

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

Brahim GUIT<sup>1</sup>, Bouzid NEDJIMI<sup>1\*</sup>, Gahdab CHAKALI<sup>2</sup> & Frédéric GUIBAL<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire d'Exploration et de Valorisation des Écosystèmes Steppiques, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université de Djelfa, Cité Aïn Chih, B.P. 3117. Djelfa 17000. Algérie

<sup>2</sup> Département d'Entomologie Forestière, École Nationale Supérieure Agronomique, El-Harrach. Alger, 16200. Algérie

<sup>3</sup> Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Écologie marine et continentale, Aix Marseille Université UMR 7263 CNRS AMU IRD UAPV, Europôle Méditerranéen de l'Arbois. F-13545 Aix-en-Provence Cedex 4. France

\* Auteur correspondant: Tél.: + 213 662 128 131. 22. Fax: + 213 27 900 201. 23. E-mail : bnedjimi@yahoo.fr

SUMMARY.— *Health status of Aleppo pine stands (Pinus halepensis Mill.) in the natural Senalba forest (Djelfa - Algeria).*— This study aimed to analyse the health status of the natural Senalba Aleppo pine forest (*Pinus halepensis* Mill.) located in the semi-arid zone of Djelfa (Algeria). A stratified systematic sampling was adopted and 80 plots were set up along two transects established on south and north-facing slopes. Various dendrometric (tree height; circumference at 1.30 m; bark thickness; age) and site parameters (exposure; altitude; soil depth; calcareous rate; soil pH) were measured. Results showed that the decline process preferentially impacted the trees located on the southern slope of Senalba Chergui forest and old trees located on the northern slope of Senalba Gharbi forest. However, the other parameters have no significant effect on the process of decline.

RÉSUMÉ. — La présente étude consiste en un diagnostic de l'état sanitaire des peuplements naturels de Pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) dans les massifs forestiers de Senalba Chergui et Gharbi situés dans la zone semi-aride de la région de Djelfa (Algérie). L'échantillonnage adopté est le systématique stratifié, ce qui a conduit à installer 80 placettes au niveau des versants nord et sud de chacun des massifs selon deux transects nord/sud et est/ouest. Différents paramètres dendrométriques (hauteur et circonférence des arbres dépérissés à 1,30 m, épaisseur de l'écorce, âge) et stationnels (exposition, altitude, profondeur du sol, pH, taux de calcaire) sont mesurés. Traités et analysés, ces données nous ont permis de conclure que le phénomène de dépérissement touche majoritairement les peuplements situés 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. Les autres paramètres stationnels ou dendrométriques n'ont pas d'effet significatif sur le phénomène.

Il est admis que les changements climatiques, traduits par des 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 se trouvent 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 pouvant être attribué à un large éventail de causes potentielles, impliquant le plus souvent des sécheresses antérieures qui initient une baisse de la vitalité, une réduction de 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 et une défoliation rapide, toutes deux utilisées 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). Une recherche des mots-clefs « dépérissement des forêts » ou « mortalité forestière » dans les bases de données scientifiques révèle 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) avançait que 1500 ha de vieilles futaies de Cèdre de l'Atlas 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).

Au Senalba, l'apparition des premiers Pins d'Alep rougeâtres, montrant des signes de dépérissement, a été observée au cours de l'hiver 1988. Un premier examen a montré que les arbres touchés, à cette période, avaient un âge moyen de 100 ans. Quelques années plus tard, sous l'effet de la sécheresse qui a sévi et des températures qui ont augmenté, l'ampleur des dégâts s'est accrue : le dépérissement touche actuellement les peuplements âgés de 60 à 150 ans.

À titre indicatif, le volume de bois prélevé, lors des coupes d'assainissement sur la superficie totale de Senalba, au cours de la période 2000 à 2013, est évalué à 2165 m<sup>3</sup>. Ces pertes sont relativement très importantes pour les milieux fragiles en zone semi-aride.

Le premier objectif de notre étude est de dresser un constat de l'état sanitaire des peuplements naturels de Pin d'Alep à Senalba. Un second objectif est de cerner les facteurs stationnels et dendrométriques pouvant avoir une influence sur le phénomène de dépérissement.

## MATÉRIEL ET MÉTHODE

### SITE D'ÉTUDE

Les formations forestières de la région de Djelfa représentent les derniers massifs arborescents situés à la limite du Sahara jouant ainsi un rôle écologique très important. Le massif forestier de Senalba est situé à 300 km au sud d'Alger. Il est compris entre 2° et 3° 5' de longitude est et entre 34° 34' et 34° 45' de latitude nord et occupe la partie centrale des collines des Hauts Plateaux de l'Atlas saharien. Il se localise à une altitude variant de 1250 à 1550 m et s'étend sur une superficie de 62170 ha (répartie entre Senalba Gharbi, d'une superficie de 42340 ha et Senalba Chergui, d'une superficie de 19830 ha ; en arabe Gharbi signifie situé à l'ouest et Chergui à l'est). La forêt de Senalba Gharbi comporte 7 séries (en aménagement forestier, la série forestière désigne un ensemble de parcelles forestières soumises au même traitement sylvicole). La forêt de Senalba Chergui est divisée en 12 séries. Ces séries forestières ont été établies en 1983 par l'administration des forêts de Djelfa (Fig.1).

