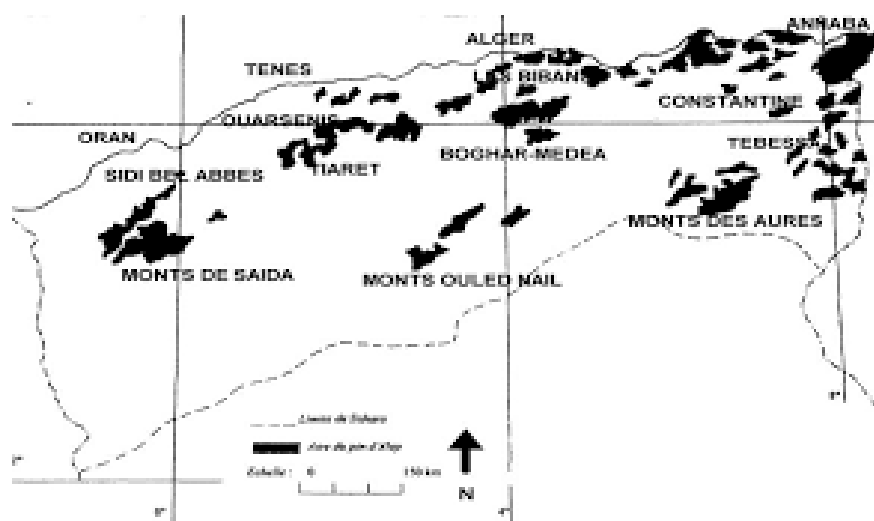


Figure2. Aire de répartition du pin d'Alep en Algérie (Bentouati, 2006).

## 2. Plasticité écologique:

3. Le pin d'Alep fait partie des essences typiquement méditerranéennes les plus adaptables sur le plan écologique, car il a réussi à s'implanter sur une grande diversité de substrats et se retrouve dans la plupart des étages bioclimatiques méditerranéens (Quézel, 1986 ; Kadik, 2005). Il pousse dans des régions où les précipitations annuelles varient entre 200 et 1500 mm. Bien que la pluviométrie n'apparaisse pas comme un facteur limitant décisif pour sa répartition, son développement optimal s'observe dans les zones recevant entre 350 et 700 mm de pluie par an. Ainsi, même si cette essence semble peu influencée par la quantité de précipitations, elle demeure l'une des espèces les mieux adaptées aux conditions arides parmi la flore provençale (Kadik, 2005 ; Djerrad, 2016).
4. Parmi les facteurs climatiques qui conditionnent l'expansion du pin d'Alep, la température joue un rôle primordial. Cette espèce est présente dans des zones où les moyennes annuelles de température oscillent entre 11 et 19°C. Cela correspond à des températures minimales moyennes du mois le plus froid allant de -3 à +10°C. Selon Quézel (1985), cette variable détermine en partie sa répartition géographique. Des températures inférieures à -3°C peuvent représenter une contrainte majeure pour sa survie. Toutefois, le pin d'Alep peut tolérer des baisses de température extrêmes allant jusqu'à -15 ou -18°C, à condition qu'elles soient brèves et rares (Nahal, 1962).
5. Du point de vue édaphique, cette espèce peut se développer sur une large gamme de substrats : marne, calcaire, schistes ou micaschistes. En revanche, elle est rarement présente sur des terrains granitiques ou à gneiss. Bien qu'il semble indifférent à la composition chimique de la roche mère, il préfère s'installer sur des formations meubles ou fragmentées (Loisel, 1976).
6. Le pin d'Alep se retrouve également sur différents types de sols, allant des lithosols peu développés (comme ceux issus d'éboulis) aux sols profonds bien structurés (par exemple, sur d'anciennes terrasses agricoles). Bien que la profondeur du sol influe sur le rendement et la production du peuplement, elle n'est pas en soi un facteur décisif pour la présence de l'espèce (Abbas et al., 1985).
7. Concernant sa tolérance à la composition chimique des sols, *Pinus halepensis* est une essence calcicole, capable de supporter des concentrations élevées en calcaire. D'après Marion et Poupon (1974), il tolère jusqu'à 90 % de calcaire total et 40 % de calcaire actif (Loisel, 1976).
8. Outre son adaptabilité remarquable, le pin d'Alep possède aussi la capacité de résister à des périodes prolongées de stress hydrique, ce qui lui confère une forte résilience face à la sécheresse, notamment durant les mois d'été (Bariteau, 1992).

## 3 Phénologie de l'espèce Phénologie :

**La phénologie** est une discipline scientifique qui s'intéresse à l'étude des rythmes saisonniers observés dans le cycle de vie des végétaux et des animaux au fil de l'année. Chez les plantes, cela englobe des événements comme l'apparition et l'éclosion des bourgeons, la floraison, le démarrage et l'arrêt de la croissance des rameaux, l'émergence, le développement, la coloration, puis la chute des feuilles, ainsi que la formation, le changement de teinte, la maturation et la dissémination des fruits. Dès la fin du XIX<sup>e</sup> siècle (entre 1875 et 1880), des institutions comme le Service météorologique français, les services forestiers et les jardins botaniques ont mis en place des réseaux de surveillance phénologique à l'échelle nationale pour établir des corrélations entre les phénomènes biologiques et les données climatiques. Malheureusement, ces dispositifs ont été progressivement abandonnés au milieu du XX<sup>e</sup> siècle (Chuine, 2005a).

La phénologie végétale est étroitement influencée par les conditions climatiques (Differt, 2001 ; Lebourgeois et al., 2008), mais cette interaction varie selon l'espèce concernée, sa diversité génétique et sa réceptivité à différents éléments météorologiques. Certaines espèces réagissent principalement aux précipitations, d'autres à la température, tandis que certaines sont davantage sensibles aux contraintes du froid hivernal ou à la chaleur printanière. Pour une même espèce, la dépendance aux facteurs thermiques peut également varier

en fonction de sa position dans l'aire géographique qu'elle occupe (Morin et al., 2007). À travers le réseau français RENECOFOR, Lebourgeois et collaborateurs (2007) ont mis en évidence des liens étroits entre variables climatiques et comportements phénologiques de diverses espèces forestières.

À titre d'exemple, il a été supposé que la progression récente du chancre à *Crumelopsis* sur le pin d'Alep pourrait être favorisée par le réchauffement printanier, qui accélérerait le développement de ce champignon pathogène à une période où l'humidité ambiante et les précipitations sont élevées, rendant le milieu plus favorable à l'infection (Martinez, 2002).

L'observation des cycles phénologiques est considérée comme l'un des outils les plus pertinents pour analyser la relation entre les rythmes biologiques d'une espèce et les transformations écologiques de son habitat (Vennetier et al., 2011). Les recherches entreprises sur le pin d'Alep par différents auteurs ont permis d'identifier plusieurs aspects de son cycle phénologique :

- La reprise de l'activité végétative intervient de manière tardive, généralement entre février et mars.
- Les pics de croissance (radiale et en longueur) ont lieu durant les mois de mai et juin.
- La croissance s'interrompt dès le mois de juillet à cause de la sécheresse estivale.
- Il s'agit d'une espèce polycyclique, capable de produire plusieurs pousses annuelles, et également de former des cernes dits « faux cernes » (Serre, 1976a et b).
- Les cônes mettent deux ans à mûrir et libèrent souvent leurs graines durant la troisième année (Nahal, 1962).
- La dispersion des graines se déroule principalement entre la fin août et la fin octobre. Pour permettre leur ouverture, les cônes doivent subir des températures élevées qui provoquent la fonte des résines liant les écailles (Francelet, 1970).
- La germination a lieu soit à l'automne, soit au début du printemps (Calamassi et al., 1984).
- Le pin d'Alep commence à produire des fruits à l'âge de 10 à 12 ans, mais les graines ne deviennent réellement viables qu'à partir de 18 à 20 ans (Nahal, 1962).

---

### 3.3. Particularités morphologiques de *Pinus halepensis* :

Le pin d'Alep est une espèce très reconnaissable qui pousse naturellement à travers une large partie du nord de l'Algérie, où il peut atteindre jusqu'à 30 mètres de hauteur (Boudy, 1950 ; Pardé, 1957 ; Gausson, 1960 ; Mathieu, 1897). Son tronc est le plus souvent irrégulier, sinueux et densément ramifié (Figure 3a).

La partie utilisable comme bois de construction dépasse rarement 8 mètres. Toutefois, on trouve des peuplements aux fûts plus droits, plus longs et faiblement ramifiés, comme dans certaines régions de Grèce ou à Cadenet en France (Nahal, 1962).

Cette essence peut vivre jusqu'à 150 ans, avec une espérance de vie moyenne de 100 à 120 ans (Kadik, 1987). L'écorce des jeunes arbres est lisse et d'un gris argenté (Figure 3b), tandis que chez les sujets âgés, elle forme un rhytidome fissuré en larges écailles aplaties de couleur brun rougeâtre.

Elle est hautement inflammable et riche en tanins. L'écorce du pin d'Alep a été historiquement utilisée pour le tannage dans de nombreuses régions, notamment au Proche-Orient, en Afrique du Nord et en Europe (Kadik, 1950 ; Nahal, 1962). Aujourd'hui, cette pratique a disparu au profit de produits tannants synthétiques (Nahal, 1962).



**Figure 3.A:** Aiguilles (2025)



**Figure 3.B:** Ecorces (2025)



**Figure 3.C:** Cônes (2025)



**Figure 3.D:** Tronc (2025)

Les jeunes rameaux du pin d'Alep présentent une teinte vert clair qui vire ensuite au gris pâle ; ils sont généralement fins. Cette espèce est dite polycyclique car elle peut produire une deuxième pousse au cours de la même saison. Ses bourgeons, de forme ovoïde et à l'extrémité pointue, sont dépourvus de résine. Ils sont brunâtres et entourés d'écailles blanches et frangées. Les aiguilles, persistantes, apparaissent par paires (parfois groupées par trois ou quatre) en faisceaux au bout des rameaux. Ces aiguilles, fines et vert clair, mesurent entre 4 et 10 cm de long pour un diamètre maximal d'environ 1 mm (voir Figure 3c). La floraison intervient sur les rameaux de l'année, généralement entre la fin du printemps et le début de l'été. Les cônes, relativement volumineux (6 à 12 cm), sont portés par un pédoncule épais de 1 à 2 cm (Kadik, 1987), souvent solitaires et recourbés vers le bas (Figure 3d). D'abord pourpres, ils deviennent brun lustré, avec des écailles aplaties, et peuvent rester attachés à l'arbre pendant plusieurs années. Leur maturation se fait au cours de la deuxième année, et la libération des graines se produit souvent la troisième année. L'espèce commence à fructifier tôt, dès l'âge de 10 à 12 ans.

Les graines, de petite taille (5 à 7 mm), sont dotées d'une longue aile, gris brun sur une face et gris tacheté de noir sur l'autre. Elles n'acquièrent leur pleine capacité germinative et une production abondante qu'à partir de 18 à 20 ans. En moyenne, 100 kg de cônes produisent environ 50 kg de graines ailées (Nahal, 1962 ; Kadik, 1987), ce qui facilite leur dissémination par le vent et favorise l'élargissement de leur aire de répartition (Chaumeil, 2006).

Le système racinaire du pin d'Alep varie selon la profondeur du sol. Dans les terrains profonds, il développe une racine pivotante accompagnée de puissantes racines latérales. Sur des sols peu profonds, les racines ont tendance à affleurer en surface. Néanmoins, cette espèce s'ancre solidement dans le sol, ce qui lui permet de se maintenir même dans les substrats fortement érodés et rocheux. On observe fréquemment ses racines pénétrant dans les fissures de roches calcaires dures (Nahal, 1962).

La couronne a une forme conique chez les jeunes individus, puis elle s'élargit progressivement avec l'âge en raison du ralentissement de la croissance verticale. L'âge auquel ce ralentissement intervient dépend de la richesse du sol, notamment de sa profondeur. Sur des sols profonds et fertiles, la forme conique persiste plus longtemps. La couronne du pin d'Alep est irrégulière, généralement peu dense, offrant peu d'ombrage, avec un feuillage vert jaunâtre (Nahal, 1962).

Pendant la saison humide, les graines germent rapidement et en grand nombre. La mortalité est cependant élevée chez les jeunes plants durant les deux premières années. Cette perte est toutefois compensée par la forte production de graines et leur taux de germination élevé (Nahal, 1962). Les jeunes semis ont besoin de lumière, mais un léger ombrage peut leur être favorable. Ils s'adaptent à différents types de sols, bien qu'un recouvrement herbacé important leur soit défavorable. Même dans les pinèdes denses, la régénération ne pose pas de problème, car l'éclairement reste suffisant (Nahal, 1962).

### **3.3. Propriétés forestières de *Pinus halepensis* :**

Le bois du pin d'Alep se caractérise par une différenciation marquée entre l'aubier, de teinte blanc-jaunâtre, et le duramen, brun à rougeâtre clair, souvent imprégné de résine (Christel et Thierry, 1995 ; Elaieb et al., 2020). Ce bois est plutôt léger, avec une transition entre cœur et aubier qui n'est pas toujours bien définie. Les cernes annuels sont sinueux, mais généralement bien visibles. La zone de bois final est plus sombre et fine, se distinguant nettement du bois initial. Les canaux résinifères sont de grande taille, bien visibles et largement espacés, produisant une résine abondante (Nahal, 1962).

Après extraction de la résine, ce bois peut être valorisé dans l'industrie papetière (Nahal, 1962 ; Elaieb et al., 2020). Selon diverses études (Daoui et al., 2007 ; Elaieb et al., 2010, 2015, 2017, 2020 ; Ben Dhib, 2016 ; Ben Dhib et al., 2016), il s'agit d'un bois classé parmi les essences semi-dures à mi-lourdes. Il possède de bonnes qualités mécaniques, bien qu'il soit sensible aux chocs, ce qui le rend cassant. Son retrait volumique est moyen et sa durabilité naturelle reste faible. Il s'usine et sèche cependant sans difficultés particulières (Elaieb et al., 2020).

### **4. Organisation structurelle des peuplements forestiers :**

La connaissance de la structure des arbres et des peuplements forestiers est un élément fondamental pour toute action d'aménagement ou de gestion sylvicole. Les interventions humaines visant la conservation ou la mise en valeur des forêts modifient souvent cette structure en éliminant ou introduisant certains sujets. Comprendre la composition et la configuration des forêts permet donc d'anticiper les effets de ces actions (Pommerening et Grabarnik, 2019).

Selon Pranjic et Lukić (1996), la structure d'un peuplement correspond à la distribution des espèces, au nombre d'individus et à la répartition de leurs dimensions sur une surface donnée. Elle est influencée à la fois par les dynamiques de croissance propres à chaque espèce et par les facteurs anthropiques ou naturels (Indir et al., 2013).

Oliver et Larson (1996) définissent cette structure comme la répartition spatiale et temporelle des arbres dans le peuplement. Pour Kimmins (1997), elle réside dans l'arrangement vertical et horizontal des arbres. Cette variabilité structurelle, tant verticale qu'horizontale, est souvent liée à la diversité spécifique et à la résilience écologique des peuplements.

Les interventions sylvicoles peuvent modifier cette configuration et jouent un rôle stratégique dans le maintien de la diversité et la stabilité écologique (Pretzsch, 1998 ; Humphrey et al., 2000 ; McElhinny et al.,

2005). Pommerening (2002) a résumé trois éléments essentiels de la structure forestière : les attributs structurels, leur distribution statistique et les indices de complexité.

Depuis plusieurs années, ces indices sont largement employés dans les recherches forestières et servent à mieux cerner les processus écologiques ainsi que le fonctionnement global des écosystèmes boisés (McElhinny et al., 2005). Une définition simple considère que la structure d'un peuplement correspond à l'agencement spatial — à la fois vertical et horizontal — de ses composantes biologiques (Goreaud, 2000 ; Pommerening, 2002). Dans les écrits scientifiques, cette notion est souvent subdivisée en deux aspects : les indices structuraux et la complexité structurelle (McElhinny et al., 2005).

### 3.3. Attributs structureaux

À l'échelle du peuplement, la structure forestière se définit à travers un ensemble d'attributs structureaux. Décrire cette structure revient à analyser ces attributs, qui rendent compte de plusieurs aspects comme l'agencement des arbres, le couvert de la canopée, les dimensions (diamètre, hauteur), la répartition spatiale des individus, ou encore la composition floristique (Ngo Bieng, 2007).

#### Fonctions des attributs structureaux :

Ces attributs permettent une évaluation de divers éléments :

- **L'abondance**, par exemple via la densité des arbres dans une classe de diamètre donnée (Acker et al., 1998).
- **L'abondance relative**, à travers la diversité diamétrale ou la surface terrière d'une espèce spécifique dans un mélange (Spies et Franklin, 1991 ; Gove, 1996).
- **La richesse spécifique**, telle que la variété des espèces présentes dans la canopée (Munks et al., 1996).
- **La variation de tailles**, mesurée par l'écart-type des diamètres (Spies et Franklin, 1991).
- **La variation spatiale**, illustrée par les distances entre arbres voisins (Franklin et al., 1981).

Les attributs relatifs aux variations (de tailles, d'espacement, etc.) sont particulièrement importants car ils traduisent l'hétérogénéité du peuplement (McElhinny et al., 2005).

#### Complexité structurelle

La complexité structurelle désigne la diversité et l'abondance relative des attributs structureaux au sein d'un peuplement donné (McElhinny et al., 2005). Elle reflète l'organisation horizontale et verticale de l'écosystème, influençant ainsi sa résilience et sa biodiversité.

#### Description et utilisation des attributs structureaux

Il n'existe pas de liste unique ou universelle d'attributs structureaux, car ceux-ci sont choisis selon les objectifs de l'étude. Ils peuvent servir à caractériser :

- La biodiversité (Bebi et al., 2001),
- Les habitats fauniques (Watson et al., 2001),
- Les dynamiques de peuplement (Condit et al., 1998),
- Ou encore à différencier les stades de succession forestière (Dewalt et al., 2003).

