



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique



Université Larbi Ben M'Hidi - Oum El Bouaghi
Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences de la Nature et de la Vie

N° d'ordre :

N° de série :

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Filière : BIOTECNOLOGIE VEGETALE et AMELIORATION DES PLANTES

OPTION : BIOTECNOLOGIE VEGETALE

Thème

**Comportement du pin d'alep (*Pinus halpensis* Mill.)
Aux conditions naturelles de la foret
D'EI HAMIMET**

Présenté par :

REDJEL MOUNIRA MEREZKANE ROUFAIDA

Devant le jury :

Président : MALKI Samira

MCA Université Oum El Bouaghi

Rapporteur : REDJAIMIA Lilia

MCA Université Oum El Bouaghi

Examineurs : ZOUAINIA Sabrina

MCA Université Oum El Bouaghi

Année universitaire: 2022-2023



Dédicace

الحمد لله حمدا كثيرا طيبا

Nous remercions Dieu Tout-Puissant de nous avoir donné la force, la volonté, la confiance et la patience nécessaires pour mener à bien notre travail de recherche.

Tout d'abord, nous remercions notre cher professeur et superviseur pour notre mémoire, Rajamia Lilia de l'Université Oum Bouaghi, qui nous a aidés dans la réalisation de ce travail.

Un grand merci au personnel de laboratoire de l'Université Oum Bouaghi pour nous avoir aidés .

Nous remercions également tout particulièrement les membres du jury d'avoir accepté le jugement sur ce travail et d'avoir été les investigateurs de cette thèse.

Et afin de n'oublier personne, nous remercions tous ceux qui ont contribué directement ou indirectement à la réalisation de ce mémorandum .

Merci



Remerciements

الحمد لله والصلاة والسلام على رسول الله اما بعد :

À ceux qui m'ont soutenu et qui m'ont soutenu pas à pas.

À ceux qui ont souffert de la douleur et de l'amertume de la vie pour atteindre ce que je suis aujourd'hui.

À mon cher père "Mohamed redjel " et chère mère "Hedjazi razika ".

A qui Dieu m'a donné la grâce de leur présence dans ma vie, mes frères:Yaakoub, Kenza, Ali, Soufyan, Nisreen et Inas .

À ceux qui ont partagé le doux et l'amer ensemble dans notre parcours académique, mes camarades : Roufaida, Amina et Safia .

Je ne peux pas remercier tous ceux qui ont contribué à ma réalisation du rêve. à tous ceux qui m'ont motivé même avec une bonne parole, merci beaucoup, que Dieu l'augmente pour vous dans la balance de vos bonnes actions de manière exponentielle.

Et à la fin, nous demandons à Dieu de nous aider à réaliser nos souhaits et plus de succès.

Mounira.Redjel

Remerciements

الحمد لله وكفى والصلاة على الحبيب المصطفى وأهله ومن وفى اما بعد.

Dieu soit loué, qui nous a aidés à valoriser cette étape de notre carrière académique avec cette note, fruit d'efforts et de succès grâce à Lui, dédiée à :

Pour qui et mes yeux sont la vie et l'espoir. À ceux qui m'ont appris à gravir les échelons de la vie avec patience et sagesse. A ceux dont je ne remplirai pas les droits, je n'ai pas salué mon père généreux, ma chère mère.

À ceux qui m'ont aidé dans mon voyage de recherche, mes frères : Yazid, Jamal, Bilal, Meziane et Saleh.

À la femme de mon frère, qui était ma sœur, et qui m'a soutenu khaoula.

Au sourire de mon cœur, les enfants de mes frères Aseel, Shehab, Abdul Momen, Shahd, Younes, Tasneem et le dernier d'entre eux est mon cher amant et mon âme Anis.

À ceux qui m'ont écrit alors que nous ouvrons ensemble la voie vers la réussite dans notre carrière universitaire Munira, Safia, Nour, Kawthar, Somaya et Nadira.

Et enfin tous ceux qui m'ont aidé et qui ont eu un rôle de proche ou de loin pour compléter ce mémorandum, demandant à Dieu Tout-Puissant de récompenser tout le monde avec les meilleures récompenses dans ce monde et dans l'au-delà.

Roufaida.M

Sommair

Remerciements

Sommaire

Liste des Figures

Liste des abréviation

Liste des tableaux

Rèsumè

Introduction..... 1

Chapitre I : Synthèse bibliographique

1. Généralités sur le pin d'Alep.....3

1. Appellations.....3

2. origine.....3

3. Taxonomie.....3

4. Classification phylogénétique APG III3

5. Caractères botaniques 4

6. Répartition.....5

6.1 Repartition dans le monde5

6.2 repartition en Algerie.....5

7. Déterminisme écologique..... 6

7.1. Sol..... 6

7.2. Climat 6

7.3. Répartition Altitudinal..... 6

7.4. Exigence pluviométrique.....6

7.5. Exigence thermique6

8. Intérêt économique du pin d'Alep.....	
9 .Ravageurs et Maladies(Ennemis).....	6
9.1. Champignons	6
9.2. Parasites	7
9.3. Insectes	
10. Accumulation d'osmolytes	8
1.Chlorophylle	8
1.1. Rôle de chlorophylle	8
1.2. Structure de la chlorophylle	8
2.1. Propriété chimique	8
2.2.. Propriété physique.....	9
2. Sucres solubles.....	10
2.1. Rôle des sucres	10
3. la proline.....	10

Chapitre II : Matériel et méthodes

1-Présentation de la zone d'étude.....	12
1. Situation et limites géographiques de la wilaya d'Oum El Bouaghi....	12
2. Aperçu sur la zone d'étude	13
II. Analyse biochimiques	15
1. Dosage de chlorophylle	15
2. Dosage des sucres.....	16
3.dosage de la proline.....	17

Chapitre III : Résultats et discussion

1. Chlorophylles	20
1.1. Variation des chlorophylles a+b dans les feuilles.....	21

1.2. Chlorophylle a+b.....	21
1.3. Rapport chlorophylle a/b	22
2. Sucres solubles.....	23
2.3. Comparaison des taux des sucres solubles chez les aiguilles du pin d'Alep.....	25
3.1a proline	26
3.1.Comparaison des taux en proline chez les aiguilles du pin d'Alep.....	26
Conclusion.....	29
Références bibliographiques.....	30

Liste des figures

Figure 1	. Aperçu d'ensemble du pin d'Alep (A : pin d'Alep sur pied, B : Feuilles, C : cônes, d : graine, E : écorce).	3
Figure2	Répartition de <i>Pinus halepensis</i> dans le monde (Caudullo et al., 2017).	4
Figure 3	Aire de répartition du pin d'Alep en Algérie (Kadik, 1987).	5
Figure 4	. Ravageurs et maladies du pin d'Alep (A : arbre mort, B : Processionnaire du pin, C : <i>Sphaeropsis sapinea</i> , D : Hylésine des pins, E : rouille vésiculeuse de l'écorce).	6
Figure 5	Fonctions de la proline chez les plantes (Szabo et Savoure, 2010).	7
Figure 6	Situation géographique d'Oum El Bouaghi (Amrane et al., 2009).	12
Figure 7	Situation géographique de la zone d'étude (la forêt d'el Hamimet).	13
Figure 8	Les parcelles choisies dans la zone d'étude (Google Earth, 2021).	14
Figure 9	Dosage de chlorophylle.	15
Figure 10	Lecture de la densité optique de la chlorophylle	16
Figure 11	Dosage des sucre soluble	17
Figure 12	Dosage de la proine	18
Figure 13	Taux des chlorophylles a et b chez les aiguilles foncés du pin d'Alep	19
Figure 14	Taux des chlorophylles a et b chez les aiguilles claires du pin d'Alep.	20
Figure 15	Teneurs en chlorophylle totale chez les aiguilles du pin d'Alep.	20
Figure 16	Rapport des chlorophylles a/b chez les aiguilles du pin d'Alep.	21
Figure 17	Variations de la teneur en sucres solubles chez les aiguilles claires	22
Figure 18	Variations de la teneur en sucres solubles chez les aiguilles foncées	23
Figure 19	Variations des taux des sucres solubles chez les aiguilles du pin d'Alep	24
Figure 20	Variations des teneurs en proline chez les aiguilles du pin d'Alep	25

Liste des abréviations

APG III	l'Angiosperm Phylogeny Group , a troisième version	4
F	les aiguilles foncés	23
C	les aiguilles claire	23

Liste des tableaux

Tableaux	classification botanique phylogénétique de pin d'Alep par APG III . (2009).	4
----------	---	----------

Résumé

Notre travail consiste à quantifier la teneur en sucres solubles totaux ,la chlorophylle et la proline chez des feuilles des semis du pin d'alep (*Pinus halepensis* Mill .) issus de la foret d'El hamimet.

La teneur des sucres solubles totaux est plus élevée dans les feuilles des semis dans les feuilles foncées.

Concernant la chlorophylle totale, la teneur la plus importante est également obtenue pour les aiguilles de pin d'Alep (F1) ; alors que pour le rapport de la chlorophylle a/b est plus élevé pour que les autres quelque soient leurs couleurs .

Les résultats obtenus montrent une accumulation importante de la proline au niveau des feuilles de l'arbre 3 (C3) ; par contre, une diminution de sa teneur est remarquée chez les feuilles de l'arbre 1(F1).

Une des principales raisons expliquant le succès d'adaptation du pin d'alep en zone méditerranéenne réside dans sa remarquable résistance aux contraintes écologiques.

Mots clés : (*Pinus halepensis* Mill), sucres solubles, chlorophylle, proline, adaptation.

Summary

Our work consists in quantifying the content of total soluble sugars, chlorophyll and proline in leaves of Aleppo pine seedlings (*Pinus halepensis* Mill.) from the forest of El hamimet.

The content of total soluble sugars is higher in the leaves of seedlings in dark leaves.

Regarding total chlorophyll, the highest content is also obtained for Aleppo pine needles (F1); while for the ratio of chlorophyll a/b is higher for the others whatever their colors.

The results obtained show a significant accumulation of proline in the leaves of tree 3 (C3); on the other hand, a decrease in its content is noticed in the leaves of tree 1(F1).

One of the main reasons explaining the success of adaptation of the Aleppo pine in the Mediterranean area lies in its remarkable resistance to ecological constraints.

Keywords: (*Pinus halepensis* Mill), soluble sugars, chlorophyll, proline, adaptation.

ملخص

يتمثل عملنا في تحديد كمية السكريات الذائبة الكلية والكلوروفيل والبرولين في أوراق شتلات صنوبر الحلبي من غابة الحميمات.