Le massif de Senalba est composé essentiellement de Pin d'Alep (*Pinus halepensis*) associé aux Chêne vert (*Quercus ilex*), Genévrier de Phénicie (*Juniperus phoenicea*), Genévrier oxycèdre (*Juniperus oxycedrus*), Romarin (*Romarinus tournefortii*) et Alfa (*Stipa tenacissima*).

Les sols du Senalba sont caractérisés par une hétérogénéité liée à la roche-mère et à la topographie. Kadik (1986, 2005) distingue deux classes de sols : les rendzines et les sols bruns calcaires.

La zone d'étude appartient à l'étage bioclimatique semi-aride, caractérisé par une pluviométrie moyenne annuelle de 339 mm, fluctuant entre 176 mm et 475 mm durant la période trentenaire (1984-2013). La saison humide dure 7 mois, du début janvier à la mi-mai et de la mi-octobre à la fin décembre, et la saison sèche s'étend sur 5 mois, de la mi-mai à la mi-octobre. La température moyenne annuelle est de 14°C. Le mois le plus froid est janvier avec 4,4°C et le mois le plus chaud est juillet avec 25,7°C.

### MÉTHODOLOGIE ADOPTÉE

#### *Choix des stations*

Lors de la prospection de la zone d'étude, nous avons retenu quatre stations correspondant aux séries II ; III ; IV et V du massif de Senalba Chergui et les séries II et III du massif de Senalba Gharbi. 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, dans lesquelles des dépérissements sont observés, offrent des expositions nord et sud et une différence altitudinale de plus de 100 m chacune.

#### *Échantillonnage*

Le dispositif expérimental est composé de 80 placettes alignées le long de deux transects, l'un nord/sud, l'autre est/ouest, localisés sur les versants nord et sud de chacun des deux massifs forestiers. Les altitudes varient en moyenne de 1350 à 1550 m (forêt de Senalba Gharbi) et de 1250 à 1450 m (forêt de Senalba Chergui).

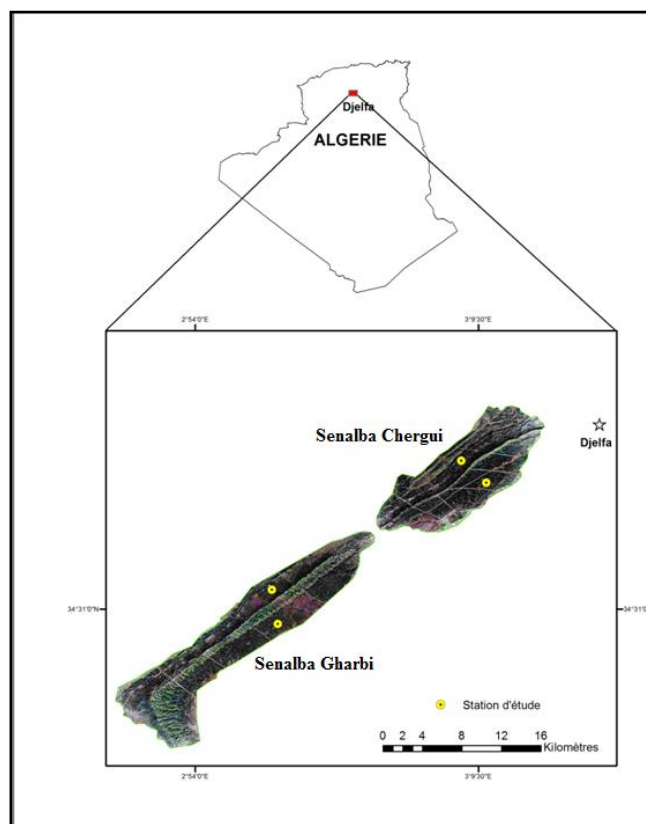


Figure 1.— Localisation des stations d'étude.

L'appréciation de l'importance du phénomène de dépérissement est souvent subjective. Les études de dépérissement des forêts se réfèrent à la réduction globale du volume de la cime 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 décrire 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 la chute de croissance et la défoliation lors de dépérissement forestier (Jump *et al.*, 2006 ; Drobyshev *et al.*, 2007).

Le jaunissement du feuillage est un autre descripteur du dépérissement forestier (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). La présence de branches mortes dans le houppier fonctionnel est un indicateur robuste de l'état de dépérissement à l'échelle de l'arbre (Flot *et al.*, 2007).

Le protocole proposé permet d'évaluer les différents critères tels que la défoliation, la décoloration et les symptômes afin d'estimer la vitalité des Pins 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.

Les arbres dont le taux de jaunissement est supérieur à 25 % du houppier sont ceux considérés comme jaunissant (Ciesla & Donaubaue, 1994).