Certains sont également sélectionnés pour leur simplicité de mesure ou leur disponibilité dans des inventaires permanents (Acker et al., 1998).

## **Catégories d'attributs courants**

### **1. Variation dimensionnelle des arbres :**

Les distributions de diamètre à hauteur de poitrine (DHP ou D1,30), de hauteurs, de surface terrière, et de volume par hectare sont couramment utilisées (Gadow et al., 2012). Ces attributs se révèlent efficaces pour identifier l'âge, la productivité ou le stade de succession d'un peuplement.

### **2. Distribution des diamètres :**

La distribution des D1,30 peut être exprimée par des indices comme celui de Shannon-Weiner ou via des fonctions mathématiques comme la loi de Weibull (Leak, 1996 ; Zhang et al., 2001). Ces outils permettent de caractériser les structures régulières ou irrégulières.

### **3. Distribution des hauteurs :**

Les hauteurs peuvent être décrites par des indices de diversité (Angers et al., 2014) ou encore par des attributs simples comme la hauteur moyenne ou maximale de la canopée (Kappelle et al., 1996). Ces données sont indicatives de la biomasse ou du nombre de strates verticales (Spies, 1998).

## **Structuration horizontale et hétérogénéité**

L'analyse de la diversité des tailles (diamètres et hauteurs) ne suffit pas à décrire la structure horizontale. Deux peuplements avec des distributions similaires peuvent avoir des configurations spatiales différentes (Zenner, 2000). Il est donc essentiel d'intégrer la répartition spatiale des arbres dans l'analyse (Goreaud, 2000 ; McElhinny et al., 2005).

## **Indices de complexité et de structure**

Pour permettre des comparaisons objectives entre peuplements, des indices de structure ont été développés (Watson et al., 2001). Ces indices traduisent les attributs de manière quantitative, évitant ainsi une simple description verbale (Sterba et Zingg, 2006).

### 3.4. Diversité spécifique

Une première appréciation de la diversité forestière peut être obtenue à partir des distributions de fréquences de tailles et d'espèces (Gadow et al., 2012).

#### Niveaux de diversité écologique :

Selon MacArthur (1965) et Whittaker (1972), on distingue :

- **Diversité alpha** : au sein d'un peuplement,
- **Diversité bêta** : entre peuplements,
- **Diversité gamma et delta** : à des échelles plus larges (Lähde et al., 1999).

La diversité alpha est particulièrement étudiée dans les forêts pour comprendre la distribution des espèces et leurs attributs (Mason et Quine, 1995).

#### Richesse spécifique (RS)

Cet indice mesure le nombre total d'espèces dans un peuplement (Gonçalves et al., 2010). Toutefois, il ne renseigne pas sur la dominance relative des espèces, c'est-à-dire leur abondance respective (Gonçalves, 2003).

#### Indices de structure et diversité

Outre les indices de diversité spécifique, de nombreux indices structuraux sont disponibles pour décrire la structure des peuplements (Pommerening, 2002). Bien que certains soient complexes, ils représentent des outils essentiels pour la comparaison et l'interprétation des écosystèmes forestiers (Sterba et Zingg, 2006).

# Chapitre II: Matière et Méthodes

### 1-1 Description de la zone d'étude:

La zone d'étude se situe dans la commune de **Djebel Messaad**, au sud-ouest du chef-lieu de la Wilaya de M'Sila, à environ **100 kilomètres** de distance. Elle représente une **barrière naturelle ultime** entre les régions du nord et les étendues désertiques du sud, subissant ainsi une **forte influence saharienne**.

Cette zone se distingue par les caractéristiques suivantes :

- **Unité naturelle homogène**, formant un massif forestier continu et distinct.
- **Soumise à de fortes pressions anthropiques**, notamment liées aux activités humaines non contrôlées.
- **Fréquentée intensément** par les populations locales, aussi bien durant la période estivale qu'hivernale.
- **Considérée comme un site à potentiel scientifique**, régulièrement visitée dans le cadre de travaux de recherche et d'observations écologiques.

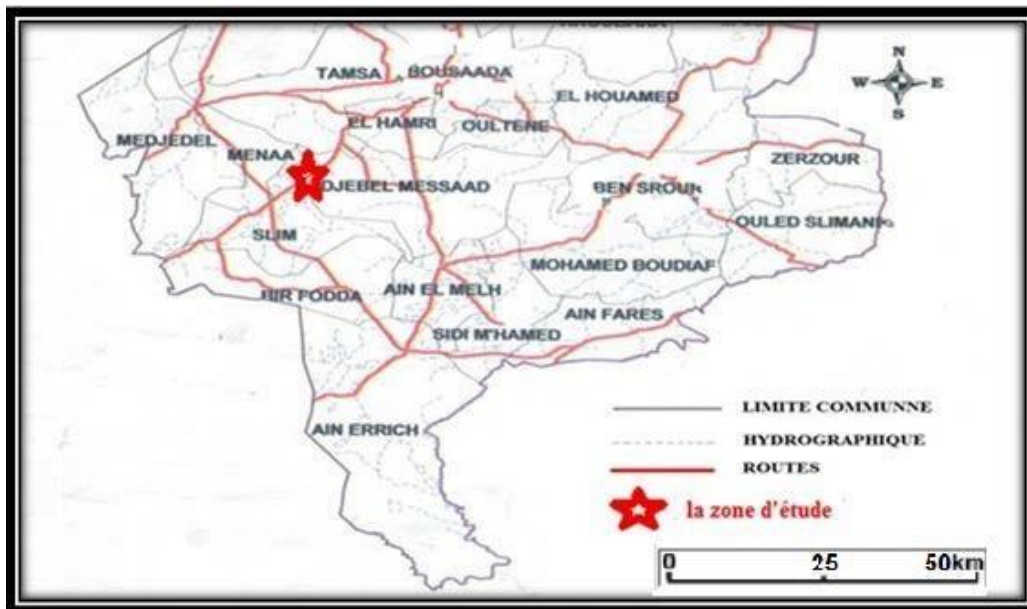


Figure 04: Carte administrative du Sud de M'Sila avec présentation de la zone d'étude

Selon les données de la **Circonscription Forestière de Djebel Messaad (C.F.D.M)**, la forêt de **Djebel Messaad** s'étend sur une superficie estimée à environ **34 000 hectares**. Elle relève administrativement des circonscriptions forestières de **Djebel Messaad** et de **Boussaâda**, et s'étale sur deux **dairas** : **Aïn El Melh** et **Ben Srour**.

Sur le plan de l'aménagement, la forêt est actuellement subdivisée en **12 cantons forestiers**, généralement délimités par les grandes lignes de crête qui marquent les principaux reliefs du massif. Ces cantons sont détaillés dans le **Tableau 01**.

Circonscription	Canton	Superficie(Ha)
DjebelMessaad	Fernane	5193
	Djebel Fernane	1035,66
	DraaChehima	2182
	Bouferdjoune	2159
	Tsigna	3210
	Okfiane	2312
	Masmoudi	6430
	El Hamel	3227,8000
Boussaâda	El-Allig	1635,2500
	Maaleg	1679,3600
	Bounouara	535
	Triba	3895,2000

Tableau01: Les cantons de DjebelMessaad et Boussaâda.

Source: (C.F.M, 2011).

### 1-1- Relief de la zone d'étude:

Située sur le versant nord des **monts des Ouled Nail**, dans l'**Atlas saharien**, la zone de Djebel Messaad présente des caractéristiques topographiques déterminantes pour les choix techniques en matière d'aménagement forestier (C.F.D.M., 2010).

L'**altitude** y est généralement **moyenne**, oscillant entre **800 mètres** au minimum et **1 667 mètres** au maximum.

Selon les données de la Circonscription Forestière de Djebel Messaad (C.F.D.M., 2010), la **topographie** du site se distingue par :

- Des **pentés moyennes** occupant majoritairement les bas versants ;
- Des **pentés fortes** (supérieures à 25 %) caractérisant les zones sommitales.

### 1.2. Géologie de la région

La région de **Djebel Messaad** présente une grande diversité lithologique, répartie selon l'orientation géographique :

- **Au nord** : Présence d'un **synclinal** composé de **calcaires subrécifaux** et de **calcaires lithographiques**, accompagnés de **marnes**.
- **Au sud** : Structure **anticlinale** et **préclinale**, dominée par des formations de **grès**, **marnes argileuses**, **dolomies** et **gypses**.
- **À l'est** : Affleurements du **Tertiaire continental**, constitués de **sables** et **argiles rouges**.
- **À l'ouest** : Dépôts **continentaux quaternaires** faits de **limons** et **argile**

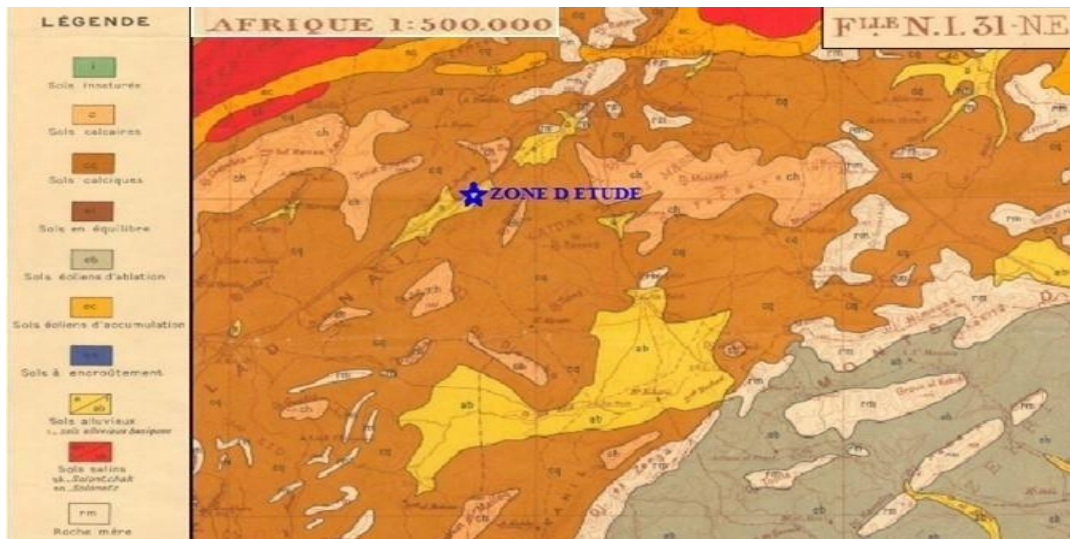


Figure 05: Carte géologique de la wilaya de M'sila avec présentation de zone (A.N.R.H, 2005).

D'après la **figure 05**, la géologie de la zone d'étude correspond au **Crétacé moyen (Cénomaniens)**, symbolisé par (cn). Cette formation, située au **sud de Boussaâda**, se caractérise par une **alternance de marnes argileuses, de dolomies microcristallines** et de **bancs de gypse** d'épaisseur variable. En revanche, au **nord de Boussaâda**, les faciès du Cénomaniens supérieur diffèrent notablement : il s'agit de formations à dominante carbonatée, avec une **réduction marquée des horizons gypseux**.

### 1.2.2. Pédologie

Selon la Circonscription des Forêts de Djebel Messaad (C.F.D.M.), les sols de la région se répartissent en trois grands types pédologiques :

- **Sols minéraux bruts d'érosion** : peu évolués, généralement localisés sur les versants raides ;
- **Sols calcimorphes** : incluant des **bruns de steppe, rendzines, rendzines dégradés** et **bruns calcaires** ;
- **Sols évolués à mull** : tels que les **bruns à mull calcique**, généralement plus fertiles et mieux structurés.

Cette diversité pédologique influence directement la couverture végétale et les possibilités d'exploitation agro-sylvo-pastorale.

### 1.2.3. Activités humaines et socio-économiques

La région de **Djebel Messaad** est marquée par une **activité humaine traditionnelle** encore fortement ancrée. Les principales activités économiques recensées sont :

- **L'élevage traditionnel**, qui constitue l'activité dominante, avec un cheptel estimé à **plus de 50 000 têtes** réparties entre **ovins, caprins et bovins** ;
- **L'agriculture**, pratiquée à petite échelle, souvent en lien avec l'élevage ;
- **L'artisanat rural**, notamment dans les zones périphériques, représentant un complément d'activité pour la population locale.

	Commune de Jebel Mssaad	
<b>Zone exploitée (H)</b>	6250	
<b>Grains</b>	3523	273
<b>Alimentation</b>	622	622
<b>Légumes</b>	215	215
<b>Pomme de terre</b>	3	3
<b>Les arbres fruitiers</b>	75	75
<b>Olive</b>	326.5	260
<b>Superficie irriguée (H)</b>	1448	1448

**Tableau.02:** Répartition des zones agricoles dans la commune de Jebel Mssaad en hectares: Saison agricole (2015/2016)

Source: (C.F.M.D)(M'SILA), 2010

La zone se caractérise aussi par l'élevage des moutons, chèvres, des vaches et des poules (voir tableaux 03 et 04)

	Commune de Jebel Mssaad
<b>Moutons</b>	40354
<b>Chèvres</b>	5110
<b>Vaches</b>	178

**Tableau.03:** Elevage des animaux dans la commune de Jebel Mssaad

Source: (C.F.M.D)(M'SILA), 2010

La zone caractérisée par la production animale comme l'élevage des poules (voir tableau 09)

	Commune de Jebel Mssaad
Nombre des poulaillers	28
Capacité d'élevage	96000

**Tableau.04:** Elevage des poules

Source: (C.F.M.D), 2010

### 1-2- Les ressources en eau dans la zone de Jebel Mssaad:

La zone de Jebel Mssaad se caractérise par les ressources hydrauliques suivantes: Forages profonds, Forages traditionnels, Barrages d'eau, Forages pastoraux, Puits, Etangs d'eau, Barrages (voir tableau 05).

Les ressources hydrauliques	2013	2014	2015	2016	2017
Forages profonds	230	234	248	250	260
Forages traditionnels	98	101	101	101	102
Barrages d'eau	0	0	0	0	0
Forages pastoraux	12	12	122	12	12
Puits	2	2	2	2	2
Etangs d'eau	0	0	0	0	0
Barrages	1	1	1	1	1

Tableau.05: Les ressources d'eau de la zone de Djebel Messaad

Source: (C.F.M.D), 2010

### 1.3. Climat de la zone d'étude

Le climat constitue un **facteur écologique majeur** conditionnant la présence, la répartition et le développement des êtres vivants sur la planète (Bensalem et al., 2008). Chez les plantes, notamment, la **température** durant la période de croissance joue un rôle déterminant, en lien étroit avec le développement morphologique des tissus végétaux (Lemaire & Salette, 1982).

#### 1.3.1. Température

En l'absence d'une station météorologique implantée directement dans la zone forestière de **Djebel Messaad**, les données climatiques utilisées dans cette étude proviennent de la **station météorologique de Djelfa**. Ces données ont été **extrapolées** à l'altitude de la zone d'étude (993 m) en tenant compte des gradients altitudinaux selon la méthode classique recommandée à cet effet.

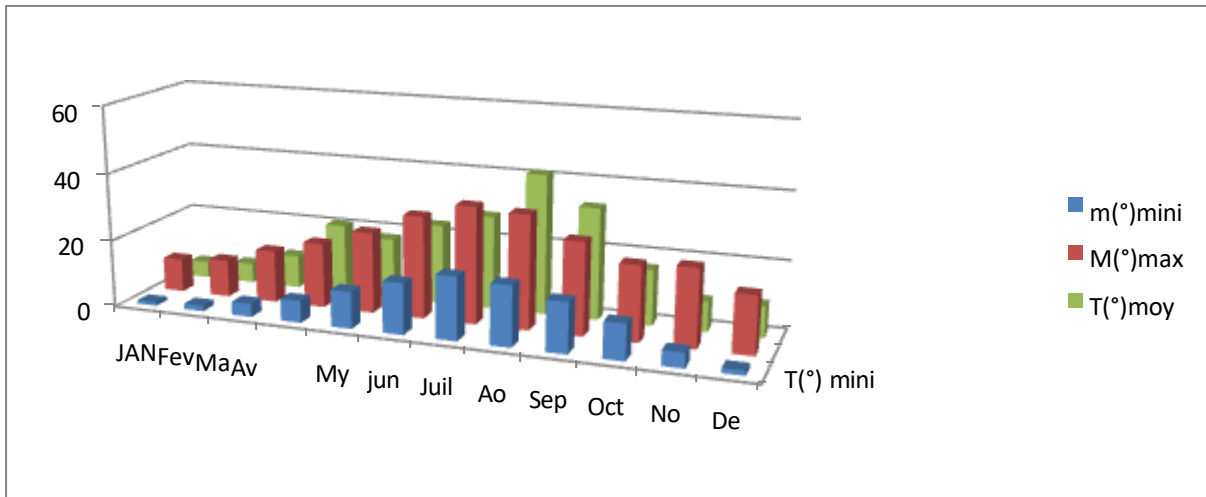
Selon Dreux (1980), au-delà des précipitations, la température constitue un indicateur fondamental à considérer dans toute étude climatique à visée agroécologique.

Les **températures moyennes minimales et maximales** enregistrées entre **2000 et 2016** sont présentées dans le **tableau 06** et illustrées graphiquement dans la **figure 06**. Ces données permettent d'estimer les amplitudes thermiques annuelles, les périodes de froid susceptibles d'affecter le cycle végétatif, ainsi que les pics estivaux de chaleur.

	JAN	Fev	Ma	Av	My	jun	Juil	Ao	Sep	Oct	No	De
m(°)mini	1,01	1,68	3,98	6,53	10,85	15,07	18,54	17,73	14,76	10,51	4,42	1,46
M (°)max	9,92	11,02	15,39	19,19	23,94	30,18	34,47	33,53	27,28	22,13	22,98	17,06
T(°)moy	4,89	5,83	9,8	20,76	17,96	23,57	27,67	41,39	32,92	16,43	8,83	9,29

Tableau06: Les températures moyennes mensuelles, minimales et maximales (°C).

Source: Station météorologique de Djelfa, 2016.



