

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'AGRONOMIE EL-HARRACH-ALGER-

المدرسة الوطنية العليا للفلاحة- الحراش- الجزائر

Thèse

En vue de l'obtention du Diplôme de Doctorat

En Sciences Agronomiques

THÈME

**CROISSANCE ET ÉTAT SANITAIRE DES PEUPELEMENTS DE PIN D'ALEP
(*PINUS HALEPENSIS* MILL.) DANS LE MASSIF FORESTIER DE SENALBA
(RÉGION DE DJELFA).**

Par : Brahim GUIT

Jury :

Président :	M. DOUMANDJI S.	Professeur (ENSA El-Harrach)
Promoteur :	M. CHAKALI G.	Professeur (ENSA El-Harrach)
Examineurs :	Mme. KADIK L.	Professeur (USTHB Bab Ezzouar)
	M. DERRIDJ A.	Professeur (U.M.M. Tizi Ouzou)
	M. HAMMACHE M.	Maître de Conférences (ENSA El-Harrach)
	M. KADIK B.	Docteur ès Sciences (Alger)

2015



Originale, 2014

Senalba Gharbí. Versant Nord

L'être humain est incroyable, c'est la seule créature qui va couper un arbre, en faire du papier et écrire dessus "Sauvez les arbres" !

Remerciements

Avant tout, je remercie Allah le tout puissant qui m'a donné la volonté et la santé pour mener à terme ce travail. Laka al hamd Rabbi.

Je remercie Monsieur Gahdab CHAKALI, Professeur à l'École Nationale Supérieure d'Agronomie d'El Harrach, promoteur de cette thèse (comme il a été le promoteur de mon mémoire de Magister), d'abord pour m'avoir fait confiance, en acceptant de m'encadrer et de me diriger, puis pour ses orientations judicieuses. Qu'il trouve ici l'expression de ma gratitude et de mon respect.

Je remercie vivement Monsieur Salaheddine DOUMANDJI, Professeur à l'École Nationale Supérieure d'Agronomie d'El Harrach, d'avoir accepté, sans aucune hésitation, de présider le jury de cette thèse.

Mes remerciements vont aux autres membres de jury de cette thèse pour avoir accepté d'en faire partie : Docteur Bachir KADIK ; Madame Leïla KADIK, Professeur à l'Université des Sciences et Technologie Haouari Boumediène de Bab Ezzouar ; Monsieur Arezki DERRIDJ, Professeur à L'Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou et Monsieur Miloud HAMMACHE, Maître de Conférences à l'École Nationale Supérieure d'Agronomie d'El Harrach.

Que Monsieur Frédéric GUIBAL, Chercheur C.N.R.S. à l'I.M.B.E., soit remercié de m'avoir accueilli au sein de son laboratoire de dendroécologie à l'I.M.B.E. (Aix-En-Provence - France).

Toute ma gratitude et ma reconnaissance à mes collègues de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie. Université Ziane

Achour de Djelfa, Monsieur Bouzid NEDJIMI, Maître de Conférences à l'Université Ziane Achour de Djelfa et Monsieur Blél AZOUZI, Professeur à l'Université Ziane Achour de Djelfa, pour leur soutien moral et leur aide quant aux traitements statistiques des données recueillies.

Je tiens à remercier Monsieur HALOUANE Rachid, Chef de Service, responsable de la Cellule de Télédétection du Haut Commissariat au Développement de la Steppe, pour sa contribution à l'élaboration des cartes.

Mes remerciements s'adressent également à mes étudiants de graduation qui m'ont aidé au terrain.

Que le personnel de la Direction des Forêts de Djelfa trouvent ici l'expression de mon profond respect et remerciements d'avoir facilité mes sorties sur terrain, notamment, Monsieur Mohamed RABHI, Chef de Circonscription de la Daira de Dar Chioukh et Monsieur Saâdane BOUHLAL, Chef de Circonscription de la Daira de Hassi Bahbah.

Merci à tous les collègues de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'Université de Djelfa.

Enfin, à ma chère épouse qui m'a supporté au cours de ces longues années. Qu'elle me pardonne pour ma négligence envers mes charges ménagères. Sans son soutien moral et sa patience, ce travail n'aurait pu aboutir.

Dédicaces

À ma mère, À ma mère, À ma mère ;

À la mémoire de mon père ;

À ma chère femme ;

À mes adorables enfants : Ismaïl et Djihane ;

À mes frères et sœurs ;

À toute la famille KHEIRI ;

À tous mes amis ;

Je dédie ce travail.

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE II

Tableau 1. Moyennes des précipitations annuelles corrigées (en mm) (1984/2013)	18
Tableau 2. Moyennes des précipitations mensuelles corrigées (en mm) (1984/2013)	18
Tableau 3. Moyennes des températures annuelles minimales et maximales corrigées (en ° C) (1984/2013)	20
Tableau 4. Moyennes des températures mensuelles minimales et maximales corrigées (en ° C) (1984/2013)	21

CHAPITRE III

Tableau 5. Résultats des paramètres dendrométriques et stationnels	34
Tableau 6. Régression multiple : Hauteur dominante/ Profondeur du sol – Altitude	45
Tableau 7. Caractéristiques des classes de fertilité	47

CHAPITRE IV

Tableau 8. Matrice des données	55
Tableau 9. Corrélations : Dépérissement / Paramètres dendrométriques	59
Tableau 10. Corrélations : Dépérissement / Paramètres stationnels	60
Tableau 11. Répertoire des espèces de xylophages identifiées	64

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I

Figure 1. Aire de répartition du pin d'Alep	5
Figure 2. Aire de répartition du pin d'Alep en Algérie	7

CHAPITRE II

Figure 3. Situation des massifs de Senalba Chergui et Gharbi	12
Figure 4. Carte géologique de la zone d'étude	13
Figure 5. Carte de végétation de la zone d'étude	16
Figure 6. Tendances climatiques de la zone d'étude (1984/2013)	21
Figure 7. Diagramme ombrothermique de BAGNOULS & GAUSSEN de la zone d'étude (1984/2013)	23
Figure 8. Climagramme d'EMBERGER de la zone d'étude (1984/2013)	25

CHAPITRE III

Figure 9. Localisation des stations d'étude.....	29
Figure 10. Vue générale du versant Nord de Senalba Gharbi	31
Figure 11. Vue générale de Senalba Gharbi. Versant Sud	31
Figure 12. Vue générale du versant Nord de Senalba Chergui	32
Figure 13. Vue générale de Senalba Chergui. Versant Sud	32
Figure 14. Effet de l'altitude sur la croissance en hauteur des arbres de pin d'Alep dans le massif forestier de Senalba Gharbi	35
Figure 15. Effet de l'altitude sur la croissance en hauteur des arbres de pin d'Alep dans le massif forestier de Senalba Chergui	36
Figure 16. Effet de l'exposition sur la croissance en hauteur des arbres de pin d'Alep dans le massif forestier de Senalba	37
Figure 17. Effet de l'exposition sur l'accroissement radial des arbres de pin d'Alep dans le massif forestier de Senalba	38
Figure 18. Effet de l'altitude sur la densité des arbres de pin d'Alep dans le massif forestier de Senalba	39

Figure 19. Effet de l'exposition sur la densité des arbres de pin d'Alep dans le massif forestier de Senalba	40
Figure 20. Répartition du nombre de placettes par classe de densité (Forêt de Senalba Gharbi)	42
Figure 21. Répartition du nombre de placettes par classe de densité (Forêt de Senalba Chergui)	42
Figure 22. Répartition du nombre d'arbres par classe de circonférence (Forêt de Senalba Gharbi).....	44
Figure 23. Répartition du nombre d'arbres par classe de circonférence (Forêt de Senalba Chergui)	44
Figure 24. Courbes de croissance en hauteurs dominantes des arbres de pin d'Alep dans le massif forestier de Senalba	48

CHAPITRE IV

Figure 25. Stations d'échantillonnage	52
Figure 26. Sujet dépérissant. Versant Sud. Senalba Gharbi	57
Figure 27. Effet de l'exposition sur le dépérissement des arbres de pin d'Alep dans le massif forestier de Senalba	57
Figure 28. État de dépérissement. Forêt de Senalba Chergui	58
Figure 29. État de dépérissement. Forêt de Senalba Gharbi.....	59
Figure 30. Analyse Factorielle des Correspondances. Senalba Gharbi	62
Figure 31. Analyse Factorielle des Correspondances. Senalba Chergui.....	63
Figure 32. Variations mensuelles des températures moyennes (1984/2013)	68
Figure 33. Variations mensuelles des précipitations moyennes (1984/2013)	69
Figure 34. Variations annuelles des précipitations (1984/2013)	70

SOMMAIRE

	Pages
CHAPITRE I : SYNTHÈSE DES DONNÉES SUR LE PIN D’ALEP	4
1.1. Taxinomie	4
1.2. Aire de répartition	5
1.2.1. Dans le monde	5
1.2.2. En Algérie	6
1.3. Exigences écologiques	7
1.4. Dendroécologie du pin d’Alep	9
1.5. Ravageurs du pin d’Alep	9
<hr/>	
CHAPITRE II : MONOGRAPHIE DU MASSIF PROSPECTÉ	11
2.1. Situation géographique	11
2.2. Relief	11
2.3. Géologie	11
2.4. Pédologie	14
2.4.1. Les rendzines	14
2.4.2. Les sols bruns calcaires	14
2.5. Végétation	15
2.5.1. Les forêts	15
2.5.2. Les matorrals	15
2.5.3. La steppe	15
2.6. Le climat	17
2.6.1. Précipitation	17
2.6.2. Température	19
2.6.3. Synthèse climatique	21
<hr/>	
CHAPITRE III : CROISSANCE DU PIN D’ALEP DANS LE MASSIF FORESTIER DE SENALBA	26
Généralités	26
3.1. Matériel et méthode	28
3.1.1. Site d’étude	28
3.1.2. Méthodologie adoptée	28

	Pages
3.2. Résultats et discussions	33
3.2.1. Distribution de fréquence de la densité des arbres	39
3.2.2. Distribution des circonférences des arbres	43
3.2.3. Relation : Hauteur dominante – Paramètres stationnels	45
3.2.4. Relation : Hauteur dominante – Âge	46
<hr/>	
CHAPITRE IV : ÉTAT SANITAIRE DES PEUPELEMENTS DE PIN D’ALEP	
DANS LE MASSIF FORESTIER DE SENALBA	49
Généralités	49
4.1. Matériel et méthodes	51
4.1.1. Choix des stations	51
4.1.2. Échantillonnage	51
4.2. Résultats et discussions	54
4.2.1. État de dépérissement	58
4.2.2. Relation : Dépérissement / Paramètres dendrométriques	59
4.2.3. Relation : Dépérissement / Paramètres stationnels	60
4.2.4. Analyse Factorielle des Correspondances	61
4.2.5. Diversité des espèces de xylophages répertoriées	63
4.2.6. Importance des dégâts de scolytes	67
4.2.7. Analyse des données climatiques en relation avec les dommages de scolytes	67
4.2.8. Analyse de l’infestation	70
<hr/>	
CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	72
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	74
ANNEXES	96
ARTICLE	108

INTRODUCTION

Le bassin méditerranéen est l'une des régions les plus boisées du monde (FAO, 2006). Il est caractérisé par des hivers humides et des étés chauds et secs (MATESANZ & VALLADARES, 2013). Les écosystèmes méditerranéens sont définis et régis par des variations périodiques du climat. Ces écosystèmes ne sont pas exposés au seul changement climatique. Ils ont subi des changements profonds causés par les activités humaines durant des siècles (BLONDEL *et al.*, 2010). Les pins sont les espèces d'arbres les plus communément plantées à cause de leur croissance rapide, de leur résistance aux conditions les plus xériques, de leur aptitudes à reconstituer les zones dégradées et à occuper les terrains nus (ZAVALA & ZEA, 2004). Le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) est l'une des essences les plus répandues dans la région méditerranéenne, couvrant plus de 25.000 km² des formations forestières dans les régions semi-arides et subhumides (QUÉZEL, 2000). Les pinèdes forment des forêts dont les valeurs écologiques sont très variables (QUÉZEL, 2002).

La forêt algérienne couvre une superficie globale estimée à 4.7 millions d'ha soit un taux de boisement de 11% pour le Nord de l'Algérie y compris la zone steppique (DGF, 2008 ; in GHAZI, 2009). Elle se distingue par sa valeur écologique, sa richesse en espèces forestières et occupant les bioclimats les plus variables. Les essences les plus importantes sur le plan économique sont le chêne liège qui occupe la zone littorale humide et sub-humide, avec 21% de la surface forestière et le pin d'Alep, dominant par ses peuplements répartis sous forme de grands massifs sur l'ensemble de l'Algérie du Nord et peuple même les zones les plus hostiles de la steppe aux marges du Sahara. Le pin d'Alep couvre 35% des surfaces boisées de l'Algérie du Nord, soit environ 800.000 ha (BENTOUATI *et al.*, 2005). Il est localisé en grande partie à l'état naturel dans les régions de l'Est et du Centre du pays principalement sur les Atlas, tellien et saharien.

La demande en produits ligneux, en parcours et en terres de culture n'a cessé d'augmenter en Afrique du Nord. Ceci a engendré une pression croissante sur les écosystèmes forestiers, devenus de plus en plus fragiles. Elle s'est traduite par la disparition de surfaces conséquentes de forêts naturelles (BARBÉRO *et al.*, 1990). La dégradation poussée de la couverture végétale au niveau de la partie la plus méridionale de l'aire actuelle des pinèdes

algériennes a conduit à l'installation de conditions microclimatiques défavorables au développement du pin d'Alep (KADIK, 2005).

Le massif forestier de Senalba constitue l'une des principales forêts naturelles de pin d'Alep des zones semi-arides à arides de l'Atlas saharien algérien. Face à la désertification qui menace les terres du Nord de l'Algérie, ce massif forestier représente la dernière barrière naturelle contre la menace de l'avancée du désert. Il constitue l'un des sites où la diversité biologique et écologique est extrêmement riche. Les peuplements de pin d'Alep qui composent ce massif sont constitués en majorité de vieilles futaies dépassant parfois largement l'âge d'exploitabilité.

Actuellement, beaucoup de forêts méditerranéennes naturelles et de reboisements sont en déséquilibre. De nombreux foyers de dépérissement ont été signalés au cours de ces dernières années. Parmi les principales espèces forestières touchées par le phénomène, on cite le cèdre de l'Atlas au Maroc et en Algérie (BENABID, 1994 ; BENTOUATI, 2008), plusieurs espèces de pins au Maroc et en France (ZINE EL ABIDINE, 2003 ; RIGOLOTT, 2008 ; LE MEIGNEN & MICAS, 2008), certaines espèces de chênes (surtout chêne-liège) en France, Espagne, Portugal et Maroc (GARRIGUE *et al.*, 2008 ; VARELA, 2008), le hêtre et le sapin en France (DENTAND, 2008).

Au Senalba, l'apparition des premiers arbres de pins à aspect rougeâtres en dépérissement a été observée en hiver 1988. Quelques années plus tard avec la sécheresse qui a sévi et les variations des températures enregistrées, l'ampleur des dégâts a été ressentie et une plus grande extension du phénomène s'est généralisée dans diverses pinèdes. Les dépérissements des forêts de pin d'Alep en zone semi-aride sont en étroite relation avec l'activité des populations de diverses espèces de scolytes.

Les périodes de sécheresse enregistrées au cours de ces dernières décennies expliquent en grande partie l'état épidémiologique de certaines espèces, particulièrement l'hylésine des pins, *Tominus destrens* (CHAKALI, 2006). L'état sanitaire, l'âge avancé ainsi que le manque d'une bonne gestion forestière et d'interventions sylvicoles adéquates mettent en danger ce patrimoine forestier.

Dans une perspective de préserver ce patrimoine forestier, la présente étude s'est inscrite dans le cadre de deux projets de recherche, l'un portant sur la croissance et l'état sanitaire de l'espèce dans le massif forestier de Senalba et l'autre sur les potentialités des espèces végétales des zones arides et semi-arides. Il nous a paru judicieux de traiter, dans une première phase, la croissance du pin d'Alep en fonction des paramètres stationnels (altitude, exposition et profondeur du sol). Dans la seconde, un diagnostic de l'état sanitaire des peuplements de pin d'Alep a été développé, en relation avec les facteurs stationnels et dendrométriques, suivi d'une synthèse sur la biodiversité des scolytes et leur évolution spatio-temporelle en rapport avec les conditions climatiques dans les pinèdes des zones semi-arides. Des perspectives seront présentées et discutées en adéquation avec les principaux résultats obtenus.

CHAPITRE I : SYNTHÈSE DE DONNEES SUR LE PIN D’ALEP

1.1. Taxonomie

Le genre *Pinus*, appartenant à la famille des Pinacées (Abiétacées), est divisé en trois sous-genres qui sont *Pinus*, *Ducampopinus* et *Cembrapinus*. Ces sous-genres sont divisés en sections. L’espèce *Pinus halepensis* Mill. fait partie de la section *Halepensoïdes* qui est divisée en trois groupes parmi lesquels le groupe *halepensis* qui se caractérise par des feuilles à deux aiguilles et à cônes caducs (NAHAL, 1962 ; KADIK, 2006).

Le pin d’Alep (*Pinus halepensis*) appartient à un groupe de pins dans lequel plusieurs espèces ont été décrites, mais dont deux seulement sont actuellement considérées comme de véritables espèces par la majorité des systématiciens. Il s’agit de *Pinus halepensis* Mill. et de *Pinus brutia* Ten. (QUÉZEL & BARBERO, 1992). D’après Le HOUÉROU (1990), ces deux espèces occupent près de 6,8 millions d’hectares sur l’ensemble du bassin méditerranéen. *Pinus halepensis* et *Pinus brutia* sont deux taxons très proches génétiquement, précédemment inclus dans une section distincte ou dans la sous-section *halepensis* (PRICE *et al.*, 1998, LOPEZ *et al.*, 2002). La classification récente du genre *Pinus*, sous-genre *Dyploxylon*, ou pins «durs» à tendance à regrouper les deux espèces *P. halepensis* et *P. brutia* avec *P. heldreichii*, *P. pinaster*, *P. pinea*, *P. canariensis* et *P. roxburghii* dans la sous-section *pinaster*, également appelée le groupe des pins méditerranéens (GERNANDT *et al.*, 2005 ; 2008).

La systématique du pin d’Alep établie par FARJON (1996) se résume comme suit :

Règne :	Plantae
Embranchement :	Spermaphyta
Sous-embranchement :	Gymnospermae
Classe :	Pinopsida
Ordre :	Abietales
Famille :	Pinaceae (Abietaceae)
Sous-famille :	Pinoïdeae
Genre :	<i>Pinus</i>
Sous-genre :	<i>Eupinus</i>
Espèce :	<i>Pinus halepensis</i> Mill.

Noms usuels : Pin d'Alep, pin de Jérusalem, pin blanc (France).

- Aleppo pine, Jerusalem pine (Angleterre).
- Sanaouber halabi (pays arabes).
- Pino carrasso (Espagne).
- Pino di Gerusalemme (Italie).
- Aleppo Kiefer (Allemagne).

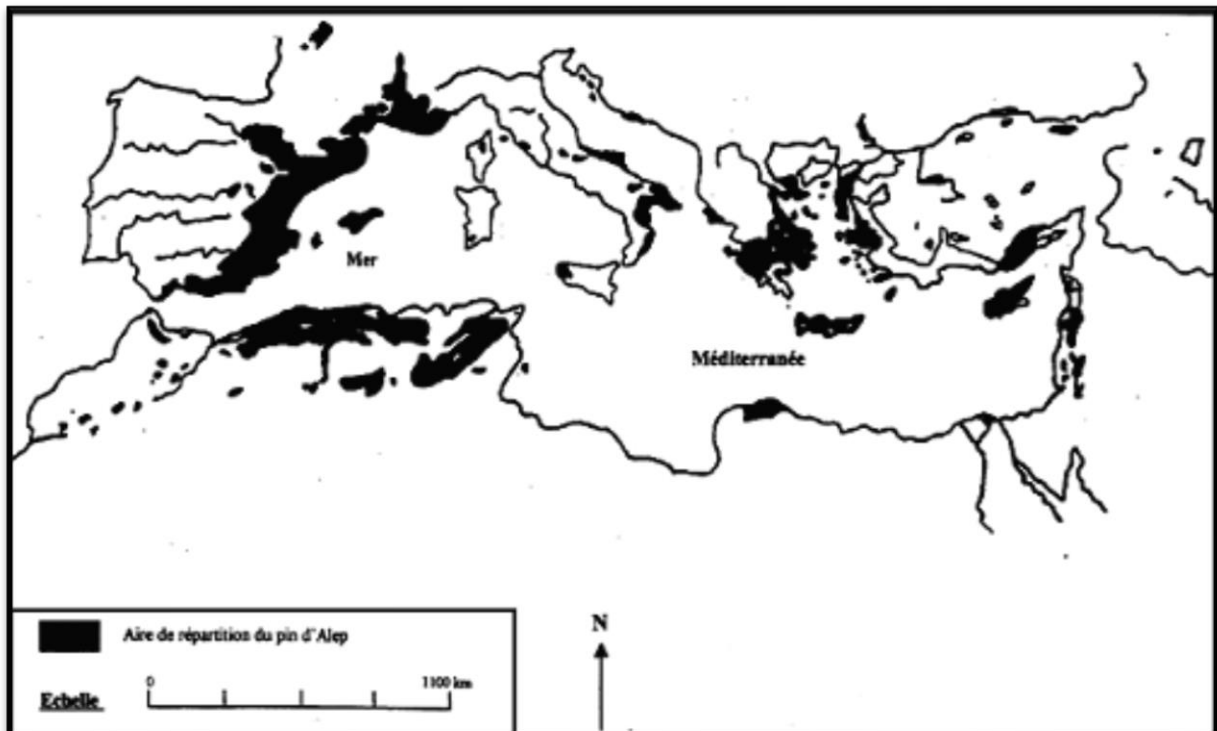
Noms vernaculaires : Azoumbei, Tayada (Berbère).

1.2. Aire de répartition

1.2.1. Dans le monde

L'aire de répartition géographique du pin d'Alep se limite au bassin méditerranéen et occupe plus de 3,5 millions d'hectares (QUÉZEL, 1986) (Fig.1). L'espèce domine les écosystèmes forestiers dans les zones semi-arides du bassin méditerranéen. En plus de son aire de répartition naturelle, cette espèce a été largement utilisée dans les projets et les programmes de boisements au cours du XX^{ème} siècle (MAESTRE *et al.*, 2003).

Elle est surtout cantonnée dans les pays du Maghreb et en Espagne où elle trouve son optimum de croissance et de développement (PARDÉ, 1957 ; QUÉZEL *et al.*, 1987).



QUÉZEL (1986)

Figure 1. Aire de répartition du pin d'Alep.

Au Maroc, le pin d'Alep est peu fréquent à l'état spontané. Il occupe une superficie de 65.000 hectares répartis en peuplements disloqués occupant la façade littorale méditerranéenne au niveau du Rif, du moyen et du haut Atlas (QUÉZEL, 1986). En Tunisie, les forêts naturelles de pin d'Alep couvrent 170.000 hectares, occupant ainsi tous les étages bioclimatiques depuis la mer jusqu'à l'étage méditerranéen semi- aride (SOULERES, 1969 ; CHAKROUN, 1986). Cependant AMMARI *et al.* (2001) avancent une superficie de 370.000 hectares occupée par les forêts naturelles et les reboisements de pin d'Alep.

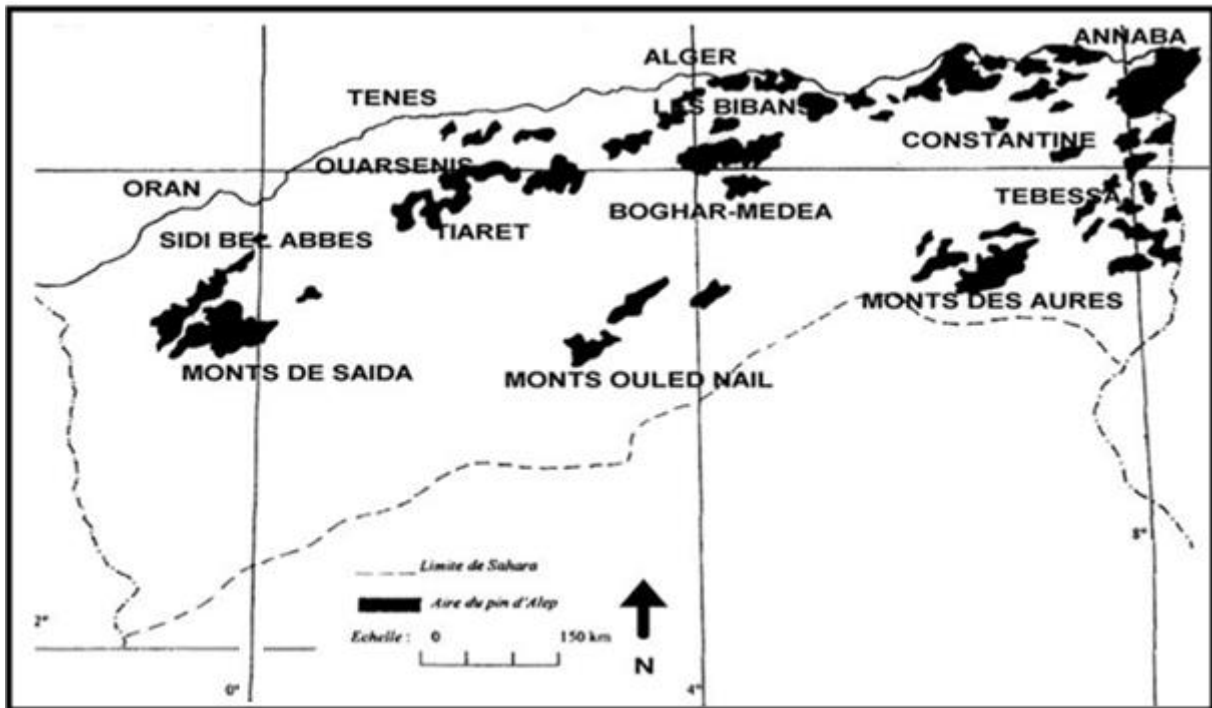
En Europe, Le pin d'Alep est surtout présent sur le littoral espagnol où il couvre une superficie de 1.046.978 hectares en peuplements purs et 497.709 hectares en peuplements mixtes ou mélangés avec d'autres espèces, soit 15% de la surface boisée de la région (MONTERO, 2001). En France, il est beaucoup plus fréquent en Provence prolongeant, dans le Nord, la vallée du Rhône où il occupe une aire de 202.000 hectares (COUHERT & DUPLAT, 1993). En Italie, le pin d'Alep ne représente que 20.000 hectares cantonnés essentiellement dans le Sud, en Sicile et en Sardaigne. Par contre, en Grèce, les peuplements de pin d'Alep représentent une superficie importante de 330.000 hectares.

En Méditerranée orientale, il est assez rare et remplacé par *Pinus brutia*. Il existe à l'état spontané mais d'une façon très restreinte en Turquie, en Albanie et en Yougoslavie et très peu au Proche Orient (Palestine, Jordanie, Syrie et Liban) (SEIGUE, 1985).

1.2.2. En Algérie

Avec 35% de couverture, le pin d'Alep occupe la première place de la surface forestière de l'Algérie. Il existe dans toutes les variantes bioclimatiques avec une prédominance dans l'étage semi-aride. Il est présent partout, d'Est en Ouest, allant du niveau de la mer aux grands massifs montagneux du Tell littoral et de l'Atlas saharien (Fig. 2). Sa plasticité et sa rusticité lui ont conféré un tempérament d'essence possédant un grand pouvoir d'expansion formant ainsi de vastes massifs forestiers (BENTOUATI *et al.*, 2005).

BOUDY (1950) cite une surface de 852.000 hectares occupée par le pin d'Alep, alors que SEIGUE (1985) donne une surface de 855.000 hectares. MEZALI (2003), dans un rapport sur le Forum des Nations Unis sur les Forêts (FNUF), avance un chiffre de 800.000 hectares.



BENTOUATI (2006)

Figure 2. Aire de répartition du pin d'Alep en Algérie

1.3. Exigences écologiques

Le pin d'Alep se caractérise par une plasticité exceptionnelle (QUÉZEL, 1986). Il est considéré comme l'un des pins les plus tolérants à la température et la sécheresse prononcées (SCARASCIA-MUGNOZZA, 1986).

Il est à la fois thermophile et héliophile, supportant des températures élevées mais craint les humidités excessives, le gel et la neige (NAHAL, 1962 ; VENNETIER *et al.*, 2010).

La température est un des facteurs climatiques majeurs limitant l'expansion du pin d'Alep. On le rencontre dans des gammes de températures moyennes annuelles allant de 11 à 19 °C, ce qui correspond à peu près à des moyennes des minima du mois le plus froid comprises entre -2 et + 6 °C. Il peut supporter des froids accidentels de -15 à -18 °C, à condition qu'ils restent exceptionnels et de durées limitées (BEDEL, 1986). D'après l'étude conduite par BROCHIÉRO (1997) en Provence calcaire, il ressort que les températures fraîches (température moyenne annuelle < 11°C) et les altitudes > 700 m restent défavorables à la croissance du pin d'Alep.

Le pin d'Alep pousse dans des zones où les précipitations annuelles sont variables et comprises entre 200 et 1500 mm. La pluviométrie ne semble pas être un facteur déterminant de la répartition de l'espèce, même si c'est entre 350 et 700 mm de précipitation annuelle que son développement est optimal (QUÉZEL *et al.*, 1987). De très belles futaies de pin d'Alep se localisent en zone semi-aride entre 300-400 jusqu'à 700 mm de précipitations annuelles (QUÉZEL, 1986).

Divers auteurs, notamment CAMPELO *et al.* (2006) ; BOGINO & BRAVO (2008) ; MARTIN-BENITO *et al.* (2008) ; VIEIRA *et al.*, (2009) ; BOGINO (2009), ont conclu que la croissance des différents pins méditerranéens est positivement corrélée aux précipitations. En Grèce, PAPADOPOULOS *et al.* (2009) ont mis en évidence que la croissance du pin d'Alep est positivement corrélée aux précipitations hivernales et printanières et négativement corrélée aux températures printanières.

Au point de vue édaphique, le pin d'Alep pousse sur des substrats tels que la marne, le calcaire, les schistes ou les micaschistes et demeure absent sur les granites et les gneiss. Il s'installe sur des sols très variés qui vont des lithosols aux sols évolués profonds. En fait, il semble indifférent à la nature de la roche mère, mais peut s'installer préférentiellement sur les substrats meubles ou friables et supporte beaucoup mieux que la plupart des autres essences provençales un taux élevé de calcaire actif. *Pinus halepensis* craint l'hydromorphie et ne peut pas prospérer dans les dépressions où l'eau s'accumule l'exposant ainsi à une asphyxie racinaire (LOISEL, 1976).

La croissance en hauteur du pin d'Alep dépend en premier lieu du bilan hydrique stationnel (BROCHIÉRO, 1997 ; RIPERT & VENNETIER, 2001 ; RATHGEBER *et al.*, 2005). L'étude conduite par INCLA *et al.* (2005) a fait ressortir que le stress hydrique diminue la croissance du pin d'Alep. En Tunisie, EL KHORCHANI *et al.* (2007) ont observé, qu'après l'année 1978, les sécheresses périodiques et fréquentes ont significativement réduit sa croissance radiale et augmenté le taux de mortalités. De similaires observations ont été rapportées après l'année 2003 au Sud de la France (VENNETIER & RIPERT, 2010). Ces constatations sont en accord avec les modèles et les longues séries d'observations concluant que l'espèce est de plus en plus menacée par les dommages causés par la sécheresse, particulièrement au printemps et en été (RATHGEBER *et al.*, 2000 ; OGAYA *et al.*, 2003 ; BORGHETTI *et al.*, 2004 ; SARDANS & PEÑUELAS, 2007 ; VILA *et al.*, 2008).

1.4. Dendroécologie du pin d'Alep

Malgré sa distribution importante dans le bassin méditerranéen, les études effectuées sur la dendroécologie du pin d'Alep restent limitées et fragmentaires. Sa longévité, estimée à 250 ans par SAFAR *et al.* (1992), n'est sans doute pas étrangère au peu d'intérêt que lui portent les dendrochronologues. Il a fait l'objet de différentes études dendroécologiques à travers les pays méditerranéens : En Algérie, par MEDDOUR (1992) ; GUIT (1994) ; SAFAR (1994) ; GUIT *et al.* (2015). Au Maroc, par MOKRIM (1989) ; AL IFRIQUI *et al.* (1996). En Provence calcaire (France), par SERRE-BACHET *et al.* (1966 ; 1988) ; SERRE-BACHET (1976 a ; 1976 b ; 1992) ; SERRE (1973) ; NICAULT (1999) ; NICAULT *et al.* (2001) ; RATHGEBER *et al.* (2000 ; 2005) ; RATHGEBER (2002). En Espagne, par DE LOUIS *et al.* (2011) ; OLIVAR *et al.* (2012). En Italie, par ATTOLINI *et al.* (1990). En Grèce, par PAPADOPOULOS (1992) ; PAPADOPOULOS *et al.* (2001 ; 2005 ; 2009). Ces études sont essentiellement basées sur une approche statistique de la relation croissance – climat. La croissance étant matérialisée par l'épaisseur du cerne annuel et le climat par les précipitations et les températures mensuelles.

La dynamique de l'activité cambiale du pin d'Alep est caractérisée par deux majeures phases. La première au printemps et la seconde en automne. Ces deux phases sont interrompues au cours de la période estivale où le cambium reste actif mais dont la division cellulaire se fait à un rythme trop bas (DE LUIS *et al.*, 2007). L'analyse de cernes offre la seule opportunité pour comprendre la réponse des arbres au stress hydrique au-delà des siècles ou même des millénaires (BATTIPAGLIA *et al.*, 2009). La réduction de la croissance, accompagnée par un taux élevé de cernes manquants, peut aider à prédire la mortalité au sein des arbres. C'est au niveau des écosystèmes semi-arides, où les espèces forestières sont à la limite de leur aire de distribution, que la dendrochronologie s'avère primordiale (NOVAK *et al.*, 2011).

1.5. Ravageurs du pin d'Alep

Le pin d'Alep constitue un hôte favorable au développement de divers insectes ravageurs. De sévères attaques dans les jeunes plantations sont causées périodiquement par la chenille processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa*, qui se traduisent souvent par des défoliations spectaculaires particulièrement dans les reboisements en zone semi-arides. À cela, s'ajoute divers groupes de xylophages qui trouvent un milieu favorable lors des périodes de sécheresse.