Les arbres présentant le symptôme « branches mortes » sont ceux dont le taux de branches mortes dépasse 25 % du houppier (Flot *et al.*, 2007).

On considère que la défoliation est grave à partir d'un pourcentage de perte foliaire supérieur à 25 % (Bonneau, 1983 ; Ferretti, 1994 ; Dalstein, 1999 ; Charbonneau, 2008 ; Sanchez Salguero *et al.*, 2010).

Les arbres présentant un taux de défoliation ou de branches mortes inférieur à 50 % sont considérés comme non dépérisant tandis que ceux présentant un taux de défoliation ou de branches mortes supérieur ou égal à 50 % sont considérés comme dépérisant (Camarero *et al.*, 2015).

Le nombre de sujets coupés lors de l'opération d'assainissement des sujets morts suite à un dépérissement est obtenu par le comptage de souches au niveau des placettes d'échantillonnage.

Le type d'inventaire adopté est l'échantillonnage systématique stratifié (chaque versant étant considéré comme une zone relativement homogène ou strate). Ce type d'échantillonnage possède l'avantage de régulariser 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 m<sup>2</sup> choisies en fonction de l'âge des peuplements qui sont au stade de vieille futaie.

Deux transects ont été choisis, un altitudinal nord/sud 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 chacun des deux massifs à raison de 10 placettes par transect). Après marquage à la peinture des sujets dépéris, des mesures ont été réalisées comprenant des mesures dendrométriques (circonférence à 1,30 m du sol et hauteur des arbres dépéris, âge, épaisseur de l'écorce) et des caractéristiques stationnelles (altitude, profondeur moyenne du sol, taux de calcaire, pH). Pour l'évaluation de l'âge, les arbres ont été sondés à cœur à la tarière de Pressler (deux carottes à une hauteur de 1,30 m, une 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 à l'aide d'une tarière pédologique au niveau de chaque placette (selon deux transects nord/sud et est/ouest). Au total, 120 échantillons de sol ont été prélevés sur les différents horizons de chaque profil, puis tamisés à 2 mm afin de mesurer le taux de calcaire dans la terre fine et le pH.

Le taux de calcaire a été déterminé par calcimétrie, après attaque à HCl 6N, en utilisant un calcimètre de Bernard. Le pH a été mesuré au pH-mètre sur une solution sol/eau à 1/2,5.

Une analyse de variance (ANOVA) a été réalisée pour tester l'influence de l'exposition, de l'âge, de la densité du peuplement et de l'altitude sur le nombre de sujets dépéris. Au préalable, les conditions de réalisation de l'ANOVA ont été vérifiées (normalité des résidus avec le test Shapiro, homogénéité des variances avec le test de Levene). Des tests post-hoc ont ensuite été effectués (test de Newman-Keuls) pour mettre en évidence les différences significatives entre les modalités des variables considérées.

## RÉSULTATS

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

L'analyse des données du tableau I met en évidence un dépérissement plus conséquent sur le versant sud de la forêt de Senalba Chergui où 167 sujets dépéris sont dénombrés sur un total de 648 sujets inventoriés (soit un taux de dépérissement de 25,8 %). Sur le versant sud, l'âge moyen est de 99 ans. Sur le versant nord du même massif forestier, le nombre de sujets dépéris se limite à 33 sujets sur un total de 409 arbres (soit un taux de dépérissement de 8 %). L'âge moyen du peuplement sur ce versant est de 106 ans. Le nombre de sujets coupés lors de l'opération d'assainissement est plus important dans les placettes prospectées sur le versant sud (85 sujets coupés) que sur le versant nord (15 sujets coupés seulement).

Concernant le massif forestier de Senalba Gharbi, c'est sur le versant nord que le dépérissement est plus accentué avec un effectif de 76 sujets dépéris sur 233 arbres inventoriés (soit un taux de dépérissement de 32 %) contre 47 sujets sur un total de 241 arbres (soit un taux de dépérissement de 19 %) 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 élevé sur le versant nord (53 sujets) que sur le versant sud (34 sujets).

L'analyse de variance a révélé un effet très hautement significatif ( $p < 0,0001$ ) du facteur "Exposition" (Fig. 2) et un effet hautement significatif ( $p < 0,001$ ) du facteur "Âge" sur le dépérissement des Pins d'Alep (Fig. 3).

Concernant la tranche d'âge 121-150, on a enregistré un total de 139 sujets dépéris avec un maximum de 22 arbres morts pour la placette dont l'âge moyen est de 147 ans. Pour la tranche de 91-120 ans on a noté un effectif de 127 sujets dépéris. Le nombre maximal de 21 arbres morts correspond à une placette dont l'âge moyen est de 112 ans. Pour la tranche 60- 90 ans, le nombre total de sujets dépéris est de 68 avec un maximum marqué au niveau de la placette dont l'âge moyen est de 90 ans.