**Figure 06:** Courbes de températures mensuelles (maximales, minimales et moyenne) durant la période de (2000 /2016) .

A travers les données énoncées dans le tableau 10, on remarque que les hivers sont froids avec des minimas de 0,9°C en Janvier et 1,7°C en Décembre. Les étés sont chauds avec des maximas de 29,8°C en mois d’Aout.

**1-2-1- Les précipitations:**

Selon (HIRECHE, 2007), les précipitations caractérisent la balance climatique d’une région; par leur intensité, fréquence et irrégularité, les pluies ont une influence énorme sur le modèle de la région.

Les précipitations sont pratiquement toujours liées sous forme de pluies (DUBIEF, 1953).

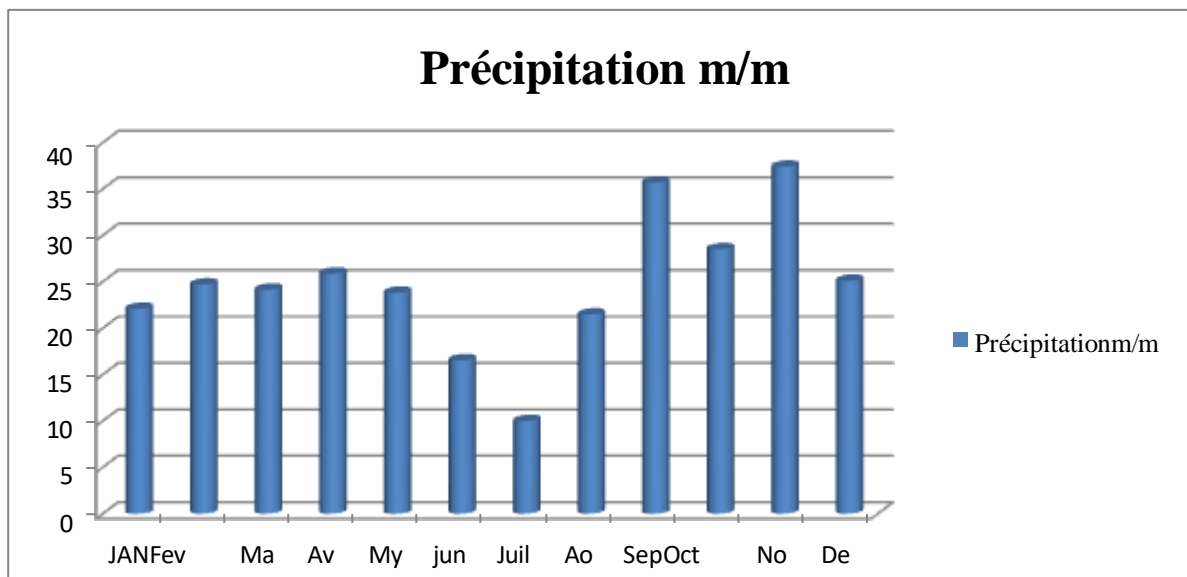
On désigne sous le terme général de pluviométrie la quantité totale de précipitation reçue par unité de surface et unité de temps. Elle constitue un facteur écologique d’importance fondamentale et la répartition des écosystèmes (RAMADE, 2003).

Le tableau 07 et la figure 07 résument les moyennes mensuelles des précipitations enregistrées durant la période qui s’étale entre 2000 et 2016.

	Jan	Fev	Mars	Av	Mai	jun	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
Précipitation m/m	22,08	24,69	24,14	25,87	23,82	16,52	9,97	21,47	35,69	28,49	37,4	25,1

**Tableau 07:** Précipitations moyennes mensuelles en (mm) de la région de Djelfa durant la période (2000-2016).

Source: station météorologique de Djelfa, 2016.



**Figure07:** Précipitations moyennes mensuelles en (mm) de la région de Djelfa durant la période (2000- 2016).

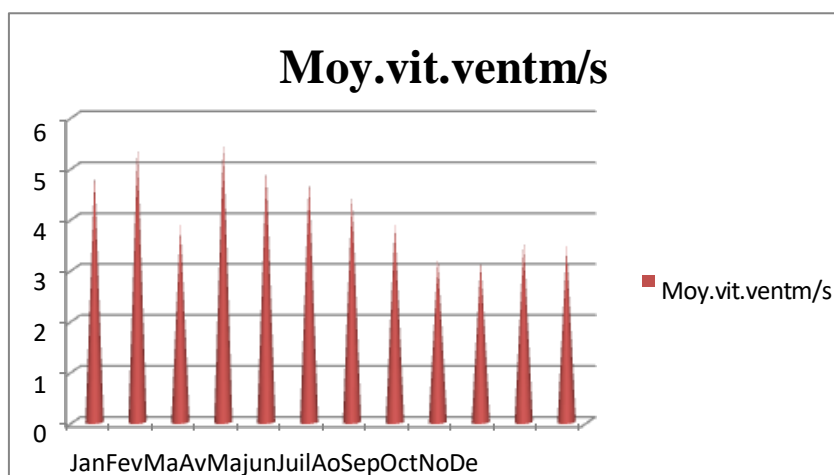
Source: Station météorologique de Djelfa, 2016

D'après la **figure.07**, nous remarquons que la quantité pluviométrique est répartie d'une manière relativement hétérogène pour les périodes pluvieuses. Les précipitations mensuelles dans le mois de Novembre représentent une forte valeur (37.4 mm) c'est le mois le plus pluvieux, Alors que le mois le plus sec est le mois de Juillet qui représente une basse valeur (9.97mm).

### 1-2-2- Levent:

Le vent est un agent de dispersion des animaux et des végétaux, qui exerce une action modification indirecte sur la température et l'humidité (**DAJOZ, 2006**).

D'après (**DUBIEF, 1953**), le vent est un phénomène continu au désert ou il joue un rôle considérable en provoquant une érosion intense grâce aux particules sableuse qu'il transporte.



**Figure08:** Variations des vitesses moyennes mensuelles en (mm) de la région de Djelfa durant la période (2000-2016).

Apartir du **Diagramme.08** qui représente la vitesse du vent, on constate que la valeur maximale du vent est de 5,48 m/s enregistrée en Avril et 5,35 m/s en Février alors que sa vitesse minimale est de l'ordre de 2,22 m/s au mois de Septembre.

**1-2-3- Humidité:**

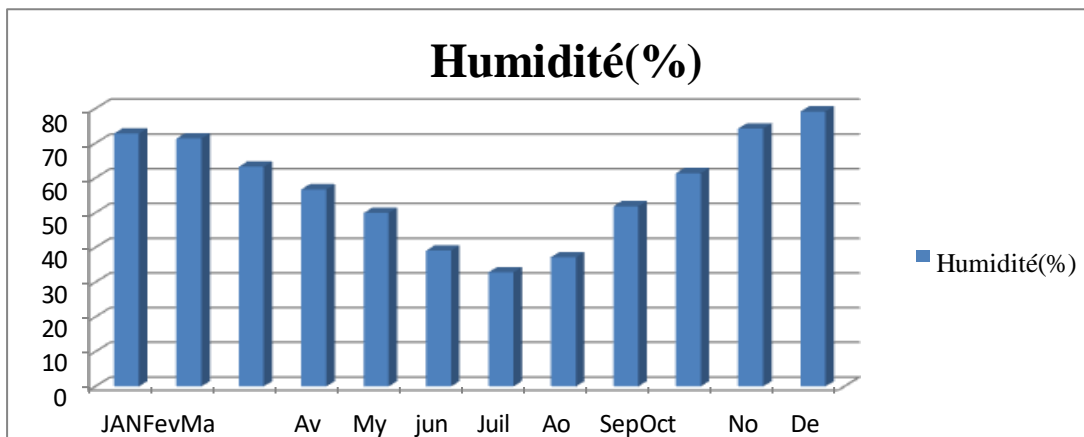
L'humidité relative est définie comme le rapport entre la quantité de vapeur d'eau qu'un volume contient à une température donnée (humidité absolue) et la quantité maximale de vapeur d'eau que ce même volume peut contenir à la même température (humidité à saturation). L'humidité relative est exprimée en pourcentage (**LAFFONT, 2015**)

L'humidité est un paramètre essentiel pour les calculs des besoins en eau d'une culture.

	JAN	Fev	Ma	Av	My	jun	Juil	Ao	Sep	Oct	No	De
Humidité(%)	72,79	71,36	63,24	56,71	49,92	39,09	32,84	37,2	51,84	61,38	74,25	79,15

**Tableau08:** L'humidité moyenne mensuelle en (%) de la région de Djelfa durant la période (2000-2016).

Source: station météorologique de Djelfa, 2016.



**Figure09:** L'humidité moyenne mensuelle en (%) de la région de Boussaâda durant la période (2000-2016).

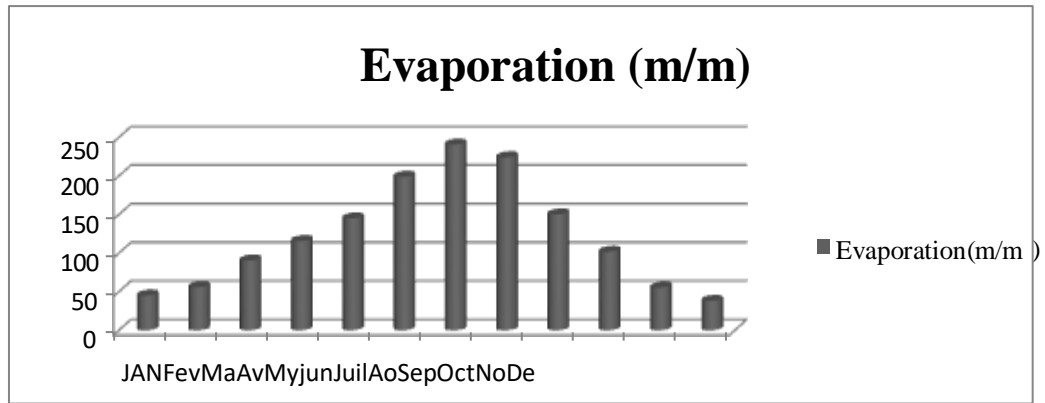
Les valeurs signalées au **tableau.08** ci-dessus indiquent que le mois de Décembre est le plus humide avec un pourcentage de 79,15 % par contre le taux d'humidité le plus faible est noté au cours du mois de Juillet avec 32,84%.

**1-2-4- Evaporation :**

	JAN	Fev	Ma	Av	My	Jun	Juil	Ao	Sep	Oct	No	De
Evaporation (m/m)	44,98	55,82	90,38	115,57	144,88	198,82	240,69	224,18	150,12	101,73	55,37	38,11

**Tableau09:** Evapotranspiration en (mm) de la région de Djelfa durant la période (2000-2016).

Source: station météorologique de Djelfa, 2016.



**Figure 10 :Evaporation de la station de Djelfa durant la période (2000-2016)**

Pendant les années d'observations (2000-2016), le maximum de l'évaporation a été enregistré au mois de **Juillet** avec 240,90 mm, alors que le minimum a été mesuré au mois de **Décembre** avec 38,11mm.

### 1-2-5- Gelées et Neige:

La topographie influence la fréquence et l'intensité des gelées (Stewart 1969-1985) celles-ci sont beaucoup plus observées dans les bas fonds que sur les sommets du versant en raison de la forte ventilation qui permet le renouvellement permanent de la couche d'air en contact avec le sol.

Les gelées affectent la culture en période de floraison. Il serait donc nécessaire d'éviter que la période de floraison coïncide avec le mois pendant lesquels les gelées sont importantes.

	Jan	Fev	Mars	Av	Mai	Jun	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
<b>Nj de Gelée</b>	15,27	10,18	3,91	0,91	0	0	0	0	0	0,09	4,45	10,18
<b>Nj de Neige</b>	2,09	2,09	1,18	0,27	0	0	0	0	0	0	0,18	1,64

**Tableau 10:** Le nombre moyen des jours de gelées et de neige par mois de la région de Djelfa durant la période (2000-2016).

Source: station météorologique de Djelfa, 2016.

Dans la zone d'étude, il gèle en moyenne 11 jours par l'année. Les gelées se manifestent des mois de novembre jusqu'à un mois de Mars.

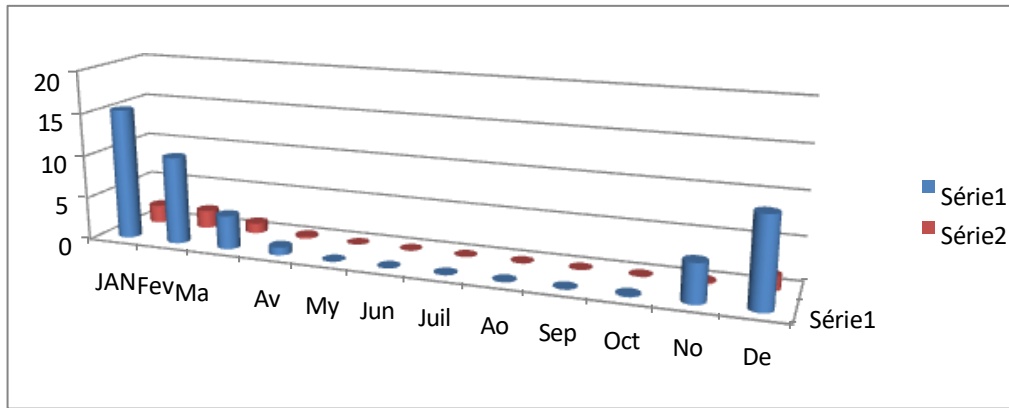


Figure 11: Gelée et Neige de la station de Djelfa durant la période (2000-2016) 1-6-7-

**Synthèse climatique de la zone d'étude :**

**A-Diagramme Ombrothermique de Gaussen et Bagnouls:**

Le diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls permet de calculer la durée de la saison sèche. Il tient compte de la pluviosité moyenne mensuelle et la température moyenne mensuelle qui sont portées sur des axes où l'échelle de la pluviosité est double de la température.

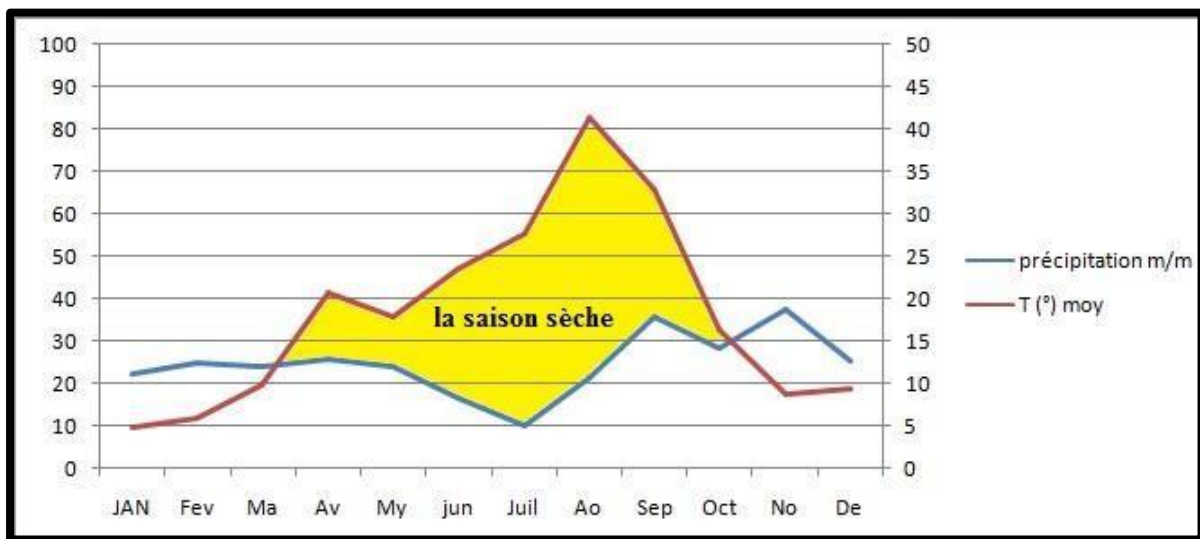


Figure 12: Diagramme Ombrothermique de la zone d'étude (2000-2016).

D'après la **figure 12**, on remarque que la saison sèche s'étend du mois de Septembre jusqu'au mois de Mai ; M'Sila indiquant l'impossibilité d'y pratiquer l'agriculture pluviale, donc la production agricole dépend normalement entièrement de l'irrigation durant l'année agricole.

**B-Climagramme d'Emberger:**

EMBERGER a défini pour le bassin méditerranéen un quotient pluviométrique qui tient compte à la fois de la température et de la pluviométrie qui se calcule comme Suit :

$$Q_2 = 3,43 \frac{P}{M - m}$$

**Q**: Le quotient pluviothermique

**P**: Précipitations moyennes annuelles en mm.

**M**: Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud en Kelvin (°C+273).

**m**: Moyenne des températures minimales du mois le plus froid en Kelvin.

Données	P(mm)	m(°C)	M(°C)	M-m (°C)	Q2
Station(Djelfa)	295,24	1,01	34,47	33,46	30.26

Tableau 11: Valeurs du quotient pluviothermique de la région d'étude.

