

## **MODÉLISATION DES IMPACTS CLIMATIQUES SUR LA CROISSANCE RADIALE DU PIN MARITIME (PINUS PINASTER) POUR ÉVALUER LA VULNÉRABILITÉ DES ARBRES À LA SÉCHERESSE PENDANT LE DÉPÉRISSEMENT DES FORÊTS DE BENI DERDJINE CHLEF (ALGERIE)**

**Malik KACI** <sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département des Sciences Agronomiques et Biotechnologie, université Hassiba Benbouali de Chlef, [m.kaci@univhb-chlef.dz](mailto:m.kaci@univhb-chlef.dz)*

**Résumé :** les résultats effectués au niveau du laboratoire central de mycologie et de pathologie forestière de Baïnem (INRF, Alger) confirment l'identification des espèces entomologiques, mycologiques et nématologiques déprédatrices et pathogènes qui ont affectés en majeure partie la vitalité du pin maritime citant un champignon qui appartient à l'ordre des (Ascomycota) et nématode du bois la classe des (Némathelminthes). En deuxième étape Nous avons comparé 15 coupes transversales du bois des arbres coexistant en déclin avec le climat (T(°C) et P(mm)) par la modélisation (l'application Dendro sous logiciel libre R ). L'indice de croissance moyen est de l'ordre de 0,98. La sensibilité moyenne (sens 1) calculée sur les chronologies après standardisation est de l'ordre (0,35).

**Mots-clés :** pin maritime, dépérissement, cernes, dendrochronologie

**Abstract:** The results carried out at the level of the central laboratory of mycology and forest pathology of Baïnem (INRF, Algiers) confirm the identification of entomological, mycological and nematological species predators and pathogens which affected in major part the vitality of the maritime pine citing a fungus which belongs to the order of the (Ascomycota) and nematode of the wood the class of (Némathelminthes). In the second step, we compared 15 cross-sections of wood of trees coexisting in decline with climate (T(°C) and P(mm)) by modeling (Dendro application under free software R). The average growth index is of the order of 0.98. The average sensitivity (sense 1) calculated on the chronologies after standardization is of the order of (0.35).