TABLEAU I

Résultats des paramètres dendrométriques et stationnels

		Senalba Gharbi		Senalba Chergui	
		Versant nord	Versant sud	Versant nord	Versant sud
Nombre d'arbres dépéris		76	47	33	167
Nombre de sujets coupés		53	34	15	85
Paramètres dendrométriques	Âge à 1m30	125,3 ± 19,8	115,4 ± 24,0	106,5 ± 21,2	99,5 ± 21,2
	Hauteur (m)	14,0 ± 1,7	12,7 ± 1,9	11,4 ± 1,5	10 ± 1,2
	Circonférence (cm)	112,7 ± 20,5	100,0 ± 25,2	102,1 ± 26,7	90,1 ± 19,9
	Densité (P/ha)	145,6 ± 19,3	150,7 ± 22,0	255,6 ± 31,1	405,0 ± 91,6
	Épaisseur de l'écorce (cm)	3,1 ± 0,5	3,0 ± 0,4	2,9 ± 0,3	2,7 ± 0,4
Paramètres stationnels	Altitude (m)	1434 ± 41,7	1410 ± 33,2	1323 ± 25,3	1298 ± 16,1
	Profondeur du sol (cm)	32,7 ± 10,8	23,1 ± 4,2	55,7 ± 8,4	42,8 ± 6,8
	pH	8,0 ± 0,2	8,2 ± 0,1	7,7 ± 0,3	7,9 ± 0,2
	Taux de CaCO <sub>3</sub>	28,6 ± 5,5	29,7 ± 7,6	23,4 ± 7,8	26,4 ± 8,6

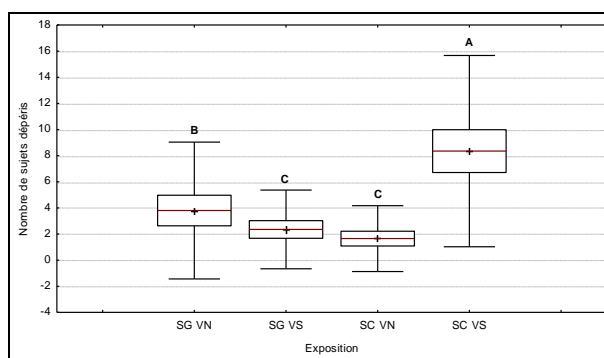


Figure 2.— Effet de l'exposition sur le dépérissement des arbres de Pin d'Alep dans le massif forestier de Senalba (Djelfa, Algérie). Les valeurs représentent la moyenne (croix), la médiane (ligne) ± Max. et Min (les barres). Les différentes lettres au-dessus des boîtes indiquent une différence très significative à  $p < 0,0001$  selon le test de Newman-Keuls. [SC VS : Senalba Chergui Versant Sud ; SC VN : Senalba Chergui Versant Nord ; SG VS : Senalba Gharbi Versant Sud ; SG VN : Senalba Gharbi Versant Nord].

En revanche, l'analyse de variance n'a pas révélé d'effet significatif de l'altitude (tranches : 1200-1300 m ; 1300-1400 m ; 1400-1500 m et > 1500 m) sur le dépérissement des Pins ( $p = 0,25$ ) ni de la densité (classes : 100-200 ; 201-300 ; 301-400 et > 400 pieds/ha) sur le dépérissement des Pins d'Alep ( $p = 0,18$ ).

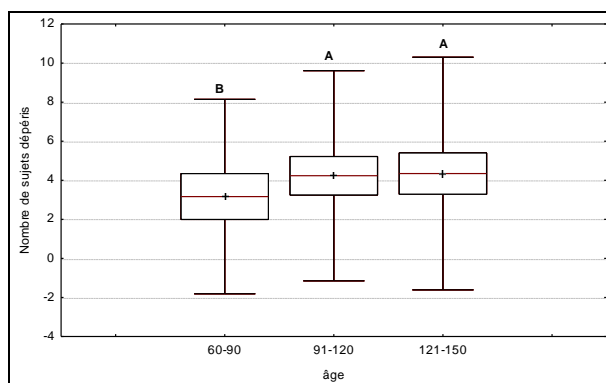


Figure 3.— Effet de l'âge sur le dépérissement des arbres de Pin d'Alep dans le massif forestier de Senalba (Djelfa, Algérie). Les valeurs représentent la moyenne (croix), la médiane (ligne)  $\pm$  Max. et Min (les barres). Les différentes lettres au-dessus des boîtes indiquent une différence significative à  $p < 0,001$  selon le test de Newman-Keuls.

#### ÉTAT DE DÉPÉRISSEMENT

Le dépérissement, par tous ses symptômes (jaunissement, branches mortes, défoliation, sujets dépéris), est plus marqué sur le versant sud de la forêt de Senalba Chergui. Le descripteur de dépérissement « branches mortes » domine sur le versant sud où on dénombre 216 sujets présentant ce symptôme (soit un taux de 33,3 % sur un total de 648 sujets inventoriés) alors qu'en versant nord on ne compte que 75 sujets ayant des branches mortes (soit un taux de 18,3 % sur un total de 409 sujets inventoriés). Sur le versant sud de Senalba Chergui, 76 arbres présentent un jaunissement (11,7 %) contre 20 arbres sur le versant nord (4,9 %). Un total de 58 Pins défoliés est dénombré sur le versant sud (8,9 %) et seulement 30 sur le versant nord (7,3 %). Les conditions plus sèches du versant sud peuvent expliquer le nombre élevé de sujets dépéris (Fig. 4).

