

ÉTUDE DENDROCLIMATIQUE DE PINS SYLVESTRES (*PINUS SYLVESTRIS*) DANS DIFFÉRENTS MILIEUX DU MONT LOZÈRE (CEVENNES, GARD)

Bert Candys ¹, Plume Laurent ², Tournier Maxime ³

Institut des Sciences de l'Évolution de Montpellier (UMR 5554)

Université de Montpellier, Place Eugène Bataillon, CC065, 34095 Montpellier cedex 05, France

¹ candys.bert@etu.umontpellier.fr, ² laurent.plume@etu.umontpellier.fr,

³ maxime.tournier@etu.umontpellier.fr

Encadrement : Benoît Brossier

Citation : Bert C., Plume L. & Tournier M. (2020). Étude dendroclimatique de pins sylvestres (*Pinus sylvestris*) dans différents milieux du Mont Lozère (Cévennes, Gard). *Orpalm Synthesis*, 13 (1) : 47-59.

Résumé : Cette étude porte sur les réponses du pin sylvestre sur différents milieux du Mont Lozère soumis aux mêmes conditions climatiques. L'analyse des cernes de croissance met en évidence des différences dans la réponse des individus aux variations climatiques selon les conditions environnementales. De fortes précipitations induisent une faible croissance des cernes en hiver et en automne sur un sol tourbeux et une forte croissance en été sur un sol granitique. Cela est dû respectivement à une forte et une faible abondance en eau. De fortes températures estivales et printanières influencent négativement les cernes d'individus issus d'une forêt plus dense.

Mots clés : dendrochronologie, largeur de cerne, tourbière, variables climatiques

Abstract: *Dendroclimatic study of Scots pine on different environments of Mont Lozère (Cévennes, Gard).*

This study is about the responses of Scots pine on different environments of Mont Lozère under the same climatic conditions. The analysis of tree rings shows differences in the response of individuals to climatic variations according to environmental conditions. Strong rainfall induces a weak growth of rings in winter and autumn on a peat soil and a strong growth in summer on a granitic soil. These are respectively due to a strong and a weak abundance of water. And strong temperatures in autumn and summer negatively influence tree rings in a more dense forest.

Keywords: dendrochronology, tree-ring width, bog, climatic variables

Le pin sylvestre (*Pinus sylvestris*), sujet de notre étude, est une espèce tolérante aux variations climatiques, qui présente une grande diversité génétique (Richardson, 1998 ; Médail, 2001). Elle s'adapte bien aux sols pauvres, acides et hydromorphes (Pérot et al., 2007). Le développement optimal de cette espèce serait sur un sol de sable siliceux sec ou une couche de terre à l'abri du vent

(Bravais & Martin, 1843). L'été se doit d'être court, chaud et humide avec une moyenne de 13 à 14°C, suivi d'un hiver rigoureux sec et froid dont la moyenne devrait être en dessous de -4°C (Bravais & Martin, 1843).

Les variations climatiques influent sur la croissance d'espèces forestières (Ciesla, 1997), comme le pin sylvestre (Le Meignen & Micas, 2008). Les derniers rapports du GIEC

prévoient une hausse moyenne de la température du globe et d'importantes variations climatiques (Auverlot, 2015). En France, il est prévu une augmentation des températures moyennes annuelles et des régimes de précipitation. Les précipitations seront plus fréquentes, mais les étés seront plus secs (Lebourgeois et al., 2001). Les régions à climat méditerranéen devraient devenir plus sèches (Ciesla, 1997). Cela pourrait affecter les Cévennes, où cette tendance est déjà présente dans la partie sud, et plus particulièrement au sud-est du Mont Lozère. Il est nécessaire de comprendre la variabilité spatiale des réponses aux variations climatiques. En effet, les conditions locales de croissance des arbres sont un facteur important dans l'élaboration de cette réponse (Oberhuber & Kofler, 2000 ; Bigler et al., 2006 ; Benavides et al., 2013). Afin de mettre en évidence cette variabilité, notre étude porte sur des populations de pins sylvestres localisées dans différents milieux.

D'autre part, les zones humides du Mont Lozère sont soumises à une dynamique de fermeture de milieu, notamment en raison de la colonisation par des ligneux comme le pin sylvestre (Lacoste, 2000). Dans certains cas, une intervention humaine peut se montrer nécessaire pour éviter cette fermeture. La protection de la tourbière des Narses Mortes située à environ 3 km de notre zone d'étude et la restauration de la tourbière de la Plaine en forêt domaniale du Suquet sur le massif du Mont Aigoual en 2017 en sont des exemples (source : fiche ZNIEFF 910007391, PNC). Cela montre potentiellement une influence anthropique affectant la dynamique de population des individus. Le pin sylvestre est une des principales espèces ligneuses colonisatrices de ces milieux sur le Mont Lozère (Lacoste, 2000). Il sera donc intéressant de comparer son développement sur un milieu tourbeux (ou à proximité) avec d'autres conditions édaphiques.

La dendrologie s'intéresse au développement des arbres et par conséquent à l'influence des facteurs biotiques et abiotiques (Lebourgeois & Mérian, 2012). La dendrologie peut se décliner en dendrochronologie. Elle permet de

reconstituer des changements climatiques et environnementaux ainsi que d'étudier la morphologie des arbres grâce à l'analyse des cernes de croissance (Lebourgeois & Mérian, 2012). L'objectif de notre étude sera d'utiliser la dendrochronologie pour analyser la réaction du pin sylvestre aux variations climatiques selon son milieu de vie.

MATERIEL & METHODES

1- Zone d'étude

La zone étudiée se situe au Nord des Cévennes, sur le massif du Mont Lozère (lat. 44° 28'7.655"N 3°37'28.686" E). Ce massif est majoritairement granitique et culmine à 1699 m d'altitude au Pic de finiels. Nous avons défini trois sites d'études se situant en périphérie de la tourbière des Nassettes, afin d'analyser différents milieux, potentiellement plus ou moins affectés par cette dernière. Celle-ci est dite minérotrophe, car ce milieu acide est composé de couches tourbeuses compactes et alimentées hydriquement par des écoulements de surface ou souterrains (Payette & Rochefort, 2001). Les différences entre les trois sites permettent de comparer la croissance du pin sylvestre en fonction de conditions environnementales distinctes. 32 individus ont été échantillonnés et cartographiés à l'aide de données GPS et du logiciel Qgis (Fig. 1).