**Keywords:** maritime pine, dieback, tree rings, dendrochronology

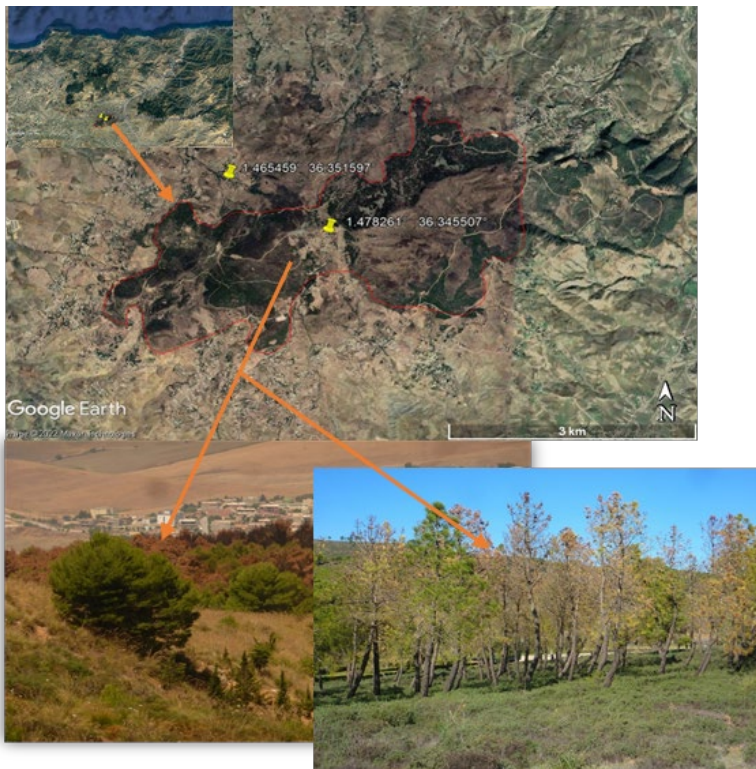
### **Introduction**

La température de la Terre a augmenté de 0,14° F (0,08° C) par décennie depuis 1880, et le taux de réchauffement au cours des 40 dernières années est plus du double : 0,32° F (0,18° C) par décennie depuis 1981 (Sánchez-Lugo, et al., 2020). L'accélération du réchauffement climatique entraînant une diminution de l'humidité du sol, exacerbant ainsi le stress hydrique (Trenberth et al., 2014). Des conditions plus chaudes et plus sèches ont conduit à des sécheresses plus chaudes et longues, qui ont un impact négatif sur les forêts du monde entier et provoquent par la suite le dépérissement des forêts (Allen et al., 2010, 2015). Une telle perte de vigueur des arbres est caractérisée par une défoliation de la cime et des taux de mortalité accrus (Carnicer et al., 2011). Dans cette étude, nous avons étudié la croissance radiale et la dendroclimatologie ainsi l'état de santé du Pinus pinaster en dépérissement de la forêt domaniale de Beni Derdjine. Notre hypothèse est que les arbres dépérissant montreront une phase avec des taux de croissance plus élevés similaires et une plus faible dont la croissance devrait être plus contrainte par la grave pénurie d'eau récente. Ici, nous visons : (i) à déterminer le moment de la mort des arbres à l'aide des cernes annuels, (ii) à évaluer comment la mortalité était liée à la sécheresse, (iii) pour déterminer si les arbres morts étaient plus sensibles à la sécheresse que leurs

congénères vivants. L'obtention de ces informations permettrait d'avancer notre compréhension sur où et quand un dépérissement sévère se développe en réponse à la sécheresse prolongée entraînant des réponses non linéaires telles que des taux de dommages et de mortalité élevés, et une perte de la productivité et de la croissance à l'échelle locale.

### 1. Présentation du secteur d'étude

La forêt de Beni Derdjine s'étend sur une superficie de 750 ha, la moitié de la surface (400 ha), est une forêt mixte des résineux : Pin d'Alep, Pin Maritime, Pin Pignon et le Cyprée vertical et horizontal. La formation matorral occupe 316 ha soit 20 ha sont des tranchées par feu et le reste 14 ha, sont des vides labourables (Fig .1 ,Tab.1).



**figure 1.** Situation géographique de la zone d'étude

**Tableau 1. Caractéristiques des sites échantillonnés**

Site	Latitude	Longitude	Altitude moyenne	Profondeur moyenne du sol (cm)	Âge (an) moyen	Densité moyenne (pieds/ha)
Forêt de Beni Derdjine	X1=36°					
	20.063'					
	N	Y1= 1°				
	X2=36°	26.989'E				
	21.467'	Y2= 1°				
	N	30.173'E	900m	45,7 ± 8,6	22	100 ± 61

## 2. Données et méthodes

Les peuplements qui ont été soumis à une légère éclaircie dans le passé et qui présentent maintenant un dépérissement récent de la canopée et des taux de mortalité élevés (après 2014), qui peuvent représenter 22 à 35 % des arbres à certains endroits. Le site étudié est situé sur des pentes plus raides (plage de pente de 15 à 20°). On distingue trois strates de végétation : une strate arborescente constituée exclusivement de pin d'Alep ; une strate arbustive avec de nombreux arbustes parmi lesquels le chêne vert (*Quercus ilex*), le genévrier de Phénicie (*Juniperus phoenicea*), le genévrier oxycèdre (*Juniperus oxycedrus*), le filaire (*Phillyrea angustifolia*) et les pistachiers (*Pistacia lentiscus* et *Pistacia terebinthus*) ; une strate herbacée dominée par deux graminées, le diss (*Ampelodesma mauritanicum*) et l'alfa (*Stipa tenacissima*). Les données climatiques ont été obtenues à une résolution quotidienne et mensuelle de la station météorologique de Beni Derdjine (36.336716° N, 1.473177° W, 782 m d'altitude), située à 300 m du site d'échantillonnage. La série de données comprenait la température moyenne quotidienne (Tm), la température maximale (Tx), la température minimale (Tn) et Prec. Pour la période 1990-2020. De plus, la Tm saisonnière et la Prec totale ont été calculés pour l'hiver (décembre à février), le printemps (mars à mai), l'été (juin à août) et l'automne (septembre à novembre). Les températures minimales sont caractérisées par une diminution de (-7.38%) par décennie. La lithologie de la zone est dominée par la classe Calcimagnésique produisant des sols bruns et rocheux à texture limon-sableux et relativement peu profonds (20–50 cm). L'échantillonnage a été effectué en 2019. Nous avons effectué 15 sections transversales à 1,3 m (diamètre à hauteur de poitrine (Dhp)) des arbres en dépérissements et évalué visuellement le pourcentage de défoliation de la cime et l'état sanitaire des arbres.