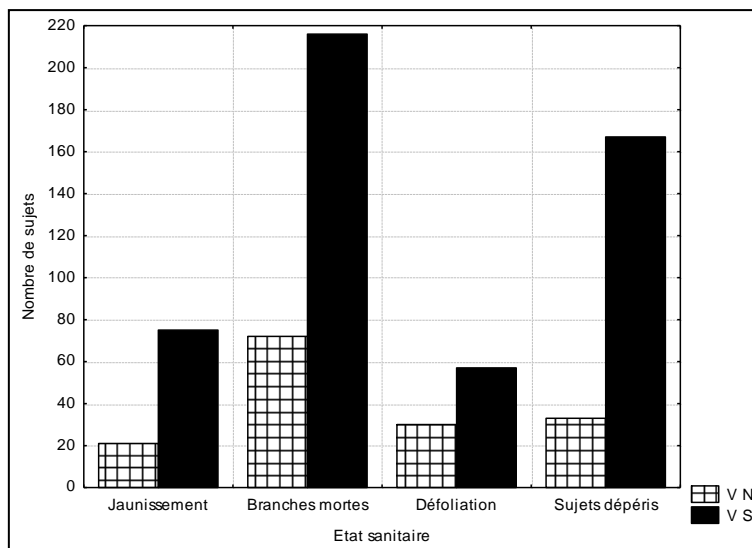


Figure 4.— État de dépérissement. Forêt de Senalba Chergui (VS = Versant Sud ; VN = Versant Nord).

Concernant le massif forestier de Senalba Gharbi, c'est sur le versant nord que le phénomène de dépérissement est le plus accentué. On dénombre 108 sujets présentant le symptôme de « branches mortes » sur le versant nord (soit un taux de 46,3 % sur un total de 233 sujets inventoriés) contre 71 sujets en versant sud (soit un taux de 29,5 % sur un total de 241 sujets inventoriés). Un total de 52 pins défoliés est dénombré sur le versant nord (22,3 %) pour seulement 24 sur le versant sud (9,9 %). Sur le versant nord de Senalba Gharbi, 37 arbres présentent un jaunissement (15,9 %) contre 24 arbres sur le versant sud (9,9 %). (Fig. 5).

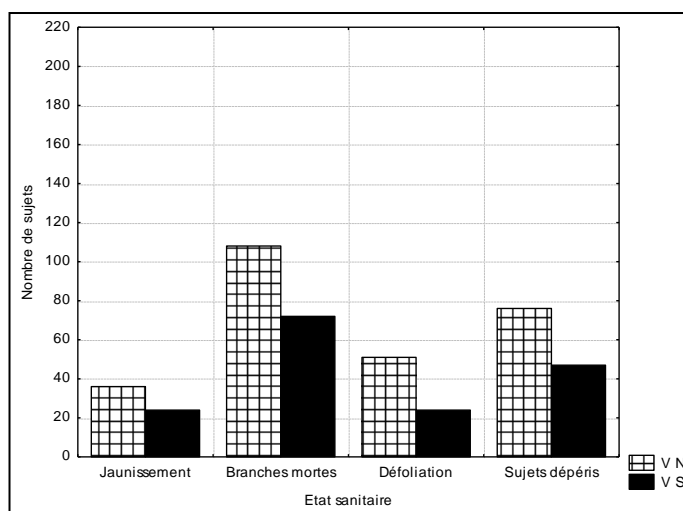


Figure 5.— État de dépérissement. Forêt de Senalba Gharbi (VN = Versant Nord ; VS = Versant Sud).

#### 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 II.

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 corrélation varient de 0,78 à 0,63. Les valeurs des corrélations entre le déclin et les paramètres stationnels du massif de Senalba Chergui varient de 0,73 à 0,05. Sur le versant sud, seules les relations dépérissement – âge et dépérissement – sujets coupés présentent une corrélation significative, respectivement de 0,70 et 0,68.

TABLEAU II

Corrélations : Dépérissement / Paramètres dendrométriques

Massif forestier	Station	Dép. / Âge	Dép. / Circ.	Dép. / E.E.	Dép. / S.C.
Senalba Gharbi	Versant nord	r = 0,74 ***	r = 0,67 ***	r = 0,76 ***	r = 0,40 **
	Versant sud	r = 0,73 ***	r = 0,63 ***	r = 0,78 ***	r = 0,78 ***
Senalba Chergui	Versant nord	r = 0,73 ***	r = 0,49 *	r = 0,20 N.S.	r = 0,15 N.S.
	Versant sud	r = 0,70 **	r = 0,16 N.S.	r = 0,05 N.S.	r = 0,68 ***

\*\*\* :  $p < 0,001$  ; \*\* :  $0,001 < p < 0,01$  ; \* :  $0,01 < p < 0,05$  ; N.S. :  $p > 0,05$ . Dép. : Dépérissement ; Circ. : Circonférence ; E.E. : Épaisseur de l'écorce ; S.C. : Sujets coupés.