Le groupe des xylophages constitue le groupe le plus à craindre particulièrement aux conifères. Ce groupe d'insectes appartient essentiellement aux familles Scolytidae, Cerambycidae et Buprestidae, qui posent de gros problèmes à la santé des forêts du monde entier. Les retombées économiques des dégâts sont très conséquentes. La diversité et l'abondance de certaines espèces, particulièrement les scolytes, entraînent le dépérissement des peuplements et une détérioration des qualités technologiques du bois. Ces insectes interviennent, soit comme agresseurs primaires, soit le plus souvent comme agresseurs secondaires, aggravant l'état de peuplements aux capacités de réaction amoindries (LIEUTIER, 1984).

Plusieurs espèces de xylophages, par leur mode de vie dans l'écosystème forestier ont pu proliférer dans différentes pinèdes, cédraies et subéraies algériennes. Les modifications du milieu forestier ont une influence sur leur abondance. À l'état endémique, pour se développer, ils recherchent principalement des arbres affaiblis sous l'effet d'un stress.

Diverses espèces d'insectes, particulièrement les scolytes, englobe un grand nombre d'espèces dont la spécificité à l'égard des végétaux diffère sensiblement d'une espèce à l'autre. Ceux inféodés aux conifères font preuve d'une prédilection exclusive pour une essence déterminée (LIEUTIER *et al.*, 1997). Ils sont toujours présents à l'état endémique, prêts à pulluler dès que les conditions leurs sont favorables. Ils profitent du moindre affaiblissement pour s'y installer et de tenter d'y proliférer (ABGRALL & SCHVESTRE, 1987).

CHAPITRE II : MONOGRAPHIE DU MASSIF PROSPECTÉ

2.1. Situation géographique

La forêt domaniale de Senalba est située à 4 km à l'Ouest du chef-lieu de la commune de Djelfa, dont les coordonnées sont : 2° à 3° 5' de longitude Est et 34 ° 34' à 34 ° 45' de latitude Nord (Fig. 3). Elle occupe une superficie de 62.170 ha, constituée principalement de pin d'Alep à l'état naturel. Ce massif forestier se localise en grande partie sur les collines des hauts plateaux de l'Atlas saharien.

2.2. Relief

La forêt de Senalba occupe deux crêtes, appelées respectivement Djebel Senalba Chergui et Senalba Gharbi, orientées Sud-Ouest /Nord Est et s'étend sur une distance de 37 km. Ces deux crêtes descendent en pentes, douces au Sud, abruptes au Nord vers les hautes plaines. Les pentes sont de l'ordre de 40 % au niveau des sommets à plus douces (5 à 20 %) sur les bas de versants. L'altitude varie de 1200 à 1532 mètres.

2.3. Géologie

La figure 4 illustre que l'ensemble du massif de Senalba date pour la plupart du Crétacé, c'est-à-dire de la fin de l'Ère Secondaire (100 millions d'années d'environ). L'enlèvement le plus important survenu au cours de cette Ère est le long affaissement de la plaine post-Hercynienne, caractérisé actuellement par différents calcaires alternant avec des marnes, constituant les monts de Ouled Naïl. (B. N. E. F., 1983).

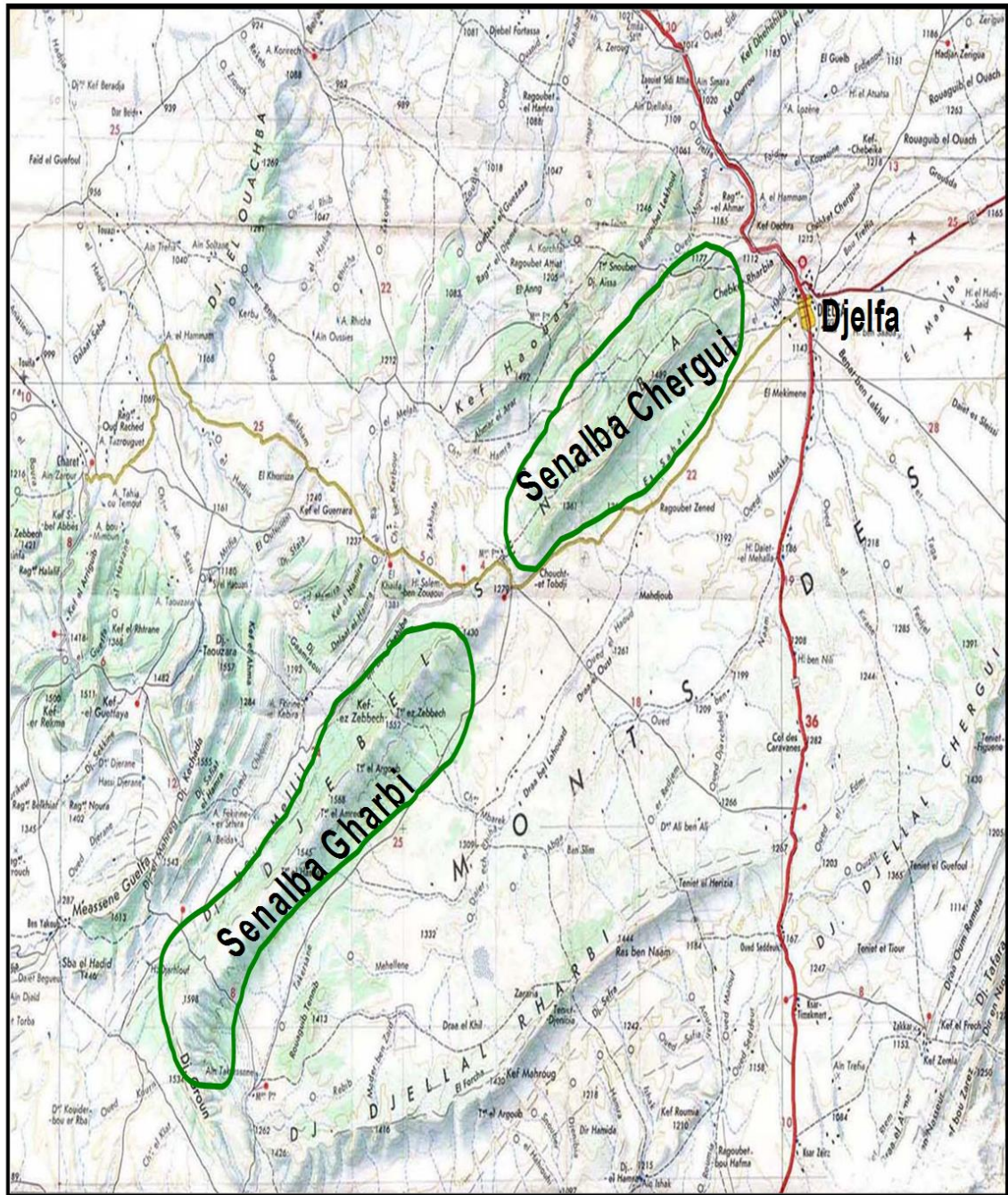
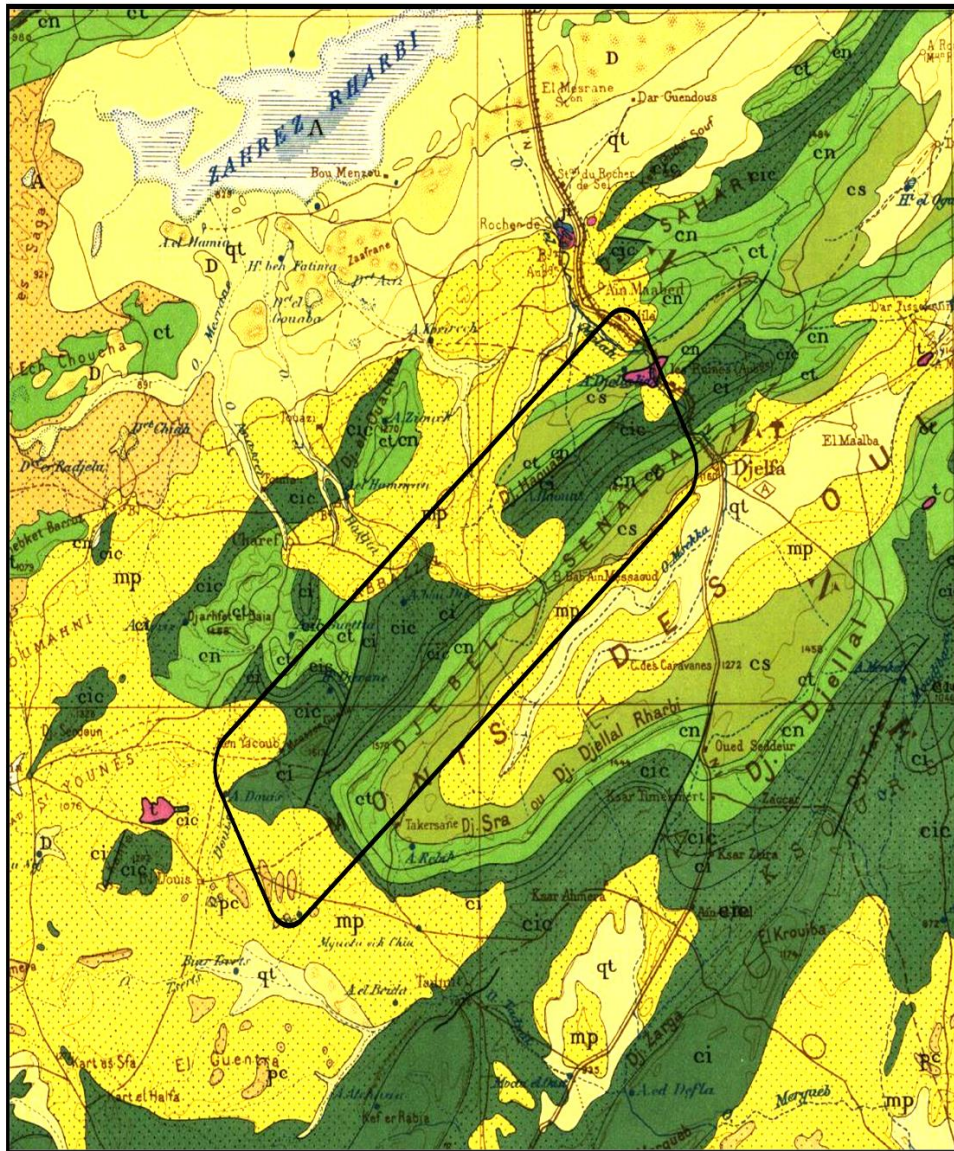


Figure 3. Situation des massifs de Senalba Chergui et Gharbi
(Extrait de la feuille JK Djelfa - Aïn Ouessara. 1964. Ech. : 1/200.000)



(FLANDRIN, 1951)

Figure 4. Carte géologique de la zone d'étude

(Extraite de la carte géologique d'Algérie au 1/500.000).

Légende partielle :

Cs : Crétacé supérieur ; **Cm** : Crétacé moyen (dont **ct** : Tuponien; **cn** : Cénomaniens)

Ci : Crétacé inférieur (dont **cic** : Crétacé inférieur continental).

2.4. Pédologie

La distribution des différents sols est en relation étroite avec la situation géomorphologique (POUGET, 1980). D'une façon générale, les sols de la région de Djelfa sont squelettiques fragiles et pauvres en matière organique. Ils représentent une faible stabilité structurale (pauvres en humus). Ce sont des sols peu profonds qui présentent souvent une croûte calcaire et un taux de salinité conséquent (B. N. E. F., 1983). Les sols favorables localisés dans les dépressions sont très limités et destinés aux cultures locales. Les lits d'oueds, les dayas et les piémonts de montagnes, par leur situation, permettent une accumulation d'eau et d'éléments fins et sont des exemples de sols cultivables (HALITIM, 1988). Les sols de la zone d'étude sont caractérisés par une hétérogénéité liée à la roche mère et la topographie. BENREBIHA (1977) ; KADIK (1983) et KADIK (2005) notent deux classes de sols pour le Senalba : Les rendzines et les sols bruns calcaires.

2.4.1. Les rendzines

Ils sont souvent des rendzines humifères typiques sur les formations de pin d'Alep à chêne vert sur calcaire. La texture est fine, la structure grumeleuse, le taux de cailloux et de graviers est assez important. Ces sols occupent les pentes faibles et les crêtes des Djebels.

2.4.2. Les sols bruns calcaires

Ces sols sont les plus répandus dans le massif forestier de Senalba. Parmi ces types de sols :

- Les sols bruns calcaires sur calcaires tendres qui sont épais et à texture équilibrée. Le taux de matières organiques est moyen et leur dégradation aboutit à des régosols.
- Les sols bruns calcaires sur calcaires durs qui sont généralement peu profonds avec un horizon humifère assez net. Leur dégradation aboutit à des lithosols, comme ceux du poste optique (Mezber el aâli), occupés par des matorrals bas.
- les sols bruns calcaires sur grès siliceux qui sont formés sur une roche mère siliceuse. Ils sont peu profonds et relativement riches en matière organique.

2.5. Végétation

La végétation de la région de Senalba Chergui et Gharbi a fait l'objet de plusieurs études conduites particulièrement par KADIK (1984 ; 1990 ; 2005) qui résume les principales formations comme suit :

2.5.1. Les forêts

Les forêts à pin d'Alep sont situées sur mi et bas de versants. Les forêts peu denses sont représentées par les espèces dominantes :

- Pin d'Alep, chêne vert, genévrier rouge et alfa ;
- Pin d'Alep, chêne vert et genévrier oxycèdre.

2.5.2. Les matorrals

Ces formations constituent des faciès de dégradation de la forêt. Les matorrals hauts sont bien représentés par trois types :

- Chêne vert et genévrier oxycèdre ;
- Pin d'Alep et chêne vert ;
- Pin d'Alep, chêne vert et alfa.

Les matorrals bas, résultant d'une déforestation plus prononcée, sont représentés par deux faciès :

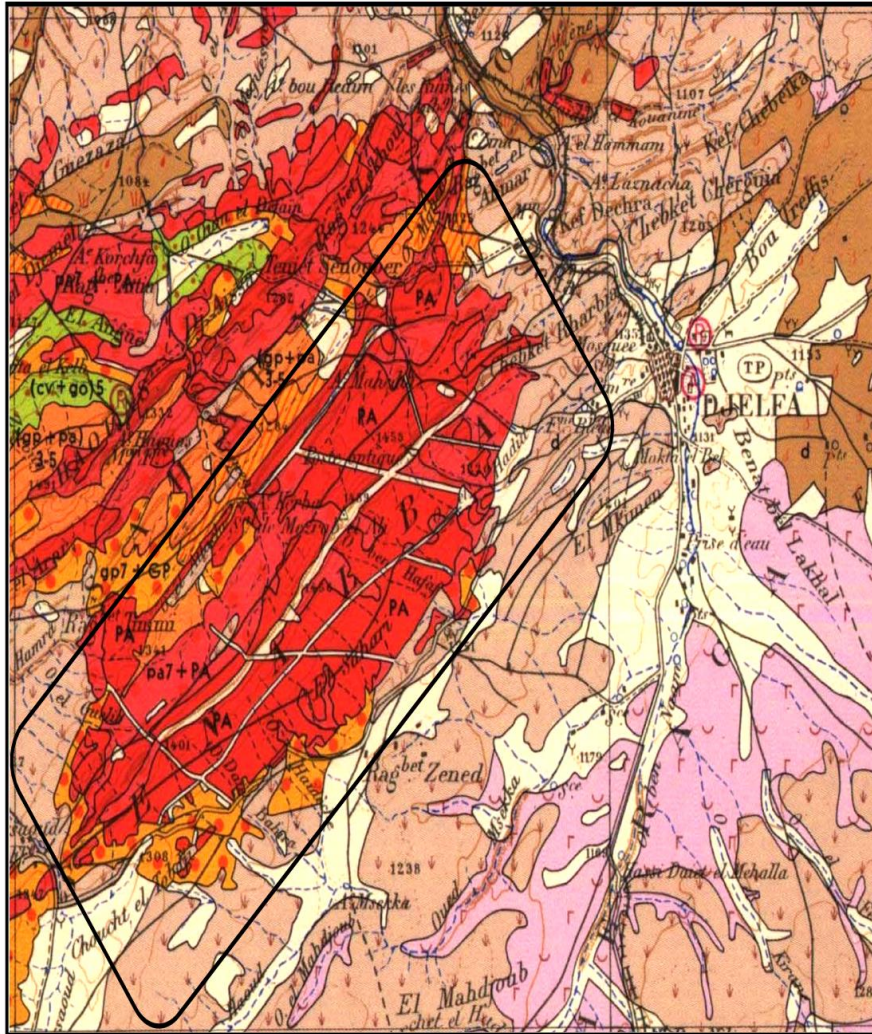
- Chêne vert, genévrier oxycèdre, pistachier térébinthe et alfa ;
- Genévrier rouge et alfa.

La steppe arborée est individualisée par les espèces dominantes suivantes :

- Alfa, Launaea et genévrier rouge ;
- Alfa, genévrier rouge et pin d'Alep.

2.5.3. La steppe

La steppe à alfa est significativement représentée au niveau de l'Atlas saharien, toutefois il faut remarquer que nous n'avons considéré que les formations mitoyennes de la forêt qui se situent à la limite de la zone étudiée. L'action de l'homme conjuguée aux effets néfastes du climat (xéricité et sécheresse) ont rendu complexe la régénération des espèces forestières. Actuellement, nous assistons à la dégradation des forêts aboutissant à des matorrals puis à la steppe (Fig. 5).

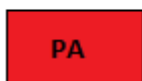


(OZENDA, 1954)

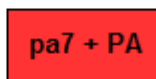
Figure 5. Carte de végétation de la zone d'étude

(Extraite de la carte de végétation de Djelfa au 1/500.000)

Légende partielle :



Pin d'Alep



Pin d'Alep dégradé



Chêne vert

2.6. Le climat

Le climat joue un rôle fondamental dans la distribution et la vie des êtres vivants dans leur environnement (FAURIE *et al.*, 1980)

Les facteurs climatiques regroupent un ensemble de facteurs énergétiques constitués par la lumière et la température, par le facteur hydrologique présenté par les précipitations et les humidités de l'air et les facteurs mécaniques avec le vent et l'enneigement (RAMADE, 1984). Les principaux facteurs climatiques, régissant l'extension du pin d'Alep, ce sont surtout la répartition de la pluviométrie, la sécheresse estivale et la moyenne des minima des mois les plus froids (m) qui exercent une action prépondérante et significative sur l'évolution des peuplements naturels (KADIK, 1986).

L'Algérie fait partie de l'aire isoclimatique « méditerranéenne » puisque son climat est caractérisé par l'existence d'une période de sécheresse axée sur la période chaude et imposant à la végétation en place un stress hydrique de durée variable (DAGET *et al.*, 1988 ; QUEZEL & MÉDAIL, 2003 ; LE HOUEROU, 2004). Sur la base de la classification récente de RIVAS-MARTINEZ (2005), elle fait partie intégrante du « macroclimat méditerranéen ». En pratique, l'étude du climat doit porter sur une longue série chronologique d'observations afin d'intégrer les variations interannuelles qui sont essentielles pour l'analyse des données du bioclimat, autrement dit, du climat vécu par les végétaux et autres organismes vivants (RICHARDS, 1997).

Une période trentenaire est suffisante afin que les moyennes soient statistiquement significatives (RIPERT & LADIER, 2005). Elle permet de filtrer les fluctuations climatiques (CHOISNEL, 1989). Les données climatiques prises en considération sont celles publiées par l'Office National Météorologique (O.N.M.) de la station Djelfa, qui se localise sur une altitude de 1180 m. Ces données sont recueillies sur une période de 30 ans, allant de 1984 à 2013.

L'altitude moyenne de la zone d'étude est de 1300 m. (moyenne des altitudes de placettes échantillonnées). Des corrections sur la pluviométrie et la température ont été effectuées en prenant en compte cette dénivelée de 120 m.

2.6.1. Précipitations

Le climat méditerranéen se caractérise par une répartition irrégulière des précipitations au cours de l'année avec une période de sécheresse estivale plus ou moins importante qui

représente la principale contrainte pour la végétation (DAGET, 1977). Dans les pays du Maghreb, la pluviométrie est le paramètre climatique dominant, étant d'une part, généralement insuffisant, d'une autre, beaucoup plus variable que la température tant à l'échelle spatiale que temporelle (Répartition mensuelle et saisonnière, irrégularité interannuelle). L'évolution de cette contrainte, en relation avec les changements climatiques prévus, peut devenir critique pour la végétation méditerranéenne (HOFF & RAMBAL, 2000).

Une correction pluviométrique suivant la localisation de la zone d'étude a été considérée. Nous avons adopté le gradient pluviométrique proposé par DJEBAILI (1984) pour la steppe sud algéroise qui est de 20 mm pour 100 m de dénivellation.

Tableau 1. Moyenne des précipitations annuelles corrigées en (mm) (1984/2013)

Année	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
P(mm)	267,6	387,4	417,3	322,7	357,5	360,1	471,4	475,5	404	315,4	395	305,1	462,8	415	201
Année	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
P(mm)	319,6	176,2	262,9	236,8	319,3	400	271,8	312	321,4	361,3	411,9	335,2	352,6	260	263,2

* O.N.M. Djelfa, 2013.

La décennie 2000/2009 est la période la plus sèche avec une précipitation moyenne annuelle de 307,36 mm. L'année 1991 est la plus pluvieuse de la trentenaire avec 475,5 mm. L'année 2000 est la plus sèche avec seulement 176,2 mm.

Tableau 2. Moyennes des précipitations mensuelles corrigées (en mm) (1984/2013)

Mois	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Total
P (mm)	35,03 ± 29,13	27,70 ± 21,66	28,82 ± 24,02	29,44 ± 22,33	34,59 ± 29,03	20,18 ± 17,29	10,28 ± 9,52	20,38 ± 19,88	30,65 ± 25,05	29,17 ± 27,61	25,46 ± 17,16	27,83 ± 15,49	319,53 ± 76,73

* O.N.M. Djelfa, 2013.

L'analyse des données montre que la valeur maximale de précipitations moyennes est enregistrée au mois de janvier avec 35,03 mm et la quantité moyenne minimale se limite à 10,28 mm au mois de juillet. Les écart-types sont très importants et ont des valeurs presque identiques aux moyennes. Ceci montre l'irrégularité des précipitations mensuelles au cours des années considérées.

2.6.2. Température

Parmi les facteurs limitant la présence et la répartition des essences forestières, la température est l'un des éléments les plus déterminants dans la caractérisation de la végétation. Chaque espèce présente un seuil minimal ou maximal qui lui permet de se maintenir favorablement. Au-delà de ces limites la survie de l'espèce peut être compromise (BENTOUATI, 2006). Les températures enregistrées sont corrigées en fonction de l'abaque de SELTZER (1946) qui propose pour les températures maximales (M) un gradient thermique de 0,7 °C pour 100 m d'élévation et pour les températures minimales (m) un gradient de 0,4 °C pour 100 m d'élévation.

Tableau 3. Moyennes des températures annuelles minimales et maximales corrigées (en ° C)
(1984/2013)

Année	m	M	(M+m)/2
1984	7,85	19,17	13,51
1985	8,28	20,27	14,27
1986	7,51	19,19	13,35
1987	8,70	20,72	14,71
1988	8,18	20,19	14,18
1989	8,45	20,42	14,44
1990	9,04	20,39	14,71
1991	7,73	18,73	13,23
1992	6,92	19,88	13,40
1993	8,27	19,89	14,08
1994	8,22	21,22	14,72
1995	8,51	20,42	14,47
1996	7,34	18,59	12,96
1997	8,10	19,82	13,96
1998	7,53	19,85	13,69
1999	9,06	18,84	13,95
2000	7,57	20,57	14,07
2001	8,71	21,17	14,94
2002	8,36	20,51	14,44
2003	8,75	19,84	14,30
2004	8,00	19,67	13,83
2005	8,15	20,15	14,15
2006	9,20	20,28	14,74
2007	8,49	19,91	14,20
2008	8,30	19,84	14,07
2009	8,10	20,02	14,06
2010	8,95	20,47	14,71
2011	8,39	19,82	14,10
2012	8,47	20,26	14,36
2013	8,18	19,68	13,93

* O.N.M. Djelfa, 2013.

D'après les données du tableau ci-dessus, la décennie 2000/2009 est la période la plus chaude avec une température moyenne de 14,28 °C. L'année 2001 a enregistré la valeur moyenne maximale de 14,94° C.

Tableau 4. : Moyennes des températures mensuelles minimales et maximales corrigées
(en ° C) (1984/2013).

Mois	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Juil.	Août.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
M	8,86	10,76	14,26	17,13	22,88	29,17	33,27	32,52	26,53	20,69	13,78	10,05
m	0,01	0,92	2,92	5,61	9,94	14,95	18,07	17,85	13,78	9,35	4,24	1,29
M+m/2	4,43	5,84	8,59	11,37	16,41	22,06	25,67	25,19	20,16	15,02	9,01	5,67

* O.N.M. Djelfa, 2013.

Le mois le plus froid est Janvier avec 4.43 °C et le mois le plus chaud est Juillet avec 25,67 °C.

2.6.3. Synthèse climatique

* Tendence climatique

La figure 6 présente la variation interannuelle des précipitations et des températures durant la trentenaire (1984/2013).

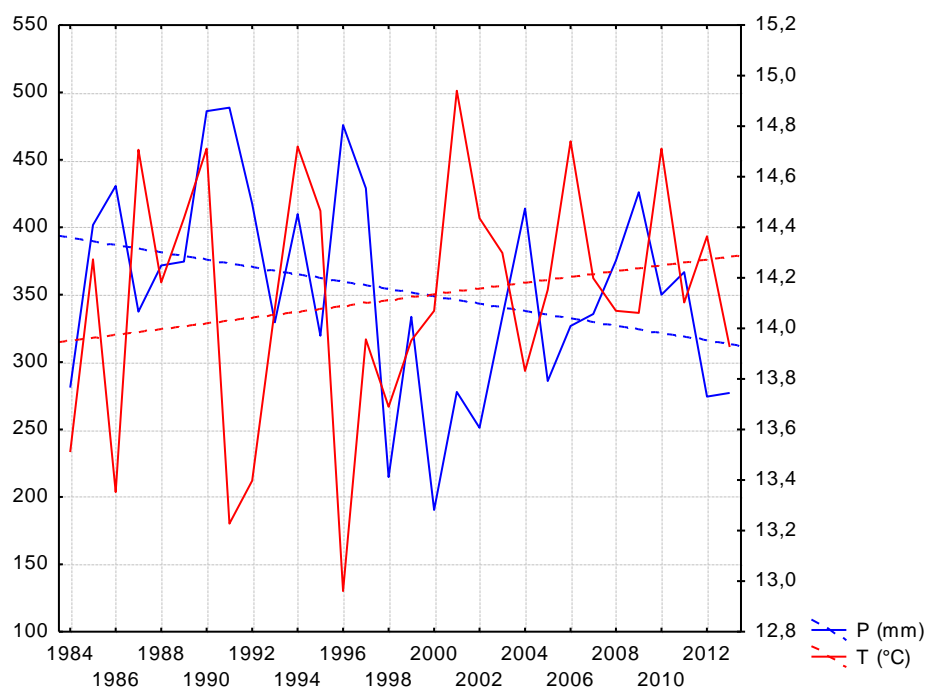


Figure 6. Tendence climatique de la zone d'étude (1984/2013)

Les droites de tendance linéaire indiquent une décroissance générale des précipitations (estimée à 18,35 % entre les deux décennies consécutives 1990/1999 et 2000/2009) et une croissance générale des températures (estimée à 2,52 % entre les deux décennies consécutives 1990/1999 et 2000/2009) ce qui témoigne d'un climat qui tend vers l'aridité. Dans ce contexte, BRADLEY *et al.* (1987) notent que pour l'Afrique du Nord, la diminution des précipitations estivales et automnales est plus forte que l'augmentation des précipitations hivernales, il en résulte une diminution de la quantité des précipitations annuelles.

MANN *et al.* (1998 ; 1999) ; FOLLAND & KARL (2001) confirment que le réchauffement observé au 20^{ème} siècle est le plus fort du dernier millénaire.

La température moyenne à la surface de la terre a augmenté de $0,6 \pm 0,2$ °C au cours du 20^{ème} siècle (PARKER *et al.*, 1995 ; JONES *et al.*, 2001). Ce réchauffement n'est pourtant pas uniformément réparti sur le siècle mais s'accélère en deux périodes de 1910 à 1945 et de 1976 à 2000.

Les températures journalières minimales ont en moyenne augmenté de 0,2 °C par décennie entre 1950 et 1993. Dans le même temps, les températures journalières maximales n'ont augmenté que de 0,1 °C (EASTERLING *et al.*, 1997 ; 2000). L'augmentation des températures minimales a considérablement réduit la période de gel dans de nombreuses régions de hautes et moyennes latitudes (FRICH *et al.*, 2001).

Les changements de température en particulier peuvent avoir un effet directement sur la survie, la reproduction et la distribution géographique des êtres vivants (BALE *et al.*, 2002). Il a été prouvé que le réchauffement climatique actuel affectait un très grand nombre d'organismes (HOUGHTON *et al.*, 2001 ; PARMESAN & YOHE, 2003).

Une variation de l'ordre de 3 °C peut provoquer le mouvement des isothermes d'environ 300 à 400 km en latitude et de 500 m en altitude (HUGHES, 2000).

*** Diagramme ombrothermique**

Ce diagramme est réalisé en portant en abscisses les mois de l'année et en ordonnées les précipitations sur un axe et les températures sur le second (FAURIE *et al.*, 1980). Selon BAGNOULS & GAUSSEN (1953), il est généralement admis que la sécheresse s'établit quand la pluviométrie est inférieure au double de la température. La figure 7 illustre les deux périodes sèche et humide de la région prospectée.

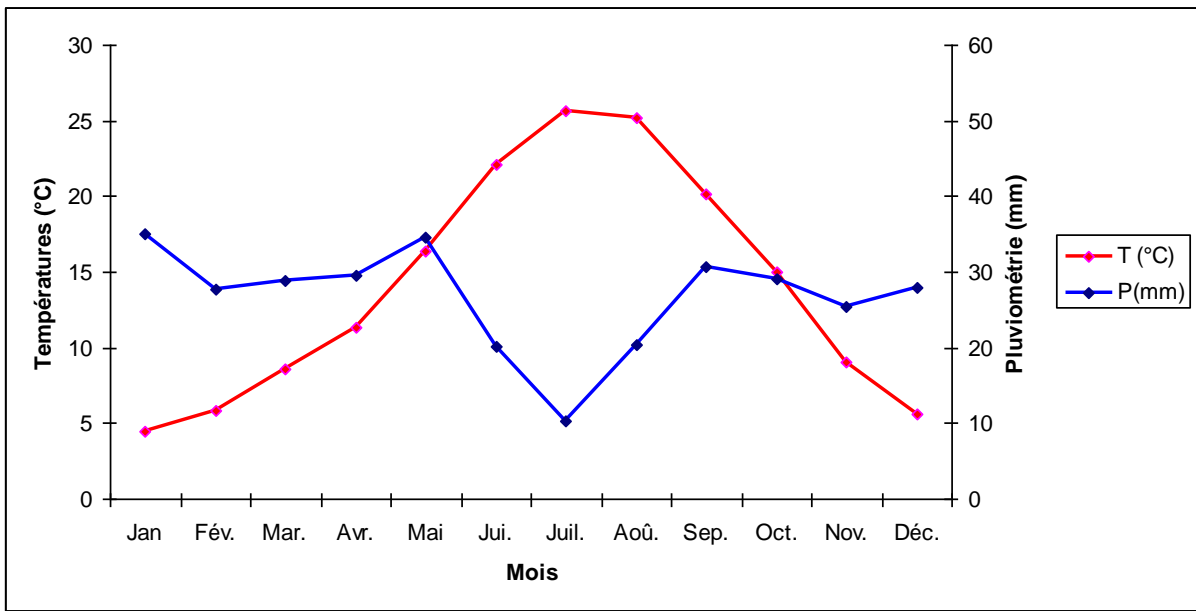


Figure 7. : Diagramme ombrothermique de BAGNOULS & GAUSSEN de la zone d'étude (1984/2013).

Le diagramme ombrothermique met en évidence deux saisons distinctes. Une saison humide qui dure 7 mois, allant du début janvier à la mi-mai et de la mi-octobre à la fin décembre et une saison sèche qui dure 5 mois, s'étalant de la mi-mai à la mi-octobre.

*** Quotient pluviométrique et Climagramme d'EMBERGER**

Ce quotient synthétise davantage les conditions bioclimatiques d'une zone donnée et intègre la moyenne des températures annuelles $(M+m/2)$, l'amplitude thermique $(M-m)$ et le paramètre hydrique P (mm) ; par l'application de la formule d'EMBERGER (1956) :

$$Q_2 = 1000 P / (M+m) (M-m)$$

Cette relation est simplifiée par STEWART (1969) :

$$Q_2 = 3,43 P / (M-m)$$

Le Q_2 relatif à notre région d'étude est : $Q_2 = 3,43 \times 338,73 / (33,27 - 0,01)$

$$Q_2 = 34,01$$

Où : P = Précipitation moyenne annuelle en mm.

M = Maxima des températures moyennes mensuelles en $^{\circ}\text{C}$.

m = minima des températures moyennes mensuelles en $^{\circ}\text{C}$.

Q_2 = Quotient pluviométrique.

EMBERGER considère le Q_2 et la moyenne des températures minimales du mois le plus froid (m) sur un climagramme à deux axes :

- En abscisses, sont portées les valeurs de (m) en degré Celsius.
- En ordonnées, les valeurs de Q_2 .

Le graphe de la figure 8 permet de localiser la zone d'étude dans l'étage bioclimatique semi-aride à variante thermique à hiver froid.