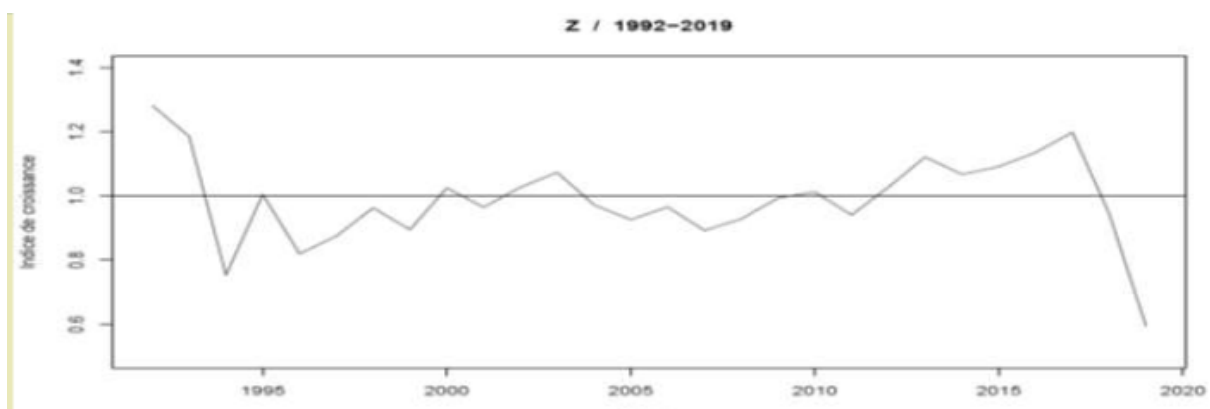


**figure 2.** Les sections transversales échantillonnées

Les mesures ont été effectuées au laboratoire de la qualité du bois à l'université de Chlef. Divers paramètres statistiques ont également été calculés afin d'évaluer la qualité et la force du signal climatique contenu dans les séries de cernes. L'analyse de la réponse aux événements climatiques extrêmes (fortes sécheresses estivales, froids hivernaux intenses) par le calcul des années caractéristiques, aussi de calculer des fonctions de réponse et de corrélation entre les indices de croissance et les régresseurs climatiques (Cook et Kairiukstis, 1990 ; Fritts, 1976 ; Guiot, 1991; Schweingruber et al., 1990), a été réalisée à l'aide de l'application POINTER développée sous le logiciel libre R (R Development Core Team, 2011) par Mérian (2012a). Mais aussi de calculer des fonctions de réponse et de corrélation entre les indices de croissance et les régresseurs climatiques (Cook et Kairiukstis, 1990 ; Fritts, 1976 ; Guiot, 1991).