Le site A ; qui s'étend sur environ 6876 m² à l'est dans la zone d'étude, est un environnement tourbeux. Il est constitué d'un ensemble d'individus parsemés, avec de nombreux juvéniles (< 10 ans). Il se situe à une altitude d'environ 1386 m.

Le site B, d'environ 7077 m², est à environ 50 m au nord de la tourbière, dans un milieu forestier assez dense composé d'individus de plus grande taille. On y trouve une communauté diversifiée composée de pins sylvestres (*Pinus sylvestris*), de hêtres (*Fagus sylvatica*) et en densités moindres, d'épicéas (*Picea abies*) et de sapins (*Abies alba*). Il se situe à une altitude d'environ 1395 m.

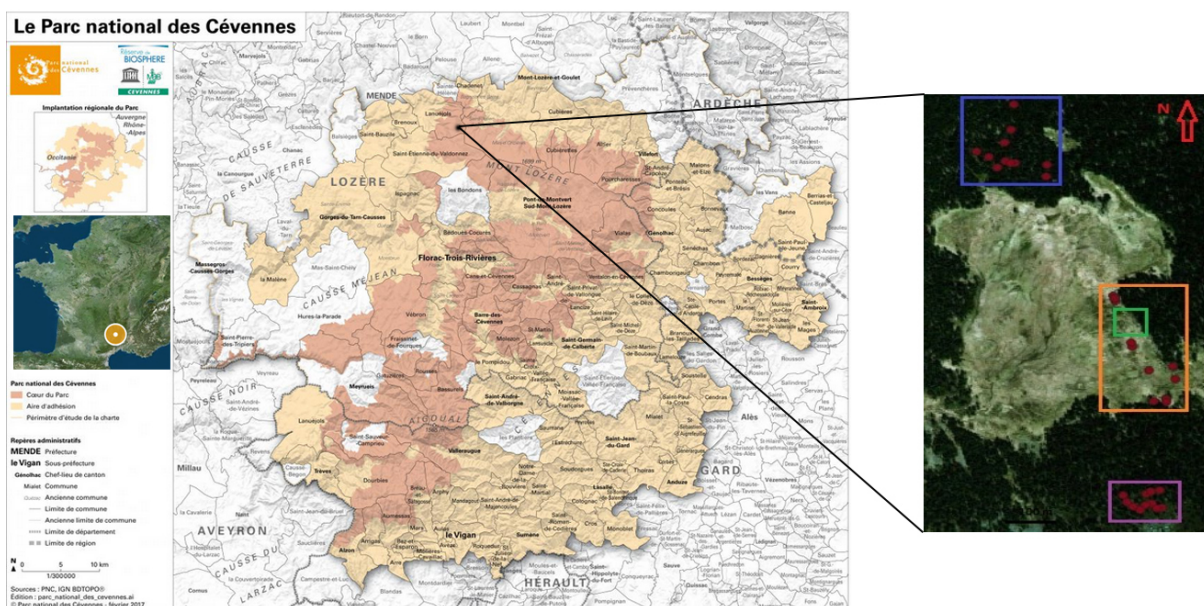


Figure 1. Positionnement des individus et des différentes zones sur le site de la tourbière réalisé avec Qgis. Les points rouges représentent les individus échantillonnés, les rectangles représentent les délimitations des zones (Orange : Zone A, Vert : Zone d'échantillonnage des souches, bleu : Zone B, Violet : Zone C).

Le site C, couvrant environ 1859 m², est localisé à 200 m au sud de la tourbière. Il se distingue des deux autres par un sol composé d'un substrat rocheux granitique et son altitude légèrement plus élevée, à environ 1413 m.

2- Méthodes de terrain

Des carottages ont été effectués sur les trois sites à l'aide d'une tarière de Pressler. Lors du prélèvement, la tarière est placée de manière perpendiculairement sur le tronc de l'arbre à environ 1 m du sol. La hauteur de prélèvement utilisée correspond à l'intermédiaire entre la hauteur de prélèvement au DHP (diamètre hauteur de poitrine), surtout utilisée

pour la dendroclimatologie et la hauteur de prélèvement au collet surtout utilisé pour la dendroécologie. L'objectif de cette manipulation est d'obtenir le maximum de cernes afin d'estimer le plus précisément possible l'âge des individus (Lebourgeois & Mérian, 2012). Pour cela, l'utilisateur doit effectuer le carottage de l'écorce jusqu'au centre de l'arbre. Deux carottes par individu ont été prélevées afin de limiter les biais éventuels liés à des facteurs externes sur les troncs (Lebourgeois & Mérian, 2012). Lors de notre étude, 64 carottes ont été extraites : 14 sur le site A, 24 sur le site B et 26 sur le site C. 8 souches furent également échantillonnées à l'aide d'une scie sur le site A (Table 1).

Table 1. Résumé des relevés prélevés sur les trois sites. * : corrélation significative à un risque α de 5%

	Site A	Site B	Site C
Nombre d'échantillons exploités	20 (14 carottes et 6 souches)	24 carottes	26 carottes
Nombre d'individus exploités	13	12	13
Période de temps couverte	1960 - 2019	1966 - 2019	1962 - 2019
Age moyen	32 (35 sans les souches)	45	39
TRW moyenne	332	350	341
Corrélation de Spearman (TRW) avec le site «...»	B : 0,20 C : 0,27	A : 0,20 C : 0,58*	A : 0,27 B : 0,58*

3- Méthodes de laboratoire

Préparation des échantillons

Les carottes et les souches ont été séchées à l'air libre, puis poncées avec une ponceuse à bande (Scheppach BSM 2010) en utilisant des bandes de différents grains successif, afin de créer une surface plane et de rendre le plus lisible possible les limites de cernes.

Analyse des échantillons

Les échantillons ont été numérisés avec un scanner (Epson perfection V600 photo, résolution : 2400 Dpi). Le logiciel CooRecorder 8.1 a ensuite permis le pointage, le décompte et la mesure des largeurs de cernes. La croissance des cernes dépend de l'influence des perturbations et de conditions environnementales. Leur variation, se traduit respectivement par des cernes étroits et larges. Leur mesure permet de comprendre l'influence des facteurs environnementaux sur les individus.