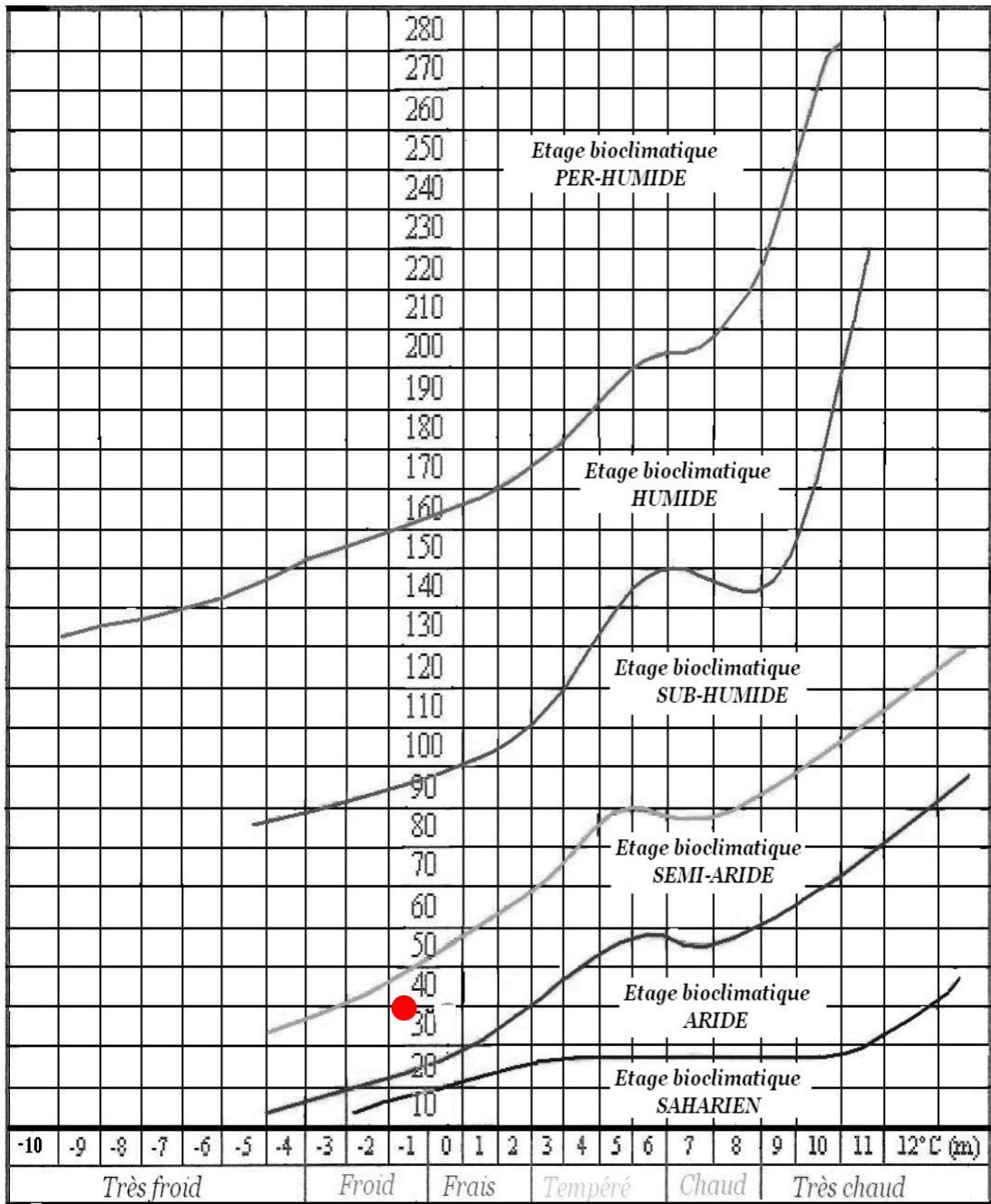


Figure 8. Climagramme d'EMBERGER de la zone d'étude (1984/2013)

● Zone d'étude.

CHAPITRE III : CROISSANCE DU PIN D'ALEP DANS LE MASSIF FORESTIER DE SENALBA

Généralités

Dans l'Atlas saharien central, la forêt de Senalba constitue une des plus belles pinèdes de l'Algérie. La conservation et la protection de ce patrimoine est considérée comme une des priorités du développement régional. Cette forêt est constituée essentiellement de pin d'Alep, qui reste la principale essence en Algérie du point de vue étendue. En plus de son rôle écologique, le pin d'Alep possède un potentiel productif appréciable relatif à l'importance de la surface occupée.

L'évaluation et l'interprétation de cette production ont toujours fait appel à des méthodes et des techniques plus ou moins complexes, interférant plusieurs facteurs d'ordre écologique, dendrométrique et anthropique. Néanmoins, les facteurs dendrométriques restent le seul moyen d'investigation à la prévision de la croissance et de l'établissement des relations entre différentes variables.

Diverses études sont consacrées à la croissance et la productivité de cette essence en Algérie (MEDDOUR, 1983 ; KADIK, 1986 ; YESSAAD, 1988 ; BENTOUATI *et al.*, 2005 ; BENTOUATI, 2006 ; GOUBI, 2011 ; KHERCHOUCHE *et al.*, 2011). À l'échelle méditerranéenne, les recherches sont nombreuses (PARDÉ, 1957 ; NAHAL, 1962 ; SOULERES, 1975 ; AKRIMI, 1986 ; COUHERT & DUPLAT, 1993 ; BROCHIÉRO *et al.*, 1999 ; VENNETIER *et al.*, 1999 ; BELGHAZI *et al.*, 2000 ; RIPPERT & VENNETIER, 2001 ; SGHAIER *et al.*, 2001 ; RATHGEBER *et al.*, 2004 ; DEL CAMPO *et al.*, 2007 ; VENNETIER *et al.*, 2010). Malgré toutes ces données, les connaissances relatives à son autécologie et à sa croissance restent discutables et à développer.

Les données dendrométriques se rapportant aux pinèdes de Senalba se limitent aux inventaires réalisés dans le cadre de l'aménagement du milieu forestier, l'un mené par une équipe de chercheurs bulgares en 1984 suivi de celui du Bureau National des Études Forestières réalisé en 1994 d'où l'importance considérable, en matière de gestion et d'aménagement appropriés, d'une recherche sur l'évolution de la croissance du pin d'Alep et

de son potentiel de production en volume dans cette aire forestière.

Le présent chapitre porte sur l'étude de la croissance du pin d'Alep, en fonction des paramètres stationnels (Altitude, exposition et profondeur du sol), dans les massifs forestiers de Senalba Gharbi et Senalba Chergui.

3.1. Matériel et méthode

3.1.1. Site d'étude

Les massifs prospectés regroupent Senalba Chergui qui occupe une superficie de 19.833,08 ha et Senalba Gharbi qui s'étend sur une aire de 42.339,96 ha. La figure 9 illustre la localisation des stations d'étude au niveau des deux massifs forestiers.

3.1.2. Méthodologie adoptée

La plupart des inventaires forestiers sont fondés sur des échantillonnages qui consistent à choisir des aires limitées représentatives de l'ensemble de la forêt. La distribution des unités d'échantillonnage peut prendre diverses formes. Elle peut être aléatoire et simple, systématique avec ou sans stratification (GAUDIN, 1996). Le type d'inventaire adopté est l'échantillonnage systématique stratifié. Les avantages pratiques sont bien connus : Répartition régulière des unités d'échantillonnage sur toute la surface d'étude et facilité qui en découle pour le repérage et le déplacement et des gains de précision appréciables (SAMALENS, 2009).

Le dispositif expérimental adopté se compose de 120 placettes alignées le long de transects altitudinaux localisés sur les versants Nord et Sud. Sur chaque versant, les placettes sont disposées dans des zones structurellement homogènes. Les altitudes varient en moyenne de 1350 à 1550 m en forêt de Senalba Gharbi et de 1250 à 1450 m en forêt de Senalba Chergui (Fig. 3.2 à 3.5).

Un total de 120 placettes circulaires de 800 m² a été retenu (50 pour le Senalba Chergui et 70 pour le Senalba Gharbi dont le massif est plus étendu). Le choix a été conduit en relation avec l'âge des peuplements qui sont au stade de vieille futaie.

Deux transects, un Nord/Sud selon une toposéquence du sommet au bas versant, et l'autre Est/Ouest ont été choisis. La distance séparant deux placettes consécutives est de 200 m. Dans chaque placette ont été mesurées des variables dendrométriques : circonférence à 1,30 m du sol de tous les arbres, hauteurs totales, hauteur dominante, densité moyenne à l'hectare, surface terrière moyenne à l'hectare, l'âge, l'accroissement radial et des caractéristiques stationnelles : Altitude et profondeur moyenne du sol.

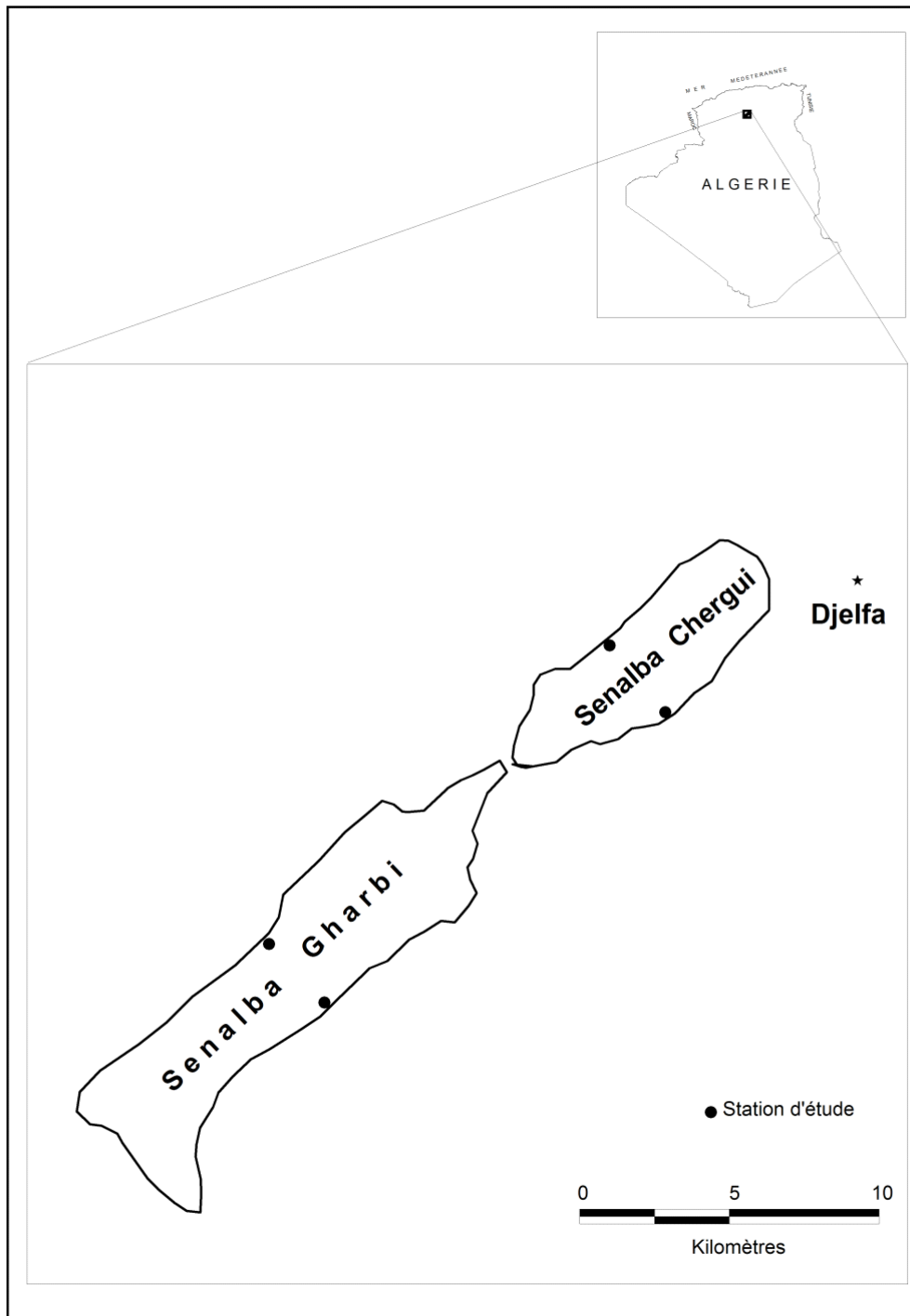


Figure 9. Localisation des stations d'étude.

La hauteur dominante est la moyenne arithmétique des hauteurs des huit plus gros arbres de chaque placette. La fertilité d'une station forestière peut être estimée par la hauteur dominante du peuplement qui s'y développe (DUPLAT, 1989). Du fait de la structure irrégulière de nos peuplements (allant de 60 à 150 ans), une correction de la hauteur dominante a été réalisée en fonction des courbes de croissance établies pour les 600 couples âge/hauteur. On tient compte ainsi des variations de la croissance pouvant exister entre les arbres de différentes générations (BROCHIERO *et al.*, 1999).

La surface terrière de la placette est la somme des surfaces terrières de tous les arbres de cette placette. La surface terrière d'un arbre est la surface de la section transversale de cet arbre à 1,30 m du sol :

$$g = \frac{Ci^2}{4\pi} \text{ (m}^2\text{)}.$$

Ci = circonférence de l'arbre à 1,30 m (Selon M'HIRIT, 1982 ; Ci est un excellent critère à la fois de densité du peuplement et du volume sur pied). Pour la mesure de l'âge, cinq arbres de chaque placette ont subi des sondages à la tarière de PRESSLER (deux carottes à 1,3 m, un du côté amont et l'autre du côté aval). Les carottes de sondage ont été préparées selon les méthodes classiques de la dendrochronologie (FRITTS, 1976). Pour la mesure des cernes, on s'est servi d'une table de mesure Lintab. 6 qui fait des mesures au 1/100^e mm.

Afin d'obtenir la profondeur moyenne du sol, cinq profils pédologiques ont été effectués au niveau de chaque placette (selon deux transects Nord/Sud et Est/Ouest).

Les tests statistiques utilisés ont été :

- Le test de SHAPIRO-WILK aboutissant à la non-normalité des données ;
- Le test de KRUSKAL-WALLIS pour la différence globale entre groupes ;
- Le test de NEMENYI pour la distinction des groupes homogènes.



Originale, 2014

Figure 10. Vue générale du versant Nord de Senalba Gharbi



Originale, 2014

Figure 11. Vue générale de Senalba Gharbi. Versant Sud



Originale 2014

Figure 12. Vue générale du versant Nord de Senalba Chergui.



Originale 2014

Figure 13. Vue générale de Senalba Chergui. Versant Sud

3.2. Résultats et discussions

Au total, 2203 arbres ont été mesurés. Les résultats relatifs aux différents paramètres dendrométriques et stationnels considérés sont regroupés dans le tableau 3.1. Ces résultats mettent en évidence une meilleure croissance des sujets sur les versants Nord de chaque peuplement. En exposition Nord de Senalba, les pentes sont plus abruptes que celles du versant Sud, surtout en haut de versant où elles sont de l'ordre de 45%. En hiver, la neige persiste plus longtemps en versant Nord. Les arbres profitent mieux de l'eau infiltrée. L'énergie lumineuse reçue y est plus faible, donc l'évapotranspiration plus réduite.

De ce fait, les expositions Nord sont plus fraîches et moins arides. DE LUIS *et al.* (2011) expliquent que l'exposition Nord est plus favorable pour l'alimentation en eau des arbres. L'exposition déterminera donc des climats locaux nettement différents et qui se traduisent par des variations de la végétation (VICENTE-SERRANO, 2010).

SAUVAGE (1963), en abordant la dissymétrie pluviométrique entre les topo-climats d'ubac et d'adret, note que sur les versants des massifs, à altitude égale, il existe une variation importante de la pluviosité entre versants exposés directement aux pluies et ceux qui ne le sont pas. LE HOUEROU *et al.* (1979) mentionnent que l'orientation des versants fait diminuer de 10 à 20 % les hauteurs d'eau sur les versants situés en ombre pluviale par rapport aux versants exposés à la pluie, voire de l'ordre de 20 à 40 %. Au Senalba, les versants Nord profitent mieux des masses d'air humides arrivant du côté Nord en provenance de la mer méditerranée.

Ces mêmes paramètres dendrométriques, comparés entre les deux massifs, montrent que le pin d'Alep présente une meilleure croissance au niveau de la forêt de Senalba Gharbi, par rapport à la forêt de Senalba Chergui. Le gradient altitudinal étant de 100 à 150 m en moyenne entre les deux massifs. LE HOUEROU (1982) signale que, dans la majorité des cas, ce gradient est compris entre 5 et 10 %, jusqu'à près de 20 % d'accroissement du total annuel par 100 m d'élévation en altitude jusqu'à 2000 à 2500 m au Maghreb, cet accroissement étant de 30 à 40 mm en moyenne entre les deux massifs. SERRE-BACHET (1992) et VILA *et al.* (2008) indiquent que l'accroissement de la pluie, favorable à la croissance du Pin d'Alep, est très lié à l'altitude et à la continentalité.

Tableau 5. : Résultats des paramètres dendrométriques et stationnels.

Paramètres dendrométriques		Hm (m)	Hd (m)	D (Pieds /ha)	Cm (cm)	G (m ² /ha)	Âge (ans)	Acc. (mm)	Prof. S. (cm)	Alt. moy. (m)
Senalba Gharbi Nord	Max.	16,95	17,69	200	161	19,21	155	1,47	58	1533
	Min.	8,5	9,5	112,5	80	7,31	62	1,10	20	1360
	Moy.	14,2	14,5	153,12	121,4	14,45	126,80	1,35	32,7	1434
	Ecart-type	4	3,23	46,86	41,43	4,99	25,95	0,12	8,45	53,16
Senalba Gharbi Sud	Max.	14,37	15,31	212,5	158	17,53	155	1,42	30	1518
	Min.	8,82	9,35	125	74	3,47	60	0,95	16,5	1318
	Moy.	12,80	13,20	155,35	118,9	13,01	125,71	1,20	23	1420
	Ecart-type	3,88	3,83	38,28	49,26	5,13	27,20	0,14	9,34	41,72
Senalba Chergui Nord	Max.	11,96	12,75	300	126	17,45	140	1,05	75	1340
	Min.	7,5	8,31	187,5	72,42	6,52	70	0,71	47	1290
	Moy.	9,3	11,24	258,33	96,75	12,34	104,4	0,95	56,93	1313
	Ecart-type	2,84	1,2	81,67	41,46	4,44	21,47	0,11	9,44	15,76
Senalba Chergui Sud	Max	10,75	11,68	525	98,27	13,02	150	1,1	51	1327
	Min	7	7,5	200	60,63	3,51	65	0,5	25	1260
	Moy	8,3	10,05	410,83	71,13	10,92	100,4	0,82	49	1295
	Ecart-type	1,9	1,23	139,61	23,42	4,36	21,59	0,13	8,4	22,15

Hm : Hauteur moyenne ; Hd : Hauteur dominante ; D : Densité ; Cm : Circonférence moyenne à 1.30 m ; G : Surface terrière. Acc. : Accroissement radial ; Prof. S. : Profondeur moyenne du sol ; Alt. moy. : Altitude moyenne.

L'analyse de variance a révélé un effet très hautement significatif ($p < 0,005$) des deux facteurs « Altitude » et « Exposition » sur les paramètres dendrométriques « Hauteur dominante » et « Densité ».

Les tranches altitudinales 1300-1400 m et 1400-1500 m de la forêt de Senalba Gharbi enregistrent des hauteurs dominantes moyennes respectives de 13,5 et 14,9 m. La tranche altitudinale > 1500 m correspond au haut des versants Nord et Sud de la forêt de Senalba Gharbi. Neige fréquente, vents violents, température minimale très basse, pentes abruptes (de l'ordre de 40 %) et sols superficiels sont autant de facteurs limitant le développement des arbres à cette altitude, ce que traduit la valeur de hauteur dominante moyenne la plus faible (11,1 m) (Fig. 14). BROCHIERO *et al.* (1999), dans leur étude sur l'autécologie du pin d'Alep en Provence calcaire (France), notent que les altitudes supérieures à 600 mètres (haut des grands massifs) sont limitantes pour le développement de l'espèce. Au Senalba Chergui, la hauteur dominante moyenne est respectivement de 10 et 11,25 m pour les deux tranches altitudinales 1200-1300 m et 1300-1400 m (Fig. 15).

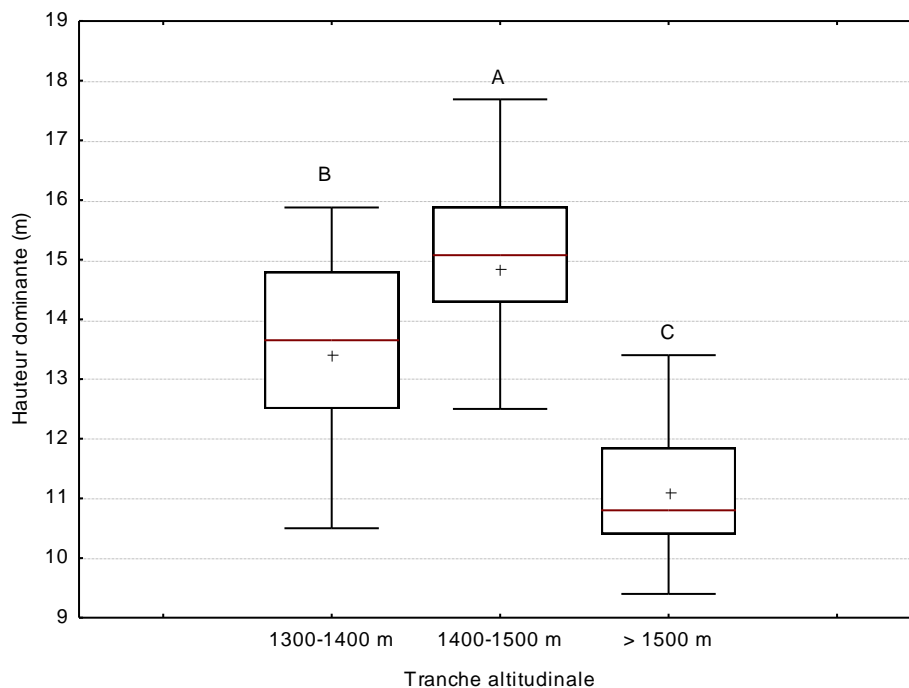


Figure 14. Effet de l'altitude sur la croissance en hauteur des arbres de pin d'Alep dans le massif forestier de Senalba Gharbi. Les valeurs représentent la moyenne (croix), la médiane (ligne) \pm Max. et Min. Les différentes lettres au dessus des boîtes indiquent une différence significative à $p < 0,0001$ selon le test de Nemenyi. Le test de Kruskal-Wallis : (2 ; 70) = 30,64.

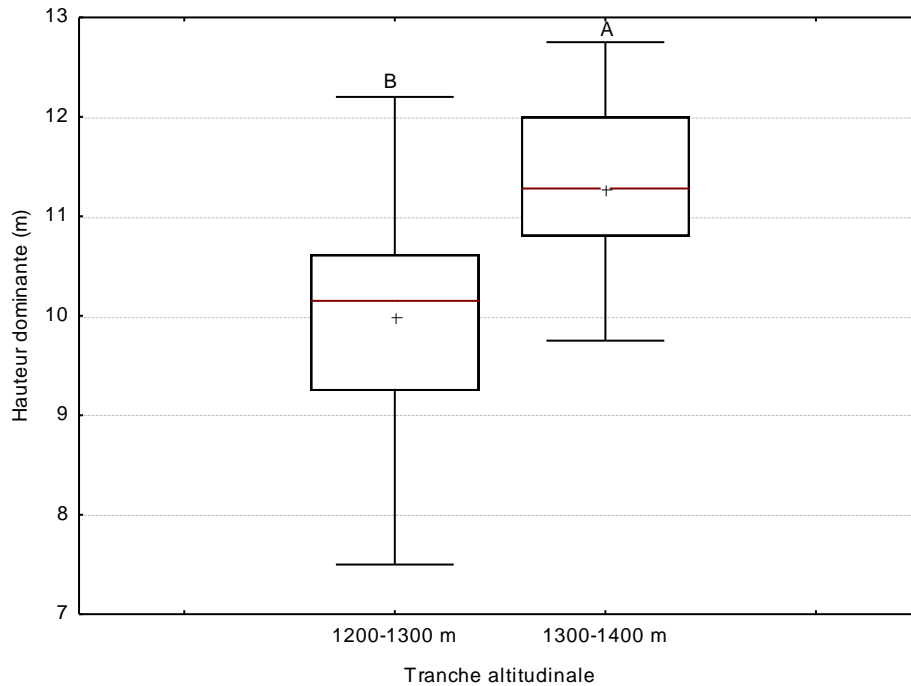


Figure 15. Effet de l'altitude sur la croissance en hauteur des arbres de pin d'Alep dans le massif forestier de Senalba Chergui. Les valeurs représentent la moyenne (croix), la médiane (ligne) \pm Max. et Min. Les différentes lettres au dessus des boîtes indiquent une différence significative à $p < 0,0001$ selon le test de Nemenyi. Le test de Kruskal-Wallis : $(1 ; 50) = 14,05$.

La hauteur dominante moyenne est plus importante sur le versant Nord de chaque massif (14,5 et 11,24 m respectivement pour le Senalba Gharbi et Chergui). Sur le versant Sud, la hauteur dominante moyenne est de 13,2 m pour le Senalba Gharbi et 10,05 m pour le Senalba Chergui (Fig. 16). KAABECHE (1996) note que les forêts de pin d'Alep de l'Atlas saharien algérien se trouvent en limite méridionale absolue, aussi recherchent-elles les compensations "mésoclimatiques" liées à l'altitude (partie supérieure des massifs) et à l'exposition (versant Nord).

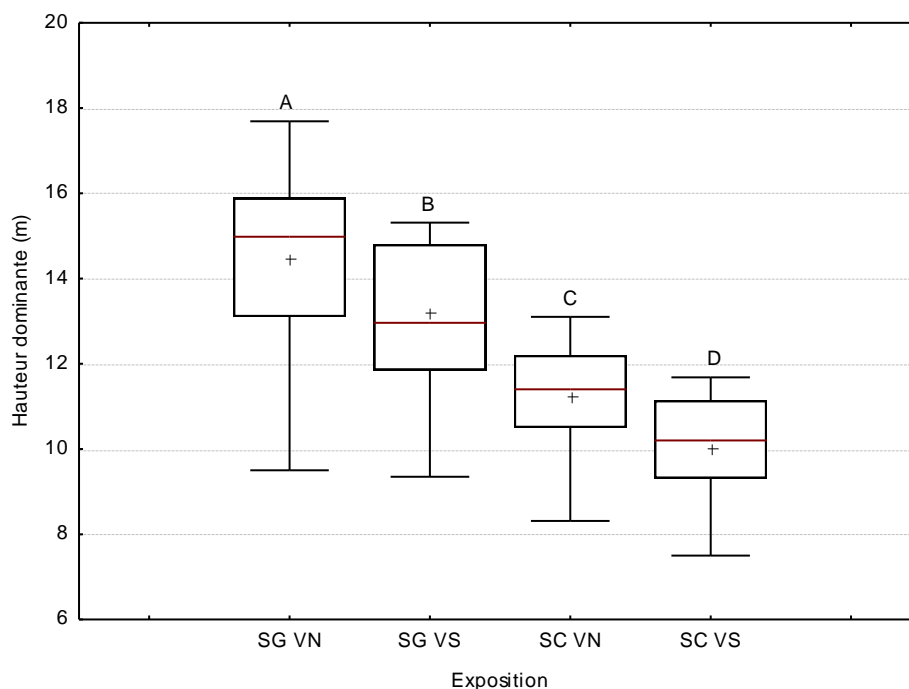


Figure 16. Effet de l'exposition sur la croissance en hauteur des arbres de pin d'Alep dans le massif forestier de Senalba. Les valeurs représentent la moyenne (croix), la médiane (ligne) \pm Max. et Min. Les différentes lettres au dessus des boîtes indiquent une différence significative à $p < 0,0001$ selon le test de Nemenyi. Le test de Kruskal-Wallis : $(3 ; 120) = 60,58$. [SC VS : Senalba Chergui Versant Sud ; SC VN : Senalba Chergui Versant Nord ; SG VS : Senalba Gharbi Versant Sud ; SG VN : Senalba Gharbi Versant Nord].

L'analyse de variance a révélé un effet très hautement significatif ($p < 0,005$) du facteur « Exposition » sur le paramètre dendrométrique « Accroissement du cerne ». Les valeurs de l'accroissement moyen du cerne montrent une meilleure croissance en versant Nord (1,35 et 1,24 mm respectivement pour les forêts de Senalba Gharbi et Senalba Chergui) qu'en versant Sud (1,2 et 1,1 mm respectivement pour les forêts de Senalba Gharbi et Senalba Chergui) (Fig. 17). MACIAS *et al.* (2006) ; ANDREU *et al.* (2007) ; SARRIS *et al.* (2007) ; DE LUIS *et al.* (2009) ; CARRER *et al.* (2010) ; MERIAN & LEBOURGEOIS (2011) notent qu'il existe une forte corrélation positive entre les précipitations et la croissance radiale des arbres.

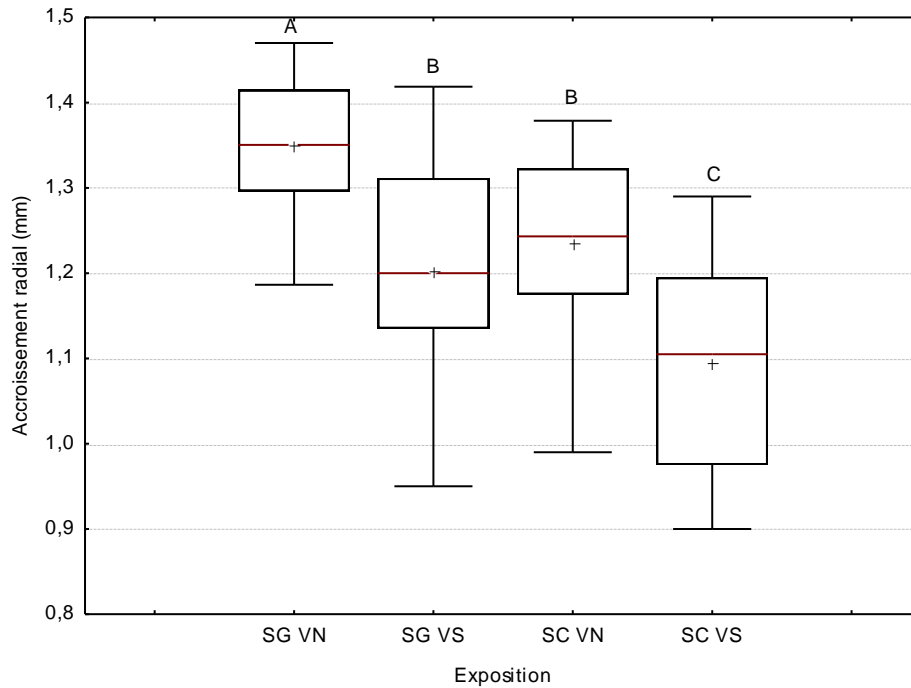


Figure 17. Effet de l'exposition sur l'accroissement radial des arbres de pin d'Alep dans le massif forestier de Senalba. Les valeurs représentent la moyenne (croix), la médiane (ligne) \pm Max. et Min. Les différentes lettres au dessus des boîtes indiquent une différence significative à $p < 0,0001$ selon le test de Newman-Keuls. Le test de Kruskal-Wallis : (3;120) = 59,64. [SC VS : Senalba Chergui Versant Sud ; SC VN : Senalba Chergui Versant Nord ; SG VS : Senalba Gharbi Versant Sud ; SG VN : Senalba Gharbi Versant Nord].

Les valeurs maximales d'accroissement du cerne correspondent aux moyennes de l'accroissement des arbres dont les densités sont inférieures à 160 tiges par hectare. La valeur minimale de 0,5 mm, enregistrée au niveau du versant Sud de Senalba Chergui, correspond à la moyenne de l'accroissement de la placette dont la densité est supérieure à 500 tiges par hectare. Ceci traduit l'effet négatif de la concurrence sur la croissance radiale. VILA *et al.* (2001) constatent que les arbres isolés ont une croissance radiale beaucoup plus conséquente que les arbres poussant en peuplements denses. Ceci est vérifié pour les individus jeunes, les individus d'âge intermédiaire et les individus âgés. Le phénomène est d'autant plus marqué que la densité est importante.

Dans une étude dendroécologique du pin d'Alep dans une région semi-aride d'Algérie sur une période de 75 ans (1914 - 1988), SAFAR (1994) a obtenu des valeurs d'épaisseur du cerne de 1,47 mm et 1,46 mm pour la même région de Senalba.

3.2.1. Distribution de fréquence de la densité des arbres

La notion de densité de peuplement est une notion dynamique. Elle est modifiée au cours des années par la mort naturelle de certains arbres ou artificiellement par l'action de l'homme (ALTEYRAC, 2005). La densité des arbres et la fertilité du site peuvent non seulement promouvoir la croissance mais également influencer sur la production de cônes et la quantité de graines stockées au niveau de la canopée (TAPIAS *et al.*, 2001 ; GOUBITZ *et al.*, 2004 ; MOYA *et al.*, 2008).

Les valeurs de densités moyennes sont de 365 ; de 265 ; de 200 et de 180 pieds/ha respectivement pour les tranches altitudinales 1200-1300 ; 1300-1400 ; 1400-1500 et > 1500 m (Fig. 18).

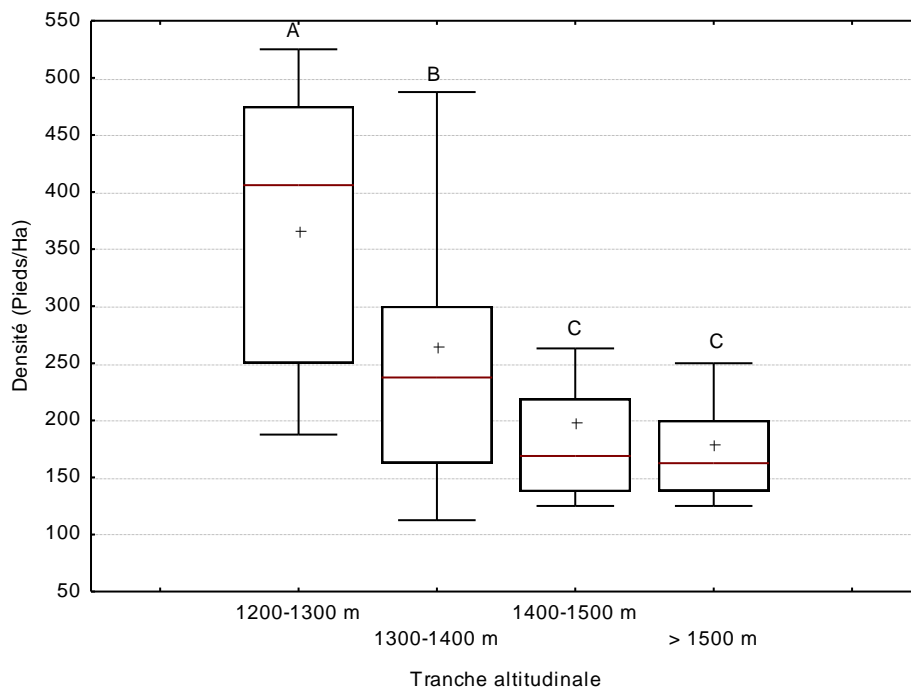


Figure 18. Effet de l'altitude sur la densité des arbres de pin d'Alep dans le massif forestier de Senalba. Les valeurs représentent la moyenne (croix), la médiane (ligne) \pm Max. et Min. Les différentes lettres au-dessus des boîtes indiquent une différence significative à $p < 0,0001$ selon le test de Nemenyi. Le test de Kruskal-Wallis : (3 ; 120) = 33,83.