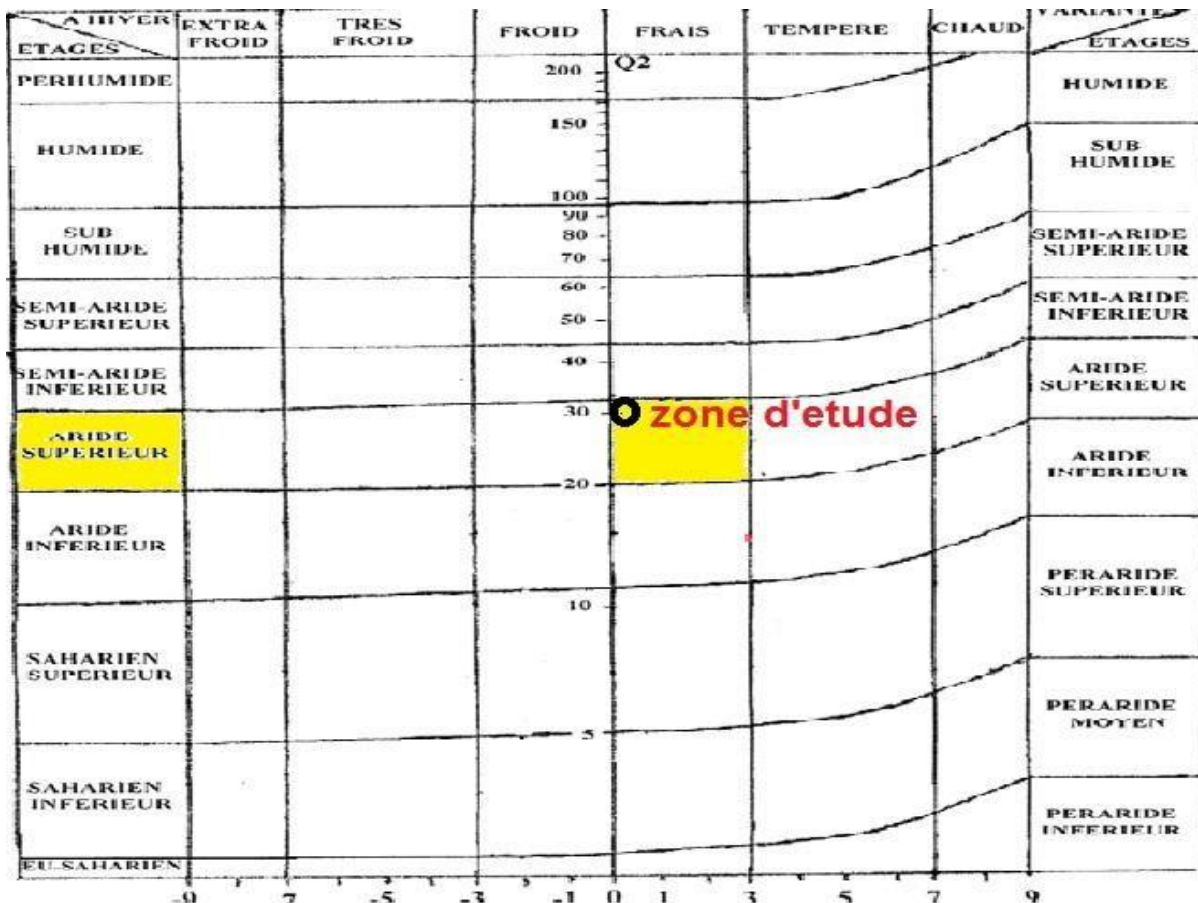


Figure 13: Climagramme d'EMBERGER avec une représentation de l'emplacement du climat de la zone d'étude durant la période qui s'étale entre 2000 et 2016

L'étage bioclimatique dans la région d'étude (Djelfa), aride supérieur sur le diagramme D'EMBERGER.

Suite à la représentation de la valeur de  $Q_2 = 30,26$  sur le Climagramme, nous constatons que notre zone (Djebel Messaad) appartient à l'étage bioclimatique aride supérieur.

## 2- Conclusion:

Au terme de ce chapitre nous pouvons dire que la zone d'étude se caractérise par:

- Une formation géologique de type (cn) crétacé moyennéocène
- De point de vue pédologique, notre sol est alluvial.
- Des précipitations moyennes annuelles de l'ordre de 295,24 mm/an et des températures moyennes de 14,73°C.
- un manque de précipitations qui entraîne l'approvisionnement en cultures de cultures agricoles pendant la saison sèche
- La station de la zone d'étude se situe dans la zone climatique aride supérieure.

## II.

Etat mécanique et sanitaire de peuplement du Pind'Alep dans la forêt de Jebel Messaad (M'Sila)

:

## 2. Matériel et Méthodologie

### 2.1. Matériel utilisé

L'inventaire dendrométrique a été réalisé à l'aide d'un ensemble d'**instruments de terrain**, permettant la collecte rigoureuse des données relatives aux caractéristiques physiques et sanitaires des arbres. Les outils utilisés sont :

- **GPS** : pour la détermination de l'altitude, de l'exposition et de la pente du terrain.
- **Ruban métrique** : pour la mesure de la circonférence des troncs à hauteur standard.
- **Appareil photo numérique** : pour documenter visuellement l'état des peuplements et des arbres.
- **Corde** : utilisée pour délimiter les contours exacts des placettes d'étude.
- **Fiches d'intervention permanente** : permettant de consigner la position et les dimensions (circonférence) des arbres dans chaque placette.
- **Fiches d'évaluation sanitaire** : utilisées pour décrire l'état sanitaire des arbres selon les codes ICP Forest, avec une notation correspondant à l'option choisie.

### 2.2. Méthodologie

L'évaluation de l'état **mécanique** et **sanitaire** des arbres a été menée selon une méthode standardisée reposant sur les étapes suivantes :

- **Inspection visuelle approfondie** depuis la base de l'arbre jusqu'au sommet, en portant une attention particulière aux structures telles que : les racines apparentes, le collet, les charpentières, le houppier (couronne).
- **Test sonore** au maillet sur les parties accessibles de l'arbre afin de détecter d'éventuelles altérations internes du bois. En cas de doute, un sondage complémentaire a été réalisé à l'aide d'un **résistographe** pour évaluer la profondeur et l'étendue des altérations.
- **Relevé des défauts mécaniques majeurs** et estimation de leur impact sur la solidité de la structure concernée.
- **Identification des parasites ou pathogènes** présents (insectes, champignons, etc.).
- **Évaluation du niveau de risque** (chute, rupture) et estimation de la durée de maintien possible de l'arbre en condition de sécurité.

Ce diagnostic permet ainsi d'établir des recommandations précises quant à la **gestion sanitaire**, la **conservation des reboisements**, ou la **sécurisation du site** en cas de danger potentiel.

### 2.3. Choix des placettes

Dans le cadre de ce travail, plusieurs **placettes d'échantillonnage** ont été sélectionnées de manière à représenter de façon fiable les différents peuplements forestiers de la zone. Chaque placette couvre une superficie **standardisée de 900 m<sup>2</sup>** (soit un carré de 30 m × 30 m). La délimitation des placettes a été effectuée à l'aide d'un **mètre ruban**, comme illustré dans la **figure 14**. Les détails de ces parcelles sont présentés dans le **tableau 18**.

Parcelle	Coordonnées géographiques	
	Latitude	Longitude
P1		
P2		
Pn		

Tableau 12. Les coordonnées géographiques des parcelles de pin d'Alep.



Figure 14. Délimitation des parcelles dans la forêt de Pin d'Alep (2025)

### 2.1. Choix des individus :

Lors de notre expérimentation, les arbres qui sont à l'intérieur des parcelles sont pris en considération. L'observation se fait à partir du premier arbre dans le sens d'aiguilles d'une montre (fig. 15).

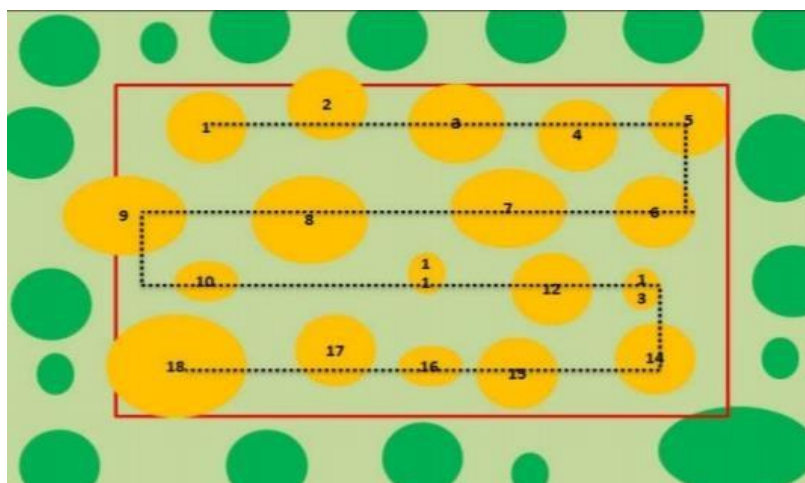


Figure 15. Méthode d'échantillonnage des arbres dans les parcelles.

## 2.2. Mesures des paramètres dendrométriques:

Les arbres de chaque station ont fait l'objet de mesures qui ont porté sur les paramètres dendrométriques suivant :

### a. Mesure de la circonférence à 1.30 m du sol:

La mesure de la circonférence est faite à l'aide d'un ruban gradué, son utilisation nécessite toutefois des précautions à prendre, sinon on risque de sous-estimer ou alors de surestimer la valeur réelle (fig.16).



Figure 16. Mesure de la circonférence d'un arbre (2025)

### b. Mesure de la hauteur des arbres :

Après la grosseur d'un arbre, la hauteur est la caractéristique la plus importante à mesurer ou à estimer en vue de déterminer le volume à certaines conditions. Elle joue un rôle essentiel dans la caractéristique de la productivité des milieux forestiers (Rondeaux, 1993).

Ce paramètre a été estimé à l'aide d'une application Measure Height. (fig.20)



Figure 17. Mesure de la hauteur des arbres (2025)

### 2.3. Evaluations de l'état sanitaire du Pin D'Alep:

La méthode DEPEFEU est un protocole d'évaluation des dépérissements qui se base sur des critères comme la réduction de croissance, la répartition de la masse foliaire au sein du houppier, la transparence du houppier (densité du feuillage), la mortalité d'organes pérennes ou la simplification de la ramification (Nageleisen, 2000). Chacun des critères fait l'objet d'une cotation, les cotations étant finalement réunies dans une note synthétique de 5 niveaux (tab. 13).

Classe sanitaire	Etat
0	Sain
1	Dépérissement léger
2	Dépérissement moyen
3	Dépérissement grave
4	Mort du houppier

**Tableau 13: Les cinq classes sanitaires du protocole DEPEFEU (Nageleisen, 2000)**

### Chlorophylle:

La teneur en chlorophylle est mesurée à l'aide de l'appareil chlorophyllemètre (Spad). Le Spad donne une mesure numérique comprise entre 0 et 99.9 qui est corrélée à la teneur en chlorophylle.

### 2.4. La description des conditions d'observation:

- *Visibilité*

La visibilité d'un houppier correspond aux conditions sous lesquelles le houppier évaluable peut être vu à partir du sol. Les niveaux suivants (tab.14) sont utilisés pour le houppier évaluable (Braem, 2009).

Niveau	Description
1	Houppier entièrement visible
2	houppier partiellement visible
3	houppier partiellement visible mais à contre-jour
4	houppier non visible

**Tableau 14: Les niveaux de visibilité utilisés pour le houppier évaluable.**

- *Statut social*

Le statut social est une mesure relative de la taille et de la place d'un arbre par rapport aux arbres environnants (Braem, 2009). Quatre classes sont définies (Eichhorn *et al.*, 2010), elles sont décrites dans (tab 15).

Statut	Description
1	Dominant (ou arbre en croissance libre)
2	Co-dominant: arbres dont les houppiers s'insèrent dans la masse générale de la canopée
3	Sous-dominant: arbres dans les houppiers touchent la canopée mais de taille plus faible que la moyenne
4	Dominé: arbres largement dépassés par les autres et ne recevant aucune lumière directe.

**Tableau 15: Classes de statuts sociaux des arbres.**

- *L'état de l'houpier*

L'houpier est constitué d'un couvert léger en raison de son feuillage grêle et de sa ramification peu serrée. En peuplement, il est de forme arrondie, étroit et haut. En situation isolée, l'arbre développe un port large et étalé. Il est aussi de forme élancée en peuplement serré ou chez les jeunes sujets (tab. 16)

Classe	Description
0	Absence de symptômes: houpier bien développé, ramification secondaires Et aucune branche morte dans la partie supérieure du houpier
1	Rameaux fins desséchés dans la périphérie du houpier, ramification Secondaires peu abondantes
2	Branches mortes dans la moitié supérieure du houpier mais représentant Moins de 50% du houpier. Cime coupée
3	Branches mortes composant plus de 50% du houpier. peu de ramifications.
4	Houpier mort

**Tableau 16: protocole de DEPEFEU synthétique pour les parcelles des résineux.**

- *La défoliation*

La défoliation est définie comme la perte foliaire dans la partie évaluable du houppier, par comparaison à un arbre sain de référence. L'évaluation de la défoliation ne préjuge pas des causes de défoliation. C'est une stricte quantification d'un volume de biomasse. La défoliation est évaluée par intervalles de 5%. Un score de 100% est donné aux arbres morts (UNECE, 2006).

- *Structure du houppier*

La structure du houppier est définie comme l'architecture des organes aériens de l'arbre. Elle varie avec le temps et selon différents stades de développement. La perte de vitalité se traduit par une simplification progressive de la ramification. L'évaluation se base sur le degré de simplification de la ramification. Le manuel ICP Forest (UNECE, 2006) propose quatre catégories (« houppier dense », « simplification légère », « simplification sévère », « déclin ») pour les pins, les chênes et le hêtre, décrites par des critères indicatifs et des illustrations.

- *Autres signes diagnostiques*

**La décoloration des feuilles:** La décoloration est définie comme toute altération de la couleur normale du feuillage de l'espèce.

**La couleur de bois:** la décoloration est définie comme toute altération de la couleur normale du bois.

**La fructification :** est le processus biologique de développement des fruits. Elle est contrôlée par l'environnement (photopériode, humidité, température, mécanismes de pollinisation, etc.) et la physiologie de la plante. Dans le cas de l'évaluation de l'état sanitaire, il s'agit d'estimer la fructification dans le houppier. Seuls les fruits produits au cours de l'année de l'évaluation doivent être pris en compte (tab.17).

Niveau	Description.
1	Fructification absente ou rare.
2	Fructification visible.
3	Fructification abondante, au point de dominer l'aspect visuel de l'arbre.

**Tableau 17: les niveaux de fructification.**

# CHAPITRE III: Résultats et discussion

Située dans le **massif du Hodna**, la **forêt de Djebel Messaad** constitue l'une des **plus remarquables pinèdes de la wilaya de M'Sila**. Sa **conservation** et sa **protection** s'inscrivent aujourd'hui parmi les **priorités majeures** du développement territorial durable dans la région.

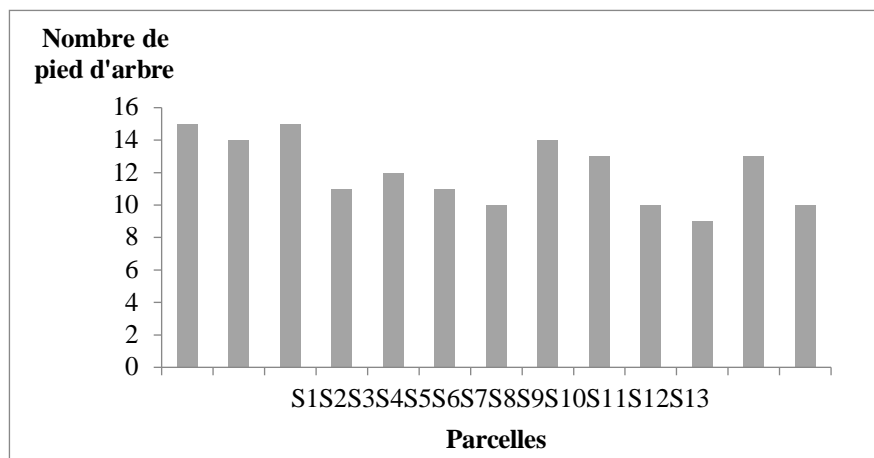
Cette formation forestière est composée **essentiellement de pin d'Alep (Pinus halepensis)**, essence dominante en Algérie, aussi bien en termes **de répartition** que de **surface occupée**. Outre son **rôle écologique indéniable** (lutte contre l'érosion, fixation des sols, amélioration du microclimat, refuge pour la biodiversité...), le pin d'Alep présente également **un intérêt productif notable**, proportionnel à l'étendue de ses peuplements.

L'**évaluation** de cette productivité forestière, ainsi que son **interprétation**, nécessitent le recours à des **méthodes analytiques et techniques variées**, intégrant des **facteurs écologiques, dendrométriques et anthropiques**. Toutefois, dans le cadre de prévisions de croissance ou de l'établissement de relations entre les différentes variables structurales, **les paramètres dendrométriques** (diamètre, hauteur, surface terrière, densité...) demeurent **les indicateurs les plus fiables et les plus couramment utilisés** dans l'analyse et la gestion des peuplements.

## 1. Distribution des arbres:

### 1-1- Distribution de la densité des arbres:

Les valeurs de densité des arbres de Pin d'Alep se varient entre 9 à 15 pieds par 500 m<sup>2</sup>.



**Figure 18. Répartition de nombre de pied de Pin d'Alep selon les parcelles de la pinède de Djebel Messaad**

La figure suivante montre que la majorité des arbres sont localisés à la lisière de la parcelle,

D'une manière générale la densité des arbres dans les 13 parcelles étudiées varie d'une parcelle à l'autre.

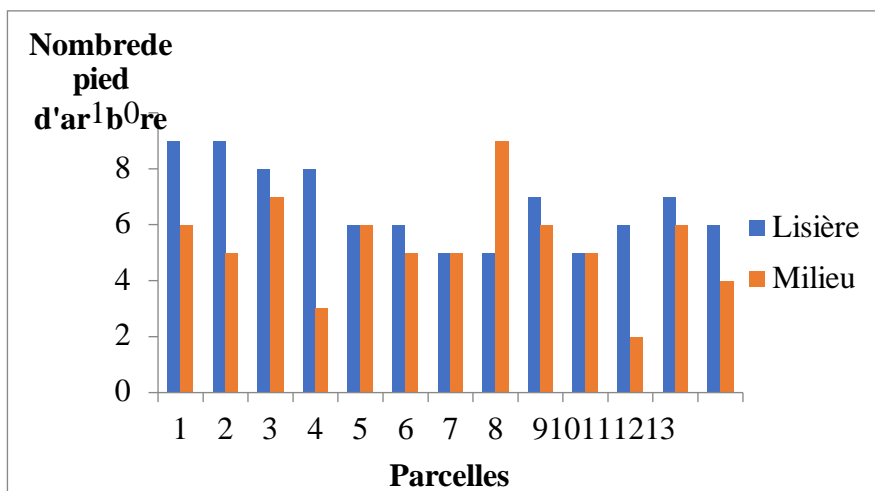


Figure 19: Distribution des pieds d'arbres selon les parcelles de la pinède de Djebel Messaad

**1-2- Corrélation (Répartition/Distribution):**

L'analyse de la corrélation entre la distribution et la répartition des arbres étudiés révèle que la densité moyenne observée dans les parcelles est vraisemblablement due à une disposition des arbres majoritairement en lisière. Cette configuration pourrait être attribuée aux caractéristiques pédologiques locales ou aux effets des changements climatiques.