Ces données ont été soumises au logiciel CDendro 8.4 pour les convertir et les utiliser avec le logiciel TSAPWIN, qui permet de comparer la croissance des individus entre eux et de réaliser l'étape d'inter-datation pour estimer l'âge des individus (Girardclos & Perrault, 2010). Cette étape permet de rectifier les éventuelles erreurs obtenues lors du premier comptage. Elles peuvent être dues à l'absence d'écorce, à des cernes manquants ou à de faux cernes. Un outil du logiciel CDendro permet également d'estimer le nombre de cernes manquants en complément du logiciel TSAPWin et le logiciel COFECHA nous a permis de vérifier l'exactitude de notre interdatation. Ces logiciels nous ont permis d'obtenir une chronologie de la largeur des cernes de croissance pour chaque individu.

Après avoir défini deux rayons de comptage de cerne par souche, le même travail a été fait, à l'exception du logiciel TSAPWin. Cette fois, les individus des sites A, B et C ont été utilisés comme références afin d'en déduire l'âge des souches et leur année de coupe.

Analyse des données météorologiques

Afin d'étudier l'impact du climat sur les arbres, une analyse des données climatiques fournies par Météo-France a été réalisée. Nous n'avons utilisé qu'une seule station parmi un ensemble de relevés. La station sélectionnée est située à environ 10 km de la tourbière, à 1019 m d'altitude (44°30'21,6036" N 3°31'38,3988" E).

Les moyennes des températures et des précipitations saisonnières de chaque année ont été faites sur la période comprise entre 1979 et 2012. En effet, un arbre fonctionne selon un rythme saisonnier puisqu'il produit du bois initial pendant la période de croissance (Stokes & Smiley, 1996) correspondant en Europe au printemps et en été (Domisch et al, 2001), puis du bois final à la fin de l'été et début de l'automne.

Traitements statistiques

Il est nécessaire de calculer la corrélation inter-sites pour mettre en évidence d'éventuelles différences de croissance. Nous avons utilisé la corrélation de Spearman sous le logiciel R (Bunn et al., 2019 ; RStudio Team, 2019).

La suite de nos tests a été réalisée sur des données standardisées et sur les moyennes de largeurs de cernes ou TRW (*Tree-Ring Width*) de chaque site (en prenant en compte les souches pour la zone A). La standardisation permet d'uniformiser les données, mais aussi de prendre en compte la forte influence de l'environnement au début du développement (Lebourgeois & Mérian, 2012). L'impact du climat est estimé par la corrélation de Spearman car elle permet de mettre en évidence la relation entre deux variables : la variable climatique et la variable associée aux TRW. La significativité des corrélations est déterminée par un test bilatéral à un risque α de 5%. Des coefficients de corrélation ont été calculés pour les trois sites avec les deux variables étudiées. La méthode de Becker (Lebourgeois & Mérian, 2012) a permis de définir les années caractéristiques de croissance ou de décroissance de largeurs de cernes par un comptage d'occurrences d'individus dans la population ayant une variation de tendance similaire par rapport à

l'année précédente. Une année est dite caractéristique par rapport aux TRW lorsqu'elle influence à un certain degré la croissance et lorsque les écarts relatifs entre la largeur de cerne de l'année n et celle de l'année n-1 sont supérieurs à 10% en valeur absolue (Lebourgeois & Mérian, 2012).

Prendre en compte l'année n-1 permet d'inclure l'impact de l'année précédente sur l'arbre à l'année n (Fritts, 1962 ; Ogden & Ahmed, 1989). La méthode de Becker permet de donner en pourcentage les variations de croissance par rapport à l'année précédente (Lebourgeois & Mérian, 2012). Elle a été utilisée pour analyser la corrélation entre les TRW inter-sites, entre les précipitations et les TRW et entre les températures et les TRW. Nous nous intéresserons essentiellement aux années caractéristiques définies. Cela permet de mettre en évidence les corrélations du climat et aussi l'impact des saisonnalités sur les TRW.

RESULTATS

1- Résultats des données écologiques

L'âge des différents individus prélevés est très hétérogène selon les zones. La zone A est constitué d'individus plus jeunes en moyenne (moins de 35 ans) que les zones B et C (plus de 35 ans) (Table 1). Seul le test de corrélation de Spearman entre les sites B et C renvoie une corrélation significative concernant l'évolution des TRW selon un risque α de 5%. La méthode de Becker et la superposition des courbes chronologiques de largeurs de cernes standardisées des trois sites d'études ont mis en évidence les années caractéristiques de forte croissance : 1985, 1987, 2003, 2007 et de faible croissance : 2001, 2008 et 2013 (Fig. 2 ; Table 2). Le nombre d'individus présent entre 1960 et 1971 étant inférieur à 10, la détermination d'années caractéristiques pour cette période n'est pas possible, en accord avec les conditions d'application de la méthode.