### 3. Résultats et discussion

#### 3.1. Variation de l'épaisseur standardisée des cernes



**figure 3.** Variation de l'indice de croissance des cernes en fonction du climat T (°c) et P (mm)

Les valeurs élevées des écarts types entre 1,34 et 3,10 ainsi les coefficients de variation entre 29,69 et 80,14 % indiquent une grande fluctuation de la croissance radiale entre individus de la même station, et traduisent aussi la variabilité temporelle à l'intérieur d'une même chronologie. Cette réaction différenciée peut être attribuée soit à une variabilité climatique vers l'aride à Beni Derdjine, soit à la nature particulière du biotope (pédoclimatique). La population de pin maritime de Beni Derdjine, implantée sur un versant d'une pente moyenne 12,5%, ne bénéficie pas de mêmes conditions susceptibles d'emmagasiner l'eau des pluies pour une longue durée et par conséquent de tamponner les effets du facteur climatique limitant. Dans notre cas, le facteur limitant la croissance radiale du pin maritime peut être attribué à l'eau (précipitations). La sensibilité moyenne (sens1) calculée sur les chronologies de synthèses brutes est de l'ordre 0,35. Cette valeur est supérieure au seuil moyen de 0,20 pour les espèces méditerranéennes, ce qui démontre une bonne réactivité du pin maritime aux variations interannuelles de l'environnement. Les coefficients de sensibilité moyenne les plus élevés sont toujours observés dans les régions semi-arides. Safar (1994) obtient pour le pin d'Alep de Djelfa des valeurs de 0,14 à 0,31 et attribue le caractère sensitif de ces régions aux influences désertiques. Le coefficient d'autocorrélation d'ordre 1 est de 0,10 plus faible que les pinèdes de Djelfa sont de l'ordre 0,28. Ce coefficient exprime le phénomène de « persistance » dans la mesure où le cerne de l'année t se trouve déjà prédéterminé en grande partie par la croissance et les conditions climatiques de l'année antérieure t - 1 qui déterminent le niveau des réserves (carbohydrates et réserves hydriques, en particulier) disponibles au moment du démarrage de la croissance (Fritts, 1976).

À Beni Derdjine l'épaisseur des cernes est négativement et significativement corrélées avec les précipitations mensuelles de septembre (P9) et d'octobre (P10) selon le régresseur climatique BBC. Les températures automnales et printanières (T10 et T5) sont positivement corrélées avec la croissance

du pin maritime. Les précipitations enregistrées en octobre de l'année précédente (P10) jouent un rôle négatif sur l'épaisseur des cernes dans la station étudiée. Le cumul de la précipitation de la saison d'automne entre 1990 et 2019 est caractérisé par une diminution de (-1.81%) par décennie avec une valeur maximale 245.1 mm en automne 1991 et une valeur minimale 31.5 mm en automne 2006. Supérieures à la moyenne des cumuls de la précipitation automnale (102,83 mm) entre 1990 et 2019 peuvent contribuer de façon notable à reconstituer le stock hydrique dans le sol disponible pour la phase ultérieure de croissance par une bonne mise en condition physiologique du pin maritime (Becker, 1977).

### 3.2 Sur le plan Mycologique

Parmi les champignons connus à potentialités pathogènes isolés des sujets de pin maritime dépérissants, le genre *Leptographium* sp. est un champignon qui appartient à l'ordre des Ophiostomatales (Ascomycota). Les espèces de *Leptographium* sont des anamorphes (ou formes asexuées) du téléomorphe (ou forme sexuée) du genre *Grosmannia*.



figure 4. Aspect du leptographium sp en culture sur milieu malt

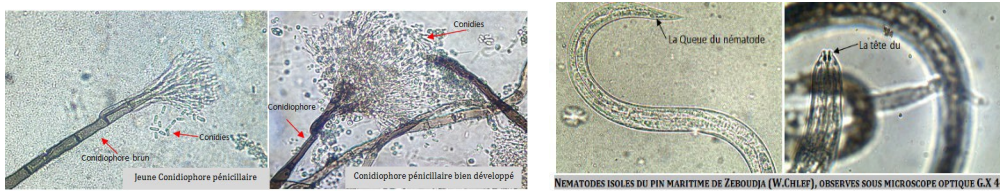


figure 5. Nématodes isolés du pin maritime observé sous microscope optique (G\*40)

### 3.3 Sur le plan Némathologique

Le phénomène de bleuissement du bois est dû à la présence du nématode du bois de pin (en anglais, pinewood nematode, PWN), *Bursaphelenchus xylophilus*, agent causal du dépérissement du pin. D'où la confirmation de leur présence au niveau du pin maritime de l'impact visité. Il s'agit de vers microscopiques ronds de la classe des Némathelminthes avec une structure anatomique simple, un corps rond, normalement cylindrique et allongé, sans tête bien défini, non segmenté et à symétrie bilatérale.