محتوى السكريات الذائبة الكلية أعلى في أوراق الشتلات ذات الأوراق الداكنة. فيما يتعلق بالكلوروفيل الكلي ، تم الحصول أيضًا على أعلى محتوى لإبر الصنوبر الحلبي (F1)؛ بينما نسبة الكلوروفيل أ / ب أعلى بالنسبة للآخرين مهما كانت ألوانهم. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها تراكمًا كبيرًا للبرولين في أوراق الشجرة 3 (C3)؛ من ناحية أخرى ، لوحظ انخفاض في محتواها في أوراق الشجرة 1 (F1) .

يكن أحد الأسباب الرئيسية التي تفسر نجاح تكيف صنوبر حلب في منطقة البحر الأبيض المتوسط في مقاومته الملحوظة للظروف البيئية.

الكلمات المفتاحية: ((*Pinus halepensis*)Mil)، السكريات الذائبة ، الكلوروفيل ، البرولين ، التكيف.



Introduction

Introduction

Le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) est considéré comme la composante la plus importante et intégrale de la forêt méditerranéenne et représente un capital forestier de grande valeur dans la plupart des pays du pourtour méditerranéen, notamment l'Algérie (Boudy, 1950 ; Nahal, 1962). Le pin d'Alep est l'une des espèces d'arbres les plus couramment plantées en raison de sa croissance rapide, de sa résistance aux conditions plastiques dénaturantes, de sa capacité à réparer les zones dégradées et de sa capacité à occuper les zones nus (Zavala et Zes, 2004).

En Algérie, le pin d'Alep couvre 35 massifs forestiers dans le nord, soit environ 850 000 ha, formant d'importantes forêts de valeur écologique variable (Bentouati, 2006 ; Guit, 2015). On le trouve naturellement dans les régions orientales et centrales du pays, principalement dans les déserts de l'Atlas, du Tell et du Sahara (Guit, 2015). L'espèce est présente à tous les stades bioclimatiques de la côte à l'Atlas saharien et trouve une croissance optimale principalement dans les zones semi-arides (Kadik, 2005 ; Djerrad, 2016). Son excellente plasticité et son tempérament robuste en font un pionnier des plantations à grande échelle (Quézel, 2002 ; Kadik, 2005 ; Guit, 2015 ; Djerrad, 2016).

Au fil des décennies, les pins ont été gravement dégradés dans les régions arides et semi-arides en raison de l'augmentation de la pression et des effets climatiques (sécheresse continue et prolongée) provenant de sources telles que l'élagage illégal, la fertilisation et le feu (Bentouati, 2006 ; Rached-Kanouni et al., 2020). Compte tenu de la désertification qui menace le nord de l'Algérie, le reboisement du barrage vert par le pin d'Alep constitue l'une des dernières barrières naturelles à l'avancée du désert (Hani et al., 2021).

Pour comprendre la dégradation des écosystèmes forestiers, qui sont des vagues naturelles et imperceptibles, le travail de ce mémoire semble très pertinent. En effet, la flore et la végétation d'un territoire sont le résultat d'un long processus de sélection naturelle sous l'influence des conditions climatiques, topographiques et topographiques, sans oublier les activités humaines (Adedire, 2002 ; Orthmann 2005 ; Parmentier, 2005).

Notre travail consiste à analyser la capacité de la tolérance des arbres du pin d'Alep de la forêt d'El Hamimet aux conditions du milieu par l'accumulation des quelques métabolites importantes pour l'évaluation de son adaptation.


Notre travail est structuré en trois chapitres :

- Le premier chapitre est une revue bibliographique sur le pin d'Alep, espèce choisie pour l'étude et le rôle de différentes métabolites.

- Le second chapitre traite la méthodologie de travail adoptée pour ce travail.

- Le troisième chapitre est consacré à l'exploitation des résultats obtenus et leur discussion.

- Le document se termine par une conclusion générale récapitulant les principaux résultats avec des perspectives.



***Chapitre I : Synthèse
Bibliographique***

Généralités sur le pin d'Alep

1. Appellations

Le pin d'Alep (*Pinus halepensis*) est un arbre de la famille des pinacées. On l'appelle parfois pin de Jérusalem ou pin blanc. C'est un arbre de 5 à 20 m de hauteur qui vit souvent au voisinage du pin parasol et du pin pignon (Michal.caron, 2011).

2. Origines

Cet arbre est commun en Afrique du Nord, en Espagne, et en Italie. On le trouve aussi en Palestine, en Jordanie, au Liban, en Syrie, en Turquie, en Grèce et en France dans la région méditerranéenne .

3. Taxonomie

Le genre *Pinus* appartient à la famille des Pinaceae (Abietaceae) et est divisé en trois sous-genres, à savoir *Pinus*, *Ducampopinus* et *Cembrapinus*. Ces sous-genres sont divisés en plusieurs sections. *Pinus halepensis* Mill. partie de la section Halepensoides (Nahal, 1962).

Le pin d'Alep (*Pinus halepensis*) appartient à un groupe de pins dont plusieurs espèces ont été décrites, mais seules deux sont actuellement considérées comme de véritables espèces par la plupart des systématiciens : *Pinus halepensis* et *Pinus nigra* (Quezel et Barbero, 1992).

4. Classification phylogénétique APG III :

Règne	plante
Embranchement	Phanérogames
Classe	Conifères
S/ordre	Abiétales
Clade	gymnospermes
Ordre	Pinales
Famille	Pinacees
Genre	<i>Pinus</i>
Espèce	<i>halepensis</i>
Nom arabe	Sanaoubar al-Halabi

Tableaux: classification botanique phylogénétique de pin d'Alep par APG III (2009).

5. Caractères botaniques

- **Taille** : arbre moyen jusqu'à 20 m, parfois plus (Blamey, 2000).
- **Couronnes** : irrégulière pyramidale ou arrondie à maturité.
- **Tronc** : le pin d'Alep a généralement un tronc tortueux, irrégulier et branchu (Figure 1).

Le fût utilisable comme bois d'œuvre dépasse rarement 8 m. Dans des peuplements et en futaie pleine, on peut obtenir 10-15 m de fût (Nahal, 1962).

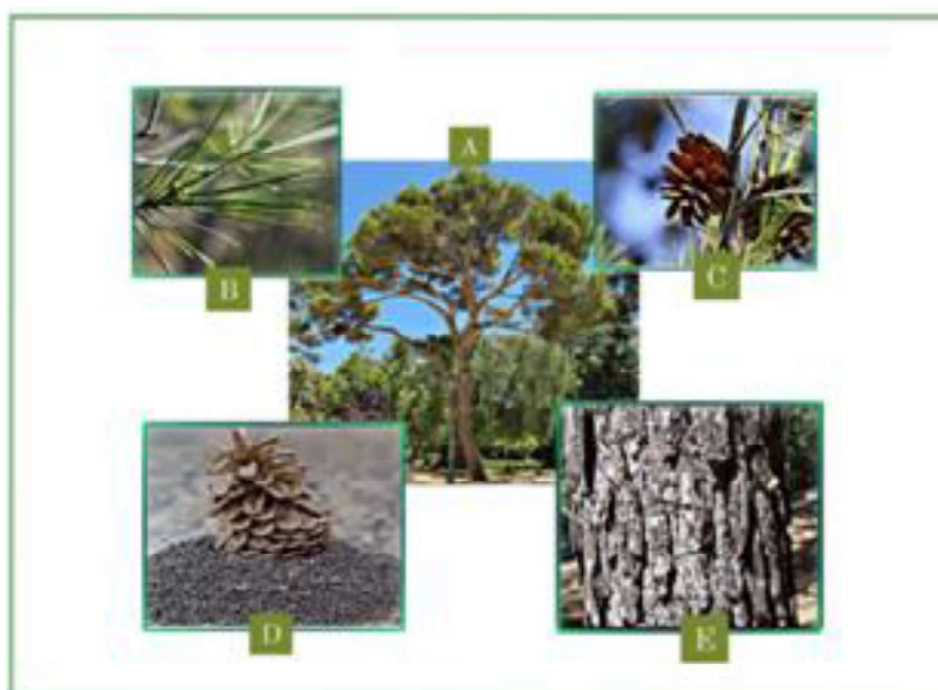


Figure 1. Aperçu d'ensemble du pin d'Alep (A : pin d'Alep sur pied, B : Feuilles, C : cônes, d : graine, E : écorce).

- **Ecorce** : gris argenté devenant brun rougeâtre et fissurée (Blamey, 2000). Elle est très inflammable et contient une grande quantité de tanins (Nahal, 1962).
- **Branches** : souvent tordues, rameaux gris pâles et glabres (Blamey, 2000).
- **Bourgeons** : sont ovoïdes, aigus, d'un brun rougeâtre, à écailles libres et souvent réfléchies au sommet (Nahal, 1962).
- **Feuilles** : par 2, vert 6-13 cm de long et moins d'1 mm de large, droite ou parfois tordues (Blamey, 2000).

- **Cônes** : ovoïdes, 5-12 cm de long, brillants, bruns, sur des pétioles courbés (Blamy, 2000). Les cônes mûrissent au cours de la deuxième année et laissent souvent échapper leurs graines au cours de la troisième année (Naha, 1962).

- **Graines** : aillées, conservent leur vitalité au moins deux ans et même plus longtemps, lorsqu'elles restent dans les cônes sur l'arbre (Nahal, 1962). Très résistant à la sécheresse (xérophile) (Blamey, 2000).

6. Répartition

Dans le monde, le pin d'Alep est localisé sur tout le bassin méditerranéen, on le retrouve surtout en Europe de sud et en nord-ouest d'Afrique (Figure 2). Ses forêts occupent plus de 2,5 millions d'hectares (Quézel, 2000) réparties dans certains pays situés sur le pourtour de la méditerranée.



Figure 2. Répartition de *Pinus halepensis* dans le monde (Caudullo et al., 2017).

En Algérie, le pin d'Alep est fréquent surtout sur les massifs du tell littoral et l'Atlas saharien, avec ses 34,8% (792 000 ha) de couverture reste bien l'espèce qui occupe la première place de la surface boisée de l'Algérie (Figure 3) (Louni, 1994).

Le pin d'Alep présente de vastes peuplements en Oranais (Sidi Bel Abbès, Saïda, Tlemcen, Tiaret) dans l'Algérois (Média, Boghar, Monts des Bibans) sur l'Atlas saharien (Mont d'Ouled Nail) et dans le sud Constantinois (Aurès, région de Tébessa).