## 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 III.

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). Ces facteurs stationnels n'ont apparemment pas d'effet sur le dépérissement des sujets au niveau des deux massifs prospectés.

TABLEAU III

*Corrélations : Dépérissement / paramètres stationnels*

Massif forestier	Station	Dép. / Alt.	Dép. / P.S.	Dép. / pH	Dép. / T.C.
Senalba Gharbi	Versant nord	r = 0,08 ; N.S.	r = 0,22 ; N.S.	r = 0,13 ; N.S.	r = 0,23 ; N.S.
	Versant sud	r = -0,10 ; N.S.	r = -0,08 ; N.S.	r = 0,24 ; N.S.	r = 0,13 ; N.S.
Senalba Chergui	Versant nord	r = 0,13 ; N.S.	r = 0,30 ; N.S.	r = 0,33 ; N.S.	r = 0,18 ; N.S.
	Versant sud	r = 0,14 ; N.S.	r = 0,24 ; N.S.	r = 0,28 ; N.S.	r = 0,02 ; N.S.

N.S. :  $p > 0,05$ . Dép. : Dépérissement ; Alt. : Altitude ; P.S. : Profondeur du sol ; T.C. : Taux de calcaire.

## DISCUSSION

### EFFET DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Les peuplements de Pin d'Alep de la région de Senalba, situés en limite sèche de répartition, sont de plus en plus exposés aux récents changements climatiques. Au cours des 30 dernières années (1984-2013), on enregistre une décroissance générale des précipitations (estimée à 18,3 % entre les deux décennies consécutives 1990-1999 et 2000-2009) et une augmentation générale des températures (estimée à 2,5 % entre les deux décennies consécutives 1990-1999 et 2000-2009). Cette augmentation est positivement liée à la transpiration et aux pertes en eau vers l'atmosphère ce qui, couplé à la baisse des précipitations, accentue les risques de dépérissement des arbres. De plus, il est probable que la durée, l'intensité et la fréquence des sécheresses estivales augmenteront à l'avenir. De nombreuses études ont récemment noté une augmentation des taux de mortalité et de défoliation ainsi qu'une baisse de la croissance radiale des peuplements forestiers en lien avec la baisse des précipitations et l'augmentation des températures (Jump *et al.* 2006 ; Macías *et al.*, 2006 ; Andreu *et al.*, 2007 ; Sarris *et al.*, 2007 ; Linares *et al.*, 2009 ; Carnicer *et al.*, 2011). Landmann & Landeau (2006) concluent que le dépérissement et le changement climatique semblent être des phénomènes liés. Fernández-Cancio *et al.* (2010) suggèrent que le déclin peut être lié au stress hydrique. D'après les conclusions des travaux de Garrec *et al.* (1989), Le Bourgeois & Becker (1996), Zine El Abidine (2003) et Bentouati & Bariteau (2006), le déficit hydrique apparaît comme un facteur prédisposant et/ou d'incitation le plus associé au dépérissement des forêts.

### EFFET DES FACTEURS STATIONNELS

L'exposition sud s'est avérée être l'un des facteurs stationnels lié au dépérissement des Pins d'Alep dans le massif de Senalba Chergui. À ce sujet, Sanchez-Salguero *et al.* (2010) citent, comme facteur prédisposant au dépérissement, l'exposition sud défavorable à la croissance du Pin d'Alep dans les zones semi-arides où l'eau est le principal facteur limitant. Cette exposition est la



moins favorable puisque l'évapotranspiration y est plus intense (Linares *et al.*, 2009). Guit *et al.* (2015) rapportent que la croissance des Pins d'Alep est plus importante en versant nord qu'en versant sud dans la même zone de Senalba. Boutte & Girard (2008), menant une étude dans les chaînes montagneuses des Pyrénées, concluent que les peuplements les plus affectés par le phénomène de dépérissement sont ceux croissant à des altitudes plus basses que 1000 m, sur versant sud ou sur les crêtes.

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 symptômes visibles. Toutefois, cet auteur souligne qu'un suivi simultané sur l'ubac (versant nord) et sur l'adret (versant sud) semble indispensable pour confirmer les différences notées entre les deux expositions.

Les autres paramètres stationnels, altitude et caractéristiques édaphiques (profondeur, pH et taux de calcaire), ne semblent pas avoir un effet déterminant sur le phénomène de dépérissement à l'échelle de la région d'étude. Sur la base de prospections similaires menées dans les régions méridionales d'Europe, Linares *et al.* (2009) et Sánchez-Salguero *et al.* (2012) concluent, qu'à l'échelle stationnelle, c'est plutôt la topographie locale qui joue un rôle important puisqu'elle conditionne fortement l'état hydrique du site. Dans notre étude, ce paramètre ainsi que d'autres comme la texture des sols ou la fracturation de la roche-mère qui influent sur le bilan hydrique n'ont pas été pris en compte. Cela pourrait expliquer pourquoi le dépérissement est plus accentué sur le versant nord du massif de Senalba Gharbi que sur le versant sud.