La densité moyenne est plus élevée sur le versant Sud de la forêt de Senalba Chergui : 410,83 tiges à l'hectare contre 258,33 sur le versant Nord (Fig. 19). Cela peut être justifié par la présence d'habitations sur le versant Nord où un grand nombre de riverains exercent une exploitation intensive du bois en hiver, souvent destructrice. Des traitements sylvicoles, notamment des éclaircies, doivent être pratiqués au versant Sud pour limiter la concurrence et augmenter l'espace vital aux arbres. En réponse à l'éclaircie,

on assiste à une augmentation de la disponibilité de la lumière, de l'eau et des nutriments dans les peuplements (AUSSENAC *et al.*, 1995 ; BREDA *et al.*, 1995 ; SON *et al.*, 1999 ; BLANCO *et al.* 2005 ; MARTIN BENITO *et al.*, 2010). Ces traitements peuvent améliorer les paramètres de croissance et de reproduction (GONZALEZ-OCHOA *et al.*, 2004 ; VERKAIK & ESPELTA, 2006 ; DE LAS HERAS *et al.*, 2007). Cette amélioration traduit certainement la réponse progressive des arbres aux nouvelles conditions de croissance, notamment par le développement du houppier et de la sphère racinaire (AUSSENAC & GRANIER, 1982 ; MAYOR & RODA, 1993 ; PUHE, 2003).

Quant à la forêt de Senalba Gharbi, la densité est sensiblement égale sur les deux versants Nord et Sud (soit respectivement de 153,1 et 155,3 tiges à l'hectare).

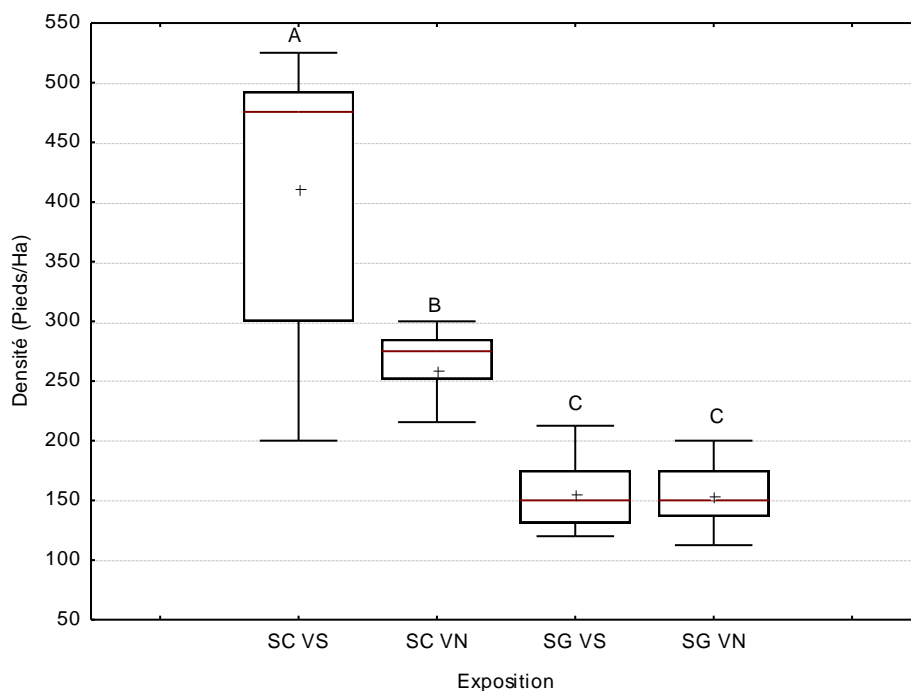


Figure 19. Effet de l'exposition sur la densité des arbres de pin d'Alep dans le massif forestier de Senalba. Les valeurs représentent la moyenne (croix), la médiane (ligne) \pm Max. et Min. Les différentes lettres au dessus des boîtes indiquent une différence significative à $p < 0,0001$ selon le test de Nemenyi. Le test de Kruskal-Wallis : $(3 ; 120) = 62,54$. [SC VS : Senalba Chergui Versant Sud ; SC VN : Senalba Chergui Versant Nord ; SG VS : Senalba Gharbi Versant Sud ; SG VN : Senalba Gharbi Versant Nord].

Les figures 20 et 21 présentant la répartition du nombre de placettes par classe de densité montre que, pour le versant Nord de la forêt de Senalba Gharbi, la densité de 120 à 140 tiges/ha représente la fréquence la plus élevée (9 placettes). Sur le versant Sud, les

densités supérieures à 180 tiges/ha représentent les fréquences les plus élevées (14 placettes).

Sur le versant Nord de la forêt de Senalba Chergui, la fréquence la plus élevée varie de 140 à 160 tiges/ha (6 placettes). Sur le versant Sud, c'est la fréquence supérieure à 200 tiges/ha qui prédomine (12 placettes).

Sur les versants Nord relatifs aux deux forêts, la densité moyenne varie de 154 à 158 tiges/ha. Sur les versants Sud, elle est respectivement de 198 tiges/ha pour la forêt de Senalba Gharbi et de 335 tiges/ha pour la forêt de Senalba Chergui. Cette supériorité numérique de la densité sur le versant Sud de la forêt de Senalba Chergui peut être interprétée par le fait que ce versant, le plus proche de la ville de Djelfa, profite d'une surveillance particulière de la part de l'administration forestière qui l'épargne des coupes illicites.

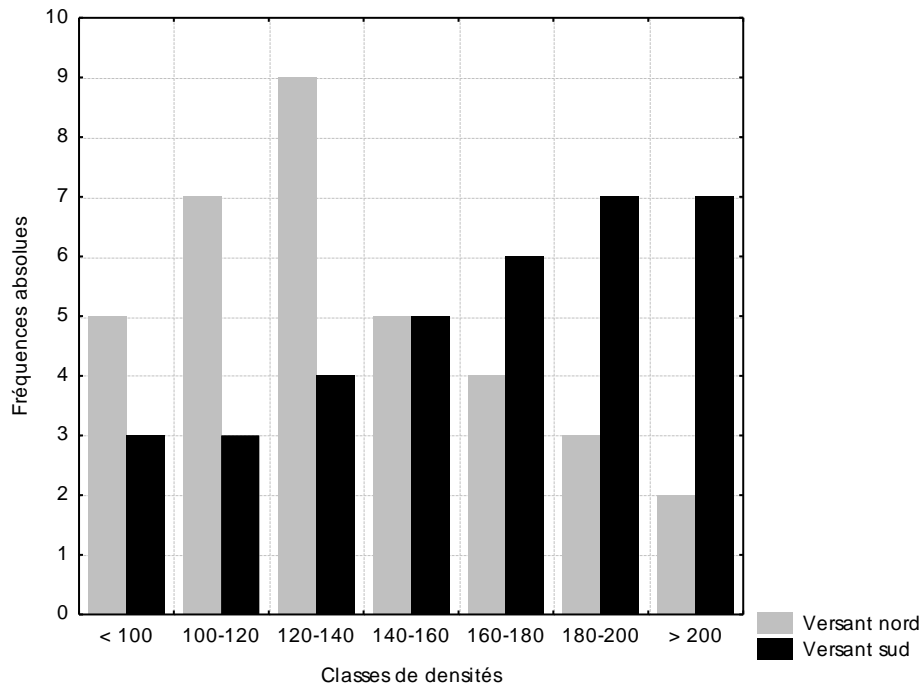


Figure 20. Répartition du nombre de placettes par classe de densité (Forêt de Senalba Gharbi).

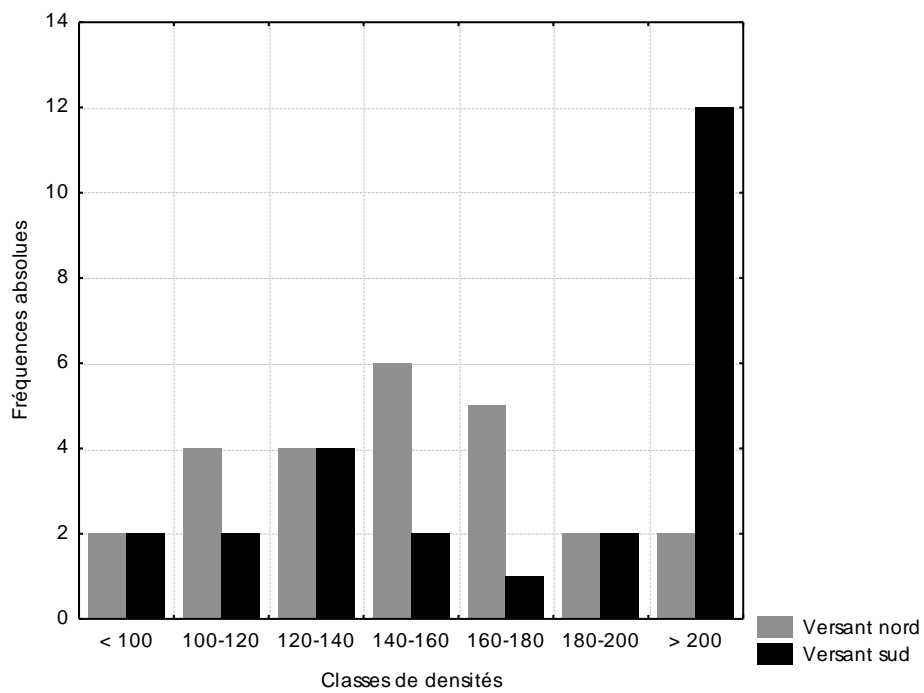


Figure 21. Répartition du nombre de placettes par classe de densité (Forêt de Senalba Chergui).

3.2.2. Distribution des circonférences des arbres

La connaissance de la distribution de tiges par classe de circonférence constitue pour l'aménageur forestier un outil très précieux qui lui facilite la prévision des différentes interventions sylvicoles ainsi que les volumes récoltés (SGAHAIER & PALM, 2002). La distribution des fréquences par classe de circonférence qui caractérise généralement les peuplements équiennes s'apparente à une courbe de Gauss (distribution normale). Cette distribution peut toutefois devenir dissymétrique suite aux traitements sylvicoles (RONDEUX, 1999).

La répartition des fréquences d'arbres par classes de circonférence à 1,30 m de nos peuplements est présentée par les figures 22 et 23. Cette répartition n'est pas régulière. En fait, deux aménagements forestiers ont été réalisés au niveau des deux massifs. Le premier, mené par un bureau d'étude bulgare en 1984, a été suivi d'une révision d'aménagement réalisée en 1994 par le Bureau National des Études Forestières. Les éclaircies ont touché pour la plupart les sujets dont le diamètre dépasse 35 cm (soit les classes de circonférences supérieures à 100 cm) et dont l'âge dépasse largement l'âge d'exploitabilité. Ces méthodes d'aménagement proposées pour les zones forestières semi-arides étaient incompatibles avec la réalité du terrain car elles présentaient invariablement les forêts comme plus homogènes qu'elles ne le sont en réalité (GRIM, 1989).

Sur les deux versants Nord, on enregistre un pic correspondant aux classes de circonférence de 101 à 140 cm avec un effectif de 115 et 135 sujets respectivement pour le Senalba Gharbi et Chergui. Sur les versants Sud, les fréquences maximales sont enregistrées aux classes de 20 à 60 cm pour le massif de Senalba Gharbi avec un effectif de 200 arbres, et de 61 à 100 cm pour le massif de Senalba Chergui avec un effectif de 443 arbres. Sur le versant Sud, une diminution du nombre de tiges est notée avec l'augmentation de la circonférence, ce qui confirme la compétition entre les arbres pour l'occupation du sol et de l'espace aérien. Sur le versant Sud, 70 et 30 sujets appartiennent aux classes de 140 à 180 cm et supérieure à 180 cm respectivement pour le Senalba Gharbi et Chergui. Ces sujets se localisent en majorité en haut de versant et donc inaccessibles aux coupes.

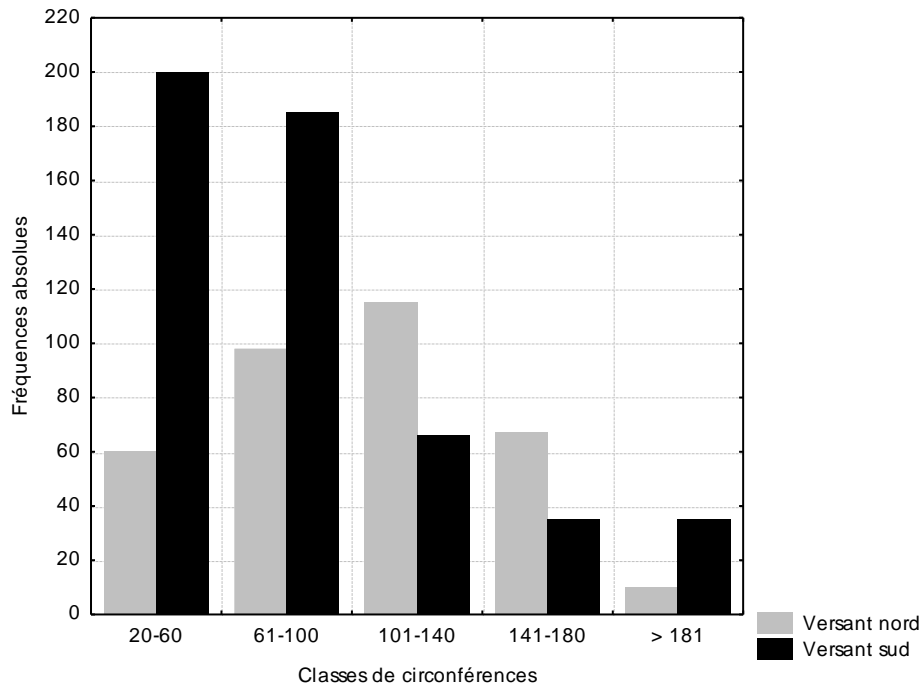


Figure 22. Répartition du nombre d'arbres par classe de circonférence (Forêt de Senalba Gharbi).

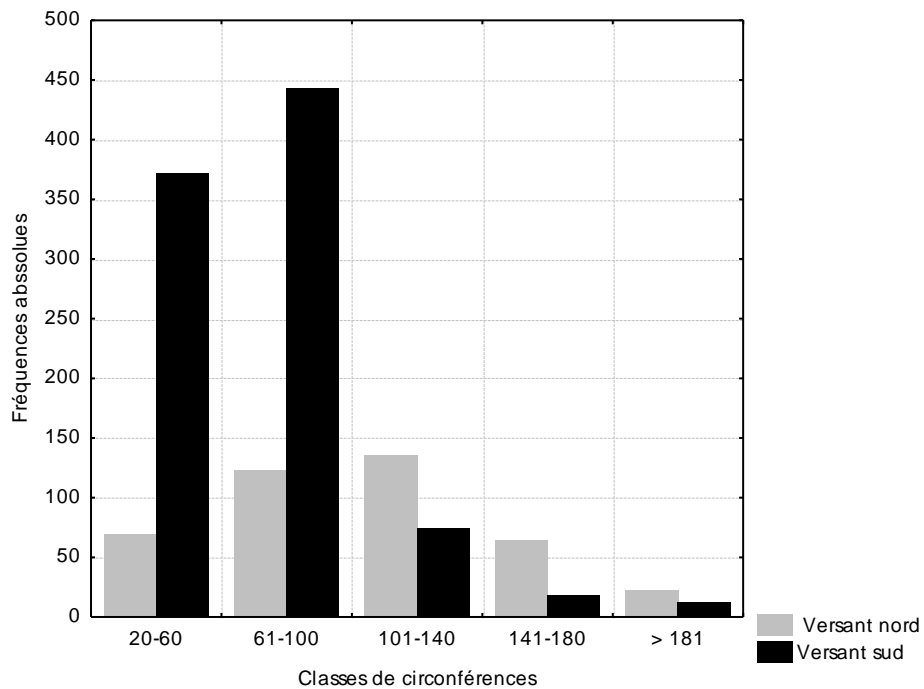


Figure 23. Répartition du nombre d'arbres par classe de circonférence (Forêt de Senalba Chergui).

3.2.3. Relation : Hauteur dominante – Paramètres stationnels

La hauteur dominante a été utilisée entre autres, par COURT-PICON *et al.* (2004), SKOVSGAARD & VANCLAY (2008), KITIKIDOU *et al.* (2012) pour la caractérisation de la croissance des peuplements forestiers. Les données recueillies sont regroupées dans le tableau 6.

Tableau 6. Régression multiple : Hauteur dominante/ Profondeur du sol – Altitude.

Massif forestier	Station	Équation de régression
Senalba Gharbi	Versant Nord	Hd = 0,62 Alt. – 0,18 P.S. + 59,96 R multip. = 0,83 ; R part. Alt. = 0,58 R part. P.S. = 0,16 ; p < 0,0001
	Versant Sud	Hd = 0,64 Alt. – 0,19 P.S. + 31,32 R multip. = 0,81 ; R part. Alt. = 0,55 R part. P.S. = 0,15 ; p < 0,0001
Senalba Chergui	Versant Nord	Hd = 0,58 Alt. - 0,21 P.S. + 25,94 R multip. = 0,68 ; R part. Alt. = 0,45 R part. P.S. = 0,17 ; p < 0,0001
	Versant Sud	Hd = 0,63 Alt. – 0,16 P.S. + 31,07 R multip. = 0,73 ; R part. Alt. = 0,60 R part. P.S. = 0,19 ; p < 0,0001

R multip. : Régression multiple ; R part. : Régression partielle.

Les résultats de la régression multiple entre les deux paramètres stationnels (Profondeur du sol ; Altitude) et la hauteur dominante sont résumés dans le tableau 3.2. La profondeur du sol et l'altitude sont corrélés à la hauteur dominante, mais en sens inverse. Au niveau d'un même versant, plus on monte en altitude et moins le sol est profond et inversement. Sur le versant Nord de Senalba Gharbi, la profondeur moyenne du sol est respectivement de 40 ; 30 et 26 cm pour les tranches altitudinales 1300-1400 m ; 1400-1500 m et > 1500 m. Sur le versant Sud du même massif, la profondeur moyenne du sol décroît : 28, 20 et 17 cm pour les tranches altitudinales croissantes : 1300-1400 m ; 1400-1500 m et > 1500 m. La même tendance est observée au Senalba Chergui, aux tranches altitudinales 1200-

1300 m et 1300-1400 m, la profondeur du sol est de 62 cm et 55 cm pour le versant Nord ; 50 cm et 46 cm pour le versant Sud.

Les coefficients de corrélation multiple sont compris entre 0,68 et 0,83. Les coefficients de corrélation partielle du facteur « Altitude » sont compris entre 0,45 et 0,60. Ceux du facteur « Profondeur du sol » vont de 0,15 à 0,19. Le poids relatif du facteur altitude varie de 0,58 à 0,64. Celui du facteur profondeur du sol n'est que de 0,16 à 0,21. Cela montre que le facteur altitude a un effet beaucoup plus déterminant sur la croissance des arbres que celui de la profondeur du sol. Dans le même contexte, VENNETIER *et al.* (2010) indiquent que l'espèce s'adapte plus ou moins bien à tous les types de stations, à l'exception des sols à hydromorphie proche de la surface dont elle est exclue. Elle permet de valoriser, ou au moins d'occuper « forestièrement », des situations difficiles où peu d'autres essences s'adaptent. En Algérie, l'espèce adapte à divers types de sols et peut croître aussi bien sur des sols épais que sur des sols superficiels (KADIK, 1986).

3.2.4. Relation : Hauteur dominante – Âge

La modélisation de la croissance en hauteur dominante pour différents pins de la région méditerranéenne a retenu l'attention de nombreux chercheurs : RIO & MONTERO (2001) développant des courbes d'indice de site pour *Pinus sylvestris* ; CALAMA *et al.* (2003) pour *Pinus pinea* ; BRAVO-OVIEDO *et al.* (2004) pour *Pinus pinaster* ; DIEGUEZ-ARANDA *et al.* (2005) pour *Pinus radiata* en Espagne ; HATZISTATHIS *et al.* (1995) ainsi que KITIKIDOU *et al.* (2011) pour *Pinus brutia* en Grèce. Les courbes d'ajustement de la hauteur dominante avec l'âge sont non-linéaires et souvent sigmoïdes (SHARMA *et al.*, 2011).

Le modèle de croissance a été calculé arbre par arbre et non sur la hauteur moyenne des placettes du fait de la structure irrégulière de nos peuplements. Cette approche permet la comparaison de différentes générations dans des conditions rigoureusement identiques au sein des placettes (VENNETIER *et al.*, 1999).

L'ajustement du modèle de CHAPMAN-RICHARDS aux données issues des analyses de tiges a donné l'équation suivante :

$$H_{dom} = k_1 [1 - \exp(-0,0201 \times \hat{age})]^{1,5345}$$

La synthèse des données des classes de fertilité est mentionnée dans le tableau 7.

Tableau 7 : Caractéristiques des classes de fertilité

Classe de fertilité	Hd (m)	Placettes
I	19 – 16	30 placettes du versant Nord de Senalba Gharbi ; 7 placettes du versant Sud de Senalba Gharbi (situées toutes à une altitude 1400-1500 m) ; 4 placettes du versant Nord de Senalba Chergui et 3 placettes du versant Sud de Senalba Chergui (situées à une altitude 1300-1400 m).
II	16 – 13	4 placettes du versant Nord de Senalba Gharbi ; 21 placettes du versant Sud de Senalba Gharbi (situées toutes à une altitude 1300-1400 m) ; 19 placettes du versant Nord de Senalba Chergui et 13 placettes du versant Sud de Senalba Chergui (situées toutes à une altitude 1200-1300 m).
III	13 – 10	1 placette du versant Nord de Senalba Gharbi ; 7 placettes du versant Sud de Senalba Gharbi (Situées toutes à une altitude > 1500 m) ; 2 placettes du versant Nord de Senalba Chergui et 9 placettes du versant Sud de Senalba Chergui (situées toutes à une altitude 1200-1300 m).

La qualité de l'ajustement du modèle par rapport au faisceau expérimental est fournie par le coefficient de détermination ($R^2 = 98 \%$) et par l'écart résiduel ($\delta = 0,105$).

L'âge de référence pour le pin d'Alep est très variable. Il est fixé à 70 ans par BROCHIERO *et al.* (1999) ; VENNETIER *et al.* (2010) en Provence française et à 80 ans par MONTERO (2001) en Espagne. Dans notre cas, nous l'avons fixé à 80 ans. Cet âge étant proche de l'âge moyen du peuplement prospecté.

Le modèle permet de dessiner un faisceau de courbes représentatives de la croissance des arbres. Nous avons choisi de distinguer 3 classes de fertilité d'amplitude 3 mètres (Figure 24) dont les caractéristiques sont présentées dans le précédent tableau.

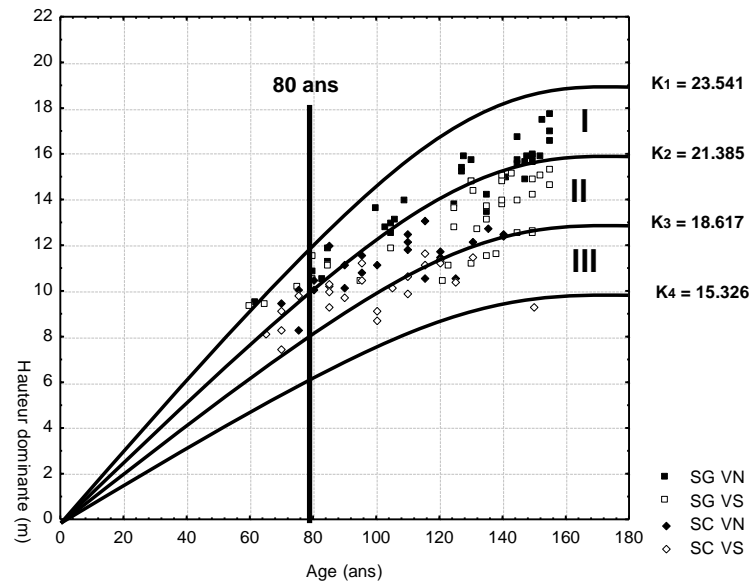


Figure 24. Courbes de croissance en hauteurs dominantes des arbres de pin d'Alep dans le massif forestier de Senalba. [SC VS : Senalba Chergui Versant Sud ; SC VN : Senalba Chergui Versant Nord ; SG VS : Senalba Gharbi Versant Sud ; SG VN : Senalba Gharbi Versant Nord].

KHERCHOUCHE *et al.* (2011), traitant la croissance et l'écologie du pin d'Alep dans le massif forestier de Beni-Imloul (Aurès, Algérie), a pu distinguer, à partir du couple « Hauteur dominante/ Âge », quatre classes de fertilité allant de 16,5 m de hauteur dominante pour la classe la plus fertile, située entre 1250 à 1400 m d'altitude en exposition Nord-Ouest, à 7,5 m pour la dernière classe et la plus pauvre située entre 1000 à 1270 m d'altitude en exposition Est et Sud-Est. De leur part, ABBAS (1986) ; VENNETIER *et al.* (2010), en évaluant la croissance de l'espèce en région méditerranéenne française, proposent cinq classes de fertilité allant de 23 à 25 m de hauteur pour la première classe à 10 à 13m pour la dernière classe.

CHAPITRE IV : ÉTAT SANITAIRE DES PEUPEMENTS DE PIN D'ALEP DANS LE MASSIF FORESTIER DE SENALBA.

Généralités

Il est admis que les changements climatiques, traduits par les sécheresses répétées, ont fortement affecté l'état sanitaire des peuplements forestiers (SARRIS *et al.*, 2011 ; GIRARD *et al.*, 2012 ; SANCHEZ-SALGUERO *et al.*, 2012). Dans les écosystèmes méditerranéens, où l'eau est le principal facteur limitant, le phénomène de dépérissement se fait ressentir le plus dans les régions arides où les espèces forestières sont à la limite de leur aire de distribution (LINARES *et al.*, 2009 ; ALLEN *et al.*, 2010 ; BABST *et al.*, 2013).

Le Dépérissement des peuplements forestiers est un processus complexe qui a été attribué à un large éventail de causes potentielles, le plus souvent impliquant des sécheresses antérieures qui initient une baisse de la croissance et une longue chaîne d'événements interactifs (CAMARERO *et al.*, 2004 ; DAS *et al.*, 2007 ; GALIANO *et al.*, 2010).

Ce phénomène peut être lié à deux principaux processus : une réduction progressive de la croissance (radiale, en hauteur ou en volume) et une défoliation rapide, tous deux utilisés comme variables descriptives pour étudier l'impact des facteurs environnementaux sur la dégradation des forêts (BRÉDA *et al.*, 2006 ; DROBYSHEV *et al.*, 2007; CARNICER *et al.*, 2011). En recherchant dans les bases de données scientifiques avec les mots clefs "dépérissements des forêts" ou "mortalité forestière", on observe que le nombre de cas graves recensés à travers le monde a plus que quadruplé en 25 ans et que la tendance est en hausse quasi-constante (ALLEN *et al.*, 2010).

En Algérie, le dépérissement a été signalé très tôt. BOUDY (1950) avance que 1.500 ha de vieilles futaies étaient déjà en régression sur le versant Sud du Djurdjura et 500 ha sur le versant Nord, en très mauvais état également. Actuellement, le déclin a pris une plus grande dimension en touchant pratiquement tout le peuplement dans les Aurès et plus précisément dans la cédraie de Bélezma (BENTOUATI, 2008).

Les insectes xylophages interviennent très souvent en dernière phase en accélérant le processus de dépérissement entraînant dans la majorité des cas la mort des arbres (MOUNA & FABRE, 2005 ; MOUNA, 2005). Parmi les insectes, les scolytes sont considérés parmi les ravageurs les plus destructifs des forêts de conifères au niveau mondial (GRAF & MZIBRI, 1994). À titre indicatif, Le volume de bois prélevé dans le massif de Senalba Chergui (Djelfa),

de 1988 à 2002, dans le cadre des assainissements vis-à-vis de *Tomicus destruens*, est de l'ordre de 40.000 m³ (CHAKALI, 2006).

Le présent chapitre comporte deux volets. Le premier est un diagnostic de l'état de dépérissement dans la forêt naturelle de Senalba. Il cerne les facteurs stationnels et dendrométriques pouvant avoir une influence sur le phénomène. Le second, présente une synthèse sur la biodiversité des insectes xylophages et sur leur évolution spatio-temporelle en relation avec les conditions climatiques dans les pinèdes prospectées.

4.1. Matériel et méthodes

4.1.1. Choix des stations

Lors de la prospection de la zone d'étude, nous avons retenu quatre stations correspondant aux séries représentatives II ; III ; IV et V du massif de Senalba Chergui et les séries II et III du massif de Senalba Gharbi (Fig. 25). Ces séries présentent des critères essentiels répondant aux objectifs de notre investigation qui consiste à évaluer et étudier le dépérissement du pin d'Alep en fonction des paramètres stationnels (exposition et altitude). En effet, ces séries présentent des expositions Nord et Sud et une différence altitudinale de plus de 100 m chacune. En plus, des dépérissements sont observés au niveau de ces séries.

4.1.2. Échantillonnage

*** Protocole d'analyse du dépérissement**

Le dispositif expérimental est composé de 80 placettes alignées le long de transects altitudinaux localisés sur les versants Nord et Sud de chacun des deux massifs forestiers. Les altitudes varient en moyenne de 1350 à 1550 m, cas de la forêt de Senalba Gharbi et de 1250 à 1450 m, cas de la forêt de Senalba Chergui.

L'appréciation de l'importance du phénomène de dépérissement est souvent subjective. Les études de dépérissement des forêts se réfèrent à la réduction du volume de la cime globale qui est généralement estimée visuellement par une échelle semi-quantitative basée sur le pourcentage de défoliation appliquée à chaque arbre (MUELLER & STIERLIN, 1990). La défoliation est l'un des principaux facteurs utilisés pour évoquer la santé des forêts et la mortalité des sujets (DOBBERTIN & BRANG, 2001; DOBBERTIN, 2005).

Plusieurs études ont suggéré l'existence d'une relation entre la tendance de déclin de la croissance et la défoliation dans un processus de dépérissement des forêts (JUMP *et al.*, 2006; DROBYSHEV *et al.*, 2007).

Le dépérissement forestier est généralement apprécié par deux symptômes macroscopiques : la défoliation et le jaunissement du feuillage (LANDMANN *et al.*, 1987). Aiguilles qui roussissent puis tombent l'année suivante, cime dénudée, coloration anormale, déficit foliaire, branches mortes sont les signes du déclin de la forêt méditerranéenne (GAZONNEAU, 2007).

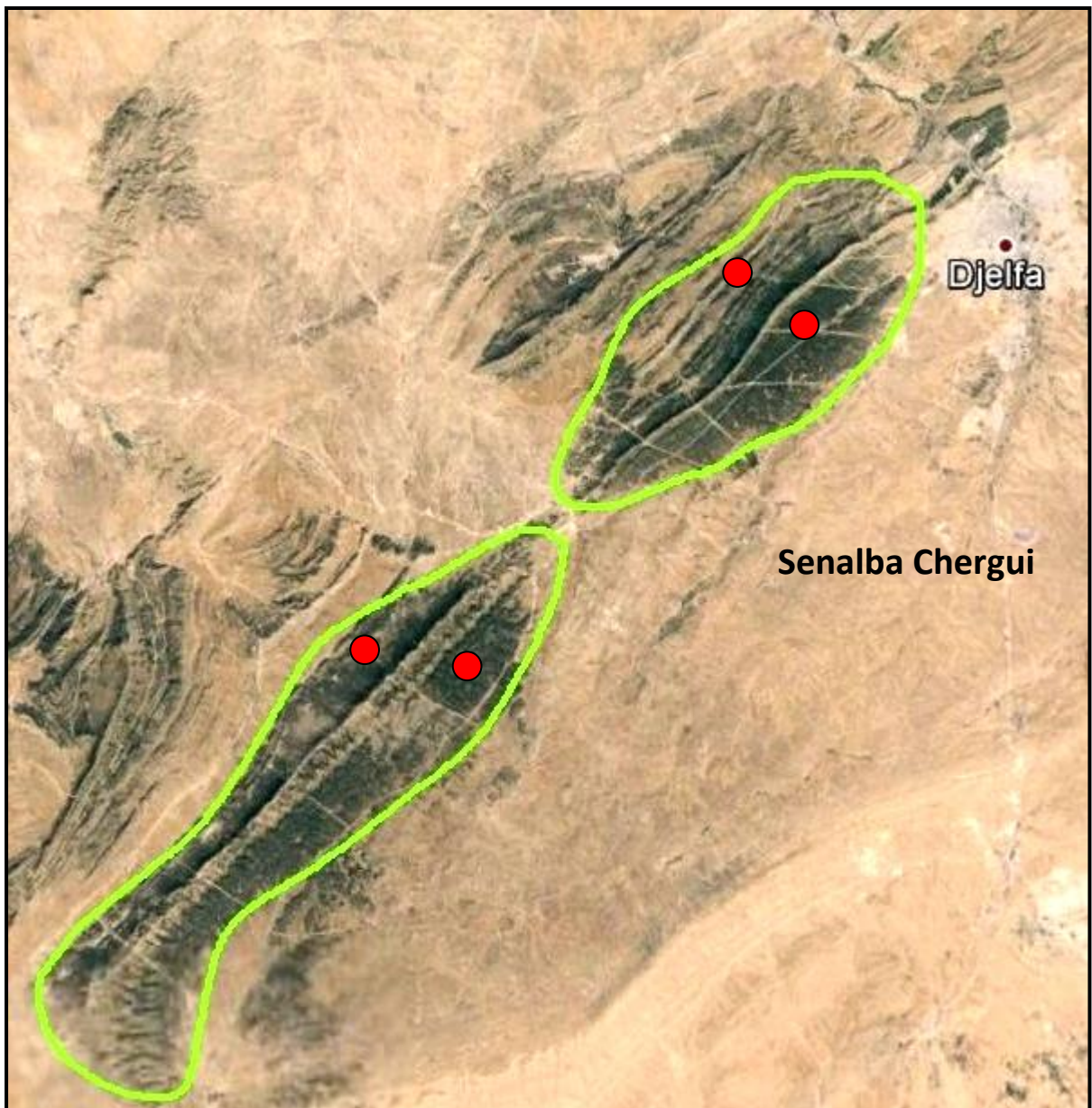


Figure 25. Stations d'échantillonnage (Photo tirée de Google earth.

Date de l'image satellite : 30/07/2013. Echelle approximative : 1/100.000).

● Stations d'échantillonnage

Le protocole proposé permet d'évaluer les différents critères tels que la défoliation, la décoloration et les symptômes afin d'estimer la vitalité des arbres de pin d'Alep, en se référant à l'étude conduite par EICHHORN *et al.* (2010).

Un état des lieux du phénomène est établi en prenant en compte :

- Une caractérisation des symptômes en adoptant les différents stades d'évolution du phénomène de dépérissement : Jaunissement ; branches mortes ; défoliation, sujets dépéris.
- Une quantification des coupes d'assainissement.

Le type d'inventaire adopté est l'échantillonnage systématique stratifié. Ce type d'échantillonnage possède un avantage pratique incontesté sur les autres méthodes d'échantillonnages. Les unités d'échantillonnage (placettes) sont réparties de manière uniforme. Les avantages pratiques sont bien connus : très facile à matérialiser sur une carte aussi bien qu'à réaliser sur le terrain. Il régularise aussi ce qui est la plupart du temps favorable, la densité de répartition des placettes élémentaires d'échantillonnage (PARDÉ & BOUCHON, 1988 ; AVERY & BURKHART, 2002). Nous avons retenu des placettes circulaires d'une superficie de 800 m² choisie en fonction de l'âge des peuplements qui sont au stade de vieille futaie.