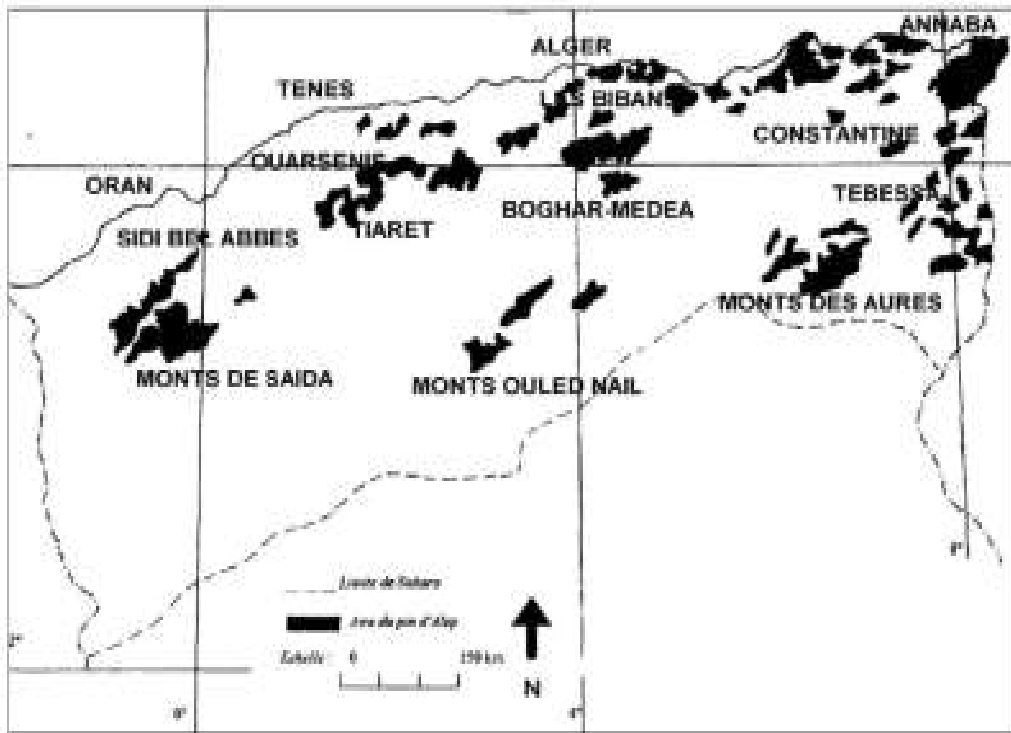


Figure 3. Aire de répartition du pin d'Alep en Algérie (Kadik, 1987).

7. Caractères écologiques

7.1. Sol

D'un point de vue pédologique, le pin d'Alep pousse sur des substrats tels que la marne, le calcaire, le schiste ou la roche mère. En revanche, on ne le trouve pas sur granite ou gneiss. En effet, le pin d'Alep semble indifférent à la nature de la roche mère, mais semble préférer s'installer sur des substrats meubles (Loisel, 1976).

Le pin d'Alep est également présent dans une grande variété de sols, des sols caillouteux (par exemple, recolonisation des galets) aux sols profondément évolués (par exemple, recolonisation des terrasses).

7.2. Climat

Au niveau bioclimatique, le pin d'Alep est à différents stades bioclimatiques : aride, semi-aride, subhumide et humide (Bentouati, 2006). Cependant, c'est la phase semi-aride qu'il se développe pleinement.

7.3. Altitude

Les pins du groupe « *halepensis* » poussent principalement aux niveaux thermique et mésoméditerranéen autour de la Méditerranée, c'est-à-dire entre 0 et 300-600 m au nord de la Méditerranée et entre 0 et 1200-1400 m au sud de la Méditerranée.

7.4. Exigence pluviométrique

Il se produit dans les zones où les précipitations sont comprises entre 200 mm et au moins 1500 mm. C'est en réalité entre 350 et 700 mm qu'il présente son meilleur développement.

7.5. Exigence thermique

Le pin d'Alep se situe dans les étages bioclimatiques méditerranéens : aride supérieur, semi-aride, subhumide et humide, mais c'est encore une espèce au stade semi-aride (Nahal, 1986). C'est une espèce héliotrope (tolérance à la lumière intense) et tolérante à la sécheresse (xérophyte) ; elle se forme à des températures moyennes annuelles de 11 à 19°C, mais peut exceptionnellement tolérer des températures de courte durée de -15 à -18° C (Nahal, 1962).

8. Intérêt économique du pin d'Alep

Le pin méditerranéen est utilisé à de nombreuses fins : construction, industrie, menuiserie, bois et pâte à papier pour le soutènement des mines, la construction navale et charpenterie. Les graines sont également utilisées pour la torréfaction en Tunisie (Ghougali, 2011).

Pinus halepensis est l'essence forestière la plus importante dans de nombreux pays méditerranéen. Il est souvent utilisé dans les programmes de reboisement des sols dégradés (Maestre et Cortina, 2004), dans le cas de la « ceinture verte » du sud algérien. Il y a plus de 20 ans, le pin d'Alep plantait une superficie de 1 million d'hectares (Lahouati, 2000).

9. Ravageurs et maladies (Ennemis)

Il existe de nombreux types de pins, soit environ 120 espèces réparties dans le monde, et malgré leur diversité et leur résistance variable aux maladies, ils sont sensibles aux infections, qu'elles soient fongiques, bactériennes, ou issues d'insectes ravageurs, et il convient à noter que ces maladies affaiblissent la plante, sa productivité, et entraînent sa mort dans les cas avancés. Cette infection peut être réduite en suivant un certain nombre de consignes préventives; comme l'adoption de systèmes d'irrigation modérés et l'aération du sol.

9.1. Champignons

Le Pin d'Alep est sensible à de nombreuses maladies causées par certains champignons pathogènes provoquant parfois des notables dégâts sur des jeunes peuplements sensibles (Athmani et Masmoudi, 2008).

- *Trametes pini*, cause l'altération grave du bois.
- *Polyporus officinalis*, cause la destruction du tronc, production de bois altéré et inutilisable, dit : soboune.

9.2. Parasites

Le pin d'Alep est exposé à l'attaque de quelques parasites tels que : *Crumenulopsis sororia* : parasite des rameaux qui provoquent des petits chancres brun sombre.

9.3. Insectes

Les sujets de pin d'Alep constituent l'hôte le plus préférable pour de nombreuses espèces d'insectes. Les dégâts sont très graves sur tout dans les jeunes peuplements.

Parmi ces insectes : la chenille processionnaire du pin, les scolytes, la tordeuse du pousse de pin,...etc.



Figure 4. Ravageurs et maladies du pin d'Alep (A : arbre mort, B : Processionnaire du pin, C : *Sphaeropsis sapinea*, D : Hylésine des pins, E : rouille vésiculeuse de l'écorce).

II. Accumulation d'osmolytes

1. Chlorophylle

La chlorophylle est un pigment végétal responsable de la coloration vert des plantes. Ce pigment, que l'on retrouve dans les cellules des végétaux, est utilisé avec d'autres pigments par les plantes pour effectuer la photosynthèse. Ce processus permet à la plante d'utiliser l'énergie du soleil pour convertir le dioxyde de carbone (CO₂) et l'eau en oxygène et en matière organique (Hade, 2002). Est aussi un pigment assimilateur principal des végétaux supérieures ; ce pigment situé dans les chloroplastes des cellules végétales, la chlorophylle est également fortement réfléchissante dans le proche infrarouge (700nm), les clichés ariens en fausses couleurs (IR+ rouge + vert) permettent aux spécialistes de reconnaître les essences par analyse radiométrique. La chlorophylle est responsable de la capture de l'énergie lumineuse utilisée dans la photosynthèse. La molécule de chlorophylle est constituée de deux parties ; une tête formée d'une porphyrine et une longue queue d'hydrocarbures ou phytol (Hopkins, 2003). Présente dans toutes les plantes vertes sur terre. On estime que près d'un milliard de tonnes de chlorophylle sont synthétisées par les plantes chaque année sur toute la surface de la terre (Brown et al., 1998).

La chlorophylle peut avoir plusieurs structures chimiques, les deux principales étant :

- **La chlorophylle (a)** est le pigment photosynthétiques le plus commun du règne végétale est présent chez tous les végétaux aquatiques et terrestre (≈ 3 g/kg) de feuilles fraîches. La mesure de sa concentration dans l'eau est utilisée comme indicateurs de la quantité de plancton végétal (phytoplancton, base principale du réseau trophique aquatique). Les taux de l'eau en chlorophylle sont donnés en $\mu\text{g chla/L}$.

- **La chlorophylle (b)** se trouve chez les cormophytes (végétaux supérieures) et les chlorophycées algues vertes à des teneurs moindres (≈ 0.75 g/kg MF). Trois autres formes sont :

▪ Brunes : chlorophylle c (c1, c2) chez phéophycées dites algues.

▪ **La chlorophylle d** : identifiée en 1943 et retrouvée chez les rhodophycées (dites algues rouges).

▪ **La chlorophylle f** : identifiée en 2010 dans certains stromatolithes, elle a pour caractéristique une absorption décalée vers le rouge par rapport aux autres chlorophylles. Elles sont caractérisées par un isocycle à cinq membres et par la présence d'un atome de magnésium complexé en leur centre. On trouve ces pigments verts dans tous les organismes photosynthétiques, à savoir les photobactéries, les cyanobactéries, les algues et les plantes supérieures.

Les chlorophylles jouent un rôle biologique primordial dans la photosynthèse, durant laquelle l'énergie lumineuse du soleil est captée et canalisée. Vu l'importance de la photosynthèse, les chlorophylles sont aussi appelées « pigments de la vie » (Battersby, 1987). C'est vraisemblablement pour cette raison que la chlorophylle et ses processus biologiques ont de tout temps fasciné les hommes, créant de surcroît de nombreux sujets de recherche. Aujourd'hui, on dénombre plus de 50 chlorophylles différentes. Les plus répandues et également les plus étudiées sont les chlorophylles a et b. Les chlorophylles c et d, ainsi que les bactériochlorophylles, ont également largement été répertoriées.

1.1. Rôle de chlorophylle

Les organismes capables de réaliser la photosynthèse possèdent des chloroplastes, des organes cellulaires qui, grâce à la chlorophylle déjà mentionnée, sont capables de transformer l'énergie lumineuse en énergie chimique par le processus appelé photosynthèse. Ces chloroplastes sont situés près de la paroi cellulaire, dans le cytoplasme. A l'intérieur sont stockés les pigments qui permettent la photosynthèse, entourés par une substance incolore. La fonction que remplit la chlorophylle chez les végétaux est donc tout aussi simple que vitale : elle permet de capter l'énergie du soleil. Grâce à la photosynthèse que permet la chlorophylle, les plantes peuvent transformer l'eau et le dioxyde de carbone en oxygène et en hydrates de carbone. En d'autres termes, elle permet aux plantes de respirer et d'obtenir de l'énergie vitale (Prado, 2021.)