#### EFFET DES FACTEURS DENDROMÉTRIQUES

Concernant les facteurs dendrométriques, l'âge avancé des peuplements s'est montré une des causes possibles de dépérissement. Les sujets ont un âge moyen de 110 ans, supérieur à leur âge d'exploitabilité. Ils sont en stade de vieillissement, donc physiologiquement affaiblis, ce qui les rend plus sensibles au déclin.

Dans ce contexte, Lemaire *et al.* (2010) et Bréda & Peiffer (1999) avancent que l'âge peut être une des causes possibles de dépérissement. Dalstein (1999) remarque que la défoliation doit être considérée comme l'expression normale du vieillissement des arbres adultes. Des traitements sylvicoles sont à préconiser au niveau de ces peuplements sénescents. Ainsi, Linares *et al.* (2009, 2010) et Camarero *et al.* (2011) notent que le dépérissement des peuplements forestiers et en particulier la mortalité des sujets peuvent être causés par le manque de pratiques sylvicoles adéquates.

En revanche, la densité ne semble pas avoir un effet sur le dépérissement. Ce résultat est contradictoire avec celui de Linares *et al.* (2009). Ces auteurs notent en effet que les parcelles ayant une forte densité ont un taux plus élevé de mortalité à cause d'un prélèvement plus intense de la ressource hydrique entraînant une compétition accrue entre les arbres. Dans notre étude, nous estimons que les densités à Senalba (variant de 145 à 405 pieds/ha) ne sont pas suffisamment fortes pour conduire à un épuisement aussi intense de la ressource hydrique.

Des dégâts plus spécifiques, d'ordre anthropique, peuvent aggraver l'état sanitaire des sujets de Pin d'Alep au niveau du versant nord de Senalba Gharbi. Il s'agit des pratiques néfastes de la part des riverains surexploitant les produits de la forêt et particulièrement ceux fournis par le Pin d'Alep (tannins, résine, bois de chauffage, charbon).

#### CONCLUSION/ RECOMMANDATIONS

Au terme de ce travail portant sur un diagnostic de l'état sanitaire des peuplements naturels de Pin d'Alep dans la région de Senalba Chergui et Gharbi, nous pouvons conclure que 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 davantage du phénomène de réchauffement climatique car ils se trouvent à la limite de leur aire écologique. Au niveau de Senalba Gharbi, l'âge un peu plus avancé des sujets ainsi que l'action anthropique nuisible, plus accentuée sur le versant nord, pourraient être la cause principale du phénomène de déclin bien que d'autres facteurs non quantifiés dans cette étude ne peuvent être exclus (facteurs stationnels non mesurés ou facteurs liés à l'histoire des peuplements).

À l'issue de ce 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. 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.

Parmi les recommandations à proposer aux décideurs du domaine forestier, nous pouvons suggérer de :

- \* Mettre en place des stations permanentes, et ceci à travers tout le patrimoine forestier, pour pouvoir suivre sur le long-terme les variations de la croissance et de la santé des arbres.

- \* Procéder à des traitements sylvicoles (coupes d'éclaircie des peuplements à forte densité, coupes d'assainissement éliminant les sujets sénescents ou morts et ainsi éviter qu'ils soient des foyers de pullulation de xylophages).

- \* Réaliser des programmes de reboisement et de régénération naturelle 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 de collecte des graines.

- \* Mettre en défens les plantations en interdisant l'accès aux jeunes semis par le cheptel au moyen d'un gardiennage strict.

## REMERCIEMENTS

Ce travail a bénéficié du soutien financier du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique (Projet CNEPRU N°. F-02820100009). Nous remercions vivement l'expert ainsi que l'éditeur de la revue pour leurs remarques constructives. Nous remercions aussi le personnel de la Conservation des Forêts de la wilaya de Djelfa pour l'acquisition de certaines données.

## RÉFÉRENCES

- 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.
- 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.
- AVERY, T.E. & BURKHART, H.E. (2002).— *Forest measurements*. 5th edition. Mc Graw-Hill, New York.
- 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.
- BENTOUATI, A. (2008).— La situation du Cèdre de l'Atlas dans les Aurès (Algérie). *Forêt Méditerranéenne*, XXIX: 203-208.
- BENTOUATI, A. & BARITEAU, M. (2006).— Réflexion sur le dépérissement du Cèdre de l'Atlas des Aurès (Algérie). *Forêt Méditerranéenne*, XXVII: 317-322.
- BONNEAU, M. (1983).— Le nouveau dépérissement des forêts. Symptômes, causes possibles et importance éventuelle de la nature des sols. *Science du sol*, n° 1983/4: 239-251.