Deux transects ont été choisis, un Nord/Sud selon une toposéquence du sommet au bas versant, et l'autre Est/Ouest. L'équidistance entre deux placettes consécutives est de 200 m. Le nombre total de placettes est de 80 (40 placettes pour le Senalba Chergui et 40 placettes pour le Senalba Gharbi). Après le marquage des sujets dépéris à l'aide de la peinture, des mesures dendrométriques comprenant : la circonférence à 1,30 m du sol des arbres dépéris ou dépérissant, leur hauteur totale, âge et épaisseur de l'écorce ; et des caractéristiques stationnelles : altitude, profondeur moyenne du sol, taux de calcaire et pH, ont été réalisées. Pour l'évaluation de l'âge, les arbres ont subi des sondages à la tarière de PRESSLER (deux carottes à une hauteur de 1,3 mètre, un du côté amont et l'autre du côté aval). Les carottes de sondage ont été préparées selon les méthodes classiques de la dendrochronologie (FRITTS, 1976). Afin d'obtenir la profondeur moyenne du sol, cinq profils pédologiques ont été effectués au niveau de chaque placette (selon deux transects Nord/Sud et Est/Ouest).

*** Installation des arbres pièges vis-à-vis des xylophages**

Dix arbres pièges ont été préparés dans chacune des quatre stations et ont été contrôlés périodiquement deux fois par mois. Cette technique est classiquement employée pour les xylophages, notamment les Cerambycidae (VILLIERS, 1946) et les Scolytidae (BALACHOWSKY, 1949). Dans le cas des Conifères, les composés terpéniques jouent un rôle déterminant dans le mécanisme de sélection de la plante hôte par les Scolytidae (CHARARAS, 1982). Les observations se sont multipliées avec l'activité des scolytes au cours de la période estivale pour tirer plus d'informations sur la diversité spécifique, la répartition spatiale et la distribution des principales espèces dans les deux massifs forestiers prospectés. À la période printanière, des rondins représentatifs de bois attaqués par des xylophages, facilement reconnaissables par leurs trous d'entrées, ont été découpés et mis en observation dans des cages d'élevages de dimensions 50 x 30 x 35 centimètres. Les cages sont couvertes de tissu fin permettant une aération suffisante. Des contrôles périodiques sont effectués jusqu'à l'émergence des adultes. Des captures à vue d'adultes de xylophages ont été effectuées sur les troncs en dépérissement et au niveau du sol.

4.2. Résultats et discussions

Les résultats relatifs au dépérissement (nombre de sujets dépéris, nombre de sujets coupés), aux différents paramètres dendrométriques des arbres dépéris ou dépérissants (âge, circonférence, épaisseur de l'écorce, nombre des sujets coupés) et aux paramètres stationnels (altitude, profondeur du sol, pH, taux de calcaire) sont regroupés dans le tableau 8.

Tableau 8. Matrice des données

		Nbre d'arbres déperis	Nbre de sujets coupés	Paramètres dendrométriques				Paramètres stationnels			
				Âge	Hauteur (m)	Circonférence (cm)	Épaisseur de l'écorce (cm)	Altitude	Profondeur du sol (cm)	pH	Caco3 actif
Senalba	Versant Nord	76	53	125,35 ± 19,76	14,02 ± 1,71	112,7 ± 20,55	3,1 ± 0,53	1434 ± 41,66	32,7 ± 10,83	8 ± 0,25	28,58 ± 5,51
	Gharbi Sud	47	34	115,4 ± 24,05	12,75 ± 1,88	100,05 ± 25,17	3,01 ± 0,44	1410 ± 33,19	23,1 ± 4,24	8,19 ± 0,12	29,66 ± 7,59
Senalba	Versant Nord	33	15	106,5 ± 21,21	11,39 ± 1,47	102,1 ± 26,74	2,94 ± 0,35	1323 ± 25,26	55,7 ± 8,40	7,68 ± 0,32	23,41 ± 7,82
Chergui	Versant Sud	176	85	99,5 ± 21,20	9,98 ± 1,24	90,15 ± 19,93 55	2,73 ± 0,40	1298 ± 16,09	42,8 ± 6,84	7,94 ± 0,19	26,38 ± 8,64

L'analyse des données relatives au tableau ci-dessus mettent en évidence un dépérissement plus conséquent et significatif sur le versant Sud de la forêt de Senalba Chergui où 176 sujets dépéris sont dénombrés. Au versant Sud, l'âge moyen étant est de 99 ans. Sur le versant Nord du même massif forestier, le nombre de sujets dépéris se limite à 33 sujets. L'âge moyen du peuplement sur ce versant est de 106 ans. Le nombre de sujets coupés est plus important dans les parcelles prospectées au versant Sud (85 sujets coupés) que sur le versant Nord (15 sujets coupés seulement).

À ce sujet, SANCHEZ-SALGUERO et al. (2010) cite comme facteur prédisposant au dépérissement l'exposition Sud, défavorable à la croissance des arbres de pin d'Alep dans ces zones semi-arides où l'eau est le principal facteur limitant (Fig. 26). D'après les conclusions des auteurs (GARREC *et al.*, 1989 ; LE BOURGEOIS & BECKER, 1996 ; ZINE EL ABIDINE, 2003 ; BENTOUATI & BARITEAU, 2006), le déficit hydrique apparaît comme un facteur prédisposant et/ou d'incitation le plus associé au dépérissement des forêts. La succession des années particulièrement déficitaires en précipitations et les températures élevées semblent être, d'après BENTOUATI (2008), la principale raison de la mortalité des arbres.

Concernant le massif forestier de Senalba Gharbi, c'est au versant Nord que le phénomène est plus accentué (soit 76 sujets dépéris contre 47 sur le versant Sud). L'âge moyen des sujets dépéris étant de 125 ans pour le versant Nord et de 115 pour le versant Sud. Le nombre de sujets abattus est plus conséquent sur le versant Nord (53 sujets) que sur le versant sud (34 sujets). La sécheresse, plus accentuée au cours des dernières décennies, et l'âge avancé des peuplements seraient les principaux facteurs prédisposant les sujets au déclin.

L'analyse de variance a révélé un effet très hautement significatif ($p < 0,005$) du facteur "Exposition" sur le dépérissement des arbres de pin d'Alep (Fig. 27). Par contre, L'analyse de variance n'a pas révélé un effet significatif de l'altitude (tranches 1200-1300 m ; 1300-1400 m ; 1400-1500 m et > 1500 m) sur le dépérissement des arbres ($p = 0,25$).



Originale, 2014

Figure 26. Sujet dépérissant. Versant Sud. Senalba Gharbi

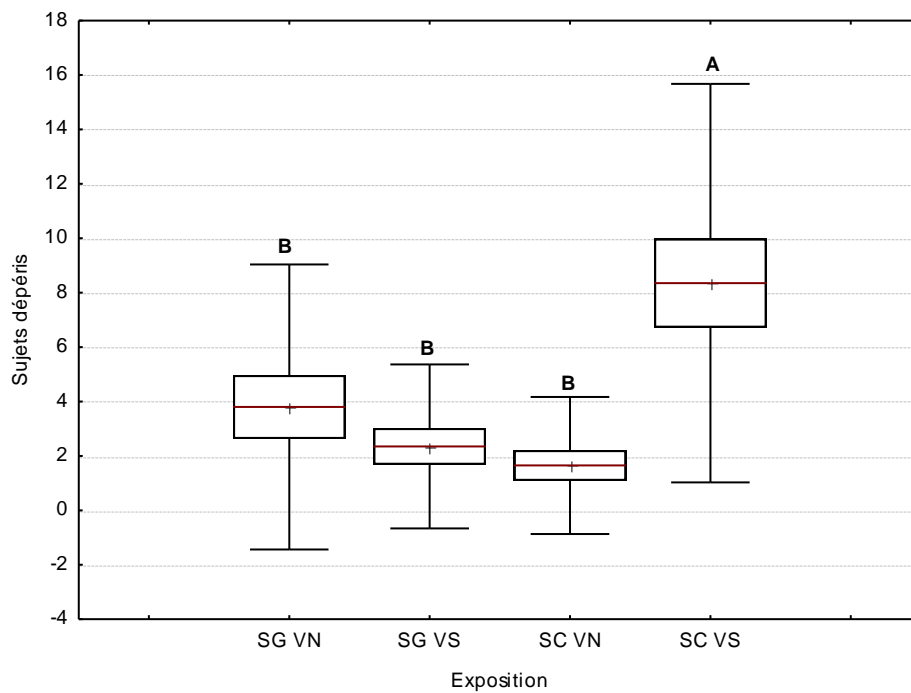


Figure 27. Effet de l'exposition sur le dépérissement des arbres de pin d'Alep dans le massif forestier de Senalba. Les valeurs représentent la moyenne (croix), la médiane (ligne) \pm Max. et Min. Les valeurs représentent la moyenne (croix), la médiane (ligne) \pm Max. et Min. Les différentes lettres au dessus des boîtes indiquent une différence très significative à $p < 0,0001$ selon le test de Nemenyi. Le test de Kruskal-Wallis : $(3 ; 80) = 14,83$. [SC VS : Senalba Chergui Versant Sud ; SC VN : Senalba Chergui Versant Nord ; SG VS : Senalba Gharbi Versant Sud ; SG VN : Senalba Gharbi Versant Nord].

4.2.1. État de dépérissement

Le dépérissement, par tous ses symptômes (jaunissement – branches mortes – défoliation – sujets morts), est plus conséquent et significatif sur le versant Sud de la forêt de Senalba Chergui. En effet, ce versant étant le plus sec ce qui peut expliquer le nombre élevé de sujets dépéris (Figure 28). Concernant le massif forestier de Senalba Gharbi, c'est au versant Nord que le phénomène de dépérissement est le plus observé (Figure 29). Il semblerait que l'âge intervienne, la défoliation serait perçue comme l'expression normale du vieillissement des arbres adultes (DALSTEIN, 1999). L'état du dépérissement « branches mortes » domine sur les deux versants.

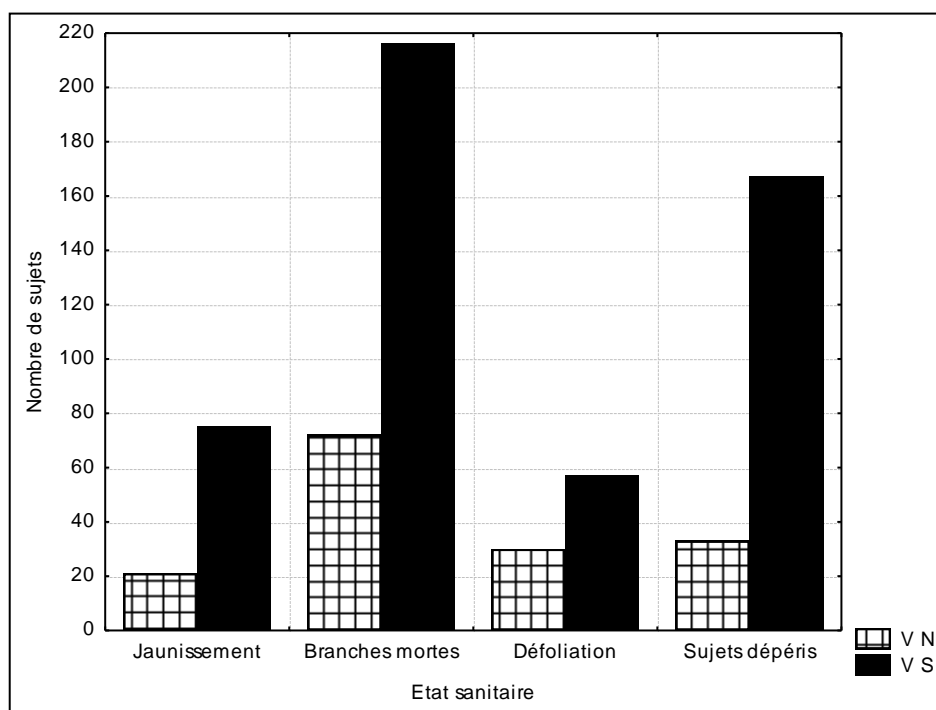


Figure 28. État de dépérissement. Forêt de Senalba Chergui

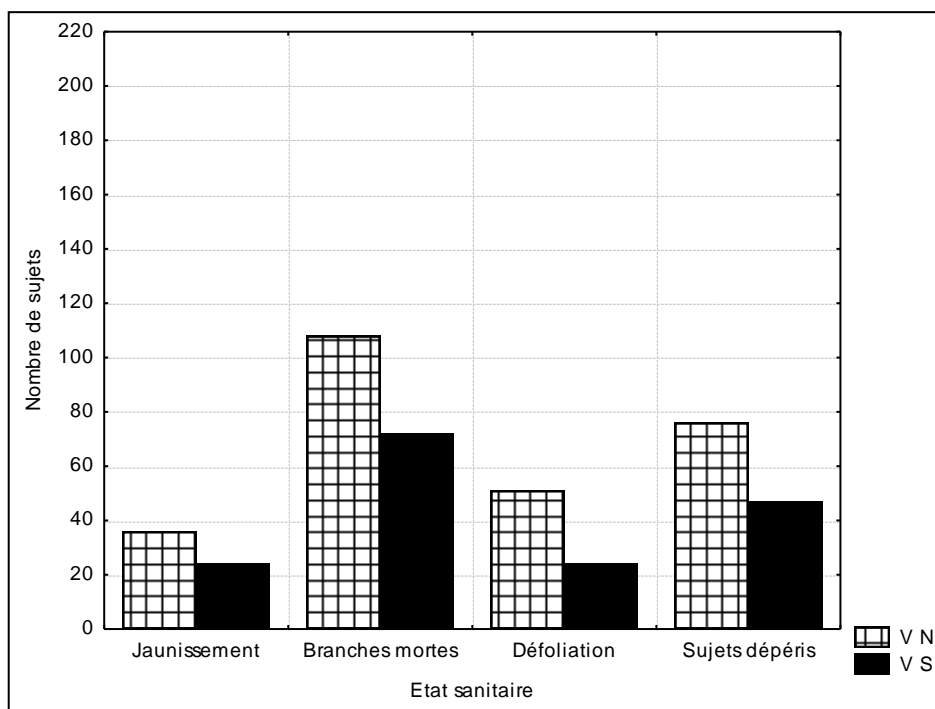


Figure 29. État de dépérissement. Forêt de Senalba Gharbi

4.2.2. Relation : Dépérissement / Paramètres dendrométriques

Les corrélations entre le phénomène de dépérissement et les paramètres dendrométriques (âge ; Circonférence ; épaisseur de l'écorce et sujets coupés) sont regroupées dans le tableau suivant :

Tableau 9. Corrélations : Dépérissement / Paramètres dendrométriques.

Massif forestier	Station	Dép. / Âge	Dép. / Circ.	Dép. / E.E.	Dép. / S.C.
Senalba Gharbi	Versant Nord	$r = 0,74$; $p < 0,001$	$r = 0,67$; $p < 0,001$	$r = 0,76$; $p < 0,001$	$r = 0,40$; $p < 0,01$
	Versant Sud	$r = 0,73$; $p < 0,001$	$r = 0,63$; $p < 0,001$	$r = 0,78$; $p < 0,001$	$r = 0,78$; $p < 0,001$
Senalba Chergui	Versant Nord	$r = 0,73$; $p < 0,001$	$r = 0,49$; $p < 0,05$	$r = 0,20$; $p < 0,5$	$r = 0,15$; $p < 0,5$
	Versant Sud	$r = 0,40$; $p < 0,01$	$r = 0,16$; $p < 0,5$	$r = 0,05$; $p < 0,1$	$r = 0,68$; $p < 0,001$

Dép. : Dépérissement ; Circ. : Circonférence ; E.E. : Épaisseur de l'écorce ; S.C. : Sujets coupés.

Concernant le massif de Senalba Gharbi, le phénomène de dépérissement montre une corrélation significative avec les paramètres dendrométriques (âge, circonférence et épaisseur de l'écorce). Les coefficients de corrélations varient de 0,78 à 0,63. En effet, ces mêmes paramètres dendrométriques sont très corrélés. Plus les arbres de pin d'Alep avancent en âge, leurs circonférences et leurs épaisseurs d'écorce s'accroissent. Les peuplements ont un âge moyen de 110 ans, supérieur à leur âge d'exploitabilité. Les arbres sont en stade de vieillissement, donc physiologiquement affaiblis, ce qui les rend plus sensibles et fragiles au déclin. Des traitements sylvicoles sont à préconiser au niveau de ces peuplements sénescents. Dans ce contexte, LINARES *et al.* (2009 ; 2010) ; CAMARERO *et al.* (2011) notent que le dépérissement des peuplements forestiers ainsi que la mortalité des sujets peuvent être causés par le manque de pratiques sylvicoles adéquates.

Les valeurs des corrélations entre le déclin et les paramètres stationnels du massif de Senalba Chergui varient entre 0,05 à 0,73. Seules les relations dépérissement – âge sur le versant Nord et dépérissement – sujets coupés sur le versant Sud présentent une corrélation significative, respectivement de 0,73 et de 0,68.

4.2.3. Relation : Dépérissement / Paramètres stationnels

Les corrélations entre le déclin et les paramètres stationnels (altitude, profondeur du sol, pH et taux de calcaire) sont regroupées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 10. Corrélations : Dépérissement / paramètres stationnels

Massif forestier	Station	Dép. / Alt.	Dép. / P.S.	Dép. / pH	Dép. / T.C.
Senalba Gharbi	Versant Nord	r = 0,08 ; p < 0,1	r = 0,22 ; p < 0,5	r = 0,13 ; p < 0,5	r = 0,23 ; p < 0,5
	Versant Sud	r = - 0,10 ; p < 0,5	r = -0,08 ; p < 0,1	r = 0,24 ; p < 0,5	r = 0,13 ; p < 0,5
Senalba Chergui	Versant Nord	r = 0,13 ; p < 0,5	r = 0,30 ; p < 0,5	r = 0,33 ; p < 0,5	r = 0,18 ; p < 0,5
	Versant Sud	r = 0,14 ; p < 0,5	r = 0,24 ; p < 0,5	r = 0,28 ; p < 0,5	r = 0,02 ; p < 0,1

Dép. : Dépérissement ; Alt. : Altitude ; P.S. Profondeur du sol ; T.C. : Taux de calcaire.

Des corrélations négatives à faibles (de -0,08 à 0,24 pour la forêt de Senalba Gharbi et de 0,02 à 0,33 pour la forêt de Senalba Chergui) sont enregistrées entre le nombre de sujets dépéris de pin d'Alep et les paramètres stationnels (altitude, profondeur du sol, pH et taux de calcaire). Il semble que ces facteurs stationnels n'ont pas d'effet sur le dépérissement des sujets au niveau des deux massifs prospectés.

DALSTEIN (1997), dans ses investigations portant sur les dommages forestiers de la Cembraie du parc national du Mercantour (France), note que les actions simultanées du milieu, de l'exposition et des apports atmosphériques peuvent fournir une explication pluricausale aux endommagements visibles. Toutefois, un suivi simultané fait la même période sur l'ubac (Versant Nord) et sur l'adret (Versant Sud) semble indispensable pour confirmer les différences notées entre les deux expositions. De plus, un suivi à long terme de l'évolution de la forêt fournirait des éléments enrichissants pour la connaissance d'écosystèmes évoluant naturellement.

4.2.4. Analyse Factorielle des Correspondances

La figure 30 montre l'existence de deux axes principaux. L'axe 1 horizontal, dont l'inertie est de 87,67 %, peut être signifié par les deux paramètres âge et profondeur du sol. L'ensemble I rassemble la plupart des placettes situées sur les deux versants Nord et Sud (Soit 26 placettes) et dont l'âge est assez avancé. L'ensemble II réunit les placettes 8 ; 14 et 15, situées toutes sur le versant Nord et dont la profondeur du sol est de 56 à 39 cm. L'axe 2 vertical, dont l'inertie est de seulement 10,66 %, peut être signifié par les paramètres pH et épaisseur de l'écorce. À ces deux paramètres, est liée la seule placette 40 de l'ensemble III située sur le haut du versant Sud et caractérisée un pH de 8,24 (un sol squelettique d'à peine 19 cm) et dont l'épaisseur moyenne de l'écorce est de 2,75 cm. Le restant des placettes (Soit 10 placettes) ne semble être lié à aucun des paramètres stationnels ou dendrométriques.

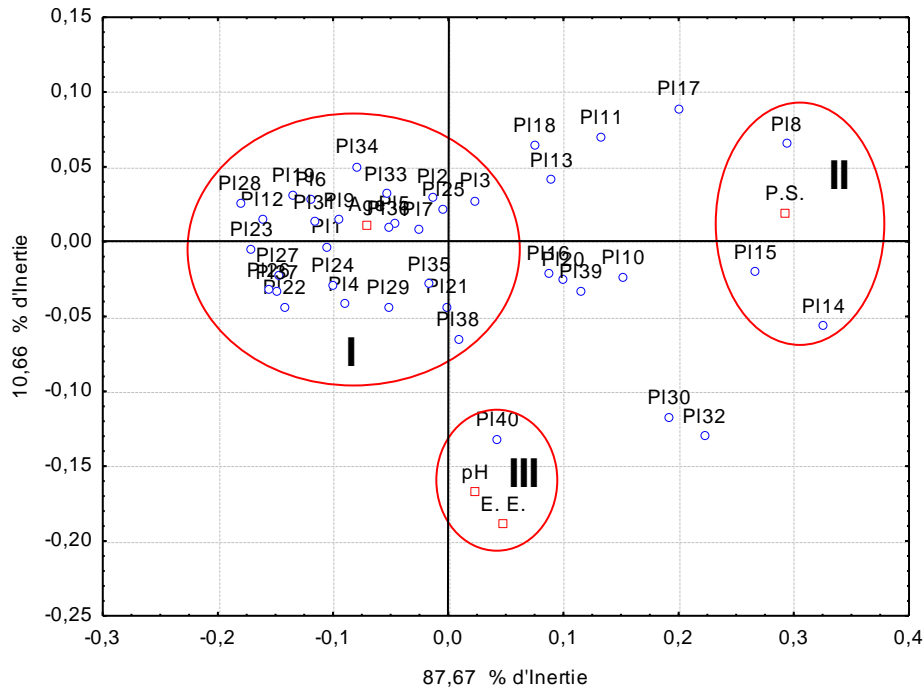


Figure 30. Analyse Factorielle des Correspondances. Senalba Gharbi

La figure 31 montre deux axes, le premier horizontal, dont l'inertie est de 89,05 %, peut être signifié par l'ensemble des deux paramètres âge et profondeur du sol. À ces paramètres sont liés les deux ensembles de placettes I et II. L'ensemble I regroupe la plupart des placettes (soit 29 placettes) situées sur les deux versants et caractérisées par un âge assez avancé et donc à un taux élevé de sujets dépéris. L'ensemble II, composé des trois placettes 1 ; 12 et 16, situées toutes sur le bas du versant Nord et dont la profondeur du sol est de 61 à 68 cm. L'axe 2 vertical, dont l'inertie se limite à 9,28 %, peut être signifié par l'ensemble des paramètres pH et épaisseur de l'écorce. À ces deux paramètres sont liées les placettes de l'ensemble III : 21 ; 34 ; 35 et 40 situées toutes sur le versant Sud et caractérisées par des sujets dont l'épaisseur de l'écorce est de 2,72 à 3 cm et un pH de 7,84 à 8,04. Le restant des placettes ne semble être lié à aucun des paramètres stationnels ou dendrométriques.

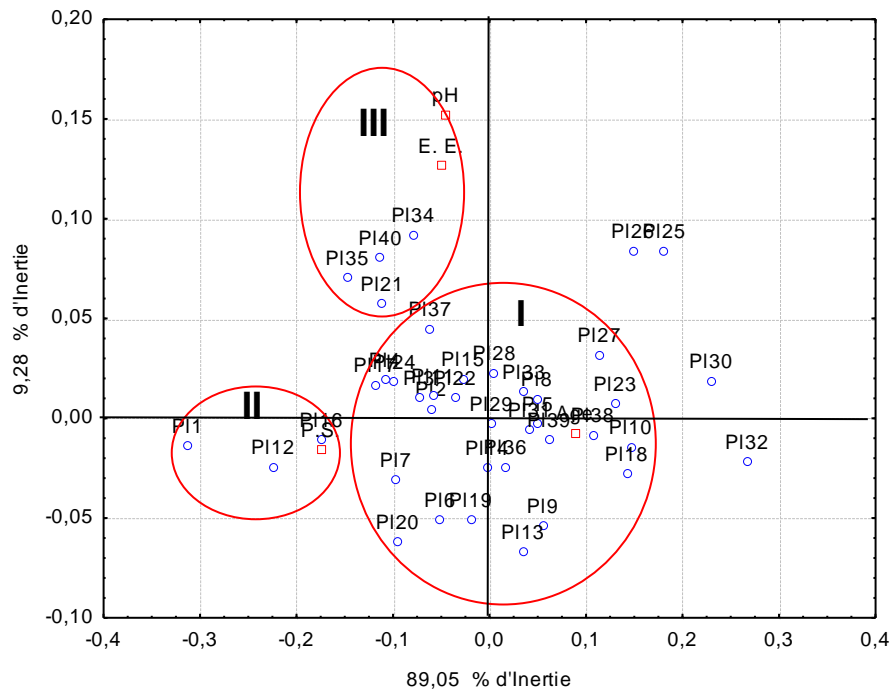


Figure 31. Analyse Factorielle des Correspondances. Senalba Chergui

4.2.5. Diversité des espèces de xylophages répertoriées

Les espèces de xylophages identifiées appartiennent à trois familles : Cerambycidae, Buprestidae et Scolytidae. La liste des 21 espèces est regroupée dans le tableau 11 ci-après.

Tableau 11. Répertoire des espèces de xylophages identifiées

Familles	Espèces
Cerambycidae	<i>Arhopalus ferus</i> D.
	<i>Arhopalus rusticus</i> L.
	<i>Arhopalus syriacus</i> L.
	<i>Ergates faber</i> L.
	<i>Hesperophanes sericeus</i> F.
Buprestidae	<i>Perotis unicolor</i> P.
	<i>Chalcophora mariana</i> L.
	<i>Phaenops cyanea</i> F.
	<i>Anthaxia rugicollis</i> J.
Scolytidae	<i>Crypturgus cribrellus</i> R.
	<i>Crypturgus mediterraneus</i> E.
	<i>Crypturgus numidicus</i> F.
	<i>Hylastes apacus</i> E.
	<i>Hylastes cunicularius</i> E.
	<i>Hylurgus ligniperda</i> F.
	<i>Hylurgus micklitzi</i> W.
	<i>Orthotomicus erosus</i> W.
	<i>Orthotomicus proximus</i> E.
	<i>Pityogenes bidentatus</i> H.
	<i>Procryphalus</i> sp.
	<i>Tomicus destruens</i> L.

LINSLEY (1959) décrit les Cerambycidae comme l'un des groupes d'insectes les plus importants du monde sur le plan économique en raison de ses larves mineuses d'arbres et, plus rarement, d'autres plantes. HANKS (1999) a reconnu, pour les stades larvaires de Cerambycidae, quatre grandes catégories de plantes-hôtes : arbres sains, hôtes affaiblis, hôtes stressés et hôtes morts. La dernière comporte plusieurs générations de ces insectes foreurs. Ces insectes attaquent le bois fraîchement mort avec écorce intacte (ANDRZEJ, 1986).

La répartition de chaque espèce de Cerambycidae varie en fonction de l'âge du peuplement prospecté. La majorité des espèces sont des ravageurs secondaires qui profitent de

l'état physiologique du peuplement principalement des arbres âgés. Ce groupe d'insectes, à cycle long, a tendance à pénétrer en profondeur de l'aubier, détériorant la qualité technologique de l'individu attaqué.

Le genre *Arhopalus* apparaît en grand nombre quand les conditions climatiques, notamment la température, deviennent favorables en juin tandis que les précipitations durant ce mois diminuent l'abondance de l'espèce dès que l'eau pénètre dans les chambres de nymphose (DOMINIK, 1968).

Un effectif de 4 espèces de Buprestidae a été noté dans les forêts naturelles de Senalba. De nombreuses espèces de xylophages, en particulier les Buprestidae, peuvent envahir le côté Sud des troncs si les arbres forestiers en déficience physiologique poussent en peuplement. D'autre part, sur les expositions Sud et sur les arbres isolés, les parties les plus insolées des troncs sont généralement évitées par les ravageurs secondaires car la température élevée, se produisant sous l'écorce en période estivale, conduirait à la mort des larves. Le séchage rapide ou la surchauffée du cambium rendrait difficile le développement des insectes. Seuls quelques Buprestidae du genre *Anthaxia* sont capables d'habiter ces sites (ANDRZEJ, 1986). Parmi ce groupe, on a récolté l'unique espèce *A. rugicolis* qui n'attaque que la couche la plus externe de l'aubier.

L'espèce *Chalcophora mariana* a été récoltée en grand nombre sur le pin d'Alep. C'est un hôte habituel des souches de pins jusqu'à un stade avancé de décomposition. Concernant *Phaenops cyanea*, elle demeure fréquente sur *Pinus halepensis*.

La famille des scolytidae est représentée par une diversité de 12 espèces réparties en 7 genres. Il est connu que les scolytes sont surtout inféodés aux résineux qui souffrent régulièrement de leur pullulation.

La plupart des scolytes peuvent coloniser des portions extensives d'arbres morts ou dépérissants. Les espèces appartenant à ce groupe d'insectes se répartissent d'une manière stratégique sur l'arbre hôte en relation avec sa morphologie, particulièrement l'épaisseur de l'écorce et la dimension du tronc et des rameaux. Les espèces relativement de grande taille (5 à 8 mm) sont inféodées à la base de l'arbre tandis que celles de petite taille (2 à 3 mm) occupent les portions supérieures du fût et les plus petites sur le sommet et les branches à écorce fine (SCHOWALTER, 2006).

Les espèces appartenant au genre *Tomicus* sont classées parmi les ravageurs primaires dont on sait qu'elles attaquent des sujets en pleine vitalité (CHARARAS, 1962). Parmi les espèces répertoriées, le grand hylésine *Tomicus destruens*, très souvent confondu avec *T. piniperda*, reste l'espèce la plus inféodée aux pinèdes. Dans les forêts naturelles et les reboisements de

pin d'Alep, l'hylésine se propage très activement. L'état physiologique des pinèdes, sous l'influence des conditions écologiques, a favorisé son installation (CHAKALI, 1992). Par suite de l'absence de critères morphologiques fiables et clairs pour différencier les deux espèces, *Tomicus piniperda* et *T. destruens* ont longtemps été regroupées par de très nombreux auteurs dans une seule et même espèce. *T. destruens* étant alors considéré comme un écotype méditerranéen de *T. piniperda*. Toutefois, ce statut a été soumis à controverses suivant les auteurs, et ce n'est qu'en 2001-2002, grâce à l'utilisation de marqueurs moléculaires, que les insectes ont été définitivement placés dans des espèces différentes (GALLEGO & GALIAN, 2001 ; KERDELHUE *et al.*, 2002 ; KOHLMAYR *et al.*, 2002).

Les espèces du genre *Othotomicus*, *O. erosus* et *O. proximus*, sont moins redoutables que *Tomicus piniperda* puisqu'elles se développent particulièrement au dépens d'arbres affaiblis. Néanmoins, elles peuvent devenir menaçantes et se comporter comme ravageurs primaires dans le cas de fortes densités. *O. erosus*, ou l'Érodé, est un insecte exclusivement dépendant des résineux (BALACHOWSKY, 1963). Il s'attaque à toutes les espèces de pins (HAACK, 2004 ; LEE *et al.*, 2008).

Le genre *Crypturgus* est représenté par les espèces sympatriques et voisines *C. numidicus* et *C. mediteranus*. La deuxième espèce est moins fréquente que la première et se distingue de la précédente par un corselet plus long que large, à côtés parallèles au-delà du milieu, puis progressivement rejeté en forme trapézoïdale en avant (BALACHOWSKY, 1949).

La troisième espèce récoltée, *C. cribrellus*, est assez rare sur *Pinus halepensis*. Elle reste un ravageur secondaire se contentant d'occuper les galeries des ravageurs primaires. À la base des troncs et au niveau des racines de pins, quatre espèces ont été récoltées : *Hylurgus ligniperda* et *Hylurgus micklitzii* qui vivent sympatriquement avec les espèces, *Hylastes cunicularius* et *Hylastes opacus*. Ces espèces ont été localisées sur des sujets dépérissants et s'attaquent préférentiellement aux racines.

Parmi ces espèces, *Hylurgus ligniperda* reste moins fréquente. L'espèce *Pityogenes bidentatus* est connue comme espèce qui s'installe sous les écorces fines des rameaux et des branches des arbres en difficulté physiologique. L'impact de cette espèce reste limité relativement aux espèces précédentes.

Plusieurs auteurs ont signalé la présence des espèces du genre *Hylastes* sur le genre *Pinus* (REAY & WALSH, 2001 ; ZHOU *et al.*, 2004 ; ZHANG *et al.*, 2004). Ces espèces sont attirées par un stimulus olfactif dû à la présence de α -pinènes dans la résine facilitant ainsi la localisation de la nourriture et des sites de reproduction (ANDRZEJ, 1986).

4.2.6. Importance des dégâts de scolytes

Nous nous sommes basés sur les volumes de bois prélevés dans le cadre de l'assainissement vis-à-vis des scolytes, particulièrement à l'espèce *Tomicus destruens*, pour une évaluation des dommages au cours de la période 2000/2013. Les données de base ont été recueillies des fiches de martelage de la Conservation des Forêts de la wilaya de Djelfa. Sur une superficie forestière de 62.170 ha, les pertes sur quatorze années sont évaluées à 2165 m³. Ces dommages sont relativement très importants pour les milieux fragiles en zone semi-aride. La disparition au cours du temps de ces peuplements forestiers se traduit aussi par la dégradation irréversible des sols.

De même, il est important de noter que les peuplements de diverses séries localisées dans des reliefs accidentés n'ont pas fait l'objet d'assainissement ce qui permet de dire que les dommages sont en réalité plus significatifs.

L'apparition des premiers arbres rougeâtres en dépérissement a été observée en hiver 1988. Un premier examen a montré que les arbres attaqués à cette période, présentent un âge moyen de 80 ans. Quelques années plus tard avec la sécheresse qui a sévi et les variations des températures, l'ampleur des dégâts a été ressentie et une extension de l'insecte commence à se généraliser actuellement dans les peuplements âgés de 40 à 150 ans.