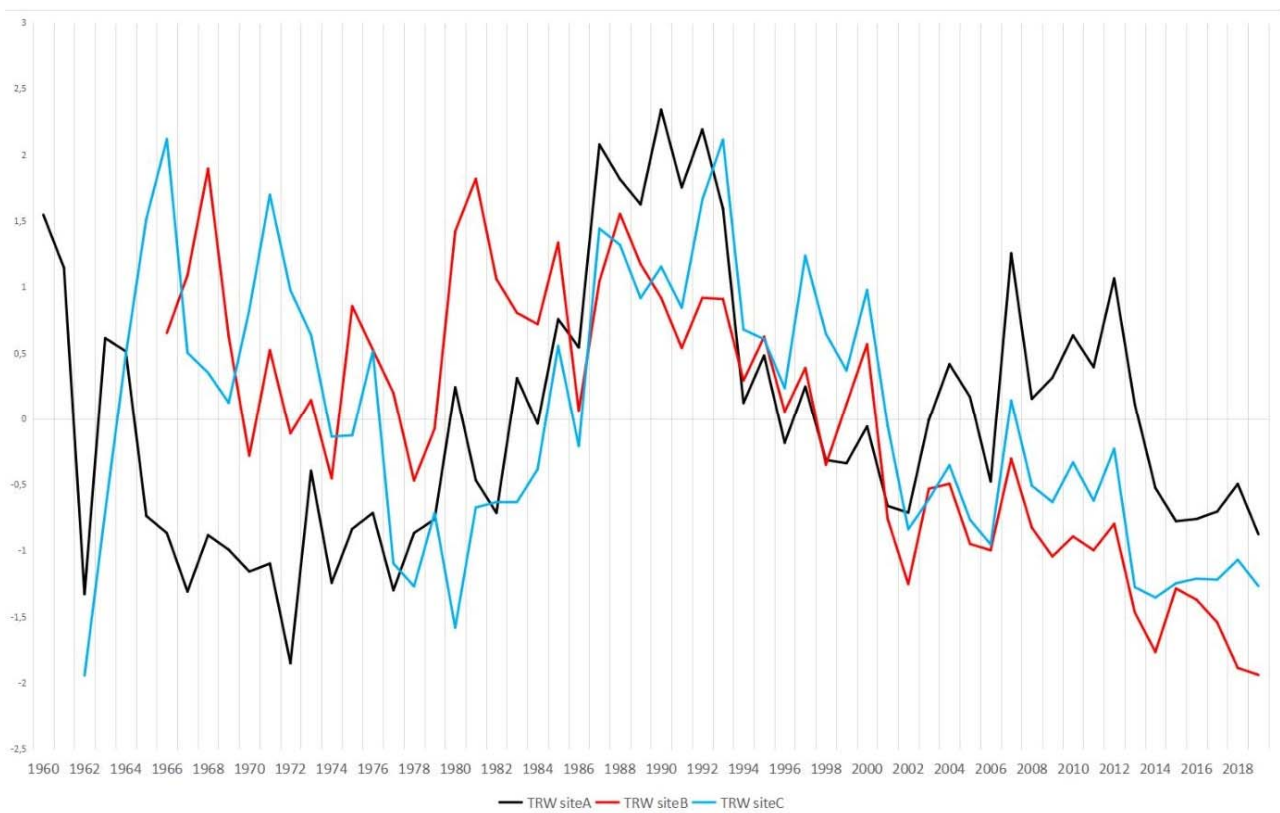


Figure 2. Représentation graphique des chronologies des largeurs de cernes de croissance (TRW) standardisées des trois sites. L'axe des abscisses correspond aux années des individus et l'axe des ordonnées aux largeurs de cernes standardisées.

Table 2. Mise en évidence des années caractéristiques par la méthode de Becker

Année caractéristique	Proportions d'individus avec un écart positif de variation de largeur de cerne de croissance par rapport à l'année précédente	Proportions d'individus avec un écart négatif de variation de largeur de cerne de croissance par rapport à l'année précédente
1985	76%	14%
1987	85%	3%
2001	11%	71%
2003	73%	8%
2007	82%	6%
2008	9%	76%
2013	3%	79%

2- Résultats des données dendrochronologiques

Le traitement des observations de terrain et l'âge des individus ont été regroupé [Table 1](#). Suite à des détériorations ou à l'absence d'écorce sur l'échantillon, certaines chronologies ne couvraient pas les dernières années (un cas pour le site B et deux pour le C, la dernière année étant respectivement 2018, 2015 et 2017).

L'année de coupe des souches a pu être datée, excepté pour deux échantillons demeurant trop différents des autres. Sur les 6 échantillons exploitables, un a été coupé en 2002, quatre en 2006 et un en 2015. L'observation de photos satellites datant de 2002 a montré que des individus avaient bien été coupés par rapport aux photos des années précédentes. De plus, nous sommes arrivés à estimer une année de feu pour l'arbre de la souche n°2 en 1989 grâce à l'observation d'un bourrelet de cicatrisation. En moyenne, les individus du site B ont des TRW plus larges que sur les deux autres sites ([Table 1](#)). L'écart moyen entre des cernes du site A et B est identique à celui entre le site C et B, soit 9 mm. Il y a des différences notables entre les moyennes des TRW, surtout entre le site A et le site B où on voit une différence en moyenne de 18 mm ([Table 1](#)).

3- Résultats des données dendroclimatiques

Des tendances similaires sont observées entre

les températures des différentes saisons tout au long de l'année, ainsi qu'entre les sites ([Fig. 3](#)). On observe également des concordances entre les pics des TRW et ceux des températures des différentes saisons. Une augmentation des températures semble induire une croissance des TRW (années 1987 et 1997). Et la relation inverse est également observable (années 1991 et 1998). On relève aussi l'impact des conditions climatiques des années précédentes comme pour la croissance en 1985 avec une diminution des températures estivales, printanières et automnales l'année passée ([Vitas & Erlickytė, 2007](#)).

La [Figure 4](#) permet de dire que le site A ne présente pas en moyenne de corrélation significativement non-nulle entre les TRW et les températures. Les températures estivales et printanières montrent une corrélation négative significative avec les TRW du site B. Quant au site C, l'hiver est la seule saison qui influence significativement les TRW avec une corrélation positive. Les températures estivales au niveau du site B semblent avoir le plus d'influence sur les TRW tous sites confondus. Le site B est le site le plus influencé par les températures (*corrélation moy. saison* = -0.378). L'influence saisonnière parmi les trois sites est très hétérogène. La corrélation entre les températures pour une même saison et les TRW n'est jamais significative pour deux sites différents.