**2. Analyse des caractéristiques dendrométriques des arbres de Pin d'Alep: 2-1- Distribution des circonférences des arbres :**

Les résultats des mesures du diamètre des arbres échantillonnés dans les 13 parcelles sont illustrés dans la figure 20. La circonférence des pins d'Alep varie entre 18 cm et 145 cm. La parcelle n°2 présente les valeurs les plus faibles, comprises entre 61 cm et 90 cm. Cela suggère une certaine dégradation de cette parcelle, en comparaison avec d'autres où des circonférences supérieures à 100 cm ont été enregistrées."

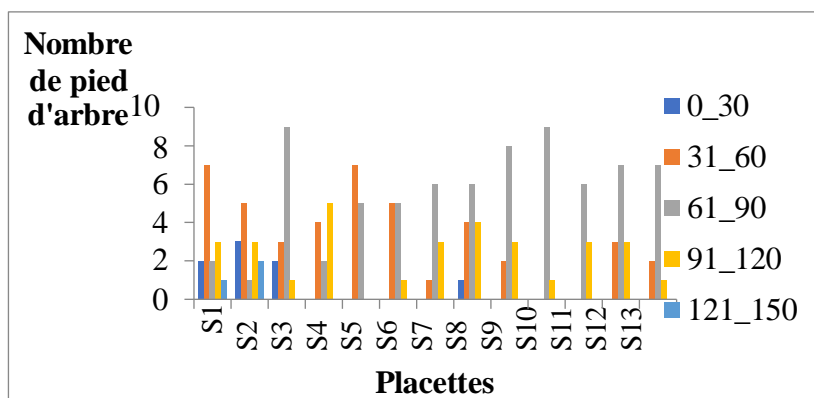


Figure 20. Répartition d'un nombre de pieds d'arbres par classe de circonférence de la pinède de Djebel Messaad

## 2-2- Distribution de la hauteur des arbres de Pin d'Alep:

Les résultats obtenus concernant la hauteur moyenne totale des arbres dans les 13 parcelles étudiées révèlent une distribution irrégulière des individus échantillonnés. La hauteur moyenne varie entre 2,5 m et 12 m. Cette moyenne est relativement faible comparée à celle rapportée par KADIK (1987) pour d'autres pinèdes de l'Atlas Saharien, notamment dans les wilayas de Djelfa et Laghouat, où elle oscille entre 12,5 m et 14,5 m. Cette différence peut être attribuée aux conditions édapho-climatiques particulières de notre zone d'étude, qui constituent un facteur limitant au bon développement de *Pinus halepensis* (Brochiero et al., 1999).

### 2.3 Corrélation entre la hauteur et la circonférence

L'analyse des données montre une corrélation positive entre la hauteur et la circonférence des arbres, ce qui est typique d'une population d'arbres de même âge. En général, plus un arbre est haut, plus son diamètre est important. Cela suggère que le boisement étudié a connu un développement relativement homogène et conforme aux attentes, malgré certaines contraintes environnementales.

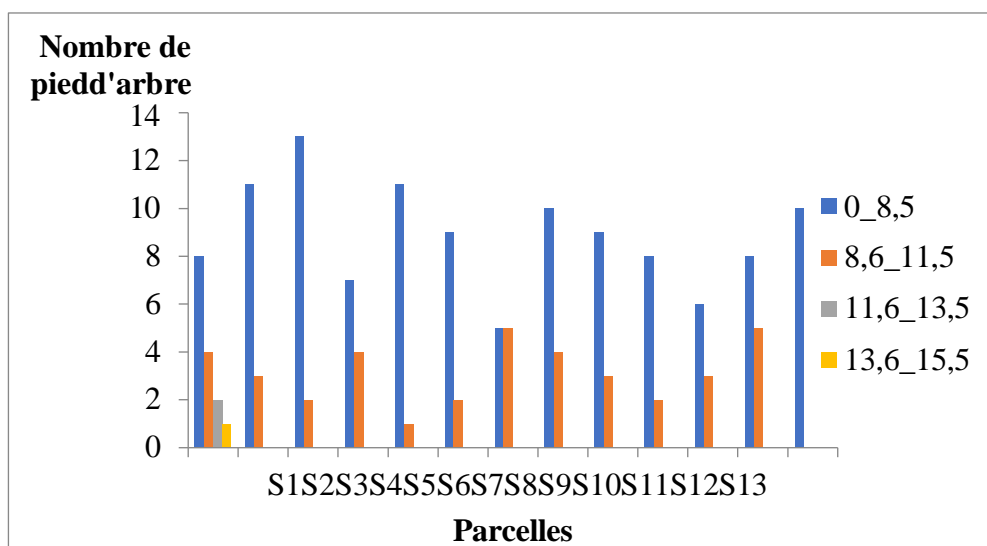


Figure 21. Répartition du nombre de pieds d'arbres par classe de hauteur selon les parcelles de la pinède de Djebel Messaad

## 2. Evaluation de l'état sanitaire des arbres de Pind'Alep:

### 2.1. Etat du houppier:

Afin de caractériser l'état sanitaire des parcelles étudiées, nous allons dans un premier temps analyser les données concernant l'aspect des houppiers. Nous avons constaté que la majorité des arbres sont classés entre (2\_3)

2: dépérissement moyen

3: dépérissement grave

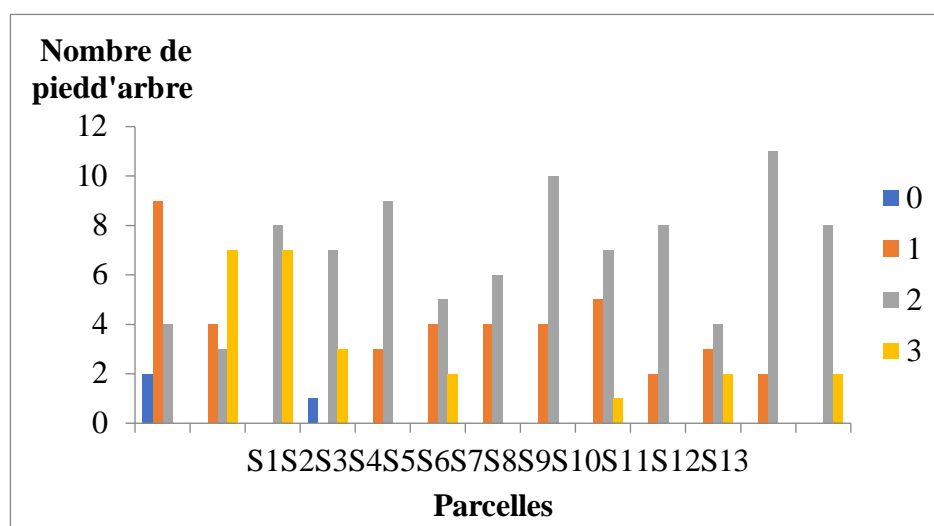


Figure 22. Distribution des arbres de Pind'Alep selon l'état du houppier

### 2.2. Visibilité du houppier:

La majorité des arbres étaient classés sur la classe 1 et 2

1 -entièrement visible

2 -partiellement visible

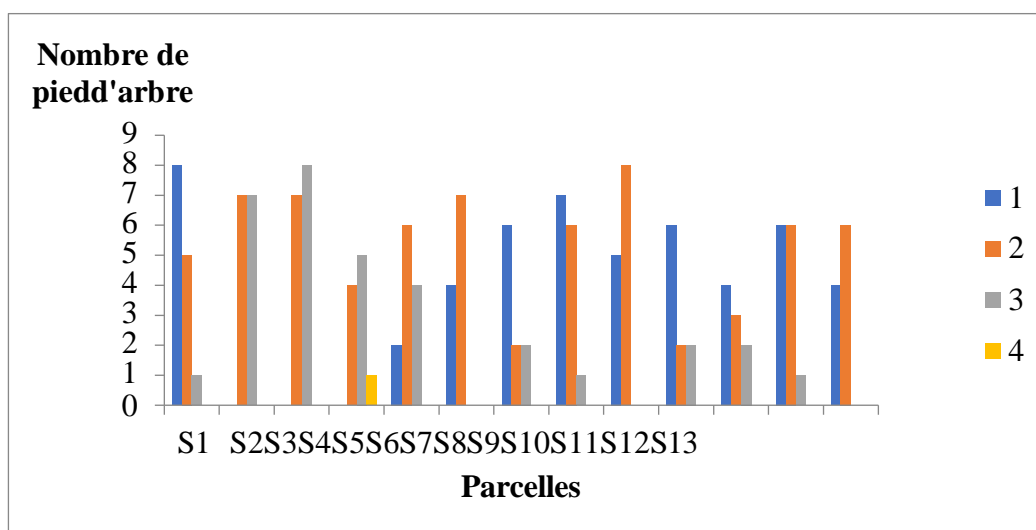


Figure 23. Distribution des arbres de Pin d'Alep selon le niveau de visibilité

### 2.3. Le statut social du huppier:

D'après les analyses des données de notre étude nous avons constaté que la majorité des arbres sont une croissance libre

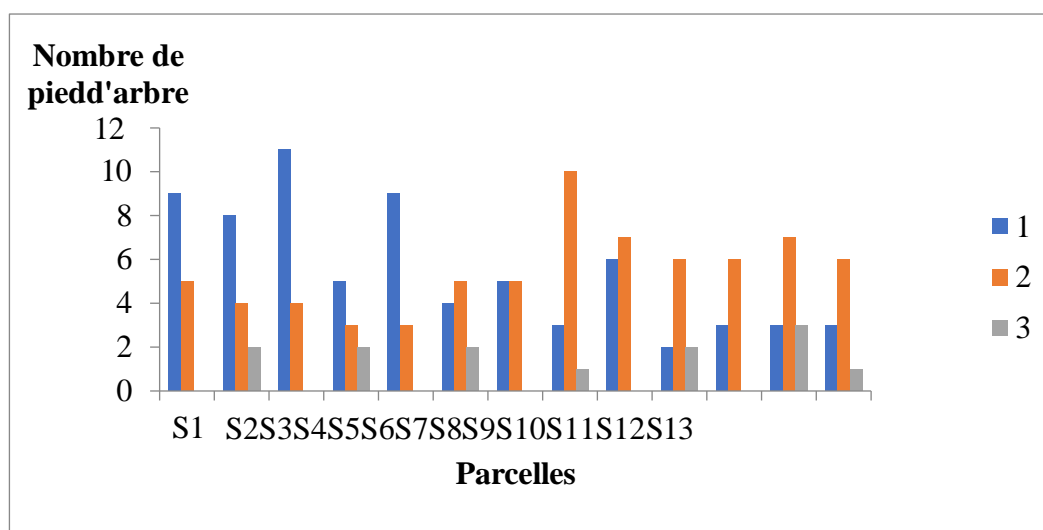


Figure 24. Distribution des arbres de Pin d'Alep selon le statut social.

## 2.4. Couleur des feuilles:

La décoloration est noté en pourcent et correspond à la proportion du feuillage atteint par rapport la totalité des houppier observable.

L'analyse des résultats obtenus indique qu'il y a une différence dans la distribution des arbres de la forêt de Djebel Messaad selon la couleur des feuilles. On a enregistré que la plus part des arbres ayant une coloration normale vert dans les parcelles 1, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 et 13 alors que le reste ont des couleurs anormale réparti comme suit (fig. ) :

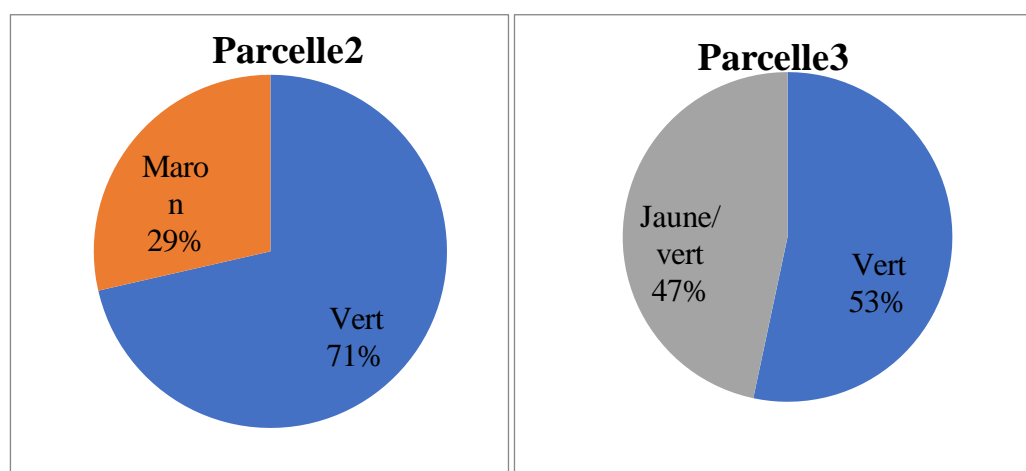


Figure 25. Spectre de la distribution des arbres de Pin d'Alep selon la couleur des feuilles

## 2.5. Fructification:

La figure suivante illustre la fréquence de fructification sur les parcelles 2, 3, 11 et 13 qui se varie entre 57% à 80%. Pour le reste des parcelles, on a noté une fructification abondante dans l'ensemble des arbres.

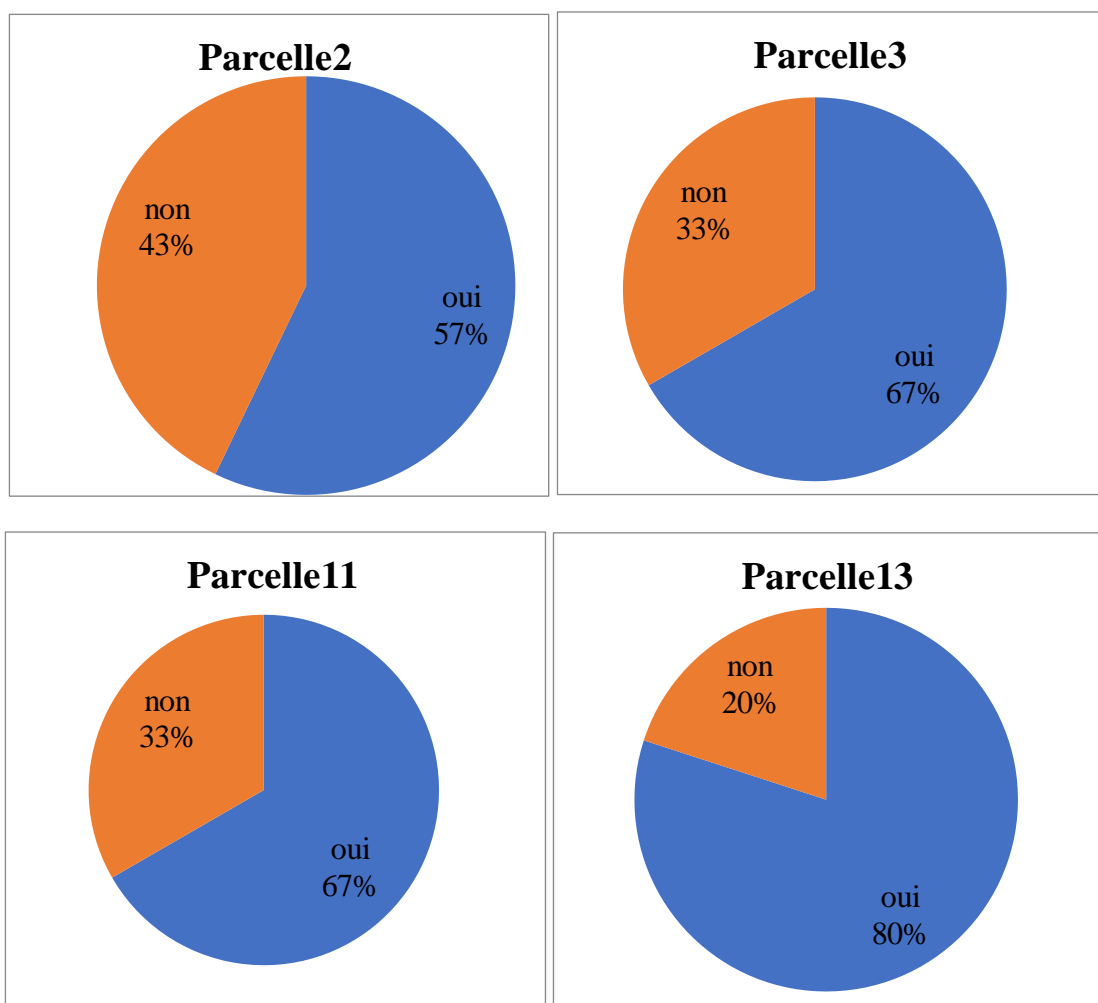


Figure 26. Spectre de distribution des arbres de Pinus Aleppo selon la fructification

### 3. Evaluation de l'état mécanique du bois:

#### 3.1. Présence des défauts de bois:

L'analyse de notre travail montre à l'observateur que la plupart des arbres des parcelles étudiées avaient des défauts, dont les plus observés sont les nœuds avec un taux de 64% par rapport à un taux de 36% de présence des Gélivures, tandis que les fibres torses avec un taux de 15%.