1.2. Structure de la chlorophylle

La chlorophylle (a) est le principal récepteur (photorécepteur) des chloroplastes des plantes vertes, car elle est un tétra pyrole qui remplace les quatre atomes d'azote des pyroles, qui sont liés par coordinance à l'atome de magnésium. La chlorophylle est une porphyrine à magnésium, tandis que l'hème est une porphyrine à fer.

La chlorophylle (b) diffère de la chlorophylle (a) par un groupe aldéhyde sur l'un de ses pyroles plutôt qu'un groupe méthyle. Parce qu'elles contiennent des réseaux de simples et de doubles liaisons alternées, les chlorophylles sont des récepteurs très efficaces ; ils ont des bandes d'absorption très fortes dans la région visible du spectre (Benayad, 2022).

Les nombreuses chlorophylles absorbent les photons et les canalisent vers un centre de réaction.

- Propriétés chimiques

Deux moitiés composent la chlorophylle et le groupement chromoprotéique prothétique. Une porphyrine est une tête cyclique tétrapyrrolique avec quatre noyaux. Le cycle du pyrrole contenant un atome d'azote est disposé (Hopkins et al 2003).

Un atome central de magnésium est lié aux quatre azotes des noyaux pyrroles par deux liaisons physiques et deux valences.

- Propriétés physiques

Les chlorophylles sont solubles dans les solvants des lipides et l'alcool. Cependant, la molécule de chlorophylle apparaît comme dipolaire avec un noyau tétrapyrrolique et une longue chaîne de phytol hydrocarbonée de 20A (Angstroms). 10A, qui est assez hydrophile malgré les groupements qui l'entourent (Binet et al., 1968).

2. Sucres solubles

Les sucres solubles sont essentiels à la fonction normale des hydrates d'une cellule ou d'un organe. Les besoins sont couverts par la photosynthèse chez les végétaux, mais leur excès se stocke sous forme d'amidon ou d'autres glucides complexes (Nemouchi, 2003).

2.1. Rôle des sucres

- Les glucides sont essentiels à la vie des végétaux car ils sont les produits primaires de la photosynthèse et les composés à partir desquels sont synthétisés les lipides et les protéines.

- Les sucres métaboliques (glucose, galactose, saccharose et fructose) permettent la résistance aux divers stress, car ils augmentent considérablement avec la sévérité.

- Les sucres sont produits par la photosynthèse et jouent un rôle important dans la vie des plantes. La respiration est convertie en composés de réserves (lipides, saccharose, amidon) lorsqu'elle est transportée vers les tissus profonds et canalisés, qui sont ensuite dégradés. La régulation des processus métaboliques impliqués dépend de la concentration en sucres. (Loretti et al., 2001).

- Le saccharose et les monosaccharides jouent un rôle osmotique dans la réduction du potentiel osmotique et, par conséquent, dans l'ajustement osmotique chez les différentes plantes, ce qui leur donne une tolérance vie-à-vie au stress (Bezzela, 2005).

3. La proline

C'est un acide aminé qui joue un rôle important dans la structure des protéines. Il fait partie des vingt acides aminés qui ont une fonction imine plutôt qu'une fonction amine. La synthèse de proline serait effectuée à partir de la pyrroline 5-carboxylate (P5C) et de l'arginine et de l'ornithine (Lignowski et Splittstoesser, 1971).

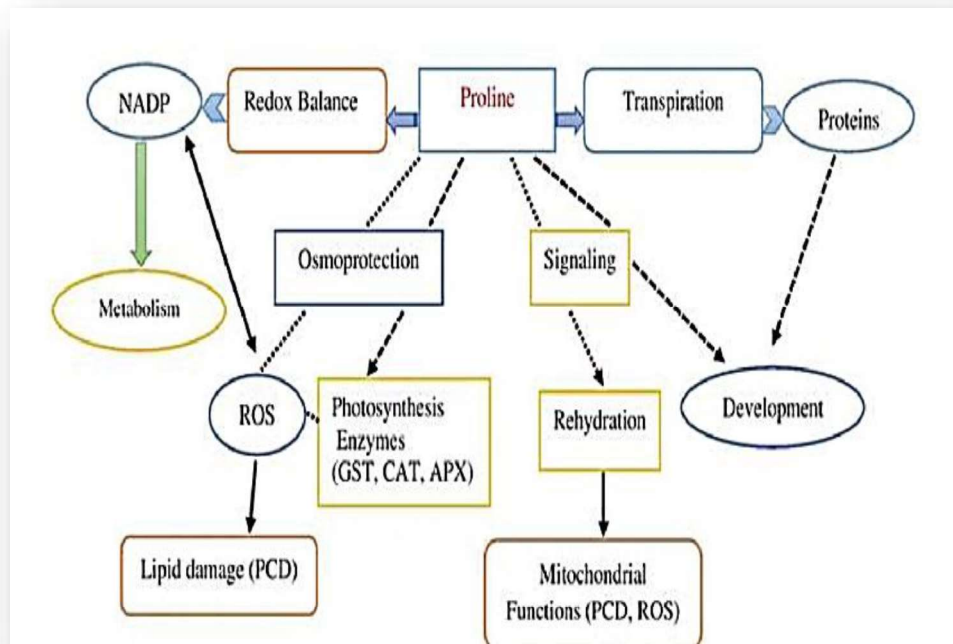



Figure 5. Fonctions de la proline chez les plantes (Szabo et Savoure, 2010).

- L'accumulation de proline est l'une des manifestations les plus notables chez les plantes pour limiter les effets du stress salin et hydrique afin de réaliser l'ajustement du potentiel osmotique dans le maintien de la stabilité des membranes cellulaires (Alem et Amri, 2005) et l'amélioration du cytoplasme (Sannada et al., 1995 ; Belkhodja et Benkabilia, 2000).

- Trois processus complémentaires peuvent contribuer à l'accumulation de proline induite par les stress : une représentation de sa synthèse (Morris et al., 1969 ; Boggesset et al., 1979), antioxydation (Rayapati et Stewart, 1991) et modification de la biosynthèse des protéines (Stewart et al., 1977).



*Chapitre II : Matériel
et méthodes*

I. Présentation de la zone d'étude:

1. Situation et limites géographiques de la wilaya d'Oum El Bouaghi

La wilaya d'Oum El Bouaghi (34°70'N à 36°20'N et 4°80'E à 7°60'E) se situe au Nord de l'Algérie dans la région des hauts plateaux Constantinois au centre des wilayas de l'Est Algérien et s'étend sur une superficie 7638,13 Km² (Amrane et al., 2009). Elle se localise à 500 kilomètres d'Alger. La wilaya se situe à 800m du niveau de la mer (A.N.D.I, 2013). Elle est limitée au Nord par Guelma, au Nord- Ouest par Constantine, à l'Ouest par Mila, Tébessa à l'Est, au Nord-Est par Souk Ahras (Figure 6).

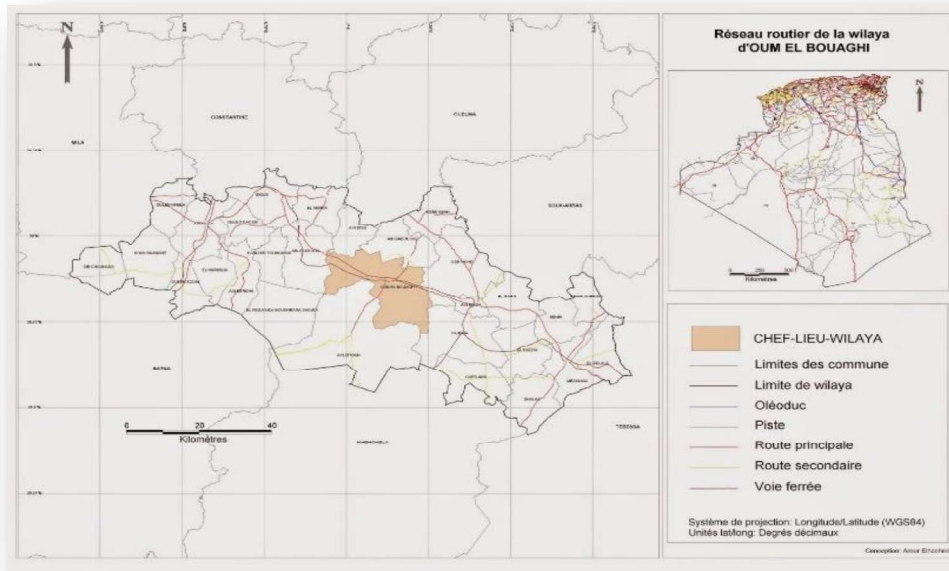


Figure 6. Situation géographique d'Oum El Bouaghi (Amrane et al., 2009).

2. Aperçu sur la zone d'étude

Gérée par la Conservation des Forêts d'Oum El Bouaghi, la forêt d'El Hamimet appartenant administrativement à la wilaya d'Oum El Bouaghi, Daïra de Ain Babouche, commune de Ain Babouche entre 35° 58' 26" N et 7° 11' 11.7" E. Le mont d'El Hamimet est situé au nord de la wilaya d'Oum El-Boughi, s'étend sur les territoires des communes de Ksar Sbihi, Ain Diss, Ain

Babouche, Oum El Boughi, Berriche et Zorg. Il s'étend sur une superficie estimée à 78 000 ha Il est limité :

- Nord par la ligne de crête de la chaîne de Chebket- Est- Sellaoua.
- Au sud, il est délimité par les plaines d'Ain Babouche
- A l'ouest par la ligne de crête de Djebel Es Sensa. La zone de reboisement El-Hamimet s'étend sur une superficie estimée à 1460 ha (Figure 7).