4.2.7. Analyse des données climatiques en relation avec les dommages de scolytes

Sur la base des données climatiques recueillies, une analyse de la variation des températures et des précipitations, qui ont conditionné en grande partie l'activité de divers ravageurs scolytidae, nous a parue d'une grande utilité afin de mieux cerner l'adéquation du comportement de ces ravageurs vis-à-vis de la composante climatique.

*** La température**

La température est un des facteurs écologiques les plus importants influençant le cycle biologique et la survie de tous les insectes. Il a par conséquent été largement étudié chez de très nombreuses espèces, en particulier dans le cadre de contrôle biologique (KOCH *et al.*, 2004 ; SKINNER *et al.*, 2004 ; WEATHERSBEE III *et al.*, 2004 ; HERRERA *et al.*, 2005) ou dans le management d'espèces nuisibles (DOERR *et al.* 2002 ; SATAR & YOKOMI, 2002 ; WESTON & DIAZ, 2005).

Les moyennes mensuelles des températures calculées sur 30 années (1984/2013) sont illustrées dans la figure 32.

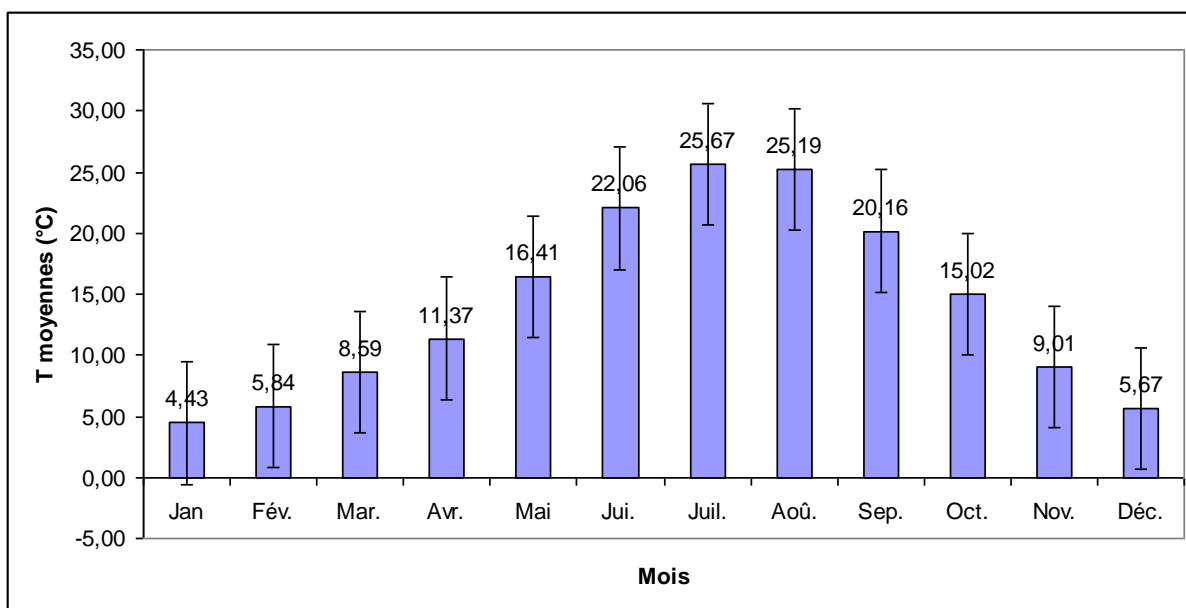


Figure 32. Variations mensuelles des températures moyennes (1984/2013).

En été, la région de Senalba est favorisée par l'effet de l'altitude et ne connaît pas les chaleurs torrides du Sahara. Une forte amplitude thermique entre l'hiver et l'été, et même entre le jour et la nuit, est enregistrée très souvent dans toute la zone de Djelfa. L'hiver est très rude et la température de l'air descend souvent en dessous de 0 °C. Le minimum absolu noté est de -7°C au mois de janvier, ce qui peut entraîner des répercussions sur la croissance et le développement de la végétation, particulièrement sur les pinèdes.

L'écart-type des moyennes de températures calculées s'élève à 2,1 pour le mois d'avril et respectivement de 1,88 et de 1,78 pour les mois de mai et de février. Pour les autres mois, les valeurs calculées se limitent entre 1,74 en octobre et 1,01 en août.

Le développement, l'adaptation et la reproduction des scolytes sont conditionnés par les variations de température. La température n'agit pas par ses moyennes, mais par ses variations même journalières. En réalité, les moyennes peuvent perdre beaucoup d'informations, surtout avec l'activité des scolytes qui, dès que les conditions leurs sont favorables, continuent à s'activer, profitant même des écarts thermiques du jour et de la nuit pour se développer. Cependant les valeurs extrêmes des minima peuvent agir défavorablement sur les scolytes et entraîner des cas de mortalité.

Les périodes de sécheresse enregistrées au cours de ces dernières décennies expliquent en grande partie le passage de l'état endémique à l'état épidémiologique de certaines espèces. Les fluctuations saisonnières des températures et des précipitations enregistrées au cours du temps ont conditionné la multiplication et l'activité de plusieurs espèces de scolytes qui

interviennent comme agresseurs primaires et secondaires, aggravant ainsi l'état des peuplements déjà à capacités de réaction amoindries suite au stress hydrique et à l'effet des fluctuations des températures (SZUJECKI, 1987).

En Amérique du Nord, il a été prédit, par exemple, qu'une augmentation de la température moyenne minimale de 3°C permettrait une extension de l'aire de distribution du scolyte *Dendroctonus frontalis* de 170 km menaçant ainsi des forêts encore non attaquées (UNGERER *et al.*, 1999 ; WILLIAMS & LIEBHOLD, 2002).

* La pluviométrie

Afin de tirer plus d'informations sur les variations des quantités pluviométriques, nous avons considéré dans un premier volet les moyennes mensuelles représentées par la figure 33. Généralement, au cours de l'année, les faibles précipitations enregistrées coïncident avec les fortes chaleurs marquant une saison sèche qui peut durer plus de 5 mois. Par ailleurs, la saison froide s'étale également sur 5 mois environ. La moyenne annuelle des précipitations calculées sur la période allant de 1984 à 2013 est de 338,73 mm. En comparaison avec la moyenne de 350 mm qui caractérise la zone semi-aride de la région de Djelfa, il apparaît un déficit moyen de 11.27 mm, représentant 9,14%.

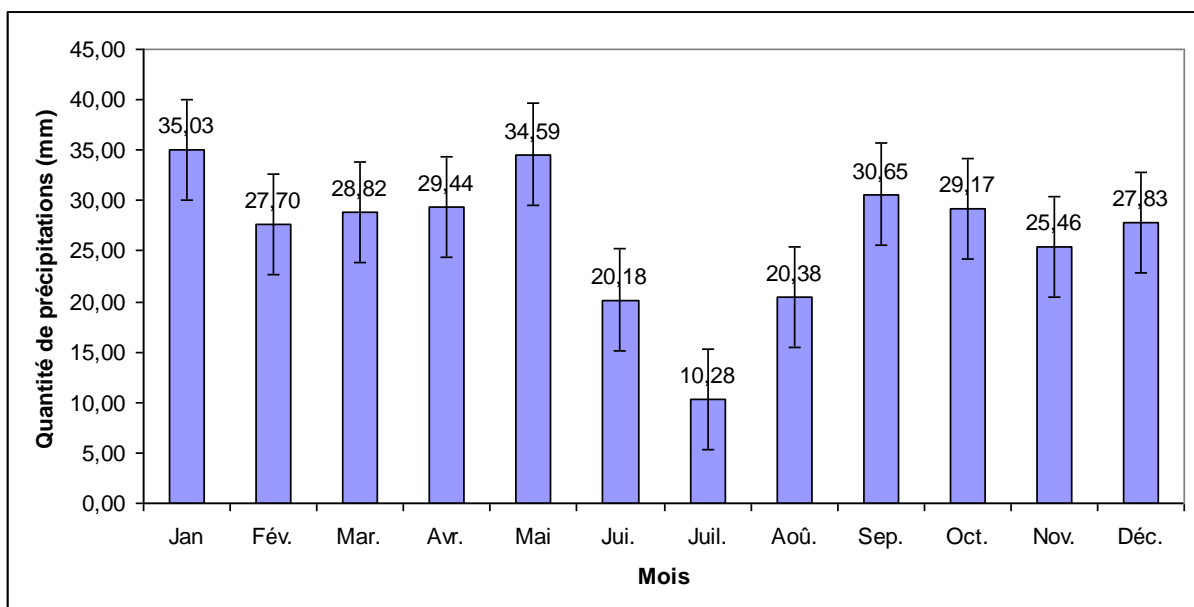


Figure 33. Variations mensuelles des précipitations moyennes (1984/2013).

L'examen de l'histogramme montre des variations allant de 35,03 mm en janvier à 10,28 mm en juillet. Les écart-types sont très significatifs et montrent l'irrégularité des

précipitations mensuelles au cours des années considérées. Afin de mieux analyser les déficits et les excédents pluviométriques, par rapport à la moyenne de 350 mm, nous avons considéré les quantités annuelles au cours de la période trentenaire, représentée par la figure 34.

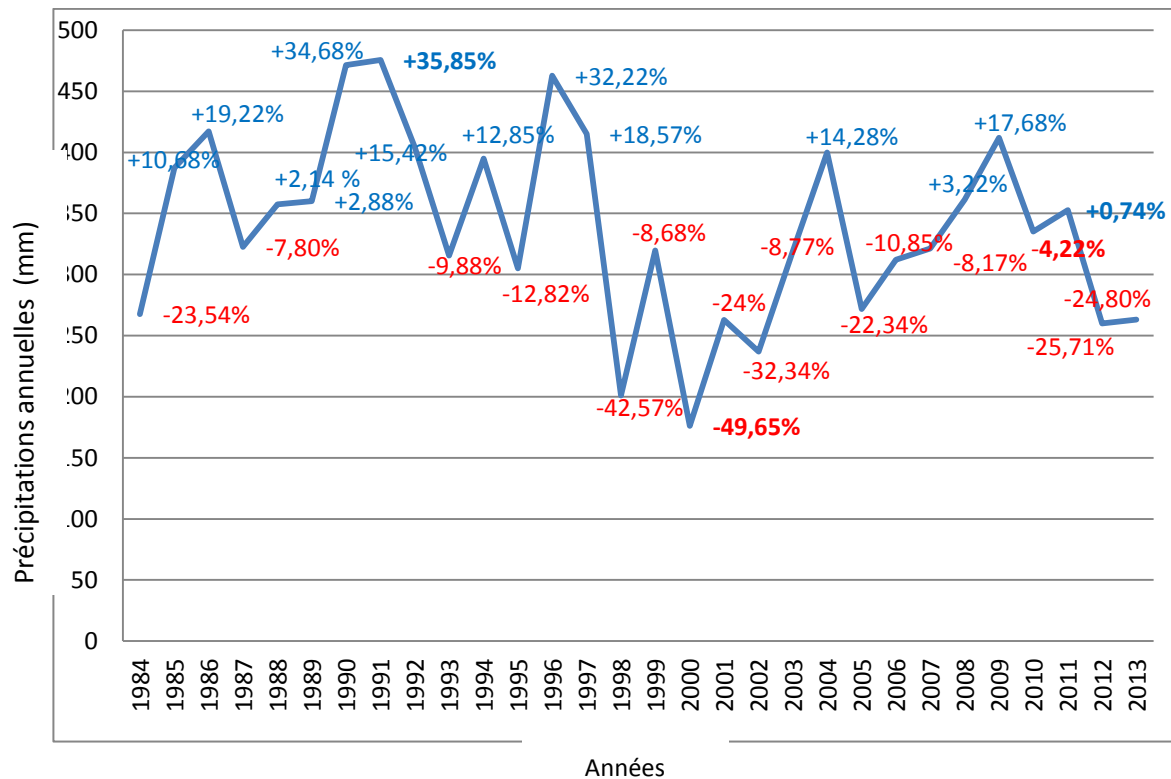


Figure 34. Variations annuelles des précipitations (1984/2013).

Sur les 30 années prises en considération, 16 présentent un déficit en eau variable de 4,22 % à 49,65 %. Les excédents varient de 0,74 % à 35,85 %. Au cours de la décennie 2000/2009, considérée comme la plus sèche, seules les années 2004 ; 2008 et 2009 présentent des excédents allant de 3,22 % à 17,68 % tandis que les sept autres années sont déficitaires. Ceci montre l'irrégularité des précipitations au cours des années considérées qui marque des périodes de sécheresse augmentant la fréquence des attaques de scolytes dues au stress hydrique.

4.2.8. Analyse de l'infestation

Avant les années 2000, les populations de scolytes étaient limitées en densité pour se répartir à travers la majorité des arbres. Les sites ou les foyers de multiplication étaient normalement réduits par la disponibilité des sites favorables.

Au cours de ces dernières années, on se trouve en présence d'un peuplement affaibli dont une grande partie des arbres possèdent un seuil critique qui présente un milieu favorable à la multiplication des agresseurs primaires et secondaires. De même avec de fortes densités, les ravageurs secondaires peuvent devenir des ravageurs primaires.

Sur les 19 séries du massif forestier de Senalba, 18 séries ont fait l'objet d'assainissements. Des quantités de bois, variables en fonction des séries et des années, ont été exploitées au cours de la période allant de 2000 à 2013. Les années 2005 et 2009 enregistrent les volumes de bois les plus conséquents avec respectivement 524 m³ et 700 m³ touchant pour la plupart les séries situées sur le versant Sud et/ou dont l'âge moyen est assez avancé. Nous retenons l'existence d'une stratégie d'attaque dont la distribution est conditionnée vraisemblablement par des facteurs environnementaux particulièrement les peuplements affaiblis au cours des années de sécheresses. Les variations de température et particulièrement les déficits hydriques calculés au cours de la décennie (2000/2009) expliquent en partie l'extension des attaques des scolytes particulièrement *Tomicus destruens* et *Orthotomicus erosus* qui commencent à prendre de l'ampleur depuis l'année 2001 à des degrés élevés à travers les peuplements de pin d'Alep.

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Au terme de cette recherche, traitant la croissance et l'état sanitaire des peuplements de pin d'Alep dans le massif forestier de Senalba, situé en zone semi-aride, nous pouvons conclure ce qui suit :

Les données recueillies sur la dendroécologie du pin d'Alep dans les forêts de Senalba Gharbi et Senalba Chergui ont permis de dégager un certain nombre d'éléments de réponses quant au comportement de cette espèce vis-à-vis des conditions stationnelles ainsi que la part des facteurs historiques et des usages actuels et récents dans la structuration actuelle de ces forêts.

Les différents paramètres dendrométriques calculés : hauteur dominante, circonférence moyenne à 1,30 mètre, surface terrière et accroissement radial du cerne indiquent que la croissance est plus significative en versant Nord qu'en versant Sud pour un même milieu forestier.

La comparaison des paramètres dendrométriques, entre les deux forêts considérées, montre que l'altitude favorise une meilleure croissance du pin d'Alep. Les densités moyennes sont relativement plus élevées sur le versant Sud où des éclaircies doivent être pratiquées pour un développement plus harmonieux des arbres. L'analyse de la régression multiple a révélé que la profondeur du sol et l'altitude sont corrélés à la hauteur dominante, mais en sens inverse. Au niveau d'un même versant, plus on monte en altitude et moins le sol est profond et inversement. Des faisceaux de courbes de fertilité obtenus à partir du couple (Hauteur dominante/Âge) ont mis en évidence trois classes de fertilité liées aux deux facteurs altitude et exposition.

Concernant l'état sanitaire, le facteur exposition s'est avéré une des principales causes du phénomène de dépérissement au niveau du massif de Senalba Chergui. Les sujets de pin d'Alep situés sur le versant Sud souffrent plus du phénomène de réchauffement climatique car ils sont à la limite de leur aire écologique. Au niveau de Senalba Gharbi, les paramètres dendrométriques : âge, circonférence et épaisseur de l'écorce sont étroitement liés et bien corrélés au phénomène de déclin.

L'inventaire entomologique entrepris dans les deux massifs forestiers nous a permis de mettre en évidence une diversité de 21 espèces de xylophages appartenant aux Cerambycidae, Buprestidae et Scolytidae. Parmi les xylophages répertoriés sur les pins, plusieurs espèces ont un impact sur l'économie forestière. Les scolytes, *Tomicus destruens* et *Orthotomicus erosus* contribuent par leurs importantes populations au dépérissement actuel du pin d'Alep. Nous rejoignons CHAKALI (2006) qui note que d'importants mouvements de population se produisent au cours de ces dernières années. L'épidémiologie sous la dépendance écologique du milieu prospecté a tendance à se généraliser.

À l'issue de ce présent constat, l'état actuel des pinèdes de la zone d'étude appelle à des actions de réhabilitation afin de sauvegarder la biodiversité menacée par cette dégradation. Parmi les recommandations à proposer aux décideurs du domaine forestier :

- * La mise en place de stations permanentes, et ceci à travers tout le patrimoine forestier, serait l'un des meilleurs moyens pour pouvoir suivre simultanément les modifications de la croissance et de la santé des arbres. Sur le plan écologique, des suivis complémentaires sont nécessaires sur le cortège floristique des espèces arbustives et herbacées.
- * Procéder à des traitements sylvicoles (coupes d'éclaircies au niveau des placettes à fortes densités, coupes d'assainissement au niveau des sujets sénescents ou morts et ainsi éviter qu'ils soient des foyers de pullulation de xylophages et de maladies).
- * Réaliser des programmes de reboisements bien conçus afin de régénérer ce patrimoine forestier. La reforestation doit se faire préférentiellement avec des semences de la même région, en considérant la variation biogéographique comme critère d'échantillonnage et de stratégie de collecte des graines.
- * Mettre en défens les plantations en interdisant l'accès aux jeunes semis par le cheptel tout en accentuant les surveillances et mettant en place un gardiennage strict.

Les résultats de cette étude constituent un diagnostic descriptif et analytique qui mérite d'être élargi à d'autres forêts de pin d'Alep en zones semi-arides pour tirer plus de renseignements sur le comportement de cette essence ainsi que sur la distribution des xylophages et leur répartition spatio-temporelle. De même il serait opportun de considérer le problème de dépérissement dans sa globalité à l'échelle méditerranéenne afin d'élaborer en commun des stratégies d'action concertées et plus prometteuses.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

A

1. ABBAS H., 1986. La productivité des forêts de pin d'Alep dans le sud-est méditerranéen français. Analyses écodendrométriques. *Opt. Méd.* 1 : 127-156.
2. ABGRALL J.F. & SCHVESTRE D., 1987. Observation sur le piègeage de *Ips typographus* L. après chablis. R.F.F., XXXIX, 4 : 353-376.
3. AKRIMI N., 1986. Production ligneuse des peuplements de pin d'Alep (*Pinus halepensis* Miller) de la forêt de Sakiet Sidi Youssef (Tunisie). *Ecologia Mediterranea*, 12 : 237-253.
4. ALEXENDER L.V., PARKER D.E. & RAYNER N.A. 2001. Adjusting for sampling density in grid box land and ocean surface temperature time series. *Journal of Geophysical Research* 106 : 3371-3380.
5. AL IFRIQUI M., M'HIRIT O., PELTIER J.P. & TESSIER L., 1996. Analyse comparée de la croissance radiale du pin d'Alep et du Cyprès de l'Atlas dans le Haut Atlas Occidental Marocain. *Dendrochronologia*, 14 : 71-87.
6. ALLEN C.D., MACALADY A.K., CHENCHOUNI H., BACHELET D., MC DOWELL N., VENNETIER M., KITZBERGER T., RIGLING A., BRESHEARS D.D., HOGG E.H., GONZALEZ P., FENSHAM R., ZHANG Z., CASTRO J., DEMIDOVA N., LIM J.H., ALLARD G., RUNNING S.W., SEMERCI A., COBB N., 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *For. Ecol. Manag.* 259 : 660-684.
7. ALTEYRAC J., 2005. *Influence de la densité de peuplement et de la hauteur dans l'arbre sur les propriétés physico-mécaniques du bois d'épinette noire Picea mariana* (Mill.) B.S.P. Thèse de doctorat. Université Laval. 108 p.
8. AMMARI Y., SGHAIER T. , KHALDI A. et GARCHI S., 2001. Productivité du pin d'Alep en Tunisie : Table de production. Annales de L'INGREF N° Spécial. : 239-246
9. ANDREU L., GUTIERREZ E., MACIAS M., RIBAS M., BOSCH O. & CAMARERO J.J., 2007. Climate increases regional tree-growth variability in Iberian pine forests. *Global Change Biol.* 13 : 804-815.
10. ANDRZEJ S., 1986. Ecology of forest insects, drw. junk publishers series *entomologica*, (50) : 602-610.

- 11.** ATTOLINI M.R., CALVANI F., GALLI M., NANNI T., RUGGIERO L., SCHAER E. & ZUANNI F., 1990. The relationship between climatic variables and wood structure in *Pinus halepensis* Mill. *Theoretical and Applied Climatology*, 41: 121-127.
- 12.** AUSSENAC G. & GRANIER A., 1982. Influence d'une éclaircie sur la croissance et le bilan hydrique d'un jeune peuplement de Douglas (*Pseudotsuga menziesii* (mirb) France). *Can. J. For. Res.* 12: 222-231.
- 13.** AUSSENAC G., GRANIER A. & BRÉDA N., 1995. Effets des modifications de la structure du couvert forestier sur le bilan hydrique, l'état hydrique des arbres et la croissance. *Rev. Forêt Française* 1: 54-62.
- 14.** AVERY T. E. & BURKHART H. E., 2002. Forest measurements, 5th edition. McGraw-Hill, NY.

B

- 15.** BABST F., POULTER B., TROUET V., TAN K., NEUWIRTH B., WILSON R., CARRER M., GRABNER M., TEGEL W., LEVANIC T., 2013. Site and species specific responses of forest growth to climate across the European continent. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 22: 706-717 .
- 16.** BALACHOWSKY A. S., 1949 - *Coléoptères Scolytides*. Faune de France, N°50. P. Lechevalier, Paris, 320 p.
- 17.** BALACHOWSKY A. S., 1963. *Entomologie appliquée à l'Agriculture*, Tome 1, Vol. 2, Paris, Masson, 1391 p.
- 18.** BALE J. S., MASTERS G. J., HODKINSON I. D., AWMACK C., BEZEMER T. M., BROWN V. K., BUTTERFIELD J., BUSE A., COULSON J. C., FARRAR J., GOOD J. E., HARRINGTON R., HARTLEY S., JONES T. H., LINDROTH R. L., PRESS M. C., SYMRNIODIS I., WATT A. D. & WHITTAKER J. B., 2002. Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Global Change Biology*, 8 : 1-16.
- 19.** BARBÉRO M., BONIN G., LOISEL R. & QUÉZEL P., 1990. Changes and disturbances of forest ecosystems caused by human activities in the Western part of the Mediterranean basin. *Vegetao*, 87 : 151-173.
- 20.** BATTIPAGLIA G., SAURER M., CHERUBINI P., SIEGWOLF R. T.W. & COTRUFO M. F., 2009. Tree rings indicate different drought resistance of a native (*Abies alba* Mill.) and a nonnative (*Picea abies* (L.) Karst.) species co-occurring at a dry site in Southern Italy. *Forest Ecology and Management*, 257 : 820-828.

21. BEDEL J., 1986. Aménagement et gestion des peuplements de pin d'Alep dans la zone méditerranéenne française. *Options méditerranéennes*. Série Étude CIHEAM 86/1 : 127-156.
22. BELGHAZI B., EZZAHIRI M. & ROMAN F., 2000. Productivité de peuplements naturels de pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) dans la forêt de Tamga (Haut Atlas, Maroc). *Cahiers Agricultures*, 9 (1) : 39-46.
23. BENABID A., 1994. Biogéographie phytosociologie et phytodynamique des cédraies de l'Atlas *Cedrus atlantica* (Manetti). *Ann. Rech. For. Maroc*. t. XXVII : 61-76.
24. BEN REBIHA A., 1977. *Aménagement pastoral de la région de Charef (W. Djelfa)*. Mémoire Ing. Agro., Inst. Nat. Agro., El Harrach, 100 p.
25. BENTOUATI A., 2006. : *Croissance, productivité et aménagement des forêts de pin d'Alep (Pinus halepensis Mill.) du massif de Ouled Yagoub (Khenchela – Aurès)*. Thèse de doctorat. Inst. d'Agronomie. Univ. Batna .107 p.
26. BENTOUATI A., 2008. La situation du Cèdre de l'Atlas dans les Aurès (Algérie). *Forêt Méditerranéenne* , t. XXIX, (2) : 203-208.
27. BENTOUATI A. & BARITEAU M., 2006. Réflexion sur le dépérissement du Cèdre de l'Atlas des Aurès (Algérie). *Forêt Méditerranéenne*, t. XXVII (4) : 317-322.
28. BENTOUATI A., OUDJEHIH B. & ALATOU D., 2005. Croissance en hauteur dominante et classes de fertilité du pin d'Alep dans le massif de Ouled Yakoub et des Beni Oudjana (Khenchela- Aurès). *Sci. Tech.* 23: 57-62.
29. BLANCO J.A., ZAVALA M.A. & BOSCO IMBERT J., 2005. Sustainability of forest management practices : Evaluation through a simulation model of nutrient cycling. *Forest Ecol. Manag.* 213: 209-228.
30. BLONDEL J., ARONSON J., BODIOU J.-Y. & BOEUF G., 2010. The Mediterranean region: Biological diversity through time and space, 2nd edition, New York, USA.
31. B.N.E.F., 1983. Étude d'aménagement forestier du massif de Senalba Gharbi (wilaya de Djelfa) sur 32000 ha (étude du milieu). Bureau National des Études Forestiers. Blida. 71p.
32. BOGINO S., BRAVO F., 2008. Growth response of *Pinus pinaster* Ait. to climatic variables in central Spanish forests. *Annals of Forest Science*, 68: 506-518.
33. BOGINO S., FERNÁNDEZ NIETO M.J., BRAVO F., 2009. Climate effect on radial growth of *Pinus sylvestris* at its southern and western distribution limits. *Silva Fennica*, 43 (4) : 609-623.
34. BORGHETTI M., MAGNANI F., FABRIZIO A., SARACINO A., 2004. Facing drought in a Mediterranean post-fire community: tissue water relations in species with different life traits. *Acta Oecol.*, (25) 1-2 : 67-72.

- 35. BOUDY P.**, 1950. Guide du forestier en Afrique du Nord. Édition la maison rustique. 505p.
- 36. BOUDY P.**, 1950. Économie forestière Nord-Africaine. II: Monographie et traitement des ensembles forestiers, Paris, Larose, 887 p.
- 37. BRADLEY R.S., DIAZ H.F., EISCHEID J.K., JONES P.D., KELLY P.M. & GOODESS C.M.**, 1987. Precipitation fluctuations over northern hemisphere land areas since the mid – 19th century. *Science* 237: 171-175.
- 38. BRAVO-OVIEDO A., DEL RÍO M. & MONTERO G.**, 2004. Site index curves and growth model for Mediterranean maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) in Spain. *Forest Ecol. Manag.* 201: 187-97.
- 39. BRÉDA N., GRANIER A. & AUSSÉNAC G.**, 1995. Effects of thinning on soil, tree water relations, transpiration and growth in an oak forest (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.). *Tree Physiol.* 15: 295-306.
- 40. BRÉDA N., HUC R., GRANIER A., DREYER E.**, 2006. Temperate forest trees and stands under severe drought: a review of ecophysiological responses, adaptation processes and long-term consequences. *Ann. For. Sci.* 63: 625-644.
- 41. BROCHIÉRO F.**, 1997. Écologie et croissance du pin d'Alep en Provence calcaire. Mémoire de fin d'étude CEMAGRF AIX en Provence, ENREF. 73 p.
- 42. BROCHIÉRO F., CHANDIOUX O., RIPERT C. & VENNETIER M.**, 1999. Autécologie et croissance du pin d'Alep en Provence calcaire. *Forêt Méd.* 20: 83-94.

C

- 43. CALAMA R., CÁNADAS N. & MONTERO G.**, 2003. Inter-regional variability in site index models for even-aged stands of stone pine (*Pinus pinea* L.) in Spain. *Ann. Forest Sci.* 60: 259-269.
- 44. CAMARERO J.J., CORCUERA L., PEÑUELAS J., GIL-PELEGRÍN E.**, 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.
- 45. CAMARERO J.J., BIGLER C.J., LINARES J.C. & GIL-PEREGRÍN E.**, 2011. Synergistic effects of past historical logging and drought on the decline of Pyrenean silver fir forests. *For. Ecol. Manag.*, 262 : 759-769.
- 46. CAMPELO F., NABAIS C., FREITAS H., GUTIÉRREZ E.**, 2006. Climatic significance of tree-ring width and intra-annual density fluctuations in *Pinus pinea* from a dry Mediterranean area in Portugal. *Annals of Forest Science*, 64: 229-238.

47. CARNICER J., COLL M., NINYEROLA M., PONS X., SANCHEZ G., PEÑUELAS J., 2011. Widespread crown condition decline, food web disruption, and amplified tree mortality with increased climate change-type drought. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 108: 1474-1478.
48. CARRER M., NOLA P., MOTTA R. & URBINATI C., 2010. Contrasting tree-ring growth to climate responses of *Abies alba* toward the southern limit of its distribution area. *Oikos* 119: 1515-1525.
49. CHAKALI G., 1992. Les insectes ravageurs du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) en Algérie. *Mém. Soc.r. belge Ent.*, 35 : 505-509.
50. CHAKALI G., 2006. *Biologie et écologie de l'Hylésine des Pins, Tomicus destruens Wollaston, 1865 (Coleoptera- Scolytidae) dans la forêt de Senalba Chergui (Djelfa – Algérie)*. Thèse de doctorat en Sciences Agronomiques, Institut National Agronomique El-Harrach, Alger, 139 p.
51. CHAKROUN M.L., 1986. Le pin d'Alep en Tunisie. *Options Méditerranéennes*. Série Étude CIHEAM 86/1 : 25-27.
52. CHARARAS C., 1962. Scolytes des conifères. Éd. Lechevalier, Paris, 556 p.
53. CHARARAS C., 1982. Les insectes parasites des forêts. *La Recherche*, N°132 (13) : 440-451.
54. CHOISNEL E., 1989. Variabilité du climat : sa prise en compte pour l'aménagement de l'espace rural. C.R. Acad. Agric. Fr., 75(9), 47-57.
55. COUHERT B. & DUPLAT P., 1993. Le pin d'Alep. Rencontres forestiers-chercheurs en forêt méditerranéenne. La Grande-Motte (34), 6-7 octobre 1993. Éd. INRA, Paris 1993. (Les colloques N° 63 : 125-147.
56. COUHERT B. & DUPLAT P., 1993. Le pin d'Alep dans la région Provence Alpes Côte d'Azur. Propositions pour une sylviculture et un modèle de production. *Bull. tech. ONF*, 25: 3-22
57. COURT-PICON M., GADBIN-HENRY C., GUIBAL F. & ROUX M., 2004. Dendrometry and morphometry of *Pinus pinea* L. in lower Provence (France): adaptability and variability of provenances. *Forest Ecol. Manag.* 194 : 319-333.

D

58. DAGET P. 1977. Le bioclimat méditerranéen : caractères généraux, modes de caractérisation. *Vegetatio* 34 : 1-20.

- 59. DAGET P., AHDLI L. et DAVID P., 1988.** Le bioclimat méditerranéen et ses modalités dans les pays arabes. *Biocénoses*, 3 (1-2) 73-107.
- 60. DALSTEIN L., 1997.** *État physiologique des cembraies du Mercantour et du Queyras en liaison avec la pollution atmosphérique et les facteurs écologiques.* Thèse de 3^{ème} cycle, Université Aix-Marseille, 229 p.
- 61. DALSTEIN L., 1999.** La méthode d'inventaire des dommages forestiers appliquée à l'étude de la Cembraie du Vallon de Mollières. Parc national du Mercantour. *Forêt méditerranéenne* t. XX, N° 3 : 115-119
- 62. DAS A.J.B., JOHN J., STEPHENSON , NATHAN L., VAN MANTGEM, PHILLIP J., 2007.** The relationship between tree growth patterns and likelihood of mortality: a study of two tree species in the Sierra Nevada. *Can. J. For. Res.* 37 : 580-597.
- 63. DE LAS HERAS J., MOYA D., LOPEZ-SERRANO F.R. & CONDES S., 2007.** Reproduction of post fire *Pinus halepensis* Mill. stands 6 years after silvicultural treatments. *Ann. Forest Sci.* 64: 59-66.
- 64. DEL CAMPO A. D., NAVARRO CERRILO R. M., HERMOSO J. & IBANEZ A. J., 2007.** Relationships between site and stock quality in *Pinus halepensis* Mill. Reforestation on semiarid landscapes in eastern Spain. *Ann. For. Sci.* 64 : 719-731.
- 65. DE LUIS M., GRIČAR J., ČUFAR K., RAVENTOS J., 2007.** Seasonal dynamics of wood formation in *Pinus halepensis* from dry and semi-arid ecosystems in Spain. *IAWA Journal*, 28: 389-404.
- 66. DE LUIS M., NOVAK K., ČUFAR K. & RAVENTOS J., 2009.** Size mediated climate-growth relationships in *Pinus halepensis* and *Pinus pinea* . *Trees* 23: 1065-1073.
- 67. DE LUIS M., NOVAK K., RAVENTOS J., GRIČAR, J., PRISLAN P., ČUFAR K., 2011.** Climate factors promoting intra-annual density fluctuations in Aleppo pine (*Pinus halepensis*) from semiarid sites. *Dendrochronologia*, 29 : 163-169.
- 68. DENTAND 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.
- 69. DIEGUEZ-ARANDA U., HAROLD E., BURKHART H.E. & RODRIGUEZ-SOALLEIRO R., 2005.** Modeling dominant height growth of radiata pine (*Pinus radiata* Don.) plantations in north- western Spain. *Forest Ecol. Manag.* 215: 271-284.
- 70. DJEBAILI S., 1984.** Steppes algériennes. Phyto-écologie et écologie. Université des Sciences et de la Technologie. Languedoc , Montpellier. France, 174 p.

- 71. DOBBERTIN M.**, 2005. Tree growth as indicator of tree vitality and of tree reaction to environmental stress: a review. *Eur. J. For. Res.* 124 : 319-333.
- 72. DOBBERTIN M., BRANG P.**, 2001. Crown defoliation improves tree mortality models. *For. Ecol. Manag.* 141: 271-284.
- 73. DOERR M. D., BRUNNER J. F. & V.P. J.**, 2002. Temperature-dependent development of *Lacanobia subjuncta* (Lepidoptera : Noctuidae). *Environmental Entomology*: 31 : 995-999.
- 74. 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.
- 75. 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.
- 76. DUPLAT P.**, 1989. Indice de fertilité basé sur un modèle de croissance en hauteur. In: Buffet M., Girault D. (Eds.), Station forestière, production et qualité du bois: éléments méthodologiques, CEMAGREF, Nogent sur Vernisson, 51-78.