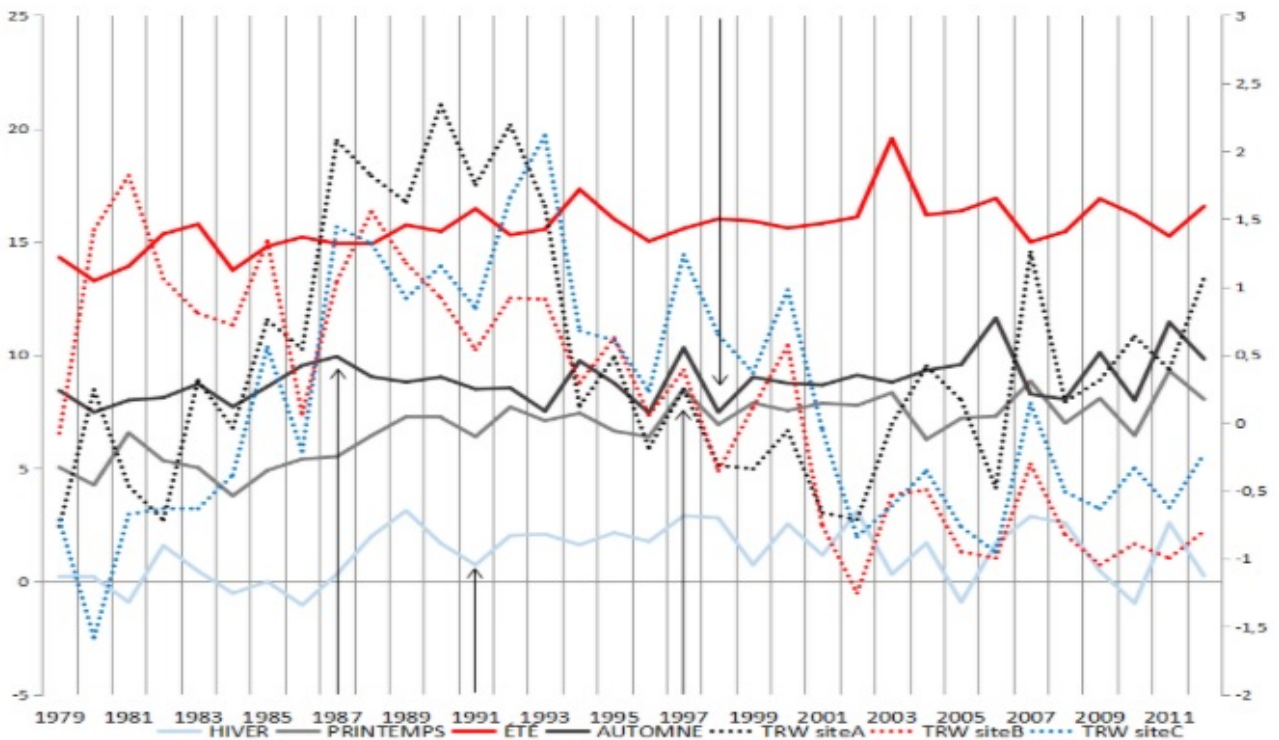


Figure 3. Représentation graphique des températures saisonnières et des TRWs standardisées de 1979 à 2012. L'axe des abscisses correspond aux années et les axes des ordonnées à gauche et à droite correspondent respectivement aux températures en degrés Celsius et aux TRW standardisées. Les flèches représentent les années montrant une concordance entre l'évolution des variables étudiées.

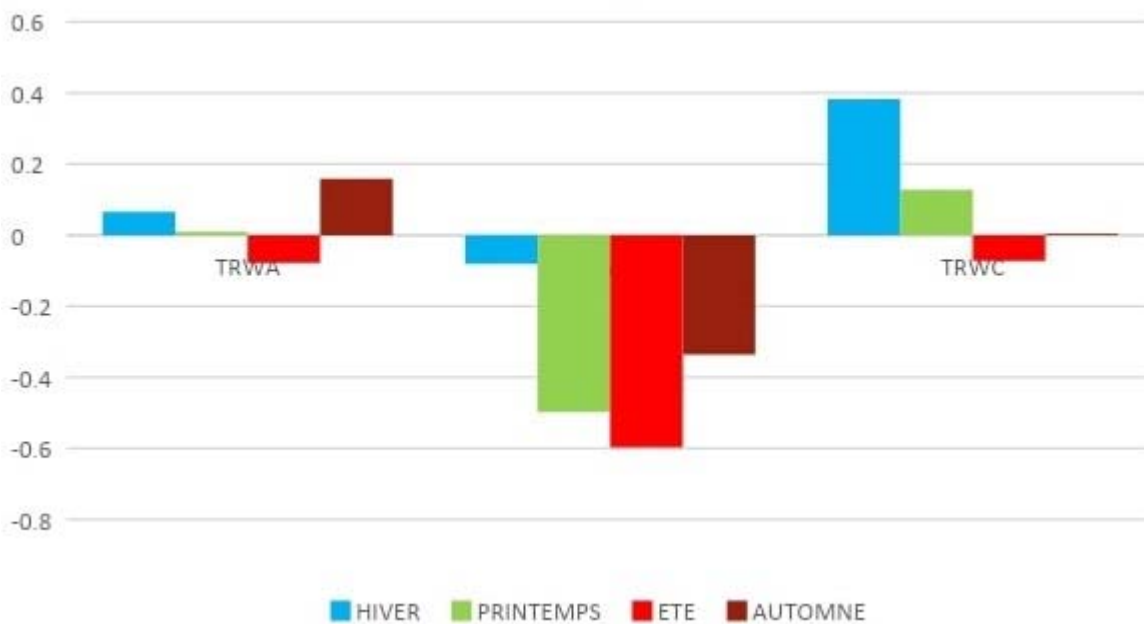


Figure 4. Histogramme des corrélations de Spearman entre les TRWs et les températures réalisées sur le logiciel R à l'aide du package dplR. Les corrélations ont été effectuées avec un risque α de 5%. L'axe des y correspond à l'échelle du coefficient de corrélation de Spearman.

La **Figure 5** met en lien les précipitations et les TRW. La relation entre les précipitations des différentes saisons est moins évidente. Peu d'années se comportent de façon similaire entre les saisons. On voit que lorsqu'il y a un pic croissant des précipitations toute l'année, les TRW réagissent généralement négativement (année 1996 ou 2008 par exemple) et à l'inverse, lorsqu'on a un pic décroissant des précipitations, les TRW réagissent positivement (années 1991 et 1997 par exemple). Lorsque les précipitations d'hiver et d'automne sont faibles, on observe souvent une réponse positive des cernes (année 1985, 1997 et 2007 par exemple). Aussi, avec de fortes précipitations au printemps et en été, on observe en réponse de fortes TRW (années 2001 et 2004 par exemple).