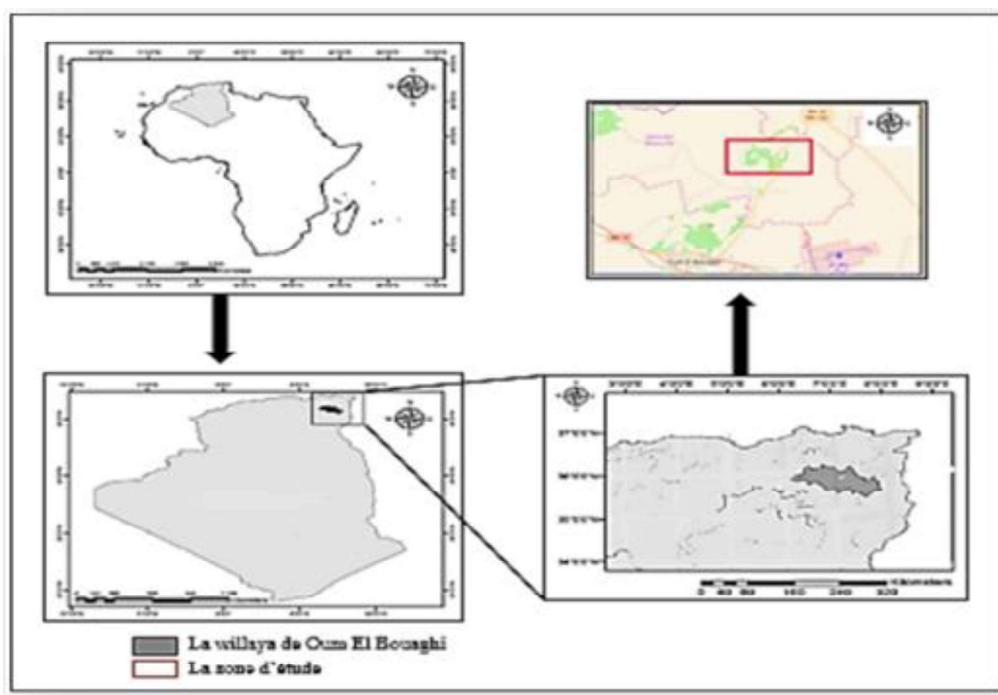


Figure 7. Situation géographique de la zone d'étude (la forêt d'el Hamimet).

- **Altitude** : (minimale : 800 m ; moyenne : 848 m et maximale : 1039 m)
- **Exposition** : toute exposition
- **Relief Haut paiement** : qui occupe presque 20% de la superficie totale du périmètre. Il s'agit en général d'un relief accidenté d'une altitude moyenne de 848 m, avec une pente de 12,5%.
- **Bas paiement** : dominé par une pente varie entre 3-5%
- **Plaine d'Ain Babouche** : cette plaine occupe la partie Nord et Sud de la commune d'Ain Babouche avec une altitude de 800 à 820 m, de pente de 0 à 3%.

La géologie de la commune de Ain Babouche est dominée par les sols de type argilocalcaires à calcaires.

- **Végétation naturelle:** sur le périmètre d'intervention, on rencontre une végétation xérophile qui représente un taux de recouvrement faible variant entre 5 et 10%. Elle est constituée essentiellement de : l'Alfa, Diss, l'Armoise blanche et quelques herbacées.

- **Végétation forestière:** Ces plantations artificielles d'une superficie totale de 1893 ha, âgées entre 15 et 40 ans bien venants recouvrent les monts épars de Djebel Hamimet (1313 ha), Khoudjel (150 ha), Al- Azezeb (280 ha).

3. Echantillons

Le prélèvement des échantillons (aiguilles) du pin d'Alep sont récoltés sur des arbres des sites indiqués sur la figure 8.

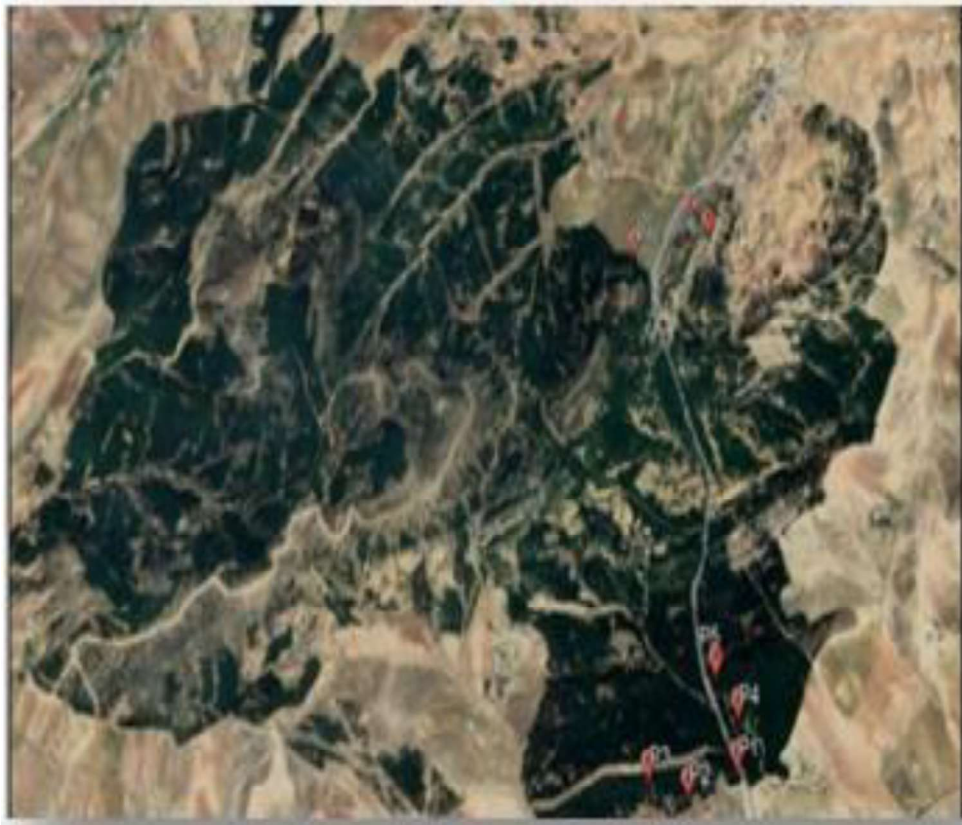


Figure 8. Les parcelles choisies dans la zone d'étude (Google Earth, 2021).

II. Analyses biochimiques

1. Dosage de chlorophylle

La chlorophylle est extraite selon la méthode de McKinney (1994) qui consiste en une macération ou imbiber les 100 mg de matière fraîche des feuilles dans 10 ml d'un mélange d'acétone et d'éthanol à des proportions respectives de 75 et 25 (Figures 9 et 10). Après 48 h dans l'obscurité, la densité optique est mesurée aux longueurs d'ondes 663 nm, 647 nm correspondant respectivement aux chlorophylles (a) et (b).



Figure 9. Dosage de chlorophylle.

Les résultats sont exprimés en mg/g de MF et les concentrations de chlorophylle (a) et (b) déterminées à l'aide des équations suivantes :

- Chl a = $12,25 D_{663} - 2,7 (647)$.
- Chl b = $21,5 (D_{647}) - 4,7 (663)$.
- Chl (a+b) = $7,15 (663) + 18,71 (647)$.



Figure 10. Lecture de la densité optique de la chlorophylle.

2. Dosage des sucres

Les sucres solubles sont dosés par la méthode de Dubois et al. (1956) ; cela se fait en prélevant 100 mg de matériel végétal dans des tubes à essai puis en ajoutant 3ml de l'éthanol à 80 afin d'extraire les sucres ; on laisse à température ambiante pendant 48 h à l'obscurité. Au moment de dosage, on filtre le contenu et on ajoute 20 ml de l'eau distillée à l'extrait (solution à analyser) ; dans des tubes de verre on met 1 ml de la solution à analyser et on ajoute 1 ml de phénol à 5% puis 5 ml de l'acide sulfurique à 1.86 N, toute en évitant de verser de l'acide contre les parois du tube. On obtient une solution jaunes -orange à la surface, on passe les tubes au bain marie pour 10 à 20 mn à 30 °C (Figure 11).

La densité optique a été mesurée à 485 nm.



Figure 11. Dosage des sucres soluble.

3. Dosage de la proline

La méthode utilisée est celle de Troll et Luidsley en 1955, modifiée par Dreier et Corning en 1974 ; in Benlaribi, 1990). Pour chaque échantillon prélevé (100 mg de la matière végétale), est immédiatement pesé, puis placé dans un tube à essai, un volume de 2 ml de méthanol à 40 % est ajouté à l'échantillon, et le tout est chauffé à 85°C dans un bain-marie pendant 1h à 85°C.

Après refroidissement, 1 ml de la solution d'extraction est ajouté à 2 ml d'acide acétique, 25 mg de ninhydrine et 1 ml du mélange eau distillée-acide acétique-acide orthophosphorique de densité 1,7 (120,300, 80 : v/v/v) (Figure 09).

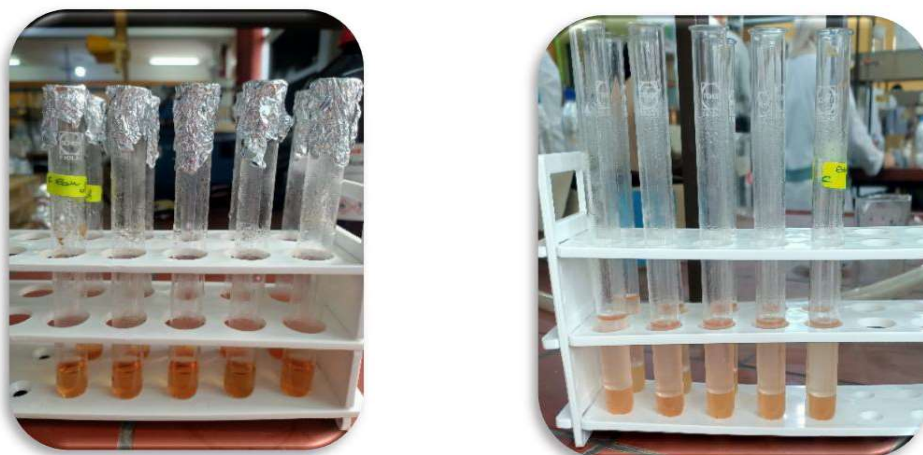


Figure 12. Dosage de la proline.

L'ensemble est porté à ébullition pendant 30mn au bain-marée à 100°C, puis refroidi et additionné 5 ml de toluène. Après agitation au votrex, une pincée de sulfates de sodium (Na_2SO_4) est ajoutée dans chaque tube. La densité optique a été mesurée à 528nm par spectrophotomètre après 48 heures.


Les teneurs en proline sont obtenues par l'équation suivante :

$$Y = 0.62 * D.O / M.S$$

DO : densité optique

MS : matière sèche (mg)

Y : $\mu\text{mol}/\text{mg}$ M.S.



Chapitre III :
Résultats et discussion

Résultats et discussion

En réponse aux conditions du milieu, beaucoup d'espèces simulent des changements significatifs sur le plan morphologique et métabolique. Parmi ces espèces, *Pinus halepensis*. C'est dans ce contexte, que notre étude se veut à la fois la connaissance de cette espèce et sa réaction éco-physiologique vis-à-vis aux conditions du milieu, tout en essayant de comprendre sa capacité d'adaptation par des marqueurs biochimiques tels que la chlorophylle, les sucres solubles et la proline dans les aiguilles de pin d'Alep de la forêt d'El Hamimet.