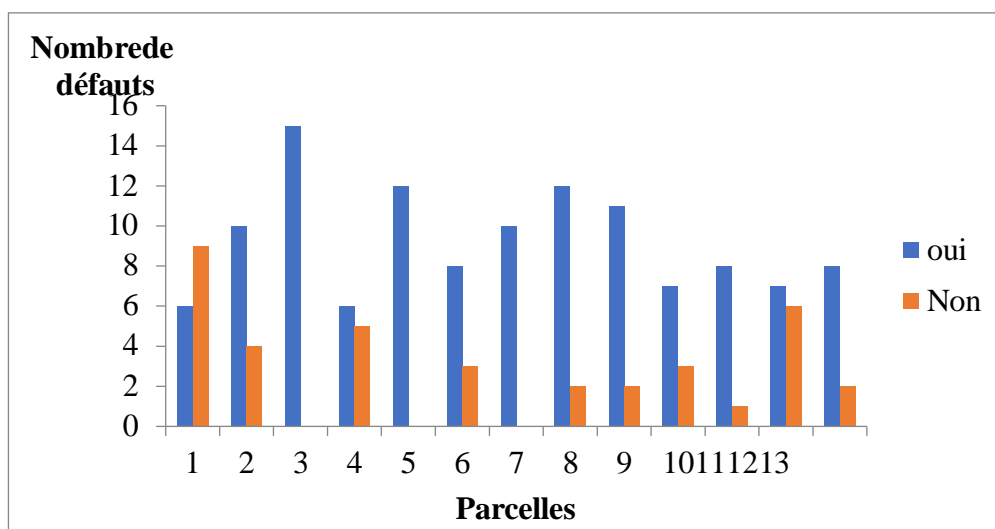


Figure 27. Variation de la présence des défauts des arbres de Pin d'Alep selon les parcelles

### 3.2. Nature des défauts de bois:

#### Lencœud:

Les nœuds sont la trace que l'arbre porte après avoir perdu une branche : il tente de colmater la plaie. Les aléas du milieu, forts vents, verglas, élagueurs des services publics, peuvent arracher des branches à l'arbre. Mais l'arbre en perd aussi de son propre chef. Il fait de l'auto-émondage.

Plus un arbre gagne en volume et en prestance dans le ciel, plus son feuillage supérieur porte ombrage à ses



Figure. 28(2025)

feuilles inférieures et les rend inefficaces. Il faut alors s'en départir

#### La Gélivure :

La Gélivure est également appelée "Eclatement de l'Ecorce".

C'est pas une maladie à proprement parler mais un incident de parcours.

C'est un éclatement de l'écorce des arbres, une fissure qui se produit le plus souvent du côté de l'arbre qui est exposé au soleil.



Figure. 29(2025)

Elles survient le plus souvent au printemps lorsque les écarts de températures entre le jour et la nuit présentent de grosses différences.

Si la gélivure n'est pas dangereuse à proprement parler pour l'arbre, elle est toujours ennuyeuse car elle provoque une ouverture qui favorise la venue des parasites et des maladies.

### Fibre torse:

Les fibres suivent dans leur ensemble un trajet torsadé autour de l'axe de la tige ou de la branche d'un arbre.

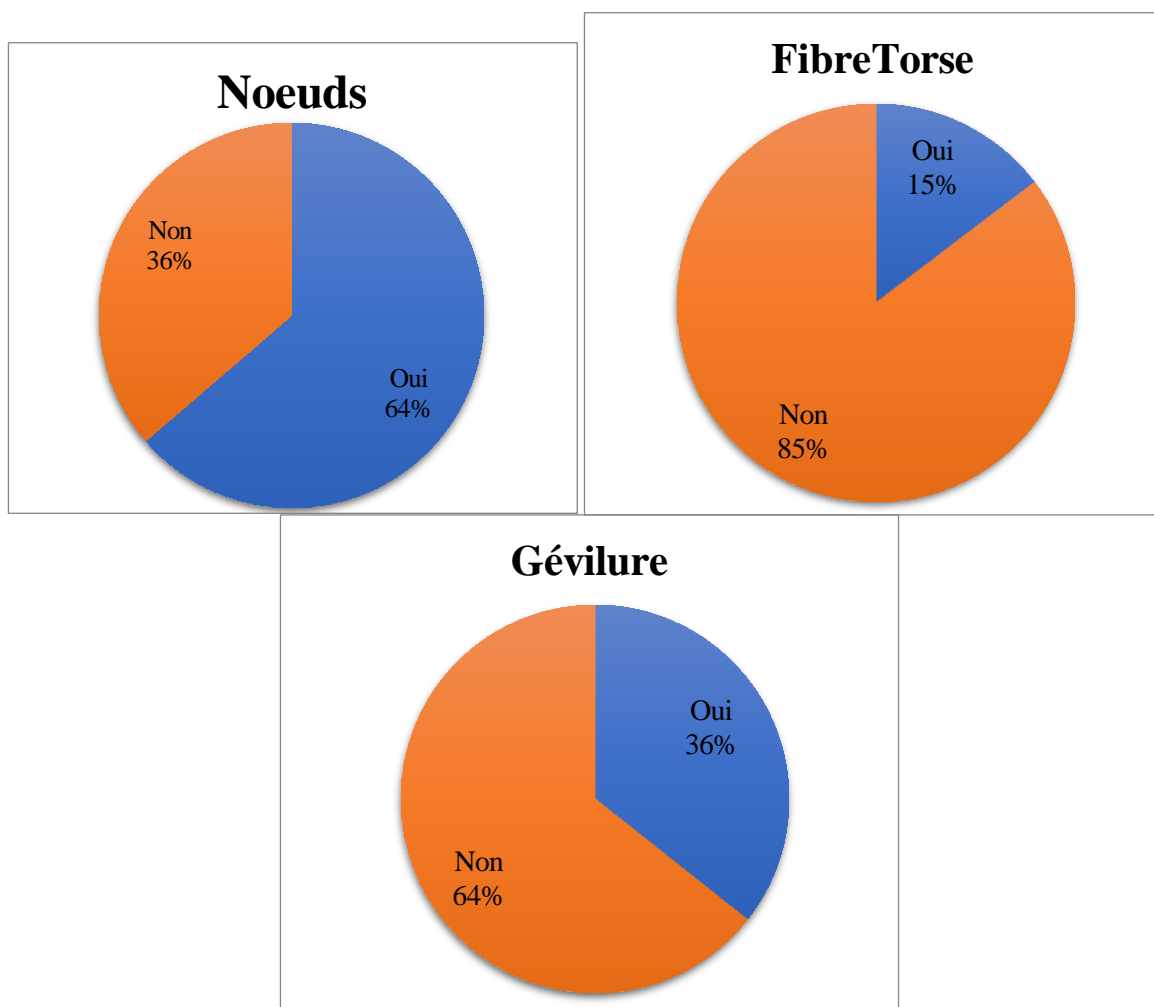


Figure 30: Spectre des taux de répartition de la nature de défauts dans l'ensemble des parcelles

### 3.3. Les insectes:

Une présence de la **Chenille processionnaire** à un taux de **34%**.

L'attaque de la chenille processionnaire du pin (*Traumatocampa pityocampa*:Notodontidae) est bien observée dans les stations d'étude, c'est la plus connue par la circonscription des forêts de Djebel Messaad. Selon ces derniers, le taux de l'infestation de la processionnaire du pin est moyen et diffère d'une parcelle à l'autre. Alors, c'est l'insecte le plus remarquable pendant notre observation dès

la première sortie de prospection sur terrain. Cette dernière provoque des dégâts sur le feuillage et le bois. Malheureusement, aucune action de lutte n'a été constatée durant notre étude.

Le développement de la chenille processionnaire se divise en deux phases, une phase aérienne et une phase souterraine dont la phase aérienne dure cinq à huit mois et comprend plusieurs étapes, de l'émergence des papillons jusqu'à l'enfouissement précédent la nymphose, là où l'apparition des adultes (imagos) a lieu au cours des mois de juillet et août. En suite une période d'éclosion des chenilles qui vont passer par cinq stades nommés de L1 à L5). Dès l'arrivée des premiers froids, la colonie commence la construction du nid d'hiver qui va permettre la survie du groupe (DEMOLIN, 1967)

### **Dégâts forestiers et lutte environnementale**

La chenille processionnaire du pin est l'un des principaux défoliateurs des peuplements résineux de la zone méditerranéenne (HUCHON et DEMOLIN, 1970). Dans les forêts, la présence des chenilles aurait même provoqué la migration du gibier, fuyant les zones souillées par ces insectes, et les importants dégâts enregistrés sur les pins desquels ont été à l'origine d'un affaiblissement de nombreux peuplements, qui les a rendus vulnérables à l'attaque d'insectes sous-corticaux (SCHEINER, 2003).

Un autre défaut que nous avons trouvé pendant le travail au niveau de notre zone d'étude.

C'est un arbre mort à cause des colites champignon.

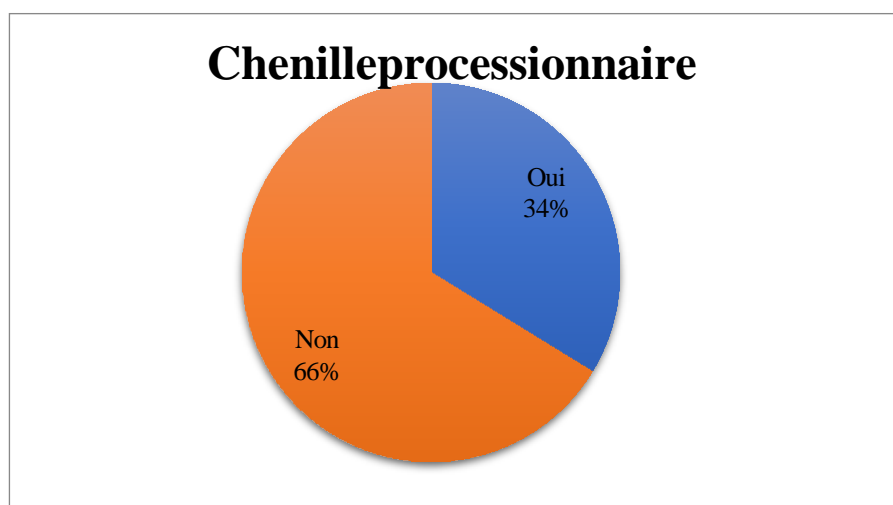


Figure 31: Spectre du taux de présence de la chenille processionnaire dans l'ensemble des parcelles

### 3.4. Couleur du bois:

On observe que la majorité des arbres ont la couleur **Marron** avec un taux de 91% par rapport à un taux de 5% pour la couleur **Marron clair** pour les arbres âgés probablement à cause du changement climatique. Aussi nous avons trouvé la couleur **rouge** de 3% et le **marron foncé** de 1%.

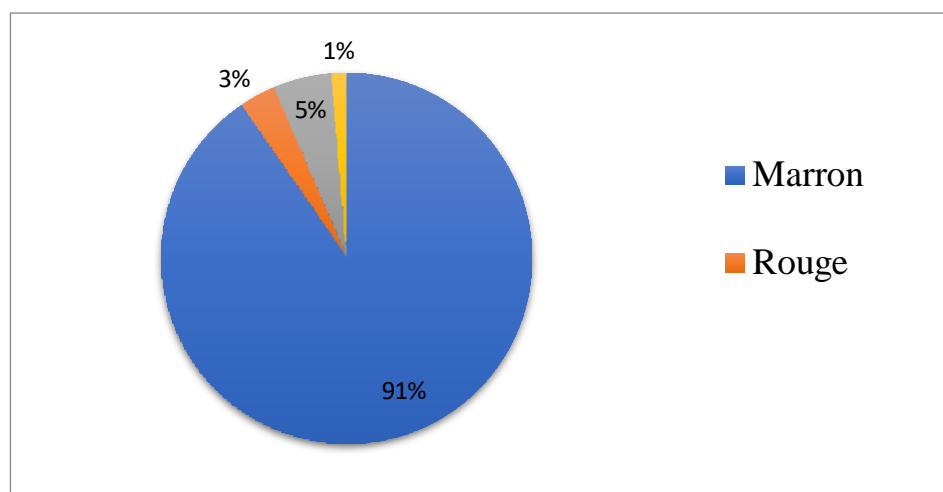


Figure 32. Spectre de distribution des arbres de Pin d'Alep selon la couleur du bois dans l'ensemble des parcelles.

## Conclusion:

La forêt de Djebel Messaad est considérée comme une zone touristique dans la wilaya de M'sila. Cette forêt formée d'un ensemble de espèces résineuses, elle occupe une superficie de 34000 Ha,

La présente étude, vise à caractériser et analyser la structuration et l'état sanitaire et mécanique du peuplement de pin d'Alep de cette forêt.

La collecte des données dendrométriques est faite par un inventaire forestier dans 13 parcelles choisies

Trois types d'analyses ont été réalisés:

### 1. L'analyse structurale:

Les valeurs de densité des arbres de Pin d'Alep se varient entre 9 à 15 pieds par 500 m<sup>2</sup>.

D'une manière générale la densité des arbres dans les 13 parcelles étudiées varie d'une parcelle à l'autre. La circonférence du pin d'Alep se répartit entre (18 cm et 145 cm) On a trouvé que cette circonférence est plus faible dans la parcelle N°2 « entre 61 cm et 90 cm »,

autre coté la hauteur moyenne est variée entre (2,5 m et 12 m). prouve d'une régénération naturelle.

### 2. État mécanique:

Évaluation de l'état mécanique du bois:

#### - Présence des défauts de bois:

L'analyse de notre travail montre à l'observateur que la plupart des arbres des parcelles étudiées ont des défauts, dont les plus observés sont les nœuds avec un taux de 64% par rapport à un taux de 36% de présence des Gélivures, tandis que les fibres torses avec un taux de 15%.

#### - Les insectes : Une présence de la Chenille processionnaire d'un taux de 34%.

L'attaque de la chenille processionnaire du pin (*Traumatocampa pityocampa*: Notodontidae) est bien observée dans les stations d'étude, c'est la plus connue par la circonscription des forêts de Djebel Messaad. Selon ces derniers, le taux de l'infestation de la processionnaire du pin est moyen et diffère d'une parcelle à l'autre. Alors, c'est l'insecte le plus remarquable pendant notre observation dès

la première sortie de prospection sur terrain. Cette dernière provoque des dégâts sur le feuillage et le bois. Malheureusement, aucune action de lutte n'a été constatée durant notre étude.

### 3. États sanitaire:

Après l'analyse des données concernant l'aspect des houppiers. Nous avons constaté que la majorité des arbres sont classés entre (2\_3)

2: dépérissement moyen

3: dépérissement grave

**Lestatut social du houppier:**

D'après les analyses des données de notre étude nous avons constaté que la majorité des arbres ont une croissance libre

L'analyse des résultats obtenus indique qu'il y a une différence dans la distribution des arbres de la forêt de Djebel Messaad selon la couleur des feuilles.

**La Fructification :** on a noté une fructification abondante dans l'ensemble des arbres

En effet, ce travail constitue une base de données pour les forestiers mais, il ne représente qu'une des facettes à prendre en considération en vue de le protéger et de le restaurer.

## ملخص

أجريت الدراسة بمنطقة جبل مسعد بالجنوب الغربي لولاية المسيلة خلال الأشهر مارس، أبريل، مايو 2025 في إطار تقييم أصناف النباتات الجزائرية، قمن بدراسة أشجار صنوبر الحلبي.

مناجلتنا خصائصها وبنيتها الصحية والميكانيكية الأيكولوجية. هذه النبتة لها خصائص مصمور فولوجية و فيز يولوجية تسمح لها بتحمل لظروف المناخية للمناطق الشبه الجافة. الهدف من هذا العمل هو تقييم الجدوى الغابية بمتابعة ومراقبة الوضع الحالي لهذه الغابة بما في ذلك الغطاء النباتي والضغط المؤثر، جمع تلك المعطيات عن طريق جرد 13 محطة اختيار تبعناية حسب الارتفاعات باتجاه الجيوغرافي.

ومخلات تحليل النتائج وجدنا أن استمرار فترات الجفاف هو أهم العوامل التي تؤثر على الحالة الصحية والبنية الميكانيكية للأشجار

ومن جهة أخرى وجود الحشرات الضارة التي تمسح حوالي 34% من الأشجار مما أدت إلى موتها

كاقترح، منا لحماية كثافة وتوزيع الأشجار بشكل جيد ومناج لغطاء نباتي في المستوى نطالب بزيادة التشجير بالمنطقة

## Abstract

The study was conducted in the Djebel Messad region in the south west of the region of M'sila in Algeria during the months of March, April, May 2025. In the framework of evaluating Algerian plant varieties, we studied Aleppo pine trees.

For the diversity of its properties and its hygienic and mechanical-ecological structure. This plant has morphological and physiological characteristics that allow it to withstand the climatic conditions of semi-arid regions. The aim of this work is to assess the forest viability by following up and monitoring the current state of this forest, including the vegetation cover and the affecting pressures. All data we recollect through a forest inventory of 13 stations chosen according to altitude and geographic orientation. By analyzing the results, we found that the persistence of drought periods is the most important factor affecting the health status and mechanical structure of trees on the other hand, the presence of harmful insects that touched about 34% of the trees, which led to their death

As a suggestion, in order to protect the density and distribution of trees well and for a level vegetation cover we demand increased afforestation in the region and an insecticidal solution Chenille processionnaire.

## Résumé

L'étude a été menée dans la région de Djbel Messaëda sud-ouest de la wilaya de M'sila durant les mois de mars, avril, mai 2025. Dans le cadre de l'évaluation des variétés végétales algériennes, nous avons étudié le peuplement du pin d'Alep.

Pour la diversité de ses propriétés et sa structure sanitaire et mécano-écologique. Cette plante possède des caractéristiques morphologiques et physiologiques qui lui permettent de résister aux conditions climatiques des zones semi-arides. L'objectif de ce travail est d'évaluer la viabilité de la forêt en suivant et en surveillant l'état actuel de cette forêt, y compris le couvert végétal et les pressions qu'il exerce. Toutes les données ont été recueillies grâce à un inventaire forestier de 13 stations (parcelles) choisies en fonction de l'altitude et de l'orientation géographique.