E-F

- 77. EASTERLING D.R., HORTON B., JONES P.D., PETERSON T.C., KARL T.R., PARKER D.E., SALINGER M.J., RAZUVAYEV V., PLUMMER N., JAMASON P. & FOLLAND C.K.**, 1997. Maximum and minimum temperature trends for the globe. *Science*, 277 : 364-367.
- 78. EASTERLING D.R., EVANS J.L., GROISMAN P.YA., KARL T.R., KUNKEL K.E. & AMBENJE P.** 2000. Observed variability and trends in extreme climate events. *Bull. Am. Met. Soc.* 81 : 417- 425.
- 79. EL KHORCHANI A., GADBIN-HENRY C., BOUZID S., KHALDI A.**, 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.
- 80. EICHHORN J., ROSKAMS P., FERRETTI M., MUES V., SZEPESEI A., DURRANT D.**, 2010. Manual on the methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests, part IV: visual assessment of crown condition and damaging agents. UNECE, ICP Forests, Hamburg, 59 P.
- 81. EMBERGER L.**, 1955. Une classification biogéographique des climats. *Rev. Trav. Labo. Bot. Géol. Zool. Fac. Sci., Montpellier*, 7 : 1-43.

- 82.** FAO., 2006. Global planted forests thematic study. Results and analysis, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy.
- 83.** FARJON A.K., 1996. Biodiversity of Pinus (Pinaceae) in Mexico : Speciation and palaeo-endemism. *Bot. J. Linn. Soc.* (London) 121(4) : 365-384.
- 84.** FAURIE C., FARRA C. & MEDORI P., 1980. Écologie. Éd. *Baillière J.-B.*, Paris, 168 p.
- 85.** FOLLAND C.K. & KARL T.R. 2001. Observed Climate Variability and Change. Dans : *Climate Change 2001: The Scientific Basis* (Éd.: HOUGHTON J.T., DING Y., GRIGGS D.J., NOGUER M., VAN DER LINDEN P.J., DAI X., MASKELL K. & JOHNSON C.A.), Cambridge University Press, Cambridge: 99-181.
- 86.** FRICH P., ALEXANDER L.V., DELLA-MARTA P., GLEASON B., HAYLOCK M., KLEIN-T ANK A. & PETERSON T. 2001. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the 20th Century. *Climate Research*.
- 87.** FRITTS H.C., 1976. *Tree Rings and Climate*. Academic Press, Inc. Ltd.London, 567 p.

G

- 88.** GALIANO L., MARTÍNEZ-VILALTA J., LLORET F., 2010. Drought-induced multifactor decline of scots pine in the pyrenees and potential vegetation change by the expansion of co-occurring oak species. *Ecosystems* 13: 978-991.
- 89.** GALLEGO D. & GALIAN J., 2001. The internal transcriber spacers (ITS1 and ITS2) of the rDNA differentiates the bark beetle forest pests *Tomicus destruens* and *T. piniperda*. *Insect Molecular Biology*, 10 : 415-420.
- 90.** GAOUAS A., DRIDI B., ADRAR R. & LAIDI A., 1997. Les conditions édaphiques, le chablis et le dépérissement du pin d'Alep dans le Senalba Gharbi (Djelfa). *Ann. Rech. For. Algérie*, 1 : 61-73.
- 91.** GARREC J.P., KERFOURN C. & LAITA E., 1989. Étude des surfaces foliaires des arbres dépérissants. *Ann. Sci. For.*, 46 : 547-552.
- 92.** GARRIGUE J., MAGDALOU J. A. & HURSON C., 2008. Les effets de la canicule et de la sécheresse sur la forêt de la Massane (Pyrénées Orientales). *Forêt Méditerranéenne*, t. XIX, (2) : 183-188.
- 93.** GAUDIN S., 1996. *Dendrométrie des peuplements*. Ed. BTSA Gestion Forestière. France, 64 p.
- 94.** GAZONNEAU A., 2007. Pour la forêt méditerranéenne, le changement climatique est déjà à l'œuvre.<http://actscience.blogspot.com/2007/11/pour-la-foret-mediterranenne-le.html>.

- 95. GERNANDT D.S., LOPEZ G.G., GARCIA S.O., LISTON A., 2005.** Phylogeny and classification of *Pinus*. *Taxon*, 54: 29-42.
- 96. GERNANDT D.S., MAGALLON S., LOPEZ G.G., FLORES O.Z., WILLYARD A., LISTON A., 2008.** Use of simultaneous analyses to guide fossil-based calibrations of Pinaceae phylogeny. *International Journal of Plant Sciences*, 169: 1086-1099.
- 97. GHAZI A., 2009.** Rapport national de réflexion sur le secteur des forêts (Atténuation). *Programme des Nations Unies pour le Développement*. 21 P.
- 98. GIRARD F., VENNETIER M., GUIBAL F., CORONA C., OUARMIM S., HERRERO A., 2012.** *Pinus halepensis* Mill. crown development and fruiting declined with repeated drought in Mediterranean France. *Eur. J. For. Res.* 131, 919-931.
- 99. GONZALEZ-OCHOA A.I., LOPEZ-SERRANO F.R. & DE LAS HERAS J., 2004.** Does post fire forest management increase tree growth and cone production in *Pinus halepensis*? *Forest Ecol. Manag.* 188 : 235-247.
- 100. GOUBI M., 2011.** *Croissance et productivité du pin d'Alep dans quelques stations du massif des Aurès*. Mémoire de magister. Université de Batna. 64 p.
- 101. GOUBITZ S., NATHAN R., ROITEMBERG R., SHMIDA A. & NEEMAN G., 2004.** Canopy seed bank structure in relation to: fire, tree size and density. *Plant Ecol.* 173: 191-201.
- 102. GRAF P. & MZIBRI M., 1994.** Les ravageurs sous-corticaux et xylophages : les Scolytes des Pins in : EL HASSANI A., GRAF P., HAMDAOUI M., HARRACHI K., M ESSAOUDI J., HAACK R.A., 2004. *Orthotomicus erosus*: a new Pine-infesting bark beetle in the United States. *Newsletter of the Michigan Entomological Society*. 49 (3/4): 3-15
- 103. GRIM S., 1989.** Le pré-aménagement forestier. Volume 1. Alger : Éd. CEE et Ministère de l'Hydraulique d'Algérie.
- 104. GUIT B., 1994.** *Contribution à l'étude de la croissance du pin d'Alep (Pinus halpensis Mill.) dans le reboisement de Moudjbara (Djelfa). Analyses éco-dendrométriques*. Mém. Ing. Agro. INA. Alger, 58p.
- 105. 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). *Rev. Écol. (Terre Vie)*, vol. 70, N° 1 : 32-43.

H-I-J

- 106.** HALITIM A., 1988. Sols des régions arides d'Algérie. O.P.U. Alger, 336 p.
107. HANKS L.M., 1999. Influence of the larval host plant on reproductive strategies of Cerambycid beetles. *Annual Review of Entomology*, 44: 483-505.
- 108.** HATZISTATHIS A., GOUDELIS G. & ZAGAS TH., 1995. Growth and yield of *Pinus brutia* reforestations in relation with soil and physiographic factors. *Sci. Ann. Depart. Forest. Nat. Environ.* 38: 33-53.
- 109.** HERRERA A.M., DAHLSTEN D.D., TOMIC-CARRUTHERS N. & CARRUTHERS R.I., 2005. Estimating temperature-dependent developmental rates of *Diorhabda elongata* (Coleoptera : Chrysomelidae), a biological control agent of Saltcedar (*Tamarix spp.*). *Environmental Entomology*, 34 : 775-784.
- 110.** HOFF C. & RAMBAL S. 2000. Les écosystèmes forestiers méditerranéens face aux changements climatiques. Dans : *Impacts potentiels du changement climatique en France au XXIe siècle* , Mission Interministérielle de l'Effet de Serre & Ministère de l'aménagement du Territoire et de l'Environnement, Paris, p. 88-98.
- 111.** HOUGHTON J. T., DING Y., GRIGGS D. J., NOGUER M., VAN DER LINDEN P. J., XIAOSU D., MASKELL K. & JOHNSON C. A., 2001. Climate change 2001 : the scientific basis. In Contribution of Working Group I in the Third Assesment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Working Group II 1998. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- 112.** HUGHES L., 2000. Biological consequences of global warming : is the signal already apparent? *Trends in Ecology & Evolution*, 15 : 56-61.
- 113.** INCLA N. R., GIMENO B.S., DIZENGREMEL P. & SANCHEZ M., 2005. Compensation processes of Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) to ozone exposure and drought stress. *Environmental Pollution*, 137: 517-524.
- 114.** JONES P.D., OSBORN T.J., BRIFFA K.R., FOLLAND C.K., HORTON E.B., PARKER D.E., FOLLAND C.K. & JACKSON M. 1995. Marine surface temperature: observed variations and data requirements. *Climatic Change*, 31 : 559-600.
- 115.** JUMP A.S., HUNT J.M., PEÑUELAS J., 2006. Rapid climate change-related growth decline at the southern range edge of *Fagus sylvatica* . *Glob. Change Biol.* 12 : 2163-2174.

K

- 116.** KAABÈCHE M., 1996. Les relations climat-végétation dans le bassin du Hodna (Algérie). *Acta bot. Gallica* 1: 85-94.

- 117. KADIK B.**, 1983. *Contribution à l'étude du Pin d'Alep (Pinus halepensis Mill.) en Algérie : écologie, dendrométrie et morphologie*. Thèse de doctorat ; 313 p.
- 118. KADIK B.**, 1986. *Contribution à l'étude du pin d'Alep (Pinus halepensis Mill.) en Algérie. Écologie, dendrométrie et morphologie*. Ed. O.P.U, Alger, Algérie. 581 p.
- 119. KADIK L.**, 1984. Phyto-écologie des formations à pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) du Senalba Chergui et Gharbi Thèse Doct.3^{ème} P cycle. Univ. H. BOUMÉDIENE Sciences. Bab Ezzouar. 281p + ann.
- 120. KADIK L.**, 1990. Intérêt des variables physiologiques dans la recherche des espèces indicatrices : Cas des Djebels de l'Atlas saharien. Biocénoses, Tome 5, N° 12 : 7-34.
- 121. KADIK-ACHOUBI L.**, 2005. *Étude phytosociologique et phytoécologique des formations à pin d'Alep (Pinus halepensis Mill.) de l'étage bioclimatique semi-aride algérien*. Thèse de Doctorat. USTHB, Alger, 341 p.
- 122. KERDELHUE C., ROUX-MORABITO G., FORICHON J., CHAMBON J.-M., ROBERT A. & LIEUTIER F.**, 2002. Population genetic structure of *Tomicus piniperda* L. (Curculionidae : Scolytidae) on different pine species and validation of *T. destruens* (Woll.). *Molecular Ecology*, 11 : 483-494.
- 123. KHERCHOUCHE D., BENTOUATI A. & KAABÈCHE M.**, 2011. Croissance et écologie du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) dans le massif de Beni-Imloul (Aurès, Algérie). *Sécheresse* 22: 43-48.
- 124. KITIKIDOU K., BOUNTIS D. & MILIOS E.**, 2011. Site index models for Calabrian pine (*Pinus brutia* Ten.) in Thasos Island, Greece. *Ciencia Florestal* 21: 125-131.
- 125. KITIKIDOU K., PETROU P. & MILIOS E.**, 2012. Dominant height growth and site index curves for Calabrian pine (*Pinus brutia* Ten.) in central Cyprus. *Renewable Sustainable Energy. Reviews* 16 : 1323-1329.
- 126. KOCH R.L., CARRILLO M.A., VENETTE R. C., CANNON C.A. & HUTCHISON W.D.**, 2004. Cold hardiness of the multicolored asian Lady Beetles (Coleoptera : Coccinellidae). *Environmental Entomology*, 33 : 815-822.
- 127. KOHLMAYR B., RIEGLER M., WEGENSTEINER R. & STAUFFER C.**, 2002. Morphological and genetic identification of the three pine pests of the genus *Tomicus* (Coleoptera, Scolytidae) in Europe. *Agricultural and Forest Entomology*, 4 : 151-157.

L

- 128.** LANDMANN G., BONNEAU M. & ADRIAN M., 1987. Le dépérissement du sapin pectiné et de l'épicéa commun dans le massif vosgien est-il en relation avec l'état nutritionnel des peuplements ? *R.F.F.* XXXIX -1: 5-11.
- 129.** LEBOURGEOIS F. & BECKER M., 1996. Dendroécologie du pin laricio de Corse dans l'ouest de la France. Évolution du potentiel de croissance au cours des dernières décennies. *Ann. Sci. For.* 53 : 931-946.
- 130.** LEE J.C., FLINT M.L. & 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.
- 131.** LE HOUÉROU H.N., 1982. The arid bioclimate in the Mediterranean isoclimatic zone. *Ecol. Med.* 8: 103-114.
- 132.** LE HOUÉROU H.-N., 1990. Global change: vegetation, ecosystems and land use in the southern Mediterranean basin by the mid-twenty-first century. *Israel Journal of Botany* 39 : 481-508.
- 133.** Le HOUÉROU H.-N., 2004. An agro bioclimatic classification of arid and semi-arid lands in the isoclimatic Mediterranean zones. *Arid land research and management*, 18, 301-346.
- 134.** LE HOUÉROU H. N., CLAUDIN J. & POUGET M., 1979. Étude bioclimatique des steppes algériennes. *Bull. Soc. His. Nat. Afr. Nord* 68 (3-4) : 33-74.
- 135.** LE MEIGNEN P. & MICAS L., 2008. Bilan des dépérissements forestiers dans les Alpes-de Haute-Provence. *Forêt méditerranéenne*. t. XXIX, (2) : 177-182.
- 136.** LIEUTIER F. & LEVIEUX J., 1985. Les relations conifères-scolytidae. Importance et perspectives de recherches. *Ann. Sci. For.*, 42(4) : 359-370.
- 137.** LIEUTIER F., VOULAND G. & PETTINETTI M., 1997. Tests de choix de pins méditerranéens par les scolytidae et autres insectes xylophages en conditions naturelles. *Revue Forestière Française* 3 : 215-224.
- 138.** 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.
- 139.** LINARES J.C., CAMARERO J.J. & CARREIRA J.A., 2010. Competition modulates the adaptation capacity of forests to climatic stress: insights from recent growth decline and death in relict stands of the Mediterranean fir *Abies pinsapo*. *J. Ecol.*, 98: 592-603.

- 140.** LINSLEY E.G., 1959. Ecology of Cerambycidae. *Annual Review of Entomology*, 4: 99-138.
- 141.** LOISEL R., 1976. Place et rôle des espèces du genre *Pinus* dans la végétation du sud-est méditerranéen français. *Ecologia Mediterranea*, 2 : 131-152.
- 142.** LÓPEZ G.G., KAMIYA K., HARADA K., 2002. Phylogenetic relationships of *Diploxylon* pines (Subgenus *Pinus*) based on plastid sequence data. *International Journal of Plant Sciences*, 163: 737-747.

M

- 143.** MACIAS M., ANDREU L., BOSCH O., CAMARERO J.J. & GUTIÉRREZ E., 2006. Increasing aridity is enhancing silver fir *Abies alba* (Mill.) water stress in its south-western distribution limit. *Climate Change* 79: 289-313.
- 144.** 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.
- 145.** MANN M.E., BRADLEY R.S. & HUGHES M.K., 1998. Global-scale temperature patterns and climate forcing over past six centuries. *Nature*, 392 : 779-787.
- 146.** MANN M.E., BRADLEY R.S. & HUGHES M.K., 1999. Northern Hemisphere Temperatures During the Past Millennium: Inferences, Uncertainties and Limitations. *Geophysical Research Letters* 26 : 759-762 .
- 147.** MARTIN-BENITO D., CHERUBINI P., DEL RIO M., CAÑELLAS I., 2008. Growth response to climate and drought in *Pinus nigra* Arn. trees of different crown classes. *Trees*, 22: 363-373.
- 148.** MARTIN-BENITO D., DEL RIO M. & HEINRICH I., 2010. Response of climate-growth relationships and water use efficiency to thinning in a *Pinus nigra* afforestation. *Forest Ecol. Manag.* 259: 967-975.
- 149.** MATESANZ S. & VALLADARES F., 2013. Ecological and evolutionary responses of Mediterranean plants to global change. *Environmental and Experimental Botany*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.09.004>
- 150.** MAYOR X. & RODÀ F., 1993. Growth response of holm oak (*Quercus ilex* L.) to commercial thinning in the Montseny mountains (NE Spain). *Ann. Sci. For.* 50: 247-256.
- 151.** MEDDOUR H., 1983. *Contribution à l'étude de la croissance du Pinus halepensis Mill. En relation avec les groupements végétaux dans la forêt de Baïnem.* Mém. Ing. Inst. Nat. Agro. Alger, 63 p.

- 152. MEDDOUR H.**, 1992. *Contribution à l'étude dendrochronologique de deux provenances de pin d'Alep (Pinus halepensis Mill.) en Algérie : Cas d'une station littorale et d'une station continentale*. Thèse de magister. INA. Alger, 187 p.
- 153. MERIAN P. & LEBOURGEOIS F.**, 2011. Size-mediated climate–growth relationships in temperate forests: a multi-species analysis. *Forest Ecol. Manag.* 261: 1382-1391.
- 154. MEZALI M.**, 2003. Rapport sur le secteur forestier en Algérie. 3^{ème} session du forum des Nations Unis sur les forêts. 9 p.
- 155. M'HIRIT O.**, 1982. *Étude écologique et forestière des cédraies du rif marocain. Essai sur une approche multidimensionnelle, de la phytoécologie et de la production du Cèdre (Cedrus atlantica Manetti.)*. Thèse de Doctorat. Université de Marseille, 499 p.
- 156. MOKRIM A.**, 1989. *Contribution à l'étude dendrochronologique du pin d'Alep (Pinus halepensis Mill.) naturel et la variabilité pluviométrique du Maroc*. Thèse de doctorat, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc, 175 p.
- 157. MONTERO G., CANELLAS I., et RUIS-PEINADO R.**, 2001. Growth and Yield models for *Pinus halepensis* Mill. *Invest. Agr. Sist. Recur. For.*, 10 (1) : 24 p.
- 158. MOUNA M.**, 2005. Overview of entomological research on the forest ecosystems of the regions south of the Mediterranean Sea in: LIEUTIER F. & GHAIIOULE D. (Eds.), *Entomological Research in Mediterranean Forest Ecosystems*. INRA, France : 23-31.
- 159. MOUNA M. & FABRE J-P.**, 2005. Pest insect of cedars: *Cedrus atlantica* Manetti, *C. libani* A. Richard and *C. brevifolia* Henry in Mediterranean area in: LIEUTIER F. & GHAIIOULE D. (Eds.), *Entomological Research in Mediterranean Forest Ecosystems*. INRA, France : 89-103.
- 160. MUELLER E. & STIERLIN H.R.**, 1990. Sanasilva Tree Crown Photos with Percentages of Foliage Loss. Birmensdorf, Switzerland.
- 161. M'ZIBRI M. & STIKI A.** (Eds), *Ravageurs et maladies des forêts du Maroc*. DPVCTRF, Rabat : 33-43.

N-O - P

- 162. NAHAL I.**, 1962. Le Pin d'Alep. Étude taxonomique, phytogéographique, écologique et sylvicole. *Annales de l'école nationale des eaux et forêts*, 19, (4) : 533-627.
- 163. NICAULT A.**, 1999. Analyse de l'influence du climat sur les variations inter et intra annuelles de la croissance radiale du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) en Provence calcaire. Thèse de doctorat, Université Aix-Marseille III. France, 254 p.

- 164.** NICAULT A., RATHGEBER C., TESSIER L. & THOMAS A., 2001. Croissance radiale et densité du bois du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) en relation avec les facteurs climatiques. Analyse in situ de la mise en place du cerne. *Annals of Forest Sciences*, 58 : 769-784 .
- 165.** NOVAK K., DE LUIS M., ČUFAR K., RAVENTOS J., 2011. Frequency and variability of missing tree rings along the stems of *Pinus halepensis* and *Pinus pinea* from a semiarid site in SE Spain. *Journal of Arid Environments*, 75 : 494-498.
- 166.** OGAYA R., PEÑUELAS J., MARTÍNEZ-VILALTA J., MANGIRÓN M., 2003. Effect of drought on diameter increment of *Quercus ilex*, *Phillyrea latifolia*, and *Arbutus unedo* in a holm oak forest of NE Spain. *For. Ecol. Manag.*, (180) 1-3: 175-184.
- 167.** OLIVAR J., BOGINO S., SPIECKER H. & BRAVO F., 2012. Climate impact on growth dynamic and intra-annual density fluctuations in Aleppo pine (*Pinus halepensis*) trees of different crown classes. *Dendrochronologia*, 30 : 35-47.
- 168.** PAPADOPOULOS A., 1992. *Contribution à l'étude écologique et dendroécologique du pin d'Alep (Pinus halepensis Mill.) en Grèce*. Thèse de doctorat, Université d'Aix - Marseille III, France, 189 p.
- 169.** PAPADOPOULOS A.M., SERRE-BACHET F., TESSIER, L., 2001. Tree ring to climate relationships of Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) in Greece. *Ecologia Mediterranea*, 27 (1): 89-98.
- 170.** PAPADOPOULOS A.M., PANTERA A., GOUDELIS G., RAFTOGIANNIS I., STAMATOPOULOS E., VERGOS S., 2005. Sensitivity of tree rings of Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) to climatic conditions for the period 1960–2003 at the basin of Attica. In: Forest and Water, Proceedings of the 12th Forest Scientific Society Congress held in Drama, Greece.
- 171.** PAPADOPOULOS A.M., TOLICA K., PANTERA A., MAHERAS P., 2009. Investigation of the annual variability of the Aleppo pine tree-ring width: the relationship with the climatic conditions in the Attica basin. *Global Nest Journal*, 11: 583-592.
- 172.** PARDÉ J., 1957. La productivité des forêts de Pin d'Alep en France. *Annales de l'école nationale des eaux et forêts*, T. XV, Fasc. 2 : 365-414.
- 173.** PARDÉ J & BOUCNON J., 1988. *Dendrométrie*. 2^{ème} Éd. ENGREF. Nancy. 328p.
- 174.** PARMESAN C. & YOHE G., 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421 : 37-42.

175. POUGET M., 1980. Les relations sol-végétation dans les steppes Sud-algéroises. Trav. et Doc. ORSTOM, Paris, 555 p.

176. PRICE R.A., LISTON A., STRAUSS S.H., 1998. Phylogeny and systematic of *Pinus*. In: Richardson D.M. (Ed.) Ecology and Biogeography of *Pinus*. Cambridge University Press. Cambridge (UK): 49-68.

177. PUHE J., 2003. Growth and development of the root system of Norway spruce (*Picea abies*) in forest stands—a review. *Forest Ecol. Manag.*, 175: 253-273.

Q – R

178. QUEZEL P., 1980 : Biogéographie et écologie des conifères sur le pourtour méditerranéen. Actualités d'écologie forestière. Edition Gautier-Villars. Paris : 205-255.

179. QUEZEL P., 1986 : Les Pins du groupe «halepensis»: Écologie, Végétation, Écophysologie. *Options Méditerranéennes*. Série Étude CIHEAM 86/1 : 11-24.

180. QUÉZEL P., 2000. Taxonomy and biogeography of Mediterranean pines (*Pinus halepensis* and *P. brutia*). In : Neeman G. & Trabaud L. (Eds.). Ecology, biogeography and management of *Pinus halepensis* and *P. brutia* forest ecosystems in the Mediterranean basin. Backhuys Publishers. Leiden, : 1-12.

181. QUÉZEL P., 2002. Les grandes structures de végétation en région méditerranéenne: facteurs déterminants dans leur mise en place post-glaciaire. *Geobios*, 32 : 19-32.

182. QUÉZEL P. & BARBÉRO M., 1992. Le pin d'Alep et les espèces voisines : répartition et caractères écologiques généraux, sa dynamique récente en France méditerranéenne. *Forêt méditerranéenne* XIII (3) : 158-170.

183. QUEZEL P., BARBERO M. & BENABID A., 1987. Contribution à l'étude des groupements forestiers et pré-forestiers du haut Atlas oriental (Maroc). *Ecologia Mediterranea*. Tome XIII. Fasc. 1-2: 107-113

184. QUEZEL P. & MÉDAIL F., 2003. *Écologie et biogéographie des forêts du Bassin méditerranéen*. Elsevier, Collection Environnement, Paris, 573 p.

185. RAMADE F., 1984. Éléments d'écologie – Écologie fondamentale. *Éd. McGraw-Hill*, Paris, 397 p.

186. RATHGEBER C., 2002. *Impact des changements climatiques et de l'augmentation du taux de CO2 atmosphérique sur la productivité des écosystèmes forestiers : exemple du pin d'Alep (Pinus halepensis Mill.) en Provence calcaire (France)*. Thèse Doct. Université de Droit, d'Économie et des Sciences d'Aix-Marseille. 311 p.

- 187. RATHGEBER C., NICAULT A., GUIOT J., KELLER T., GUIBAL F., ROCHE P., 2000.** Simulated responses of *Pinus halepensis* forest productivity to climatic change and CO2 increase using a statistical model. *Glob Planet Change*, (26) 4 : 405-421.
- 188. RATHGEBER C., LAURENCE B., RIPERT C. & VENNETIER M., 2004.** Modélisation de la croissance en hauteur du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) en région méditerranéenne française. *Ecologia méditerranéenne* 30 , fascicule 2 : 205-218.
- 189. RATHGEBER C., MISSON L., NICAULT A., GUIOT J., 2005.** Bioclimatic model of tree radial growth: application to French Mediterranean Aleppo pine forests. *Trees*, 19 : 162-176.
- 190. REAY S.D. & WALSH P.J., 2001.** Observations of the flight activity of *Hylastes ater* and *Hylurgus ligniperda* (Curculionidae: Scolytinae) in *Pinus radiata* forests in the central North Island, New Zealand. *New Zealand Entomologist*, 24: 79-85.
- 191. RICHARDS. P.J.H., 1997.** Les climats annuels, la variabilité climatique et le bioclimat. Adresse sur le web : www.geogr.umontreal.ca/donnees/geo 3152.
- 192. RICHARDS C. & LADIER J., 2005.** Apport du découpage pluviométrique du CRPF de la végétation PACA. *Forêt Médit.* XXVI, 4, 309-314.
- 193. RIGOLOT E., 2008.** Impact du changement climatique sur les feux de forêt. *Forêt méditerranéenne*, t. XXIX, (2) : 167-176.
- 194. RIO M. & MONTERO G., 2001.** Modelo de simulación de claras en masas de *Pinus sylvestris* L. Monografías INIA: forestal. Nº 3. Ministerio de Ciencia y Tecnología, Madrid, 114 p.
- 195. RIPERT C. & 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.
- 196. RIVAS-MARTINEZ S., 2005.** Mapa de series, geoseries y geopermaseries de vegetación de España (memoria del mapa de vegetación de España, 2005). Parte 1. www.globalbioclimatics.org (Versión 29/07/2005).
- 197. RONDEUX J., 1999.** *La mesure des arbres et des peuplements forestiers*. Ed. Les Presses Agronomiques, Gembloux. 544 p.

S

- 198. SAFAR W., 1994.** *Contribution à l'étude dendroécologique du pin d'Alep (Pinus halepensis Mill.) dans une région semi-aride d'Algérie : l'Atlas Saharien (Ouled Naïl – Aurès – Hodna)*. Thèse de doctorat, Université d'Aix – Marseille III, France, 215 p.

- 199.** SAFAR W., SERRE-BACHET F. & TESSIER L., 1992. Les plus vieux pins d'Alep vivants connus. *Dendrochronologia* 10 : 41-52.
- 200.** SALHI H., 2000 : *Analyse taxonomique des divers groupes de xylophages dans les forêts algériennes*. Mémoire Ing. Agr., Inst. Nat Agr., El-Harrach. 120 p.
- 201.** SAMALENS J.C., 2009. *Stratégies d'échantillonnage des dommages forestiers à l'échelle du paysage. Application aux forêts cultivées de pin maritime (Pinus pinaster Ait.)*. Thèse de Doctorat. Université de Bordeaux. 245 p.
- 202.** SANCHEZ-SALGUERO R., NAVARRO-CERRILLO R.M., CAMARERO J.J., FERNANDEZ-CANCIO A., 2010. Drought-induced growth decline of Aleppo and maritime pine forests in south-eastern Spain. *For. Syst.* 19 (3): 458-469.
- 203.** 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.
- 204.** 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.
- 205.** SARRIS D., CHRISTODOULAKIS D. & KÖRNER C., 2007. Recent decline in precipitation and tree growth in the eastern Mediterranean. *Global Change Biol.* 13 : 1-14.
- 206.** 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.
- 207.** SATAR S. & YOKOMI R., 2002. Effect of temperature and host on development of *Brachycaudus schartzii* (Homoptera : Aphididae). *Annals of the Entomological Society of America*, 95 : 597-602.
- 208.** SAUVAGE C., 1963. Étages bioclimatiques, In Atlas du Maroc, Com. Nat. Géogr., Rabat, 44 p.
- 209.** SCARASCIA-MUGNOZZA G., 1986. Recherches sur l'écophysiologie de *Pinus halepensis* Mill. (Research on the ecophysiology of *Pinus halepensis* Mill.). *Options Méditerranéennes*, 1: 89-97.
- 210.** SCHOWALTER T.D., 2006. *Insect ecology : An ecosystem approach*, 2nd ed. Academic Elsevier, London : 572 p.
- 211.** SEIGUE A., 1985. La forêt circum-méditerranéenne et ses problèmes. Maison neuve et Larose. Édition. Paris. 502 p.
- 212.** SELTZER P., 1946. Le climat de l'Algérie. Inst. Météor. et de Phys. du Globe. Univ. Alger. 219 p. + Carte h.t.

- 213.** SERRE F., 1973. *Contribution à l'étude dendroclimatologique du pin d'Alep (Pinus halepensis Mill.)*. Thèse de doctorat, Université d' Aix-Marseille III. France, 236 p.
- 214.** SERRE-BACHET F., 1976 a. Les rapports de la croissance et du climat chez le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.). I - Méthodes utilisées. L'activité cambiale et le climat. *Acta Oecologica / Oecologica plantarum*, 2 (2) : 143-171.
- 215.** SERRE-BACHET F., 1976 b. Les rapports de la croissance et du climat chez le pin d'alep (*Pinus halepensis* Mill.). II – L'allongement des pousses et des aiguilles et le climat. Discussion générale. *Acta Oecologica / Oecologica plantarum*, 2 (3) : 201-224.
- 216.** SERRE-BACHET F. 1992. Les enseignements écologiques de la variation de l'épaisseur du cerne chez le pin d'Alep. *forêt méditerranéenne*, 13 (3) : 171-176.
- 217.** SERRE-BACHET F., L ÜCK H.B. & P ONS A., 1966. Premières recherches sur les relations entre les variations des anneaux ligneux chez *Pinus halepensis* Mill. et les variations annuelles du climat. *Acta Oecologica / Oecologica plantarum*, 1 : 117-136.
- 218.** SERRE-BACHET F., TESSIER L. & LORIS K., 1988. Mise en place et signification du cerne. Dans : Wood and Archeology (éd.: M UNAUT A.V. & TILL C.), PACT revue, 20 p.
- 219.** SGHAJIER T. & PALM R., 2002. Répartition des arbres et des volumes par classes de grosseur dans les peuplements de pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) en Tunisie. *Ann. For. Sci.* 59: 293-300.
- 220.** SGHAJIER T., AMMARI Y., GARCHE S. & KHALDI A., 2001. Croissance en hauteur dominante et classes de fertilité du pin d'Alep . *Annales de l'INGREF N° special*: 45-53.
- 221.** SHARMA R.P., BRUNNER A., EID T. & OYEN B.H., 2011. Modelling dominant height growth from national forest inventory individual tree data with short time series and large age errors. *Forest Ecol. Manag.* 262 : 2162-2175.
- 222.** SKINNER L.C., RAGSDALE D.W., HANSEN R.W., CHANDLER M.A. & MOON R.D., 2004. Temperature-dependent development of overwintering *Aphthona lacertosa* and *A. nigriscutis* (Coleoptera : Chrysomelidae) : two flea beetles introduced for the biological control of leafy spurge *Euphorbia esula*. *Environmental Entomology*: 33: 147-154.
- 223.** SKOVSGAARD J.P. & VANCLAY J.K., 2008. Forest site productivity: a review of the evolution of dendrometric concepts for even-aged stands. *Forestry* 81 : 12-31.
- 224.** SON Y., WOO-KYUN L. & LEE S., 1999. Effects of thinning on soil nitrogen mineralization in a Japanese larch plantation. *Comm. Soil Sci. Plant analysis* 30 : 2539-2550.
- 225.** SOULERES G., 1969. Le pin d'Alep en Tunisie : *Annales de l'Inst. Nat. Rech. Forest. Tunisie*. Vol 2. Fasc.1. 126 p.

- 226.** SOULERES G., 1975. Classes de fertilité et production des forêts tunisiennes de pin d'Alep. *Revue Forestière Française*, 27 : 41-49.
- 227.** STEWART Ph., 1968 paru 1969. Quotient pluviothermique et dégradation biosphérique, *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. N.*, Alger, 59 (1-2-3-4) : 23-36.
- 228.** SZUJECKI A., 1987. Ecology of forest insects. *Series entomologica*. Éd. K.A. Spencer. Vol. 26. 530 p.

T – U - V

- 229.** TAPIAS R., GIL L., FUENTES-UT RILLA P. & PARDOS J.A., 2001. Canopy seed banks in Mediterranean pines of south-eastern Spain: a comparison between *Pinus halepensis* Mill., *P. pinaster* Ait., *P. nigra* Arn. and *P. pinea* L. *J. Ecol.* 89: 629-638.
- 230.** UNGERER M., AYRES M. & LOMBARDERO M. J., 1999. Climate and the northern distribution limits of *Dendroctonus frontalis* Zimmermann (Coleoptera : Scolytidae). *Journal of Biogeography*, 26: 1133-1145.
- 231.** VARELA M-C., 2008. Dépérissement des peuplements de chêne-liège et changement climatique. *Forêt méditerranéenne*. t. XXIX, (2) : 209-212.
- 232.** VENNETIER M. & 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.
- 233.** VENNETIER M., RIPERT C., BROCHIERO F. & CHANDIOUX O., 1999. Evolution à court et long terme de la croissance du pin d'Alep en Provence. Conséquences sur la production de bois. *Forêt Méd.* 20 : 147-156.
- 234.** VENNETIER M., RIPERT C., BROCHIERO F., RATHGEBER C., CHANDRIOUX O. & ESTEVE R., 2010. Évaluation de la croissance du pin d'Alep en région méditerranéenne française. *Rev. Forestière Française* 5 : 11-17.
- 235.** VIEIRA J., CAMPELO F., NABAIS C., 2009. Age-dependent responses of tree-ring growth and intra-annual density fluctuations of *Pinus pinaster* to Mediterranean climate. *Trees*, 23: 257-265.
- 236.** VERKAIK I. & ESPELTA J.M., 2006. Post-fire regeneration thinning, cone production, serotiny and regeneration age in *Pinus halepensis*. *Forest Ecol. Manag.* 231: 155-163.
- 237.** VICENTE-SERRANO S.M., LASANTA T. & GRACIA C., 2010. Aridification determines changes in forest growth in *Pinus halepensis* forests under semiarid Mediterranean climate conditions. *Agri. Forest Meteorol.* 150 : 614-628.