Dans notre cas, on choisi de doser ces métabolites par rapport à la couleur des aiguilles allant de la couleur claire au foncé (dégradation de la couleur verte des aiguilles).

1. Chlorophylles

Les résultats obtenus montrent que les taux de chlorophylles a et b des aiguilles du pin d'Alep sont illustrés dans les figures 13 et 14. On note que les quantités de la chlorophylle (a) sont toujours plus importantes que celles de la chlorophylle (b). Ces résultats indiquent que les teneurs les plus élevées des chlorophylles (a) et (b) sont enregistrés dans les aiguilles foncés, alors que les taux les plus faibles sont observés dans les feuilles claires. Les valeurs les plus élevées des chlorophylles a et b sont rencontrées dans les aiguilles de l'arbre 1(F1), alors que les plus faibles sont obtenues au sein de l'arbre 3(C3). On peut expliquer cette observation par la variation intraspécifique.

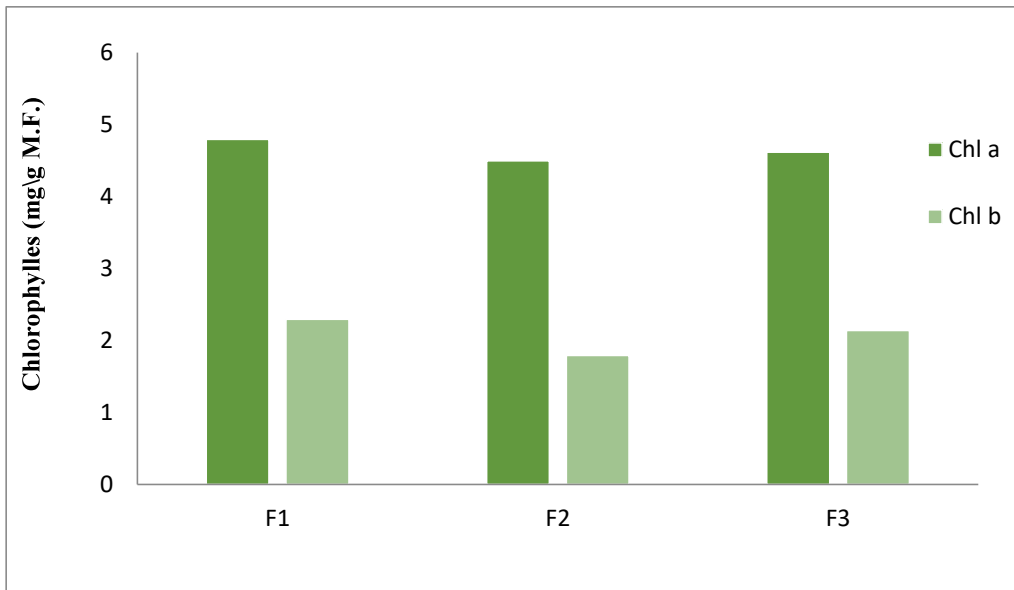


Figure 13. Taux des chlorophylles a et b chez les aiguilles foncés du pin d'Alep.

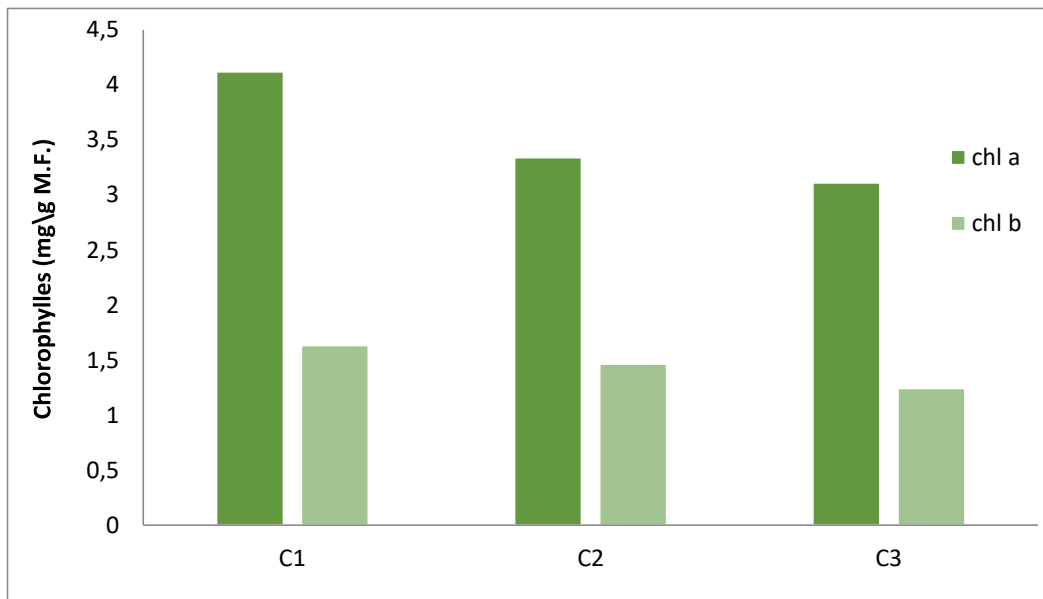


Figure 14. Taux des chlorophylles a et b chez les aiguilles claires du pin d'Alep.

La figure 15 montre le cumul des taux des chlorophylles (a + b) au niveau des aiguilles du pin d'Alep ; ce taux varie selon la couleur d'une part et selon les arbres d'autre part. Ce cumul est

également plus important dans les aiguilles foncées par rapport aux aiguilles claires où on note un taux élevé de 6,896 dans les aiguilles de l'arbre 1(F1).

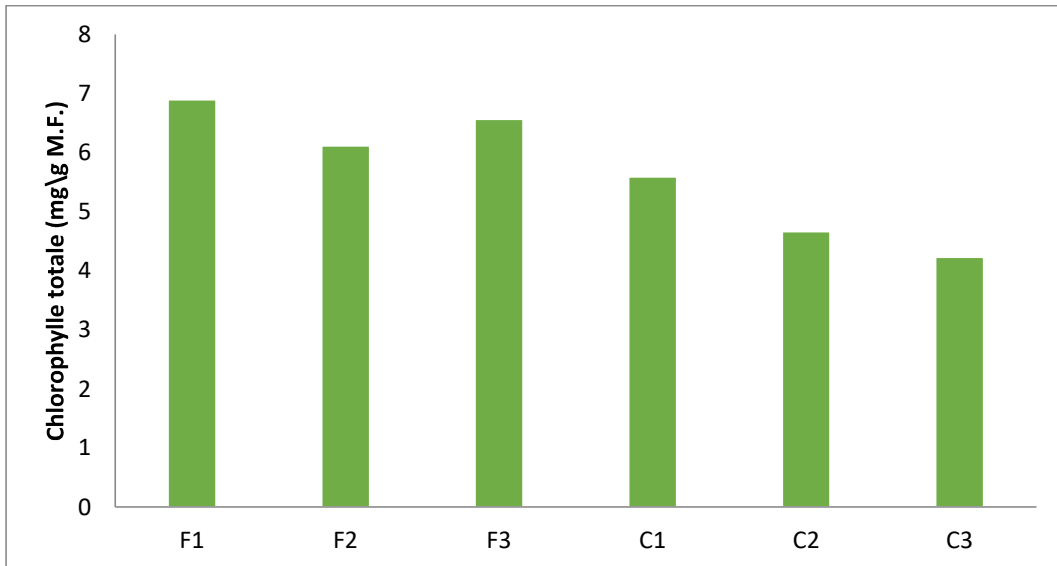


Figure 15. Teneurs en chlorophylle totale chez les aiguilles du pin d'Alep.

Concernant le rapport chlorophyllien (chlorophylle a/b), pour les aiguilles de pin d'Alep (F1), le rapport des chlorophylles a/b est relativement plus élevé que les autres quelque soient leurs couleurs (Figure 16).

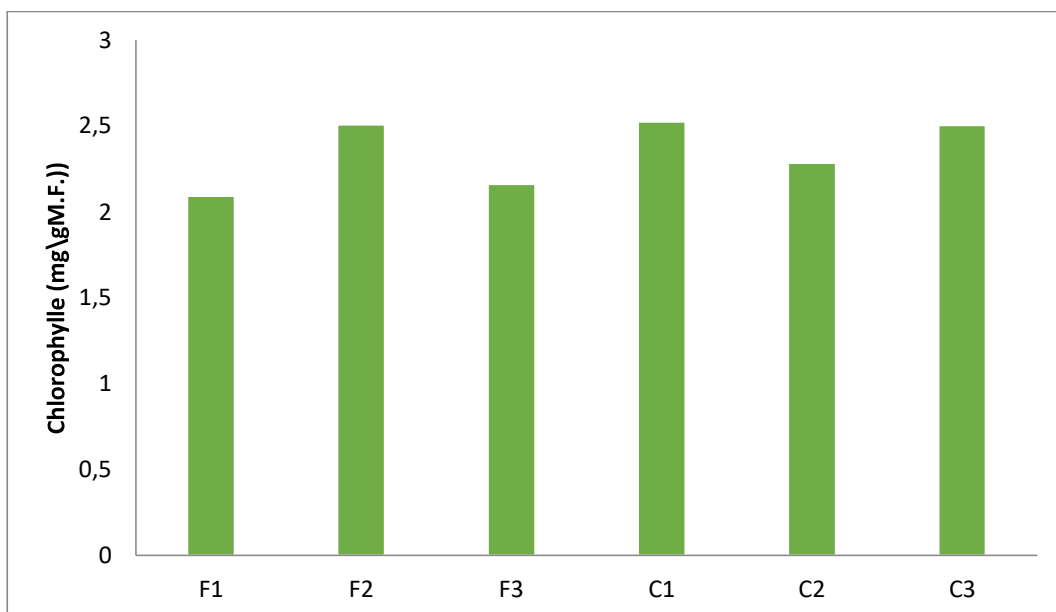


Figure 16. Rapport des chlorophylles a/b chez les aiguilles du pin d'Alep.

Lors de notre expérimentation, le rapport a/b des aiguilles du pin d'Alep est inférieur à 3. Ce résultat explique le comportement des aiguilles du pin d'Alep par une réaction des espèces sciaphiles malgré qu'il soit héliophile. Cette remarque peut être s'expliquer par la situation dans l'ombre des arbres choisis pour l'expérimentation.