En analysant les résultats, nous avons constaté que la persistance des périodes de sécheresse est le facteur le plus important affectant l'état de santé et la structure mécanique des arbres.

D'autre part, la présence d'insectes nuisibles qui ont touché environ 34% des arbres, ce qui a entraîné leur mort.

À titre indicatif, afin de bien protéger la densité et la répartition des arbres et pour un couvert végétal homogène.

Nous proposons une opération de reboisement le plus possible dans la région et une solution de lutte contre la chenille processionnaire dans le plus bref délai.

**Most clés: pin d'alep-état sanitaire-état mécanique**

## Référence bibliographique:

1. ABI-SALEHB., BARBEROM., NAHAL et QUÉZELP., (1976). Les séries forestières de végétation au Liban. essai d'interprétation schématique. *Bull. Soc. Bot. Fr.* 123. 541 -560.
2. AGGOUNA., (2016). Evaluation d'un projet de reboisement dans la wilaya de Naâma « Projet 400 Ha TOUADJEUR » Mem .Master 2 .Univ. Tiaret.
3. ALLENC.D., MACALADYA.K., CHENCHOUNIH., BACHELET D., MCDOWELL N., VENNETIER M., KITZBERGER T., RIGLINGA., BRESHEARS D.D., HOGG E.H., GONZALEZ P., FENSHAM R., ZHANG Z., CASTRO J., DEMIDOVAN., LIM J.H., ALLARD G., RUNNING S.W., SEMERCIA., COBB N., (2010). A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. In *Forest Ecology and Management*. 259. p:660-684.
4. AMARAM., (2010). Diagnostic phytoécologique d'une zone humide en milieu steppique cas « Oglat Ed दौरا », commune Ain Ben Khelil . Wde Naâma. Mém. Mag. Foresterie. Univ. Tlemcen. 142 p.
5. AMARASEKARE, P. and SIFUENTES R., (2012). Elucidating the temperature response of survivorship in insects. *Functional Ecology*. 26. 959–968
6. AMMARIY., SGHAIERT., KHALDIA. et GARCHIS., (2001). Productivité d'un pin d'Alep en Tunisie: Table de production. *Annales de L'INGREF N° Spécial*. 239-246.
7. ANDRZEJS., (1986). Ecology of forest insects, *drw. junk publishers series entomologica*, (50). 602-610.
8. ANONYME., (2009). Etude du plan d'aménagement du territoire de la wilaya de Naama. Phase II : orientations générales, enjeux et schémas prospectifs d'aménagement. 91 p.
9. AURIVILLIUS C., (1912). *Cerambycidae: Cerambycinae*. In *Coleopterorum Catalogus*,. Vol. 22(39). Ed. S. Schenkling, Berlin. Junk.
10. BABST F., POULTER B., TROUET V., TANK., NEUWIRTH B., WILSON R., CARRER M., GRABNER M., TEGEL W., LEVANICT., (2013). Site and species specific responses of forest growth to climate across the European continent. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 22. 706-717.
11. BAGNOULS F., et GAUSSEN H., (1953). Saisons sèche et indice xérothermique. *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse* (88). 3-4 .193-239.
12. BALACHOWSKY A.S., (1949) *Coléoptères Scolytides*. Faune de France, N° 50. P. Lechevalier, Paris. 320 p.
13. BALACHOWSKY A., (1949). Coléoptères scolytides faune de France, *Ouvrage publié avec le concours du centre National de la Recherche Scientifique*. 320 pages
14. BALACHOWSKY A.S., (1963). *Entomologie appliquée à l'Agriculture*, Tome 1. Vol. 2, Paris, Masson. 1391 p
15. BARBEROM., CHALABIN., NAHAL 1., et QUÉZELP., (1976). Les formations à Conifères méditerranéennes en Syrie littorale. *Ecol. Médit.* 2, Marseille. 87-99
16. BEDEL J., (1986). Aménagement et gestion des peuplements de *Pinus halepensis* dans la zone méditerranéenne française. Options méditerranéennes. Série d'étude CIHEAM 86/1. 127- 156.

17. BEKERM.,PICARDJ.FetTIMBALJ.,(1982).Laroussedesarbresetarbustesde l'Europe occidentale Librairie Larousse, Paris, 330 p.
18. BENABDELIK.,(1996).Aspectsphysionomico -structuraletdynamiquedesécosystèmes forestiersfaceà la pressionanthropozoogènédanslesmontsdeTlemcenetlesmontsdeDhaya (Algérie septentrionale occidentale) -Thèse Doct. Etat en Biol. 2T. Univ. S.B.Abbès. 356 p.
19. BENABIDA.,(1994).Biogéographiephytosociologieetphytodynamiquedescédraiesde l'Atlas *Cedrusatlantica*(Manetti). *Ann. Rech For Maroc.* t. XXVII. 61-76.
20. BENMEDDAH.,(2010).Lesmutationsspatialesd'unmilieuforestier:casdelaforêtde Zarifet (Tlemcen). *Mém. Ing. dép, fores. Fac. Sci. Univ. Tlemcen.* 91p.
21. BENSALD.,(1995).BilancritiquedubarragevertenAlgérie.*Rev.Sécheressen*°3,vol. 6, septembre 1995. 247-255.
22. BENSEU.,(1995).Longicornbeetles:illustratedkeytotheCerambycidaeandVesperidae of Europe. Weikersheim: Margraf.
23. BENTOUATIA.etBARITEAUM.,(2006).RéflexionsurledépérissementduCèdrede l'Atlas desAurès (Algérie). *Forêt Méditerranéenne*, t. XXVII (4). 317-322.
24. BENTOUATIA.,(2006).Croissance,productivitéetaménagementdesforêtsdepin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) du massif de OuledYagoub (Khenchela –Aurès). Thèsededoctorat.Inst.d'Agronomie.Univ.Batna.107p.
25. BENTOUATIA.,(2008).LasituationduCèdredel'AtlasdanslesAurès(Algérie). *Forêt Méditerranéenne*. t. XXIX. (2) 203-208.
26. BENTOUATIA.,OUDJEHIHBetALATOUD.,(2005).Croissanceenhauteurdominante et classes de fertilité du pin d'Alep dans le massif de OuledYakoub et des Beni Oudjana (Khenchela- Aurès). *Sci. Tech.* 23: 57-62.
27. BORGHETTIM.,MAGNANIF.,FABRIZIOA.,SARACINO.,(2004).Facingdrought inaMediterraneanpost-firecommunity:tissuewaterrelationsinspecieswithdifferentlifetraits. *ActaOecol.*,(25)1-2:67-72.
28. BOUDYP.(1952).GuideduforestierenAfriquedunord.Lamaisonrustique,Paris.245- 258.
29. BRADBURY.,P.M.,(1998).Theeffectsoftheburntpinelonghornbeetleandwoodstaining fungi on firedamaged*Pinus radiata*in Canterbury. *New ZealandForestry* 43.28-31.
30. BRÉDAN.,HUCR.,GRANIERA.,DREYERE.,(2006).Temperateforesttreesandstands underseveredrought: areview of ecophysiologicalresponses, adaptation processes and long-termconsequences. *Ann. For. Sci.* 63.625-644.
31. BROCHIÉROF.,(1997).Écologieetcroissancedupind'AlepenProvencecalcaire. Mémoire de fin d'étude CEMAGRFAIX en Provence. ENREF. 73 p.
32. BROCHIÉROF.,CHANDIOUXO.,RIPERTC.,etVENNETIERM.,(1999). Autécologieetcroissancedupind'AlepenProvencecalcaire. *ForêtMéd.*20.83-94.
33. BROCKERHOFF,E.G.,andHOSKING,G.P.2001.*Arhopalustristis*(F.)(D *Arhopalusferus*(Mulsant)] (Coleoptera: Cerambycidae), Burnt pine longhorn. Forest and TimberInsectsinNewZealandNo.27.ForestResearch,Rotorua,NewZealand.(inpress).

34. BRONSTEIN, J.L., ALARCON, R., and GEBERM., (2006). The evolution of plant–insect mutualisms. In *New Phytologist* 172. p. 412-428.
35. BYERS J., (1992). Attraction of bark beetles, *Tomicus piniperda*, *Hylurgops palliatus*, and *Trypodendron domesticum* and other insects to short-chain alcohols and monoterpenes. In *Journal of Chemical Ecology* 18. 2385-2402.
36. CAILLERET M., NOURTIER M., AMMA., DURAND-GILLMANN M., AND DAVIH., (2013). Drought-induced decline and mortality of silver fir differ among three sites in Southern France. In *Annals of Forest Science*. 1-15.
37. CAMARERO J.J., CORCUERAL., PEÑUELAS J., GIL-PELEGRÍNE., (2004). Cambio global y decaimiento del bosque. In: Valladares, F. (Ed.), *Ecología del Bosque Mediterráneo en un Mundo Cambiante*. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid. 397-423.
38. CANNON K.F., ROBINSON W.H., (1982). An artificial diet for the laboratory rearing of the oldhouse borer, *Hylotrupes bajulus* (Coleoptera: Cerambycidae). *Canadian Entomologist*, 114. 739-742.
39. CARNICER J., COLL M., NINYEROLAM., PONS X., SANCHEZ G., PEÑUELAS J., (2011). Widespread crown condition decline, food web disruption, and amplified tree mortality with increased climate change-typed drought. *Proc. Natl. Acad. Sci, USA* 108: 1474-1478.
40. CHAKROUN M.L., (1986). Lepind' Alepen Tunisie. *Options Méditerranéennes. Série Étude CIHEAM* 86/1 : 25-27.
41. CHEMSAK J.A., LINSLEY E.G., (1965). New genera and species of North American Cerambycidae (Coleoptera). *The Pan-Pacific Entomologist* 41. 141- 153.
42. CLARKE A. and FRASER K.P.P., (2004). Why does metabolism scale with temperature?
43. *Functional Ecology* 18, 243–251.
44. DAGET P., (1977). Le bioclimat méditerranéen: caractères généraux, modes de caractérisation. *Vegetatio* 34. 1-20.
45. DAGET P.H., (1977). Le bioclimat méditerranéen, analyse des formes par le système d'Emberger. *Végétation*. 34(2). 78-124.
46. DAHMANN M., (1986). Les produits du pin d' Alepen Tunisie. option 86/1 CIHEAM.
47. DALLMEIER F., (1992). (ed) Long-term Monitoring of biological Diversity in Tropical forest Areas: methods for Establishment and Inventory of permanent plots. M.A.B. Digest 11. United Nations Educational, Scie. and Cultural Organization (UNESCO). Paris, France. 72p.
48. De MARTONNE E., (1923). *Traité de géographie physique I, notions générales, hydrographie*. Ed. A. Colin. Paris. 496p.
49. DEBRACH J., (1953). Notes sur les climats du Maroc occidental. *Maroc Méridiona*. 32. 1122–1134.
50. DÉMOLING., (1967). Grégairisme et subsocialité chez *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. Nid d'hiver - activité de tissage. C. R. Ve congrès de l'union internationale pour l'étude des insectes sociaux. 69 p.

51. DENTAN D.F., (2008). Dépérissement forestier des Alpes maritimes. Actions déjà entreprises par les communes forestières et l'Office National des Forêts. *Forêt méditerranéenne*. t. XXIX. (2). 195-200.
52. DJEBAILIS., ACHOURA., DJELLOULIY. et KADIKL., (1982). Carte phytogéographique de l'Algérie: Mécheria. Carte publiée par le Centre de recherches sur les Ressources Biologiques Terrestres (CRBT). Alger, Algérie.
53. DJEBAILIS., (1984). Steppe Algérienne phytosociologie et écologie, Alger. Office des publications universitaires. 178 p.
54. DOBBERTIN M., BRANGP., (2001). Crown defoliation improves tree mortality models. *For. Ecol. Manag.* 141. 271-284.
55. DOMINIK J., (1968). Results of observations on the role of some physical environmental factors in the limitation of the abundance of insects developing in wood. (In Polish.), *Sylvan.* 112. 19-23.
56. DROBYSHEV I., LINDERSON H., SONESSON K., (2007). Relationship between crown condition and tree diameter growth in southern Swedish oaks. *Environ. Monit. Assess.* 128. 61-73.
57. DUCHENE., (2003). Marie. Guide des arbres et arbustes. France: sélection du Reader's digest. 319p.
58. DUFFY E.A.J., (1968). A monograph of the immature stages of Oriental timber beetles (*Cerambycidae*). London: The British Museum (Natural History).
59. DURAND-GILLMANN M., (2014). Interactions plantes-insectes dans deux écosystèmes forestiers méditerranéens contrastés le cas des scolytes (Coleoptera : Curculionidae : Scolytinae) en région méditerranéenne. Thèse Doctorale en sciences de l'environnement. Aix - Marseille université, France. 176p
60. DURAND-GILLMANN, M., CAILLERET, M., BOIVIN, T., NAGELEISEN, L.-M.,
61. ELKHORCHANIA., GADBIN-HENRY C., BOUZIDS., KHALDIA., (2007). The impact of drought on the growth of three forest species in Tunisia (*Pinus halepensis* Mill., *Pinus pinea* L. et *Pinus pinaster* Sol.), *Sécheresse*. (18) 2. 113-121.
62. EMBERGER L., (1930). La végétation de la région méditerranéenne. Essai d'une classification des groupements végétaux. *Rev. Gen. Bot.* 42. pp 705-721p.
63. EMBERGER L., (1955). Une classification biogéographique des climats. *Rec. Trav. Lab. Géol. Bot. Zool. Fac. Sci. Montpellier* . (7) .pp : 1-47.
64. FABRE J.P., MOUNAM., DUMERLE P. et BENHALIMAS., (1999). Les points sur certains ravageurs du cèdre de l'Atlas en Afrique du Nord, en France et en Europe, forêt ml/liter l'BRéeRRe t. XX, N 4. 203-218.
65. FAO., (2011). Guide pour la mise en œuvre des normes phytosanitaires dans le secteur forestier. Bonnes pratiques pour la protection sanitaire des forêts Études FAO: forêts (FAO ed.), Rome. 116p.
66. FAO., (2017). TP23: Traitement par fumigation au fluorure de sulfure contre les nématodes et insectes présents dans le bois corcé. Traitements phytosanitaires contre les organismes nuisibles réglementés NIMP 28 (normes internationales pour les mesures phytosanitaires 28). annexe 23.8p.

67. FARJONA.K.,(1996).BiodiversityofPinus(Pinaceae)inMexico:Speciationand palaeoendemism. *Bot. J. Linn. Soc.*, London .121(4). 365-384.
68. FAURIEC.,FARRAC.etMEDORIP.,(1980).Écologie.Éd.BaillièreJ.-B.Paris,168p.
69. FISCHERC.andHÖLLW.,(1992).Foodreservesofscotspine(Pinus sylvestrisL.).In *Trees*6.147-155.
70. FORKNER R.E., MARQUIS R.J., and LILLJ.T.,(2004). Feenyrevisited: condensed tanninsasanti-herbivoredefencesinleaf-chewingherbivorecommunitiesofQuercus.In *EcologicalEntomology*29. 174-187.
71. GALIANOL.,MARTÍNEZ-VILALTAJ.,LLORETF.,(2010).Drought-inducedmultifactordeclineofscotspineinthepyreneesandpotentialvegetationchangebythe expansion of co-occurringoakspecies. *Ecosystems*13. 978-991.
72. GARRECJ.P.,KERFOURNC.etLAITAE.,1989.Étudedessurfacesfoliairesdesarbres déperissants. *Ann. Sci. For.* 46.547-552.
73. GARRIGUEJ.,MAGDALOUJ.A.etHURSONC.,(2008).Leseffetsdelacaniculeetde la sécheresse sur la forêt de la Massane (Pyrénées Orientales). *Forêt Méditerranéenne*. t.XIX, (2).183-188.
74. GAZONNEAUA.,(2007).Pourlaforêtmediterranéenne,lechangementsclimatiqueest déjà à l'oeuvre.<http://actsience.blogspot.com/2007/11/pour-la-foretmediterranenne-le.html>.
75. GERNANDTD.S.,LOPEZG.G.,GARCIAS.O.,LISTONA.,(2005).Phylogenyand classificationofPinus.*Taxon*.54.29-42.
76. GHERABIB.,(2013).contributional'étudedelareprisevégétativeduchêneliègeaprès incendie cas de la forêt de zariffet (wilaya de Tlemcen), mémoire, ingénieur d'état en foresterie, univ. Tlemcen. 62p.
77. GIRARDF.,VENNETIERM.,GUIBALF.,CORONAC.,OUARMIMS.,HERREROA., (2012).PinushalepensisMill.crowndevelopmentandfruitingdeclinedwithrepeateddroughtin Mediterranean France. *Eur. J. For. Res.* 131. 919931.
78. GRAFM.,REIDM.,AUKEMAB.,ANDLINDGRENB.(2012).Associationof treediameterwithbodysizeandlipidcontentofmountainpinebeetles.In *Canadian Entomologist*144. 467 p.
79. GRAF P. et MZIBRIM., (1994). Les ravageurs sous-corticaux et xylophages: les Scolytes des Pinsin:ELHASSANIA.,GRAFP.,HAMDAOUIM.,HARRACHIK.,MESSAOUDIJ., HAACKR.A.,2004.*Orthotomicuserosus*:anewPine-infestingbarkbeetleinthelUnitedStates. *NewsletteroftheMichiganEntomologicalSociety*.49(3/4).3-15
80. GUITB.,2015croissanceetétatsanitairesdespeuplementsdepind'alep(*pinushalepensis* mill.) dans le massif forestier de senalba (région de Djelfa). Thèse Doctorale en sciences Agronomiques, école nationale supérieure d'agronomie El Harrach, Alger.107p.
81. HAACKR.A.,(2006).Exoticbarkandwood-boringColeopterainthelUnitedStates:recent establishments and interceptions. In *Canadian Journal of Forest Research*. 36. p : 269-288.
82. HANKSL.M.,(1999).Influenceofthelarvalhostplantonreproductivestrategies of Cerambycidbeetles. *AnnualReview of Entomology*. 44. 483-505.
83. HEINRICHB.(1993).Thehot-bloodedinsects,HarvardUniversityPress,Cambridge MA.