Le site A affiche une corrélation négative significative uniquement en automne (**Fig. 6**).

Le site B ne présente pas en moyenne de corrélation significative entre les TRW et les précipitations. Enfin, le site C montre une corrélation positive significative seulement en été. Les précipitations automnales sur les TRW du site A semblent avoir le plus d'effet sur les TRW tous sites confondus (*corrélation*= -0.403). Cependant, on relève aussi une forte influence des précipitations estivales sur les TRW du site C (*corrélation*= 0,360). L'influence saisonnière parmi les trois sites est très hétérogène. La corrélation entre les précipitations pour une même saison et les TRW n'est jamais significative pour deux sites différents. L'impact des températures saisonnières est légèrement plus hétérogène ($\sigma_{\rho \text{ temp saisons}} = 0,267$) que celui des précipitations ($\sigma_{\rho \text{ précip saisons}} = 0,201$) sur la croissance des TRW (où σ signifie écart type et ρ signifie corrélation).

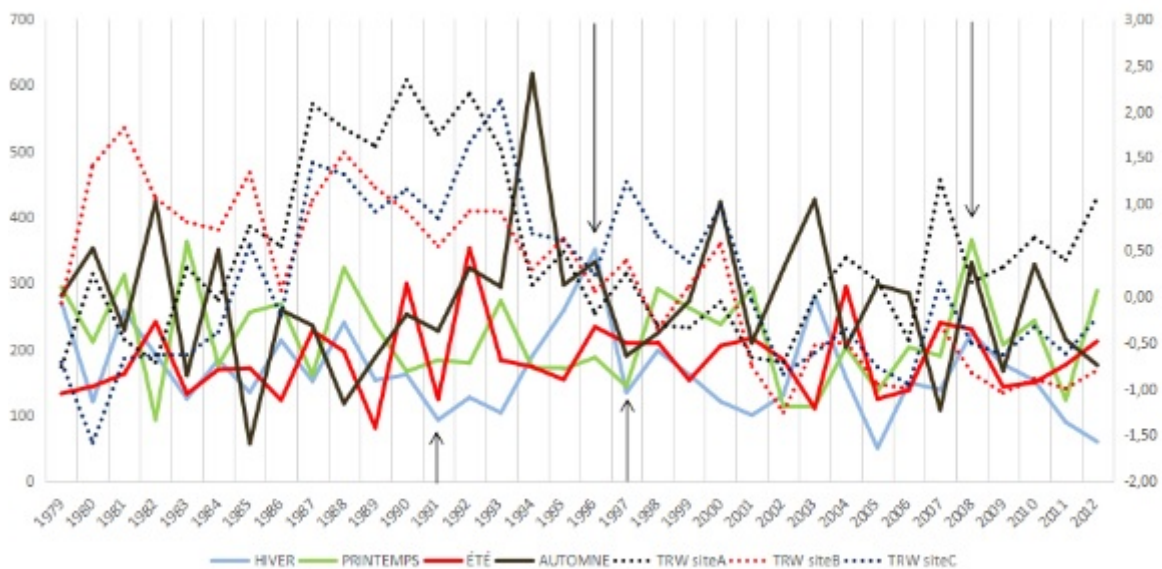


Figure 5. Représentation graphique des précipitations saisonnières et des TRWs standardisées de 1979 à 2012. L'axe des abscisses correspond aux années et les axes des ordonnées de gauche et de droite correspondent respectivement aux précipitations en mm et aux TRW standardisées. Les flèches représentent les années montrant une concordance entre l'évolution des variables étudiées.

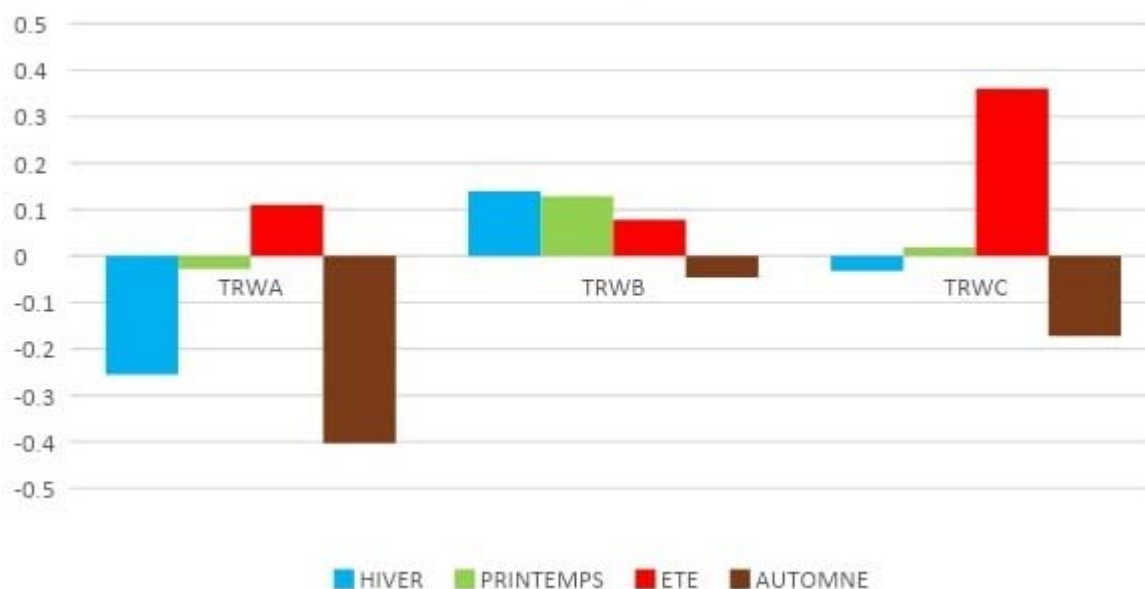


Figure 6. Histogramme des corrélations de Spearman entre le TRW et les précipitations réalisées sur le logiciel R à l'aide du package dplR. Les corrélations ont été effectuées avec un risque α de 5%. L'axe des ordonnées correspond à l'échelle des coefficients de corrélation de Spearman.