Le rapport Ch a/Ch b est un paramètre important pour connaître l'influence d'un facteur du milieu (climat, sol,..) sur le comportement des semis du pin d'Alep. Les causes possibles expliquant de la réduction importante de la chlorophylle sont : la destruction des membranes thylakoïdiennes cellulaires, une perte de la compartimentation cellulaire peut en effet inhiber le déroulement des grandes fonctions métaboliques (Cornic et Ghashghaie, 1991). On peut constater que le système photosynthétique est endommagé par les températures stressantes et la réduction des taux des pigments chlorophylliens peut être expliquée par un abaissement de contenu en protéines thylacoïdal associé aux chlorophylle « a » et « b » (Loggini et al., 1999). Cet abaissement est du soit à une faible synthèse de ces protéines, soit à une activation de leur dégradation. Ainsi, Miller (1993) a démontré que les températures élevées peuvent provoquer la dénaturation de protéines, l'inactivation des enzymes et la réduction de l'activité photosynthétique du chloroplaste. Ce même auteur prouve que le photosystème II (PSII) est très vulnérable à l'effet des hautes températures. Les plantes sont généralement soumises à des stress qui se traduisent par des changements morphologiques, physiologiques, biochimiques et moléculaires qui affectent négativement la croissance de la plante et de sa productivité (Wang et al., 2001; Araus et al., 2002). Il est connu que lorsque les plantes subissent un stress, le niveau de chlorophylle diminue, ce qui affecte la coloration de la plante et ralentit sa croissance. On peut dire que le système chlorophyllien est également affecté par le stress thermique à partir d'un seuil. Selon Haldiman (1999), on constatera que la synthèse de la chlorophylle est beaucoup plus affectée par la chaleur, un génotype tolérant conserverait une activité photosynthétique, une quantité de chlorophylle (a) et (b) et un rapport (a/b) suffisant pour continuer sa croissance sans subir des dommages photo-oxydatifs.

2. Sucres solubles

Chapitre III : Résultats et discussion

Les résultats obtenus montrent que les valeurs de la teneur en sucres solubles varient d'un arbre à l'autre dont la valeur maximale est rencontrée chez les aiguilles de C2 (376 $\mu\text{mol}/\text{mg M.S}$) et les valeurs minimales sont rencontrées chez les aiguilles de C1 et C3 (Figure 17).

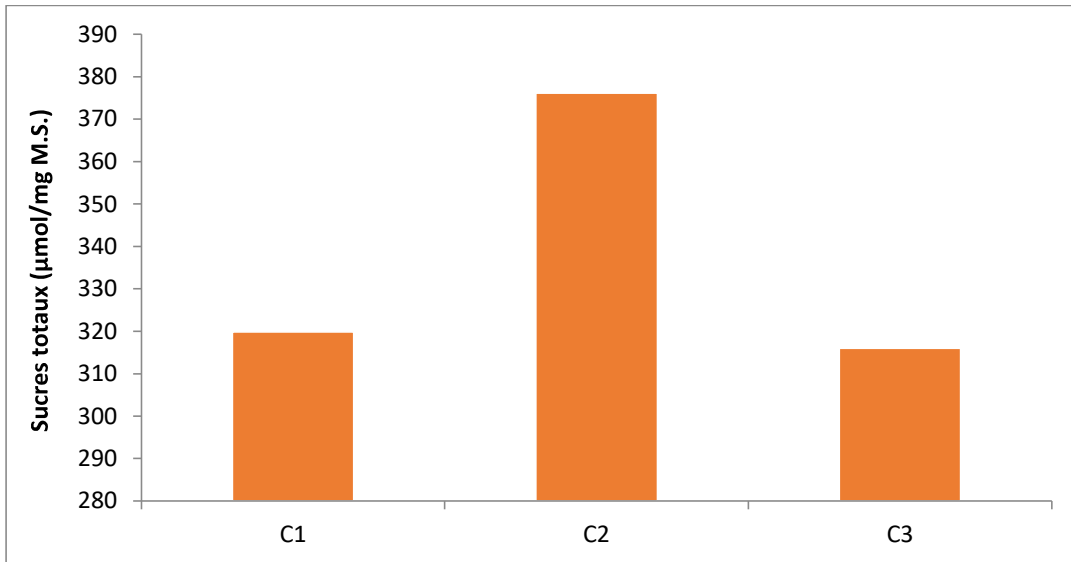


Figure 17. Variations de la teneur en sucres solubles chez les aiguilles claires.

Dans la figure ci-dessous la teneur en sucres solubles dans les aiguilles foncées est grande chez l'arbre 3(F3) et la plus faible chez les aiguilles de l'arbre 1(F1).

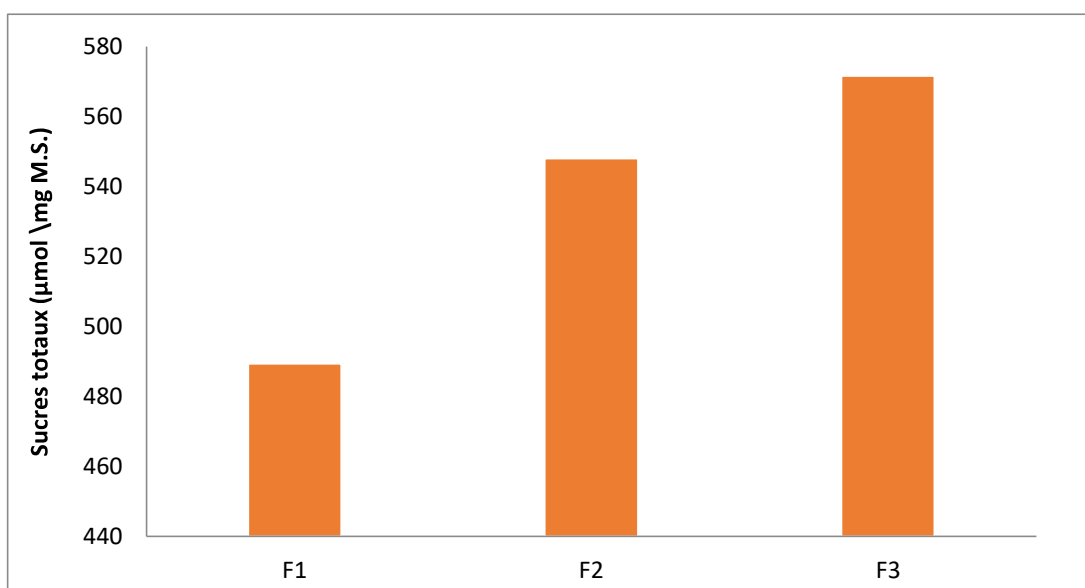


Figure 18. Variations de la teneur en sucres solubles chez les aiguilles foncées.

L'accumulation de sucres solubles pourrait contribuer à l'osmoprotection des végétaux dans les conditions naturelles; cependant, cette dernière semble être responsable de la tolérance aux stress abiotiques du milieu.

Sous stress, ce sont les sucres solubles et plus particulièrement le glucose qui contribuent le plus à l'ajustement osmotique (Selon Dib et al., 1992). L'accumulation des glucides dans les feuilles varie d'une espèce à une autre et d'une variété à une autre, selon le niveau de tolérance et l'intensité du stress. Ben Abdellah et Ben Salem (1992), montrent que les fortes relations entre la teneur en sucres solubles les dommages subis par les membranes cellulaires, résultant d'une accumulation relativement élevée des réserves glucidiques; dans les tiges par exemple, l'accumulation élevée des sucres solubles constitue une préservation du maintien de l'intégrité cellulaire.

La comparaison des quantités des sucres solubles dans les aiguilles du pin d'Alep provenant de la forêt d'EL-Hemimat révèle que les quantités les plus élevées sont rencontrées dans les feuilles foncées, alors que les plus petites quantités sont dans les aiguilles claires (Figure 19).

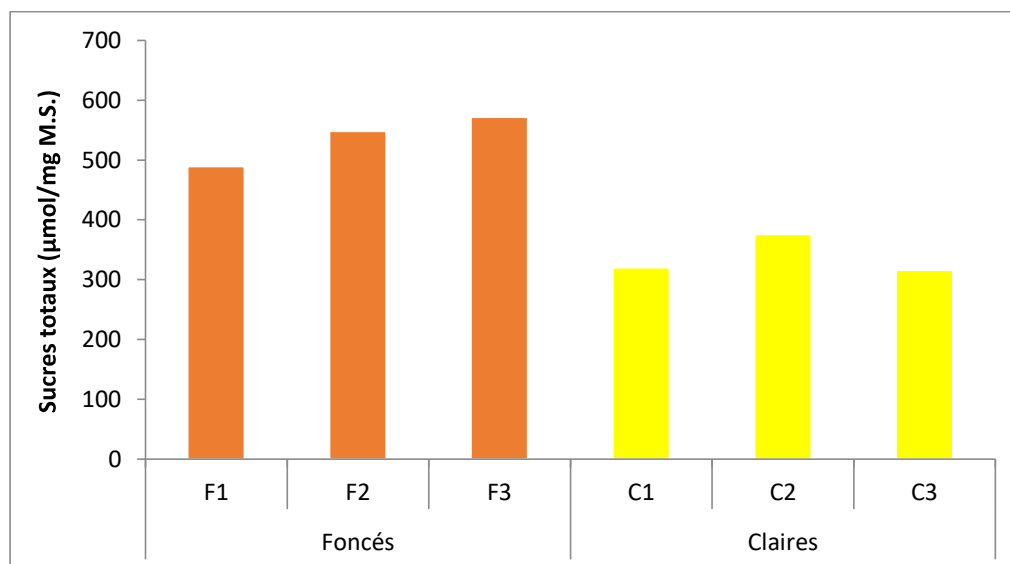


Figure 19. Variations des taux des sucres solubles chez les aiguilles du pin d'Alep.

Selon De Raissac (1992), l'accumulation des sucres solubles, ne peut provenir que de l'hydrolyse des réserves. En effet, une baisse de 0,1mPa de la pression osmotique correspond à

l'hydrolyse de 4% de la matière sèche. Une perturbation de la translocation des réserves sous un stress hydrique de faible intensité, ce qui conduit à une réduction de la synthèse des sucres et de l'amidon.

L'une des conséquences majeures de ce déséquilibre est l'accumulation de solutés, un bon nombre de ligneux comme l'*Eucalyptus microtheca* (Chunyang, 1998) et le *Quercus ilex* (Pesoli et al., 2003) ont montré une augmentation importante dans les concentrations en sucres solubles. La présence des sucres solubles en période de chaleur et de sécheresse protégerait les thylacoïdes de l'altération irréversible des membranes et exercerait une action favorable sur la résistance protoplasmique à la sécheresse (Munns et al., 1975). La teneur en sucres solubles est plus importante dans les feuilles puis le contenu commence à diminuer dans les autres organes (tiges et racines), ceci montre que les sucres sont synthétisés au niveau des feuilles « sources » et sont transportés vers les autres organes (Aissani et Bousba, 1992). Les fortes teneurs en sucres dans les feuilles ne sont pas dues à une surproduction des assimilats mais plutôt une réduction de leur translocation du site de synthèse vers le reste de la plante particulièrement le système racinaire dont la croissance est tributaire (Alaoui-Sossé et al., 1994). L'accumulation des sucres solubles montre les capacités d'adaptation de cette espèce aux conditions du milieu vu que cette dernière est xérophile.