84. HOSKINGG.P.,BAINJ.,(1977).*Arhopalusferus*(Coleoptera:Cerambycidae):itsbiology in NewZealand. *New Zealand Journal of Forestry Science* 7.3-15.
85. HUAL.Z.,(1982.).*AchecklistofthelongicornbeetlesofChina*(Coleoptera: *Cerambycidae*). Guangzhou:Zhongshan UniversityPress.
86. HUCHON H., DEMOLIN G., (1970). La bioécologie de la processionnaire du pin. Dispersion potentielle, dispersion actuelle. *Rev. For. Fr.* [en-ligne] XXII, n° spécial «Lalutte biologique en forêt ». 220-234. [<http://documents.irevues.inist.fr>].
87. INCLAN.R.,GIMENOB.S.,DIZENGREMELPetSANCHEZM.,(2005).Compensation processesofAleppopine(*Pinushalepensis*Mill.)toozoneexposureanddroughtstress. *EnvironmentalPollution*.137.517-524.
88. JACTELH.,PETITJ.,DESPREZ-LOUSTAUM.L.,DELZONS.,PIOUD.,BATTISTI A.,andKORICHEVAJ.,(2011).Droughteffectsondamagebyforestinsectsandpathogens: ameta-analysis. In *Global Change Biology*.
89. JUMPA.S.,HUNTJ.M.,PEÑUELASJ.,(2006).Rapidclimatechange-relatedgrowthdeclineatthesouthernrangeedgeof *Fagussylvatica*.*Glob.ChangeBiol*.12. 2163-2174.
90. KADIKB.,(1983).Contributionàl'étudedupind'AlepenAlgérie:Ecologie, dendrométrie, morphologie. Thèse Doctorat. Etat, Aix-Marseille III, 313 p.
91. KADIKB.,(1986).Contributionàl'étudedupind'Alep(*Pinushalepensis*Mill.)en Algérie. Écologie. dendrométrie et morphologie. Ed. *O.P.U. Alger*,Algérie. 581 p.
92. KADIKB.,(1987).Contributionàl'étudedupind'Alep(*Pinushalepensis*Mill)enAlgérie :Ecologie,Dendrométrie,Morphologie.*Officedespublicationsuniversitaires*(Alger).585p.
93. KADIK-ACHOUBI L., (2005). Étude phytosociologique et phytoécologique des formationsàpind'Alep(*Pinushalepensis*Mill.)del'étagebioclimatiquesemi-aridealgérien. Thèse de Doctorat. USTHB, Alger. 341p.
94. KHERCHOUCHED.,BENTOUATIA.etKAABÈCHEM.,(2011).Croissanceetécologie du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) dans le massif de Beni-Imloul (Aurès,Algérie). *Sécheresse* 22. 43-48.
95. KORICHEVA,J.,LARSSON,S.,ANDHAUKIOJA,E.,(1998).Insectperformanceon experimentallystressedwoodyplants:ameta-analysis.In*Annualreviewofentomology*43.195- 216.
96. LACOSTEA.etSALANONR.,(2001).Elémentsdebiogéographieetd'écologie.2<sup>ème</sup> édition. Ed. *Nathan / HER*, Paris. 318 p.
97. LAWSON S.A., et SATHYAPALAS. (2008).The Risk of Pine WiltDisease toAustralia andNewZealand.InM.M.Mota&P. Vieira(Eds.),*PineWiltDisease:AWorldwideThreatto Forest Ecosystems* .41-58. Dordrecht: Springer Netherlands.
98. LE HOUÉROU H.N., (1990). Global change: vegetation, ecosystems and land use in the southernMediterraneanbasinbythemid-twenty-firstcentury,Israel*JournalofBotany*39.48 1-508.
99. LEMEIGNENP.etMICASL.,(2008).BilandesdépérissementsforestiersdanslesAlpes- de Haute-Provence. *Forêt méditerranéenne*. t. XXIX. (2). 177-182.

100. LEBOURGEOIS F. et BECKER M., (1996). Dendroécologie du pin laricio de Corsedans l'ouest de la France. Évolution du potentiel de croissance au cours des dernières décennies. *Ann. Sci. For.* 53.931-946.
101. LEE J.C., FLINT M.L. et SEYBOLD S.J., (2008) Suitability of Pines and other Conifers as hosts for the invasive Mediterranean Pine Engraver (Coleoptera: Scolytidae) in North America. *J. Econ. Entomol.* 101(3). 829-837.
102. LEFEVRE F., BOIVIN T., BONTEMPSA., COURBET F., DAVI H., DURAND GILLMANN M., FADYB., GAUZEREJ., GIDOINC., KARAMM J., LALAGÜE H., ODDOU-MURATORIOS., AND PICHOT C. (2013). Considering evolutionary processes in adaptive forestry. In *Annals of Forest Science*. P : 1-17.
103. LETREUCH-BELAROUCIN., (1991) Les reboisements en Algérie et leurs perspectives d'avenir. 2 Tomes. Ed. OPU, Alger. 641 p.
104. LIEUTIERF., VOULAND G., KHOUSM. G. (1992). *Rapport de missions sur les dépérissements forestiers en Algérie et le rôle des insectes xylophages*. Projet de coopération INRA, France. INRF Algérie.
105. LINARES J.C., CAMARERO J.J., CARREIRA J.A., (2009). Interacting effects of changes in climate and forest cover on mortality and growth of the southernmost European fir forests. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 18.485-497.
106. LINSLEY G., (1959). Ecology of Cerambycidae. *Annual Review of Entomology*. 4. 99-138.
107. LÓPEZ G.G., KAMIYAK., HARADAK., (2002). Phylogenetic relationships of Diploxylopines (Subgenus Pinus) based on plastid sequence data. *International Journal of Plant Sciences*. 163. 737-747.
108. LORIO, P.L., and SOMMERS, R.A., (1986). Evidence of competition for photosynthates between growth processes and oleoresin synthesis in *Pinus taeda* L.. In *Treep physiology* 2. 301-306.
109. MAESTRE F., CORTINA J., BAUTISTA S., BELLOT J., (2003). Does *Pinus halepensis* facilitate the establishment of shrubs in Mediterranean semi-arid afforestations? *Forest Ecology and Management*. 176. 147-160.
110. MARIE-LAURE DESPREZ-LOUSTAU, BENOIT MARÇAIS, LOUIS-MICHEL NAGELEISEN, DOMINIQUE PIOUS, AND ANDREA VANNINI, (2006). Interactive effects of drought and pathogens in forest trees. In *Ann. For. Sci.* 63. 597-612.
111. MARTIN J.C., (2007). « la chenille processionnaire du pin ». futura.sciences. [en ligne]. [http://www.futura-sciences.com/magazines/nature/infos/dossiers/d/zoologie\\_chenille\\_processionnaire\\_pin-700/](http://www.futura-sciences.com/magazines/nature/infos/dossiers/d/zoologie_chenille_processionnaire_pin-700/).
112. MATTSON, W.J., AND HAACK, R.A., (1987). The Role of Drought in Outbreaks of Plant-eating Insects. In *Bioscience* 37. 110-118.
113. MCDOWELL N.G., FISHER A., XUC., DOMECH J.C., HÖLTTÄ T., MACKAY D.S., SPERRY J.S., BOUTZA., DICKMAN L., GEHRES N., LIMOUSIN J.M., MACALADYA., MARTINEZ-VILALTA J., MENCUCCINI M., PLAUT J.A., OGEE J., PANGLER E., RASSED P., RYAN M.G., SEVANTOS., WARING R.H., WILLIAMS A.P., YEPEZ E.A., AND POCKMAN W.T. (2013). Evaluating theories of drought-induced vegetation mortality using a multimodel-experiment framework. In *New Phytologist* 200. p:304-321.

114. MEBKHOUTM.,(2001).Rapportd'évaluation surlebarragevert.Documentde l'association écologique APAE, Naama. 13 p.
115. MEZALIM.,(2003).RapportsurlesecteurforestierenAlgérie.3èmesessiondu forum des Nations Unis sur les forêts. 9 p.
116. MUELLERE.andSTIERLINH.R.,(1990).SanasilvaTreeCrownPhotoswith Percentages of Foliage Loss. Birmensdorf, Switzerland.
117. MUSSETR.,(1935).LesrégimespluviométriquesdelaFrance del'Ouest.Vo XLIV. 15 mai. 311-313.
118. NAHAL I., (1962). Le Pin d'Alep. Étude taxonomique, phytogéographique, écologiqueetsylvicole. Annalesdel'écolenationale deseauxetforêts. 19.(4).533-627.
119. NEDJRAOUI D et BEDRANI S., (2008). « La désertification dans les steppes algériennes:causes,impactsetactionsdelutte». *Vertigo-larevueélectroniqueensciences del'environnement*. V.8 N1. URL : <http://vertigo.revues.org/5375>.
120. NETHERERS.,andSCHOPFA.,(2010).Potentialeffectsofclimatechangeon insect herbivores in Europeanforests—general aspects and the pine processionarymoth as specificexample. In *Forest Ecology and Management* 259. 831-838.
121. OGAYAR.,PEÑUELASJ.,MARTÍNEZ-VILALTAJ.,MANGIRÓN M.,(2003). Effectofdroughtondiameterincrementof *Quercusilex*, *Phillyrealatifolia*, and *Arbutusunedoin* a holmoakforest of NE Spain. *For. Ecol. Manag.* (180) 1-3. 175-184.
122. PARDÉJ.,(1957).LaproductivitédesforêtsdePind'AlepenFrance. Annalesde l'école nationale des eaux et forêts. T. XV, Fasc. 2. 365-414.
123. PAYNEJ.A.,LOWMANH.andR.RPATE.,(1975).Artificialdietsforrearingthe tilehornedPrionus. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 68:680-682.
124. PRICER.A.,LISTONA.,STRAUSSS.H.,(1998).Phylogenyandsystematicof *Pinus*. In Richardson D.M. (Ed.) *Ecology and Biogeography of Pinus*. Cambridge University Press. Cambridge (UK). 49-68.
125. QUÉZELP et BARBÉROM.,(1992).Lepind'Alepetlesespècesvoisines: répartition et caractères écologiques généraux, sa dynamique récente en France méditerranéenne. *Forêt méditerranéenne* XIII (3) . 158-170.
126. QUEZEL P, (1986). Biogéographie et écologie des conifères sur le pourtour méditerranéen. Dans: *Actualités d'Ecologie Forestière* (Ed.:Pesson), Ed. Gauthier Villars, Paris, pp. 205-256.
127. QUEZELP.,(1986).LesPinsdugroupe«*halepensis*»:Écologie,Végétation, Écophysologie. *Options Méditerranéennes*. Série Étude CIHEAM 86/1 . 11-24.
128. QUÉZELP.,(2000).TaxonomyandbiogeographyofMediterraneanpines(*Pinus halepensis* and *P. brutia*). In Neeman G. and Trabaud L. (Eds.). *Ecology, biogeography and management of Pinus halepensis and P brutia forest ecosystems in the Mediterranean basin*. Backhuys Publishers, Leiden. 1-12.
129. QUEZEL P., BARBERO M et BENABIDA., (1987). Contribution à l'étude des groupementsforestiersetpré-forestiersduhautAtlasoriental(Maroc). *Ecologia Mediterranea*. Tome XIII. Fasc. 1-2. 107-113
130. RAFFAK.F.,AUKEMAB.H.,BENTZB.J.,CARROLLA.L.,HICKEJ.A., TURNERM.G.,andROMMEW.H.,(2008).Cross-scaledriversofnaturaldisturbancesprone

to anthropogenic amplification: The dynamics of bark beetle eruptions. In *Bioscience* 58. 501- 517.

131. RAMADEF., (1984). *Éléments d'écologie, Écologie fondamentale. Éd. McGraw-Hill*. Paris, 397 p.
132. RAMADEF., (2003). *Éléments d'écologie, écologie fondamentale. 3ème édition*. Paris. 690p.
133. RATHGEBERC., MISSONL., NICAULTA., GUIOTJ., (2005). Bioclimatic model of tree radial growth: application to French Mediterranean Aleppo pine forests. *Trees*. 19. 162- 176.
134. RATHGEBERC., NICAULTA., GUIOTJ., KELLERT., GUIBALF., ROCHEP., (2000). Simulated responses of *Pinus halepensis* forest productivity to climatic change and CO<sub>2</sub> increase using a statistical model. *Glob Planet Change*. (26) 4. 405-421.
135. RIGOLOTE., (2008). Impact du changement climatique sur les feux de forêt. *Forêt méditerranéenne*. t. XXIX. (2). 167-176
136. RIPERT C. et VENNETIER M., (2001). Croissance et écologie du pin d'Alep en France. CEMAGREF. Division agriculture. Groupement d'Aix en Provence. Le Tholonet BP 31. 38 p.
137. RONDEUX., (1993). La mesure des arbres et des peuplements forestiers. Ed. Les Presses Agronomiques de Gembloux. 521p.
138. ROUAULT G., CANDAU J. N., LIEUTIER F., NAGELEISEN L. M., MARTIN J. C., and WARZEE N., (2006). Effects of drought and heat on forest insect populations in relation to the (2003). drought in Western Europe. In *Annals of Forest Science*. 63. p: 613-624.
139. SANCHEZ-SALGUERO R., NAVARRO-CERRILLO R. M., CAMARERO J. J., FERNANDEZ-CANCIO A., (2012). Selective drought-induced decline of pine species in southeastern Spain. *Clim. Change* 113. 767-785.
140. SARDANS J., PEÑUELAS J., (2007). Drought changes the dynamics of trace element accumulation in a Mediterranean *Quercus ilex* forest. *Environ. Pollut.* (147) 3. 567-583.
141. SARRIS D., CHRISTODOULAKIS D., KORNER C., (2011). Impact of recent climatic change on growth of low elevation eastern Mediterranean forest trees. *Clim. Change*, 106. 203-223.
142. SAUVARDD., LIEUTIER F., LEVIEUX J., (1987). Répartition spatiale et dispersion de *Tomicus piniperda* L. (Coleoptera Scolytidae) en forêt d'Orléans, *Ann. Sci. For.* 1987. 44(4). 417-434
143. SCARASCIA-MUGNOZZA G., (1986). Recherche sur l'écophysiologie de *Pinus halepensis* Mill. (Research on the ecophysiology of *Pinus halepensis* Mill.). *Options Méditerranéennes*, 1. 89-97.
144. SCHEINER P., (2003). Les chenilles processionnaires chez le chien. Thèse Méd. Vét., Lyon. N° 136. 122p.
145. SCHOWALERT D., (2006). *Insect ecology: an ecosystem approach*. San Diego. Academic Press. 572p.

146. SEIGUEA.,(1985).La forêt circum méditerranéenne et ses problèmes. *Ed. Maison neuve et Larose*, Paris. 502 p.
147. SELTZERP.,(1946).Le climat de l'Algérie. Inst. de météorologie et de physique du globe. Université d'Alger. 219 p.
148. SGHAIERT., AMMARIY., GARCHES. et KHALDIA., (2001). Croissance en hauteur dominante et classes de fertilité du pin d'Alep. *Annales de l'INGREFN° special*. 45.
149. SHIMOJIY., MIYATAKET., (2002). Adaptation to artificial rearing during successive generations in the West Indian sweet potato weevil, *Eusepeus postfasciatus* (Coleoptera: Curculionidae). *Ann Entomol Soc Am* 95(6):735–739
150. SOLTANIA., (2016). Typologie et Fertilité des stations de pin d'Alep de la forêt de Benjloud (Saida). Mémoire, master en foresterie. univ. Tlemcen. 141 p.
151. SOULERESG., (1969). Le pin d'Alep en Tunisie: *Annales de l'Inst. Nat. Rech. Forest. Tunisie*. Vol 2. Fasc.1. 126 p.
152. SUCKLING D.M., GIBBA.R., DALY., CHENX. and BROCKERHOFF G. (2001). Behavioral and electrophysiological responses of *arhopalustris* to burnt pine and other stimuli. *Journal of Chemical Ecology*, Vol. 27, No. 6, 2001, 14 .1091-1104
153. VARELAM.C., (2008). Dépérissement des peuplements de chêne-liège et changement climatique. *Forêt méditerranéenne*. t. XXIX. (2). 209-212.
154. VENETJ., (1986). Identification des outils et méthodes utilisées à Dynafor concernant la Dendrochronologie.
155. VENNETIER M. et RIPERT C., (2010). Climate change impact on vegetation: lessons from an exceptionally hot and dry decade in South-eastern France. In: *Climate Change and variability*, Rijeka, Croatia. *Sciyo*. 225-241.
156. VENNETIER M., RIPERT C., BROCHIEROF., RATHGEBER C., CHANDRIOUX O. et ESTEVER., (2010). Évaluation de la croissance du pin d'Alep en région méditerranéenne française. *Rev. Forestière Française* 5. 11-17.
157. VILAB., VENNETIER M., RIPERT C., CHANDIOUX O., LIANGE., GUIBAL F. et TORREF., (2008). Has global change induced opposite trends in radial growth of *Pinus sylvestris* and *Pinus halepensis* at their bioclimatic limit? The example of the Sainte-Baume forest (south-east France). *Ann. For. Sci.* (65). 709-724.
158. VISSER, J., (1988). Host-plant finding by insects: orientation, sensory input and search patterns. In *Journal of Insect Physiology* 34. 259-268.
159. ZENZENW., (2016). Utilisation du S.I.G pour l'analyse de la structure de la forêt de Ouennougha dans la Wilaya de Bordj Bou Arréridj, mémoire, master en foresterie. univ. Tlemcen 60p.
160. ZINEELABIDINEA., (2003). Le dépérissement des forêts au Maroc: analyse des causes et stratégie de lutte. *Sécheresse*. 14 (4). 209-218.