- BOUDY, P. (1950).— *Économie forestière Nord-Africaine. II: Monographie et traitement des ensembles forestiers*. Paris, Larousse.
- BOUTTE, B. & GIRARD, P. (2008).— Bilan de la santé des forêts en 2007, région méditerranéenne : Le point sur quelques dépérissements localisés en région méditerranéenne. *Département de la Santé des Forêts, Information Technique*, n° 59: 10-11.
- BRÉDA, N. & PEIFFER, M. (1999).— *Étude du bilan hydrique des chênaies de la forêt domaniale de La Harth (Haut-Rhin) et impact des épisodes de sécheresse sur la croissance radiale des chênes*. Rapport de convention ONF/INRA.
- BREDA, 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.
- 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.
- CAMARERO, J.J., CORCUERA, L., PEÑUELAS, J. & GIL-PELEGRÍN, E. (2004).— Cambio global y decaimiento del bosque. Pp 397-423 In: F. Valladares (ed.), *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.
- CAMARERO, J.J., GAZOL, A., SANGUESA-BARRERA, G., OLIVA, J. & VICENTE-SERRANO, S.M (2015).— To die or not to die: Early warnings of tree dieback in response to a severe drought. *J. Ecol.*, 103: 44-57.
- 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.
- CHARBONNEAU, D. (2008).— *Influence des caractéristiques des milieux forestiers sur les dynamiques de défoliation par la Livrée des forêts (Malacosoma disstria Hübner) en Abitibi lors de l'épidémie 1999-2002*. Mémoire de Maîtrise en Biologie. Université de Montréal.
- CIESLA, W.M. & DONAUBAUER, E. (1994).— *Decline and dieback of trees and forests. A global overview*. Étude FAO: Forêts n° 120. Rome, FAO.
- 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<sup>ème</sup> cycle, Université Aix-Marseille.
- 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*, XX: 115-119.
- DAS, A.J.B., JOHN, J., STEPHENSON, S., NATHAN, L., VAN MANTGEM R. & 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.
- 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.
- DOBBERTIN, M. & BRANG, P. (2001).— Crown defoliation improves tree mortality models. *For. Ecol. Manag.*, 141: 271-284.
- 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.
- EICHHORN, J., ROSKAMS, P., FERRETTI, M., MUES, V., SZEPESI, 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.
- FERNANDEZ-CANCIO, A., NAVARRO-CERRILLO, R.M., SANCHEZ-SALGUERO, R., FERNANDEZ FERNANDEZ, R. & MANRIQUE MENENDEZ, E. (2010).— Viabilidad fitoclimática de las repoblaciones de pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.) en la Sierra de los Filabres (Almería). *Ecosistemas*, 20: 124-144.
- FERRETTI, M. (1994).— *Especies forestales mediterráneas. Guía para la evaluación de las copas*. CEE UN/ECE, Bruselas, Ginebra.
- FLOT, J.-L., CAROLLE, F. & LUCAS, S. (2007).— Dépérissement et mortalité : Un éclairage de la situation en France. *L'IF*, n° 16: 1-8.
- FRITTS, H.C. (1976).— *Tree rings and climate*. Academic Press Inc. Ltd., London.
- 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.
- GARREC, J.P., KERFOURN, C. & LAITA, E. (1989).— Étude des surfaces foliaires des arbres dépérissants. *Ann. Sci. For.*, 46: 547-552.
- GAZONNEAU, A. (2007).— *Pour la forêt méditerranéenne, le changement climatique est déjà à l'œuvre*. <http://acts-science.blogspot.com/2007/11/pour-la-foret-mediterranenne-le.html>
- 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.

- 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)*, 70: 32-43.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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: 5-11.
- LANDMANN, G. & LANDEAU, S. (2006).— Sécheresse et canicule : premier bilan des connaissances sur les conséquences de l'été 2003 pour les forêts françaises. *RDV techniques*, 11: 46-54.
- 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.
- LEMAIRE, J., LACOUTRE, Y., SOLEAU, M., WEBER, C., MOUNIER, M. & GUYON, A. (2010).— Les chênaies atlantiques face aux changements climatiques globaux : comprendre et agir. *Forêt entreprise*, n°191: 50-53.
- 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.
- 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.
- MACÍAS, 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. *Clim. Change*, 79: 289-313.
- MUELLER, E. & STIERLIN, H.R. (1990).— *Sanasilva tree crown photos with percentages of foliage loss*. Birmensdorf, Switzerland.
- PARDÉ, J & BOUCNON, J. (1988).— *Dendrométrie*. 2<sup>ème</sup> éd. ENGREF, Nancy.
- 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: 458-469.
- 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.
- SARRIS, D., CHRISTODOULAKIS, D., KÖRNER, C. (2007).— Recent decline in precipitation and tree growth in the eastern Mediterranean. *Global Change Biol.*, 13: 1187-1200.
- SARRIS, D., CHRISTODOULAKIS, D. & KÖRNER, C. (2011).— Impact of recent climatic change on growth of low elevation eastern Mediterranean forest trees. *Clim. Change*, 106: 203-223.
- ZINE EL ABIDINE, A. (2003).— Le dépérissement des forêts au Maroc : analyse des causes et stratégie de lutte. *Sécheresse*, 14: 209-218.