## CONCLUSION

À la lumière de toutes les constatations et observations réalisées sur le terrain et les résultats de laboratoire, nous pouvons supposer que ce dépérissement est plutôt dû à des causes d'origine écologique (climat, sol, sylviculture) qu'à l'action d'insectes ou de champignons pathogènes. Le phénomène de dépérissement du pin maritime serait essentiellement dû à une sécheresse physiologique, due aux facteurs climatiques. Le manque d'éclaircies, de travaux d'assainissement, les délits de coupes et les incendies, ne seraient que des facteurs aggravants du phénomène. En effet, cet état de faiblesse engendré par ces facteurs a rendu les sujets assez vulnérables aux attaques des insectes xylophages et des micro-organismes pathogènes. Le pouvoir de multiplication rapide de ces insectes et la faculté chez certaines espèces à évoluer dans les biotopes en sève, leur revêt un caractère

d'Out breaks. C'est pourquoi, les pullulations des insectes xylophages et particulièrement les scolytes sont très redoutées et qu'un intérêt particulier leur est accordé.

### Références bibliographiques:

Allen, C. D., Breshears, D. D., and McDowell, N. G., 2015: On underestimation of global vulnerability to tree mortality and forest die off from hotter drought in the Anthropocene. *Ecosphere* **6**, 1–55. doi: 10.1890/ES15-00203.1

Allen, C. D., Macalady, A. K., Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N., Vennetier, M., et al., 2010: A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *For. Ecol. Manage.* **259**, 660–684. doi: 10.1016/j.foreco.2009.09.001.

Becker M., 1977 : Contribution à l'étude de la transpiration et de l'adaptation à la sécheresse des jeunes plants résineux. Exemple de 3 sapins du pourtour méditerranéen (*Abies alba*, *A. nordmanniana*, *A. numidica*). *Annales des Sciences Forestières*, **34** (2): 137-158.

Carnicer, J., Coll, M., Ninyerola, M., Pons, X., Sánchez, G., and Peñuelas, J., 2011 : Widespread crown condition decline, food web disruption, and amplified tree mortality with increased climate change-type drought. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* **108**, 1474–1478. doi: 10.1073/pnas.1010070108.

Cook E. R., Kairiukstis L. A. E., 1990 : *Methods of dendrochronology: Applications in the environmental sciences.* Dordrecht, Pays-Bas, Kluwer Academic Publishers, 408 p.

Fritts H. C., 1976 : *Tree rings and climate.* Londres, Royaume- Uni, Academic Press, 567 p.

Guiot J., 1991 : *Methods and programs of statistics for paleoclimatology and paleoecology. Quantification des changements climatiques : Méthodes et programmes. Monographie 1. INSU, PNEDC, 253 p.*

Mérian P., 2012a : *POINTER et DENDRO : deux applications sous R pour l'analyse de la réponse des arbres au climat par approche dendroécologique. Outils et méthodes. Revue Forestière Française, 64 (6) : 789-798.*

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

Sanchez-Lugo. A, Berrisford .P, Morice .C, Argüez.A ,2020 : State of the climate in 2020. *Special Suppl Bull Am Meteorolog Soc* **99**:S11–S12.

Schweingruber F. H., Eckstein D., Serre-Bachet F., Brakero U., 1990 : Identification, presentation and interpretation of event years and pointer years in dendrochronology. *Dendrochronologia*, **8**: 9-38.

Trenberth, K. E., Dai, A., van der Schrier, G., Jones, P. D., Barichivich, J., Briffa, K. R., et al. ,2014: Global warming and changes in drought. *Nat. Clim. Chang.* **4**, 17–22. doi: 10.1038/nclimate2067.