DISCUSSION

1 - Dynamique de population

Les résultats obtenus montrent que les individus des sites B et C réagissent à leur environnement et se développent similairement, tandis que la croissance sur le site A est assez différente. Cette différence s'explique notamment par le fait que les individus du site A sont sur en bordure de la tourbière. La différence au niveau de la disponibilité en eau se traduit par une différence de croissance des arbres (Vitas & Erlickytė, 2007).

Les pins du site B présentent des cernes larges, tandis que ceux du site A présentent des cernes étroits. La présence de la tourbière induit une croissance plus faible et plus lente des pins sylvestres. Elle implique aussi une disposition irrégulière des individus par rapport à un développement sur n'importe quel autre substrat (Roosaluste, 1982). Cela est dû à la nappe phréatique peu profonde et à la forte acidité de l'eau (Läänelaid, 1982 ; Freléchoux et al., 2000, 2003 ; Linderholm et al., 2001).

L'estimation des années de coupes des souches montre une influence anthropique sur cette tourbière surtout entre 2002 et 2006. En

effet, la moitié des souches analysées ont été coupées pendant cette période. L'année de feu estimée apporte peu à notre étude puisque cette trace de feu n'a été observée que sur un individu. L'analyse des micro-charbons dans la tourbe réalisée par Cornet & Wales (2019) a mis en évidence un fort influx de charbons vers 1850, mais aucun pic après cette date. Il est très peu probable que la trace de feu relevée en 1989 sur une seule souche soit issue d'un feu de forêt ou d'une pratique pastorale. Si c'était le cas, les particules de charbon, très volatiles, se seraient déposées dans la tourbe et auraient été identifiées, notamment après l'analyse de l'échantillon de tourbe carotté. Ainsi, au vu de cette observation celle-ci ne relève pas d'un intérêt notable pour notre étude.

2 - Influence des conditions climatiques

L'influence des paramètres climatiques sur l'évolution des largeurs de cernes de croissance des individus semble plutôt hétérogène en fonction des sites. Cette comparaison est cependant limitée car ces corrélations ne sont pas toutes significatives. De fortes précipitations hivernales et automnales semblent avoir un effet négatif sur les cernes de croissance du site A, ce qui n'est pas le cas pour les autres sites. Cela pourrait

être lié au volume important d'eau présent dans la tourbière. Cette corrélation est d'autant plus forte en automne. Cela pourrait s'expliquer par une trop forte abondance d'eau dans la tourbière à cette saison, qui est la plus pluvieuse sur la période étudiée (Läänelaid, 1982 ; Freléchoux et al., 2000, 2003 ; Linderholm et al., 2002). On retrouve également une différence de réponse aux variations climatiques en fonction du substrat sur le site C. En effet, le sol est marqué par une forte présence de roches granitiques. Ces roches sont imperméables à l'eau et rendent plus difficile sa circulation dans le sol (Waugh, 2002). L'apport d'eau par les précipitations à une certaine influence sur les largeurs de cerne (Gutiérrez, 1989 ; Vennetier et al., 2005 ; Cuny, 2013). Cette influence est surtout observée en saison estivale comme il a déjà été montré sur le pin sylvestre (Polge & Keller, 1968). D'autre part, contrairement aux deux autres sites le site B n'est influencé significativement par les précipitations d'aucune saison.

Les températures induisent également des réactions différentes en fonction des sites. Les largeurs de cernes de croissance du site A ne montrent de corrélation significative avec les températures pour aucune saison. Ce constat semble lié à la constance des températures dans les parties profondes de la tourbière, limitant ainsi l'influence des variations de températures de la surface (Puranen et al., 1999). Les changements au niveau de la nappe phréatique des tourbières sont généralement contrôlés par les précipitations et tendent à être influencés par les températures via l'évapotranspiration (Charman et al., 2004). Les fluctuations de ces nappes peuvent ainsi être en décalage de plusieurs années par rapport aux variations environnementales et climatiques (Kilian et al., 1995 ; Linderholm et al., 2002 ; Edvardsson & Hansson, 2015). Cela rend ainsi difficile l'interprétation de la réponse des pins sylvestres sur les tourbières face aux variations climatiques. En effet, on observe parfois un décalage temporel de la croissance des largeurs de cernes (Edvardsson et al., 2015). Pourtant, les largeurs de cernes du site B montrent en moyenne une corrélation significativement négative pour

les températures estivales et printanières. Sur le site C, la corrélation est positive entre les températures hivernales et les largeurs de cernes de croissance. Le manque de données complémentaires nous empêche de déterminer avec précision la cause exacte de ces différences d'influence des températures entre les sites B et C.

CONCLUSION

Nos résultats montrent des différences dans l'influence des variations climatiques sur l'évolution des cernes de croissance du pin sylvestre en fonction des conditions environnementales. La forte abondance en eau dans la tourbière associée aux précipitations automnales ont un effet néfaste sur les cernes de croissance. D'autre part, ce milieu limite l'influence des variations de températures sur les individus. La densité de l'assemblage semble jouer un rôle dans la limitation de l'impact des variations de précipitations. Cependant, ce facteur semble induire une influence négative en ce qui concerne de fortes températures printanières et estivales sur les cernes de croissance. L'apport hydrique en période estivale représente un facteur limitant de développement sur le sol granitique. Cela est dû à la plus faible circulation de l'eau dans le sol.

Néanmoins, notre étude comporte des limites qui restreignent nos interprétations. Le manque de diversité dans nos relevés a représenté une contrainte, notamment des analyses pédologiques, anémométriques et d'humidité. La taille de nos échantillons variant de 7 à 13 individus est trop petite pour avoir des résultats vraiment représentatifs. La période fournie par les données météorologiques ne couvre pas la totalité de l'intervalle de temps de développement des individus. La plupart des individus sont plutôt jeunes comparés à la longévité de l'espèce comprise en moyenne entre 100 et 300 ans (Cuny, 2013) et la chronologie étudiée pourrait donc ne pas être représentative de leur croissance. Enfin, l'application de la méthode de Becker pour déterminer les années caractéristiques n'était pas applicable pour la période de 1960 à 1971. Il faut en

effet 10 individus pour réaliser cette méthode alors que nous en avons seulement 9 (Lebourgeois et al., 2012).