3. Proline

La figure 20 montre la teneur en proline chez les aiguilles des différents arbres choisis pour l'expérimentation de la forêt d'El Hamimet. On note une nette variation des teneurs en proline entre les arbres. La plus grande valeur est enregistrée chez les aiguilles de l'arbre 3 (C3) ; alors que la faible valeur est obtenue chez les aiguilles de l'arbre 1(F1).

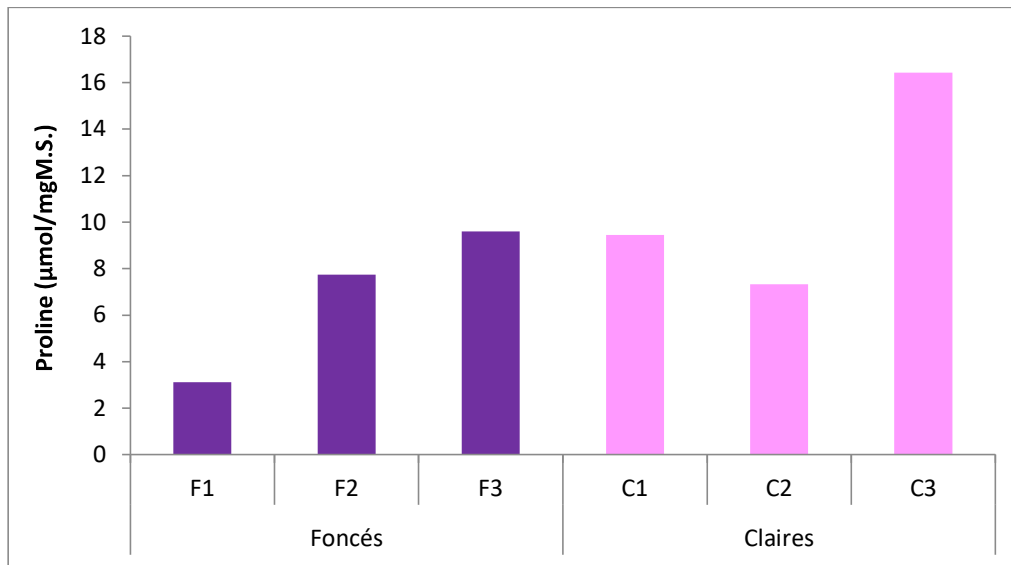


Figure 20. Variations des teneurs en proline chez les aiguilles du pin d'Alep.

L'accumulation de proline est une des stratégies adaptatives fréquemment observée chez les plantes, pour limiter les effets des stress abiotiques. Après les contraintes hydriques, les plantes accumulent comme osmolyte la proline, qui en association avec d'autres facteurs, tels que la réduction de la transpiration par fermeture des stomates et la réduction de la surface foliaire, permet de garder la turgescence aussi élevée que possible (Wang et *al.*, 2003). Cette accumulation constitue un véritable mécanisme de tolérance à la sécheresse, en particulier chez les espèces les plus résistantes.

La réponse des plantes aux variations des stress dépend à la fois des caractéristiques du stress et de la plante. Les caractères physiologiques mesurés traduisent également une tolérance dans le sens où un taux de proline nettement supérieur par rapport aux témoins indique une perturbation métabolique qui suit l'intensité du stress hydrique par exemple.



conclusion

Conclusion :

Le travail présenté dans ce mémoire sert à analyser l'influence de facteurs du milieu sur le comportement du pin d'alep , ce dernier se caractérise par un climat semi-aride. Les analyses biochimiques des sucres solubles et de la chlorophylle et le proline sont effectués au niveau des feuilles de pin d'alep variété (EI-HAMIMAT).

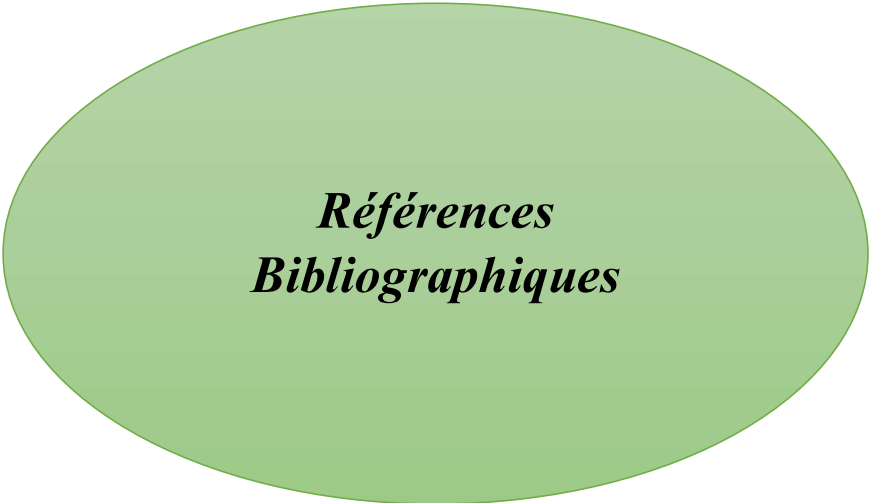
Les résultats obtenus indiquent que les taux des sucres varient d'une variété à l'autre d'une part .

Concernant la chlorophylle totale, la teneur la plus importante est également obtenue pour la même variété mais pour le traitement des feuille ; alors que pour le rapport de la chlorophylle a/b est plus élevé pour l'arbres (c) .

Quant aux les résultats proline obtenus, la teneur en proline chez les aiguilles des différents arbres choisis pour l'expérimentation de la forêt d'El Hamimet. On note une nette variation des teneurs en proline entre les arbres. La plus grande valeur est enregistrée chez les aiguilles de l'arbre 3 (C3) ; alors que la faible valeur est obtenue chez les aiguilles de l'arbre 1(F1).

Une des principales raisons expliquant le succès d'adaptation du pin d'alep en zone méditerranéenne réside dans sa remarquable résistance aux contraintes écologiques et en particuliers thermiques.

Enfin, on constate que pin d'alep présente un certain nombre de traits biologiques lui permettent de survivre et de continuer à fonctionner pendant les périodes de sécheresse. Le pin d'alep se caractérise par sa meilleure adaptation au climat semi aride et aux condition de la forêt (EL-HAMIMAT).



*Références
Bibliographiques*

Références Bibliographiques

- Nahal, I. (1962). Le pin d'Alep, Etude taxonomique, phytogéographique, écologique et Sylvicole. Annales de l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts, 19 (4): 533-627 ; 487-554.
- Zavala, M., Zea, E. (2004). Mechanisms maintaining biodiversity in Mediterranean pine-oak forests: insights from a spatial simulation model. Plant Ecol. 171: 197-207.
<https://doi.org/10.1023/B:VEGE.0000029387.15947.b7>
- Kadik, B. (1983). Contribution à l'étude du Pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) en Algérie. Ecologie, dendrométrie, morphologie. O.P.U. Alger. 581 p.
- Kadik, B. (1987). Contribution à l'étude du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) en Algérie : Ecologie, Dendrométrie, Morphologie. Office des publications universitaires (Alger). 585 p.
- Kadik. (1984). Etude phytoécologique des formations à pin d'Alep du Senalba Gharbi et Chergui (Wilaya de Djelfa). Thèse Doct. 3ème cycle, U.S.T.H.B., Alger, 300.
- Bentouati, A., Bariteau, M. (2006). Réflexion sur le dépérissement du Cèdre de l'Atlas des Aurès (Algérie). Forêt Méditerranéenne, XXVII (4) : 317-322.
- Bentouati, A. (2006). Croissance productivité et aménagement des forêts de pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) dans le massif de Ouled-Yakoub (Khenchela-Aurès). Thèse de doctorat. Université El Hadj Lakhdar-Batna. Faculté des sciences. Département d'agronomie. Algérie. 116 p. -
<http://www.secheresse.info/spip.php?article12870>
- Pommerening, A., Gonçalves, AC., Rodríguez-Soalleiro, R. (2011). Species mingling and diameter differentiation as second-order characteristics. Allgemeine Forst und Jagdzeitung, 182(7-8): 115-129.
- Pommerening, A., Grabarnik, P. (2019). Individual-based Methods in Forest Ecology and Management. Springer International Publishing Switzerland, 411 p.
<https://doi.org/10.1007/978-3-030-24528-3>.
- Pommerening, A., Uria-Diez, J. (2017). Do large forest trees tend towards high species mingling? Ecol Inform, 42: 139-147.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2017.10.009>.
- Quèzel P. (2000). Taxonomy and biogeography of Mediterranean pines (*Pinus halepensis* and *P. brutia*). In: Ne'eman G, Trabaud L, editors. Ecology, Biogeography and Management of *Pinus halepensis* and *P. brutia* Forest Ecosystems in the Mediterranean Basin Backhuys, Leiden, The Netherlands: 1-12.
- Rached- Kanouni M., Hani I., Bousba R., Beldjazia A., Khammar H. (2020). Structural variability of Aleppo pine stands in two forests in northeastern Algeria. Biodiversitas, 21: 2848-2853.
<https://doi.org/10.13057/biodiv/d210663>
- Rached-Kanouni, M. (2019). Structure indices of aleppo pine in chettaba forest (ALGERIA). 19th SGEM International Multidisciplinary Scientific GeoConference EXPO Proceedings. Section ecology and environmental studies.

Références Bibliographiques

- Rached-Kanouni, M., Hani, I., Bousba, R., Beldjazia, A., Khammar, H. (2020). Structural variability of Aleppo pine stands in two forests in northeastern Algeria. *Biodiversitas* 21(6): 2848- 2853. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d210663>.
- Wang W.X., Vinocur P., Altman A. 2003. “Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance”, *Planta*, 218, pp. 1-14.
- Guit, B., Nedjimi, B., Guibal, F., Chakali, G. (2015). Dendroécologie du Pin d’Alep (*Pinus halepensis* Mill.) en fonction des paramètres stationnels dans le massif forestier de Senalba (Djelfa – Algérie). *Revue d’écologie. (Terre Vie)*, 70 : 32-43. <http://hdl.handle.net/2042/56308>
- Michel caron ,15 aout,2011.