- 238. VILA B., NICAULT A. & VENNETIER M., 2001.** Influence de la densité des peuplements sur la croissance en hauteur et radiale de *Pinus sylvestris* L. en région méditerranéenne française. *Forêt Méd.* 22: 65-74.
- 239. VILA B., VENNETIER M., RIPERT C., CHANDIOUX O., LIANG E., GUIBAL F. & TORRE F., 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.
- 240. VILA B., VENNETIER M., RIPERT C., CHANDIOUX O., LIANG E-Y., GUIBAL F. & TORRE F., 2008.** Les changements globaux ont-ils déjà induit des changements de croissance en forêt méditerranéenne? Le cas du pin d'Alep et du pin sylvestre de la Sainte-Baume. *Forêt Méd.* 21: 161-166.
- 241. VILLIERS A., 1946.** *Coléoptères Cérambycides de l'Afrique du nord* . Faune de l'Empire Français, Tome 5. Off. Sci. col., Paris, 152 p.

W- X – Y - Z

- 242. WEATHERSBEE III A. A., MCKENZIE C.L. & TANG Y.Q., 2004.** Host plant and temperature effects on *Lysiphlebus testaceipes* (Hymenoptera : Aphididae), a native parasitoid of the exotic brown citrus aphid (Homoptera : Aphididae). *Annals of the Entomological Society of America*, 97: 476-480.
- 243. WESTON P. A. & DIAZ M. D., 2005.** Thermal requirements and development of immature stages of viburnum leaf beetle, *Pyrrhalta viburni* (Paykull) (Coleoptera : Chrysomelidae). *Environmental Entomology*, 34: 985-989.
- 244. WILLIAMS D. W. & LIEBHOLD A. M. 2002.** Climate change and the outbreak ranges of two North American bark beetles. *Agricultural and Forest Entomology*, 4: 87-99.
- 245. YESSAAD S.A., 1988.** *Contribution à l'étude écodendrométrique de Pinus halepensis Mill. dans la zone subhumide littorale centre : Cas de la forêt de Taourira - Cherchel.* Thèse de magister, INA. Alger, 134 p.
- 246. ZAVALA, M., ZEA, E., 2004.** Mechanisms maintaining biodiversity in Mediterranean pine-oak forests: insights from a spatial simulation model. *Plant Ecol.* 171: 197-207.
- 247. ZHANG Z., VAN EPHENHUIJSEN C.W., BRASH D. & HOSKING G.P., 2004.** Phosphine as a fumigant to control *Hylastes ater* and *Arhopalus fesus*, pests of export logs. *New Zealand Plant Protection*, 57: 257-259.

248. ZHOU X.D., DE BEER Z.W., AHUMADA R., WINGFIELD B.D. & WINGFIELD M.J., 2004. Ophiostoma and Ceratocystiopsis spp. associated with two pine-infesting bark beetles in Chile. *Fungal Diversity* , 15: 261-274.

249. ZINE EL ABIDINE A., 2003. Le dépérissement des forêts au Maroc : analyse des causes et stratégie de lutte. *Sécheresse*, 14 (4) : 209-218.

ANNEXES

I. Données climatiques brutes (O.N.M. de Djelfa : 1984/2013)

* Précipitations

	Jan	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Juil.	Août.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Somme
1984	30,3	5	38	0,6	8,7	19	0,9	4,2	4,2	66,3	29,7	36,7	243,6
1985	48,1	12	65,1	1,3	59,4	13,3	9,7	0,5	39,6	31,7	30,8	51,9	363,4
1986	23,3	46,9	75,1	12,8	36,3	12,6	5,5	11,8	18,9	34,9	80,5	34,7	393,3
1987	58,5	34,4	13,6	22,7	12,4	21,8	41,4	3,1	3,7	8,6	55,1	23,4	298,7
1988	18,3	38	13,8	32,4	62,2	54,8	1,4	21,5	25,6	8,6	19,5	37,4	333,5
1989	13,6	8	9,1	36,1	50,4	52,6	6,5	72,4	10,6	17,5	41,2	18,1	336,1
1990	117	0,3	30	65,4	84,4	61	12,6	10,3	14,2	4	13,6	34,6	447,4
1991	23,5	51,7	74,2	38,8	34,5	15,7	9,4	13,1	32,5	117	19,5	21,6	451,5
1992	59,5	10,6	56,7	48,6	122	5,6	10,6	1,1	18,7	1,4	23,8	21,4	380
1993	8	71,1	40,2	13,5	39	12	16	27,6	25	5	19	15	291,4
1994	50	52	20	7	10	1	4	17	96	78	28	8	371
1995	46	13	50	11	6	46	N.T	13	13,2	49	3,9	30	281,1
1996	91,8	74	58	57	51	27	5	28	16	3	1	27	438,8
1997	39	5	1	87	43	9	2	45	77	11	55	17	391
1998	7	26	5	35	38	2	N.T	19	28	5	3	9	177
1999	61	24	25,1	0,9	3	13	3	16,6	25	29	26	69	295,6
2000	N.T	N.T	1	10	27	3,2	0,4	1,5	63	8	15	23,1	152,2
2001	60	12	2	3,7	3	N.T	0,4	22,8	78	28	12	17	238,9
2002	11	5,3	2	38,2	4,9	5,9	13	35,6	7,6	15,3	37,9	36,1	212,8
2003	53,3	45,3	13	17,8	14,8	2,8	5	0,3	6,3	41,4	41,3	54	295,3
2004	6	0,5	29,2	33	97,4	3,7	7,3	51,4	38,1	28	39,4	42	376
2005	2	20,5	13	6,8	1	35	12	N.T.	64	49	19	25,5	247,8
2006	49,6	43,4	3,1	47,3	36,5	1,1	19,2	9,9	17,3	0,7	18,9	41	288
2007	4,8	26,6	72,6	28,8	31	16,3	12,8	18,2	32,2	38,3	12,3	3,5	297,4
2008	6,1	3,4	5,3	0,4	33,8	33,4	24,1	77,8	44,8	74,4	9,8	24	337,3
2009	72,2	44	47,6	54,5	12,3	10,7	15,3	0,9	68,7	4,5	27,4	29,8	387,9
2010	16,2	60,6	18,6	34,6	44,8	28,8	5,3	19,3	10	52,5	11,4	9,1	311,2
2011	12,3	37,2	32,8	56,3	32,1	26,9	30,2	19,9	10,1	29,7	21,9	19,2	328,6
2012	0,8	9	37	48,8	8,2	30,8	1,7	24,6	16,2	24,3	27,8	6,8	236
2013	26,7	23,5	12,5	32,8	30,7	N.T	13,2	4,7	15	11	20,1	49	239,2

I (Suite). Données climatiques brutes (O.N.M. de Djelfa : 1984/2013)

* Températures minimales et maximales

		Jan	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Juil.	Aoû.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Moy.
1984	T° min.	5,3	1,7	1,6	7,7	7,4	15,5	18	17,7	13,5	7,4	3,1	1,1	8,33
	T° max.	9,9	9,9	13,3	19,6	20,4	29,6	34,6	32,1	27,3	18,1	15,9	9,4	20,01
	Moy.	7,6	5,8	7,45	13,65	13,9	22,55	26,3	24,9	20,4	12,75	9,5	5,25	14,17
1985	T° min.	0,4	3,5	1,8	6,5	9,1	17,3	19,2	17,8	12,9	8,2	6,9	1,5	8,76
	T° max.	8,1	16	12,3	20,6	21,7	32	34,9	32,9	27,7	20,8	15,9	10,4	21,11
	Moy.	4,25	9,75	7,05	13,55	15,4	24,65	27,05	25,35	20,3	14,5	11,4	5,95	14,93
1986	T° min.	0,9	2,7	2,8	4,9	11,9	14	15,6	18,3	13,1	9,6	3,3	-1,2	7,99
	T° max.	8,7	11,4	12,6	17	27,2	28,6	31,3	34	27,4	20,3	12,9	9	20,03
	Moy.	4,8	7,05	7,7	10,95	19,55	21,3	23,45	26,15	20,25	14,95	8,1	3,9	14,01
1987	T° min.	-0,6	2,2	3,5	7,2	9,8	15,7	19,4	19,5	15,1	11,1	3,9	3,3	9,18
	T° max.	9,3	10,7	15,5	22,5	23,5	30,4	33	34,1	30	23,3	13,4	13	21,56
	Moy.	4,35	6,45	9,5	14,85	16,65	23,05	26,2	26,8	22,55	17,2	8,65	8,15	15,37
1988	T° min.	1,9	1,5	2,8	7,1	11,2	15,3	18,8	18,6	11,8	9,3	5,9	-0,3	8,66
	T° max.	10,8	11,6	15,4	19,9	24,3	27,9	34,5	33,8	26,7	22,8	15,4	9,2	21,03
	Moy.	6,35	6,55	9,1	13,5	17,75	21,6	26,65	26,2	19,25	16,05	10,65	4,45	14,84
1989	T° min.	-1,1	0,7	3,6	5,5	10,4	14,5	18,5	19	15,2	10	6,4	4,5	8,93
	T° max.	9	12,8	17,3	16,8	24,2	27,5	32,7	33	28,3	22	17,4	14,1	21,26
	Moy.	3,95	6,75	10,45	11,15	17,3	21	25,6	26	21,75	16	11,9	9,3	15,10
1990	T° min.	1,9	1,5	3,9	5,9	11,7	16,9	17,8	16,9	17,3	10,1	4,9	5,4	9,52
	T° max.	8,1	17,2	16,4	17,1	22,6	31,5	32,6	31,9	30,7	23,1	14,8	8,7	21,23
	Moy.	5	9,35	10,15	11,5	17,15	24,2	25,2	24,4	24	16,6	9,85	7,05	15,37
1991	T° min.	-0,7	0,8	4,5	4,9	7,5	14,7	18,4	16,5	15	9,3	3,1	4,5	8,21
	T° max.	9,6	9,2	14,1	15,5	20	29,4	34,1	33,2	28,3	18,5	14,3	8,6	19,57
	Moy.	4,45	5	9,3	10,2	13,75	22,05	26,25	24,85	21,65	13,9	8,7	6,55	13,89
1992	T° min.	-1,6	-1,5	2,4	4,9	9,3	11,4	16,3	16,8	13,6	8,2	7,4	1,6	7,40
	T° max.	9	12,1	12,3	16,4	21,9	25,6	31,1	33,5	29,5	21,4	15,8	11,2	19,98
	Moy.	3,7	5,3	7,35	10,65	15,6	18,5	23,7	25,15	21,55	14,8	11,6	6,4	13,69
1993	T° min.	-2,7	5,1	3	4,5	10,8	17,2	19,4	18,2	12,4	10,6	5,4	1,1	8,75
	T° max.	11,2	9	14,6	17,6	23,6	31,4	34,5	33,4	25,6	22,1	13,8	11,9	20,73
	Moy.	4,25	7,05	8,8	11,05	17,2	24,3	26,95	25,8	19	16,35	9,6	6,5	14,74
1994	T° min.	1,6	2,6	4,3	4,7	12,1	16	12,9	19,4	14,3	10,5	5,1	0,9	8,70
	T° max.	9,5	13,3	17,6	16,9	28,6	31,9	35,7	35,7	27,6	19,6	16,3	12	22,06
	Moy.	5,55	7,95	10,95	10,8	20,35	23,95	24,3	27,55	20,95	15,05	10,7	6,45	15,38

1995	T° min.	1	2,2	2,9	4,1	11,4	15,7	19,3	17,8	13,9	9,5	5,4	4,7	8,99
	T° max.	9,7	15,4	13,9	17,7	26,3	29,3	34,2	32,3	26	21,1	16,5	12,7	21,26
	Moy.	5,35	8,8	8,4	10,9	18,85	22,5	26,75	25,05	19,95	15,3	10,95	8,7	15,13
1996	T° min.	3,2	1	3,6	5,7	8,5	12,3	16,4	18,3	11,4	6,4	4,2	2,8	7,82
	T° max.	10,7	8,2	13,4	16,5	21,4	26	31,9	32,8	24,5	20,3	15,4	12	19,43
	Moy.	6,95	4,6	8,5	11,1	14,95	19,15	24,15	25,55	17,95	13,35	9,8	7,4	13,62
1997	T° min.	1,8	1,5	1	6	11,1	15,1	18,6	17,2	13,6	9,6	5,1	2,3	8,58
	T° max.	9,7	14,2	16,1	16,6	24,3	30,8	33,8	31,2	25,2	21	14,1	10,9	20,66
	Moy.	5,75	7,85	8,55	11,3	17,7	22,95	26,2	24,2	19,4	15,3	9,6	6,6	14,62
1998	T° min.	0,9	1,2	1,8	5,9	9,6	15,3	18,1	17,9	16	6,5	3,9	-1	8,01
	T° max.	10	12,9	15,7	19,2	20,8	29,8	34,9	32,9	28,6	18,9	14,8	9,8	20,69
	Moy.	5,45	7,05	8,75	12,55	15,2	22,55	26,5	25,4	22,3	12,7	9,35	4,4	14,35
1999	T° min.	0,8	2,8	3,4	5,9	12,7	17,4	18,4	20,9	15,5	11,9	3,7	1,1	9,54
	T° max.	8,8	8	13,5	2,5	27,3	32,5	34,2	36,1	28	23,8	12,4	9,1	19,68
	Moy.	4,8	5,4	8,45	4,2	20	24,95	26,3	28,5	21,75	17,85	8,05	5,1	14,61
2000	T° min.	-3,5	-0,3	3,3	6,3	11,8	14,1	19,6	16,5	13,8	8,4	4,8	1,8	8,05
	T° max.	9,1	14	17,6	20,2	25,1	29,7	34,5	32,8	27,5	18,5	15,1	12,8	21,41
	Moy.	2,8	6,85	10,45	13,25	18,45	21,9	27,05	24,65	20,65	13,45	9,95	7,3	14,73
2001	T° min.	1	0,2	6,2	5	9,6	16,2	19,6	19,3	15,4	12,7	4	1,1	9,19
	T° max.	10,2	11,6	19,2	19,1	23,3	32,6	35,4	33,9	28,1	25,6	14,2	10,9	21,68
	Moy.	5,6	5,9	12,7	12,05	16,45	24,4	27,5	26,6	21,75	19,15	9,1	6	15,06
2002	T° min.	0,7	0,5	4	6,4	10,8	16,1	18,3	17,9	13,2	9,3	5,7	3,2	8,84
	T° max.	10,7	14,6	16,8	18,6	24	31,4	33,1	31,1	26,7	22,8	14,3	12,1	21,22
	Moy.	5,7	7,55	10,4	12,5	17,4	23,75	25,7	24,5	19,95	16,05	10	7,65	14,53
2003	T° min.	0,9	0,7	4,1	6,8	10,5	16,9	20,1	18,9	14,1	11,7	5	1,1	9,23
	T° max.	8,2	9	15,7	18,9	24,7	31,3	35,5	33	27,7	21,9	13,9	8,4	20,68
	Moy.	4,55	4,85	9,9	12,85	17,6	24,1	27,8	25,95	20,9	16,8	9,45	4,75	14,96
2004	T° min.	1,1	1,6	4	5,4	8	14,9	18	19,1	13,9	11,5	2,8	1,4	8,48
	T° max.	10,4	14,7	16,3	17,2	18,9	29,3	32,9	33,9	26,9	23,7	13	8,9	20,51
	Moy.	5,75	8,15	10,15	11,3	13,45	22,1	25,45	26,5	20,4	17,6	7,9	5,15	14,49
2005	T° min.	-3,2	-2,1	4,6	6,5	12,5	16,1	20,9	18,5	14	10,7	4,3	0,8	8,63
	T° max.	8,9	8	16,1	20	28,1	30,5	36,2	33,1	26,2	21,8	14,2	8,8	20,99
	Moy.	2,85	2,95	10,35	13,25	20,3	23,3	28,55	25,8	20,1	16,25	9,25	4,8	14,81
2006	T° min.	-0,8	5	3,9	9	13,3	16,4	18,8	17,8	13,2	11,5	5,1	3	9,68
	T° max.	6,3	9,1	16,7	22,1	26	30,6	34,2	33	25,5	24,7	16,2	9	21,12
	Moy.	2,75	7,05	10,3	15,55	19,65	23,5	26,5	25,4	19,35	18,1	10,65	6	15,40
2007	T° min.	0,7	4,2	2,1	7,4	10	16	18,7	18,9	15,6	10,2	3,4	0,4	8,97
	T° max.	12,7	12,5	12,5	16,7	23,3	31,2	34,4	33,5	28,2	20,3	14,1	9,6	20,75
	Moy.	6,7	8,35	7,3	12,05	16,65	23,6	26,55	26,2	21,9	15,25	8,75	5	14,86

2008	T° min.	-0,2	1,4	3,4	6,4	11,3	14,7	20	18,7	15,6	10,2	3,2	0,6	8,78
	T° max.	12,2	13,4	15,4	21	23,5	28,6	35,3	33,8	26,4	18,7	11,8	8,1	20,68
	Moy.	6	7,4	9,4	13,7	17,4	21,65	27,65	26,25	21	14,45	7,5	4,35	14,73
2009	T° min.	1,2	0,2	3,3	3,6	10,3	15,6	19,6	19,3	13,3	8,4	4,9	3,3	8,58
	T° max.	8	10,3	14,7	14,8	24,6	31,4	35,5	34,2	24,2	21,7	17	13,9	20,86
	Moy.	4,6	5,25	9	9,2	17,45	23,5	27,55	26,75	18,75	15,05	10,95	8,6	14,72
2010	T° min.	2,7	3,3	4,8	7,4	9,2	14,7	19,6	19,3	14,8	9,5	5,6	2,3	9,43
	T° max.	11,1	13	15,8	20	21,6	29,6	35,1	34	27,2	21,2	14	13,1	21,31
	Moy.	6,9	8,15	10,3	13,7	15,4	22,15	27,35	26,65	21	15,35	9,8	7,7	15,37
2011	T° min.	1,4	0,3	3,5	8,4	10,4	14,7	18,7	18,7	15,9	8,3	5	1,1	8,87
	T° max.	11,8	10,1	13	21,3	22,6	27,8	33,5	34	29,8	20,1	14	9,9	20,66
	Moy.	6,6	5,2	8,25	14,85	16,5	21,25	26,1	26,35	22,85	14,2	9,5	5,5	14,76
2012	T° min.	-0,6	-2,7	3,2	6,3	10,8	18,2	20,5	19,4	15,3	10,6	6,2	0,18	8,95
	T° max.	9,6	6,6	14,6	17,3	25,9	33	35,8	35,3	27,6	21,6	15,2	10,7	21,10
	Moy.	4,5	1,95	8,9	11,8	18,35	25,6	28,15	27,35	21,45	16,1	10,7	5,44	15,02
2013	T° min.	0,17	0,1	4,8	6,4	9,5	13,9	19,1	16,8	15	13,6	4	0,5	8,66
	T° max.	9,7	9,3	14,5	19,5	22	29	33,8	32,3	27,8	26,1	12,6	9,6	20,52
	Moy.	4,935	4,7	9,65	12,95	15,75	21,45	26,45	24,55	21,4	19,85	8,3	5,05	14,59

**II. Paramètres dendrométriques et stationnels des placettes
d'échantillonnage dans la forêt de Senalba Ghabri (Versant Nord)**

Altitude (m)	Âge (ans)	Hd (m)	Prof S. (cm)	Densité (pieds/ha)	G(m2/ha)
1360	155	17,69	58	125	16,32
1430	109	13,90	45	180,5	18,75
1510	103	12,80	30	125	12,27
1380	147	15,60	34	150	13,6
1533	62	9,50	35	150,5	9,2
1525	83	10,50	24	175	12,83
1401	128	15,89	35	165	3,47
1380	130	14,80	42	149	12,7
1510	105	12,90	20	157,5	18,47
1410	130	15,70	27	125	7,87
1366	145	16,73	40	112,5	4,96
1356	148	15,90	30	137,5	11,27
1520	135	13,40	26	161,5	15,89
1382	127	15,20	45	150	18,23
1434	125	13,80	47	137,5	19,27
1418	106	13,10	23	150	12,03
1440	141	14,98	30	136,5	16,05
1390	150	15,90	28	150	14,93
1428	135	14,20	29	120,5	16,5
1511	85	11,85	25	176	7,62
1507	80	10,80	28	160	9,75
1489	105	12,50	21	162	7,31
1448	147	14,90	22	175	8,46
1413	150	15,95	30	155	16,46
1453	152	15,88	28	180	21,04
1511	85	11,25	20	132	16,82
1390	145	15,55	34	175	23,21
1437	100	13,60	31	134	9,62
1482	127	15,40	27	150	15,67
1420	140	14,95	25	125	21,29
1421	145	15,7	32	142	12,94
1384	155	16,96	45	195	17,78
1380	153	17,5	47	200	14,53
1390	150	15,6	38	150	18,27
1360	155	17,69	58	125	16,32

**II (Suite). Paramètres dendrométriques et stationnels des placettes
d'échantillonnage dans la forêt de Senalba Ghabri (Versant Sud)**

Altitude (m)	Âge (ans)	Hd (m)	Prof S. (cm)	Densité (pieds/ha)	G(m2/ha)
1482	105	12,5	18	145	12,03
1501	80	11,85	17	125	16,05
1337	143	15,3	29	150	14,93
1353	130	14,85	30	162,5	16,5
1320	152	15,2	30	150	7,62
1352	155	14,85	28	162,5	9,75
1364	131	14,39	29	175	7,31
1490	60	9,35	16,5	125	8,46
1453	125	13,84	23	137,5	16,46
1487	132	12,75	18	127	21,04
1324	145	12,55	30	137,5	16,82
1495	123	11,65	18,5	128	23,21
1485	150	12,65	17	155	9,62
1505	121	11,75	16,5	127	15,67
1340	150	12,5	29	150	21,29
1320	150	14,69	27	175	16,32
1318	140	14,95	18	162,5	18,75
1510	75	10,70	16,5	125	12,27
1397	140	14,80	27	212,5	13,6
1518	65	12,96	17	131	9,2
1483	135	11,75	19	134	12,83
1321	150	14,9	29	200	3,47
1340	140	15,10	28	175	12,7
1390	135	13,65	30	210	18,47
1430	125	12,85	26	185,5	7,87
1374	135	13,97	25	190	4,96
1319	155	15,31	30	200	11,27
1410	140	13,81	26	162	15,89
1510	85	11,10	16,5	130	18,23
1504	80	10,70	17	120	19,27
1474	130	11,85	17,5	175	10,36
1401	145	14,2	26	145	9,8
1450	140	13,95	21	138	16,56
1448	138	12,75	22	175	18,71
1504	95	11,9	17	135	14,54

**II (Suite). Paramètres dendrométriques et stationnels des placettes
d'échantillonnage dans la forêt de Senalba Chergui (Versant Nord)**

Altitude (m)	Âge (ans)	Hd (m)	Prof S. (cm)	Densité (pieds/ha)	G(m ² /ha)
1345	75	10,10	47	215,5	12,94
1301	90	11,20	50	280	17,78
1322	95	10,80	48	264,5	14,53
1310	85	10,25	48	251,5	18,27
1324	110	11,85	59	295	27,69
1305	115	13,10	54	262,5	10,9
1300	110	12,50	63	262,5	13,6
1350	110	12,20	68	300	11,29
1293	140	12,40	69	287,5	15,21
1290	135	12,75	47	266	17,93
1324	85	12,00	75	275	16,15
1328	80	10,10	56	275	15,7
1304	140	12,50	62	275	18,14
1337	120	11,75	66	275	19,12
1340	95	11,63	64	285,5	9,09
1290	90	10,20	65	297	15,89
1380	80	10,50	48	274	13,79
1260	130	12,20	60	199	19,81
1315	125	10,56	51	192,5	11,4
1298	120	11,40	60	275	15,13
1387	115	10,60	48	190	15,32
1290	120	11,50	70	188	9,78
1305	70	9,50	48	300	14,84
1400	75	8,31	47	187,5	9,15
1315	100	11,20	50	285	25,04

**II (Suite). Paramètres dendrométriques et stationnels des placettes
d'échantillonnage dans la forêt de Senalba Chergui (Versant Sud)**

Altitude (m)	Âge (ans)	Hd (m)	Prof S. (cm)	Densité (pieds/ha)	G(m2/ha)
1305	75	9,82	49,5	420	15,32
1277	95	11,25	51	498	9,78
1284	125	10,45	50	426	10,32
1278	85	10,00	51	200	11,34
1264	90	9,75	50,5	475,5	16,74
1280	95	10,50	49,5	476	11,4
1293	110	10,66	50	500	15,13
1312	100	9,18	49,5	311	13,79
1294	105	10,20	49	476	11,09
1240	115	11,68	51	522,5	11,54
1355	110	10,63	48	300	19,81
1300	150	9,31	50,5	293	18,12
1272	100	8,74	50,5	485	25,04
1370	70	8,30	47,5	250	14,84
1350	65	8,14	49,5	300	9,15
1360	110	9,90	49	281,5	9,09
1280	85	9,31	51	471	15,89
1250	120	11,31	51	485	18,27
1265	115	11,16	51	480	27,69
1317	70	9,17	49	271	17,93
1261	130	11,50	51	525	16,15
1385	70	7,50	25	310,5	10,9
1284	85	10,29	51	520	13,6
1252	115	11,14	50,5	492,5	12,94
1250	120	11,25	49,5	501,5	17,78

**III. Paramètres dendrométriques et stationnels des placettes d'échantillonnage
des sujets dépéris dans la forêt de Senalba Gharbi (Versant Nord)**

Altitude (m)	Âge (ans)	C m (cm)	Prof S. (cm)	E.E. (cm)	pH	C.A.
1456	124	123	21	3	7,78	18,24
1430	125	115	28	2	8,24	19,19
1395	126	106	31	2,74	7,91	26,67
1371	114	157	20	3,4	8,1	28,1
1369	123	133	25	2,5	8,05	40,24
1382	147	115	24	3,21	7,86	30,48
1397	135	110	29	3,66	8,16	42,33
1399	127	150	56	3,04	8,23	23,33
1410	125	108	22	2,85	7,35	29,52
1468	112	87	37	4,26	8,33	40,76
1424	141	95	45	2,94	7,73	26,19
1420	150	142	21	3,5	8,09	30,95
1450	135	110	39	3,4	7,85	33,33
1496	85	112	40	4	8,21	31,43
1452	93	117	39	3,5	7,84	25,71
1501	105	85	30	2,9	8,34	17,33
1460	147	90	54	3	7,68	18,71
1425	150	114	42	3	8,13	40,07
1483	148	100	23	2,7	8,27	27,76
1492	95	85	28	2,5	7,95	21,43

**III (Suite). Paramètres dendrométriques et stationnels des placettes d'échantillonnage
des sujets dépéris dans la forêt de Senalba Gharbi (Versant Sud)**

Altitude (m)	Âge (ans)	C m (m)	Prof S. (cm)	E.E. (cm)	pH	C.A.
1455	105	86	24	3,16	8,22	34,72
1395	112	89	16.5	2,9	8,14	18,29
1371	134	107	18	3	8,2	17,86
1387	123	129	21	3,46	8,34	33,54
1380	131	77	30	2,86	8,25	19,75
1381	121	80	17	3,12	8,21	42,12
1420	124	105	18	3,1	8,17	38,19
1401	145	75	19	2,44	8,2	40,86
1464	101	80	20	2,45	8,18	39,05
1435	75	79	27	3,3	8,4	19,76
1475	140	95	23	3,33	7,96	38,57
1398	65	66	25	2,64	8,15	27,14
1396	135	85	27	2,33	8,28	31,9
1389	150	83	28	2,55	8,06	24,58
1450	114	90	25	3,5	8,05	30,95
1384	135	145	27	3,25	8,37	28,69
1385	125	120	18	3,8	7,95	21,43
1420	103	127	24	3,8	8,2	41,98
1455	95	138	29	2,5	8,4	19,14
1376	75	145	19	2,75	8,24	24,76

III (Suite). Paramètres dendrométriques et stationnels des placettes d'échantillonnage des sujets dépéris dans la forêt de Senalba Chergui (Versant Nord)

Altitude (m)	Âge (ans)	C m (m)	Prof S. (cm)	E.E. (cm)	pH	C.A.
1310	75	101	68	2,8	7,95	30,48
1315	90	107	49	2,53	7,59	34,14
1322	95	87	53	3,5	7,69	19,24
1309	85	150	51	3,14	7,6	22,38
1294	110	119	47	3,45	7,29	35,14
1275	115	156	62	2,97	7,2	23,81
1326	110	136	65	3,4	7,9	22,45
1316	110	127	47	3,1	8,1	24,17
1381	140	65	60	2,5	8,12	22,1
1360	135	75	46	3,5	7,76	32,38
1315	85	93	46	2,45	7,33	16,19
1307	80	108	61	2,27	7,5	18,95
1335	140	75	63	2,86	7,4	21,57
1360	120	72	58	2,93	8,28	19,71
1341	95	65	48	2,92	8	18,57
1319	90	110	62	3	7,96	21,43
1324	80	95	49	2,75	7,35	19,52
1334	130	121	45	2,91	7,28	22,86
1286	125	96	63	3,1	7,54	25,71
1333	120	84	71	2,78	7,81	17,48

**III (Suite). Paramètres dendrométriques et stationnels des placettes d'échantillonnage
des sujets déperis dans la forêt de Senalba Chergui (Versant Sud)**

Altitude (m)	Âge (ans)	C m (m)	Prof S. (cm)	E.E. (cm)	pH	C.A.
1275	75	95	45	2,81	7,95	36
1316	95	79	49	3	7,67	32,86
1305	125	62	44	3,45	8,13	28,57
1301	85	114	50	2,46	8,02	23,33
1299	90	72	27	2,07	8,19	23,81
1314	95	125	31	3,4	7,95	24,29
1295	110	80	40	3,25	8,13	17,14
1289	100	88	47	3,2	8,04	30
1278	105	129	50	2,9	7,82	33,26
1313	115	98	31	2,22	7,7	17,49
1310	110	115	48	2,44	8,1	16,67
1325	150	78	37	2,37	8,05	42,38
1282	100	86	44	2,62	7,82	34,76
1275	70	91	39	2,72	8,04	18,1
1270	65	65	42	2,07	7,96	34,29
1302	110	69	51	2,67	7,42	20,95
1311	85	83	46	2,92	8,15	18,24
1308	120	74	45	2,55	8,05	20,05
1316	115	85	48	2,62	7,95	30,95
1295	70	115	42	3	7,84	24,5

يهدف هذا البحث إلى دراسة نمو الصنوبر الحلبي و تقدير أضرار الضمور في غابات سن الباء الشرقي و الغربي الواقعين بالمنطقة شبه الجافة للجلفة. تم أخذ مقاطع تحتوي على تغيرات الارتفاع و الواجهة حيث وضعت 200 دائرة معاينة ذات مساحة 800 أر للوحدة في المحطات الأربعة المختارة. قمنا بأخذ القياسات التالية في كل دائرة : المحيط على 1.30 م, العلو الاجمالي, العلو السائد, المساحة القاعدية, الكثافة, سمك اللحاء, العمر و متوسط نمو الحلقات مرتبطة مع خصائص الموقع : الواجهة, العلو, عمق التربة, نسيجها, كمون الهيدروجين و معدل الجير. كشف تحليل البيانات أن الواجهة والارتفاع هما العاملان المحددان لنمو الصنوبر. تم تمييز ثلاث أقسام خصوبة انطلاقا من الزوج " العمر / العلو السائد ". الضمور يمس أكثر الغابات الواقعة على الواجهة الجنوبية لغابة سن الباء الشرقي والأشجار الهرمة الواقعة على الواجهة الشمالية لغابة سن الباء الغربي

الكلمات الرئيسية: *Pinus halepensis*, قياس الأشجار, غابة سن الباء, ضمور, مناخ شبه جاف.

CROISSANCE ET ÉTAT SANITAIRE DES PEUPELEMENTS DE PIN D'ALEP (*PINUS HALEPENSIS* MILL.) DANS LE MASSIF FORESTIER DE SENALBA (RÉGION DE DJELFA).

Résumé

La présente étude a pour double objectif l'étude de la croissance du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) et l'estimation des dégâts du dépérissement dans les deux massifs forestiers de Senalba Chergui et Gharbi situés en zone semi-aride de la région de Djelfa. À partir de transects intégrant les variations d'altitude et d'exposition, 200 placettes d'échantillonnage de 800 m² chacune ont été prospectées au niveau des quatre stations retenues. Chaque placette a fait l'objet des mesures dendrométriques suivantes : circonférence à 1.30 m, hauteur totale, hauteur dominante, surface terrière, densité, épaisseur de l'écorce, âge et accroissement moyen du cerne auxquelles ont été associées des caractéristiques stationnelles : exposition, altitude, profondeur du sol, sa texture, son pH et son taux de calcaire. L'analyse des données a mis en évidence que l'exposition et l'altitude sont les facteurs déterminants pour la croissance des pins. Trois classes de fertilité ont pu être distinguées à partir du couple " âge / hauteur dominante ". Les peuplements de pins localisés sur le versant Sud pour la forêt de Senalba Chergui et ceux sur-âgés situés sur le versant Nord de la forêt de Senalba Gharbi sont plus exposés aux dépérissements..

Mots-clés. *Pinus halepensis* ; dendrométrie ; forêt de Senalba ; Dépérissement ; climat semi-aride.

GROWTH AND HEALTH OF ALEPPO PINE (*PINUS HALEPENSIS* MILL.) IN SENALBA FOREST AREA (DJELFA).

Abstract

Aleppo pine (*Pinus halepensis*) is a volunteering hardy species, very common in Mediterranean areas. This species has very economical, ecological and social values in Algeria. This study reports the growth of *P. halepensis* and the estimation of forest decline in the two natural forests; Senalba Chergui and Gharbi located in semi-arid zone of Djelfa. 200 circles samples of 800 m² were prospected in four selected stations. In each sample relation between site parameters (exposure, altitude and soil [depth, texture, pH and rate of Ca]) and tree measurements (circumference to 1.30 m, total height, dominant height, density, thickness of the bark and annual ring growth) was investigated. The results shown that exposure and altitude were the determining factors of Aleppo pine growth. Three classes of fertility were distinguished in relation with dominant tree height and age. Decline localize especially the trees situated in the southern slope of Senalba Chergui forest and those located in the northern slope of the Senalba Gharbi forest.

Key words. *Pinus halepensis* ; tree measurements ; forest of Senalba ; forest decline ; semi-arid climate.