A l'avenir, il serait nécessaire d'envisager un suivi de la dynamique de la population de pins sylvestres situé sur le site B. En effet, des hêtres et des chênes ont été observés, révélant probablement une succession forestière aux dépens du pin sylvestre. Cette analyse pourrait se faire grâce à des relevés dendrologiques couplés à des relevés polliniques en surface de la tourbière. Étant donné la dynamique de fermeture de milieu affectant des tourbières du Mont Lozère (Lacoste, 2000) et la progression de pins sylvestres sur la tourbière, on peut prévoir le boisement de cette dernière sans intervention anthropique. La probabilité d'abandon de la tourbière des Nassettes reste cependant relativement faible vu les politiques de protection des tourbières environnantes et des activités pastorales.

REFERENCES

- Auverlot D. (2015). La tragédie du réchauffement climatique : du cinquième rapport du GIEC à la Conférence Paris-Climat 2015. *Annales des Mines - Responsabilité et environnement*, 77 : 14-20.
- Benavides R., Rabasa S.G., Granda E., Escudero A., Hódar J.A., Martínez-Vilalta J., Rincón A.M., Zamora R. & Valladares F. (2013). Direct and Indirect Effects of Climate on Demography and Early Growth of *Pinus sylvestris* at the Rear Edge: Changing Roles of Biotic and Abiotic Factors. *PLoS ONE*, 8 : 59824.
- Bigler C., Bräker O.T., Bugmann H., Dobbertin M. & Rigling A. (2006). Drought as an inciting mortality factor in Scots pine stands of the Valais, Switzerland. *Ecosystems*, 9 : 330-343.
- Bravais A. & Martin Ch. (1843). *Croissance du pin sylvestre dans le nord de l'Europe*. Académie royale de Bruxelles, extrait du tome XV des Mémoires, Bruxelles, 58 p.
- Bunn A., Korpela M., Biondi F., Campelo F., Mérian P., Qeadan F. & Zang C. (2019). dplR: Dendrochronology Program Library in R. R package version 1.7.0.
- Charman, D.J., Brown, A.D., Hendon, D., Karofeld, E. (2004). Testing the relationship between Holocene peatland paleoclimate reconstructions and instrumental data at two European sites. *Quaternary Science Reviews*, 23 (1-2) : 137-143.
- Ciesla W.M. (1997). *Le changement climatique, les forêts et l'aménagement forestier*. Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, 139 p.
- Cornet F. & Wales A. (2019). Reconstitution des paléo-incendies du Mont Lozère (Cévennes, France) du Tardiglaciaire à nos jours. *Orpalm Synthesis*, 13 (1) : 9-24.
- Cuny H. (2013). *Dynamique intra-annuelle de la formation du bois de trois espèces de conifères (sapin pectiné, épicéa commun et pin sylvestre) dans les Vosges: De la description des patrons saisonniers de la croissance à l'étude de l'influence de l'environnement sur la cinétique du développement cellulaire et les caractéristiques anatomiques du xylème*. Thèse de Doctorat, Université de Lorraine, 282 p.
- Domisch T., Finér L. & Letho T. (2001). Effects of soil temperature on biomass and carbohydrate allocation in Scots pine (*Pinus sylvestris*) seedlings at the beginning of the growing season. *Tree physiology*, 21 : 465-472.
- Edvardsson J. & Hansson A. (2015). Multiannual hydrological responses in Scots pine radial growth within raised bogs in southern Sweden. *Silva Fennica*, 49 : 1-14.
- Edvardsson J., Rimkus E., Corona C., Šimanauskienė R., Kažys J. & Stoffel M. (2015). Exploring the impact of regional climate and local hydrology on *Pinus sylvestris* L. growth variability – A comparison between pine populations growing on peat soils and mineral soils in Lithuania. *Plant and Soil*, 392 : 345-356.
- Freléchoux F., Buttler A., Schweingruber F.H. & Gobat J. (2000). Stand structure, invasion and growth dynamic of bog pine (*Pinus uncinata* var. *rotundata*) in relation to peat cutting and drainage in the Jura Mountains,

- Switzerland. *Canadian Journal of Forest Research*, 30 : 1114-1126.
- Freléchoux F., Buttler A., Gillet F., Gobat J.M. & Schweingruber F.H. (2003). Succession from bog pine (*Pinus uncinata* var. *rotundata*) to Norway spruce (*Picea abies*) stands in relation to anthropic factors in Les Saignolis bog, Jura Mountains, Switzerland. *Annals of Forest Science*, 60 : 347-356.
- Fritts H.C. (1962). The relation of growth ring widths in American beech and white oak to variations in climate. *Tree-Ring Bulletin*, 25 : 2-10.
- Girardclos O. & Perrault Ch. (2010). Approche descriptive des résultats de datation par dendrochronologie-Résumé. *Cahier de géographie*, 11: 217-217.
- Gutiérrez E. (1989). Dendroclimatological study of *Pinus sylvestris* L. in Southern Catalonia (Spain). *Tree-Ring Bulletin*, 49 : 1-9.
- Kilian M.R., Van der Plicht J., & Van Geel B. (1995). Dating raised bogs: new aspects of AMS 14C wiggle matching, a reservoir effect and climatic change. *Quaternary Science Reviews*, 14 : 959-966.
- Läanelaid A. (1982). Radial increment of bog pines and climatic changes. Peatland ecosystems. *Estonian Contributions to the International Biological Programme*, 9 : 135-148.
- Lacoste C. (2000). *Contribution à l'atlas des zones humides du Mont-Lozère*. Conservatoire départemental des sites Lozériens, 41 p.
- Le Meignen P. & Micas L. (2008). Bilan des dépérissements forestiers dans les Alpes-de-Haute-Provence. *Forêt méditerranéenne*, 29 : 177-182.
- Lebourgeois F., Granier A. & Breda N. (2001). Une analyse des changements climatiques régionaux en France entre 1956 et 1997. Réflexions en terme de conséquences pour les écosystèmes forestiers, *Annals of forest science*, 58 : 733-754.
- Lebourgeois F. & Mérian P. (2012). *Principes et méthodes de la dendrochronologie*. AgroParisTech-ENGREF, Nancy, 85 p.
- Linderholm H.W. (2001). Climatic influence on Scots pine growth on dry and wet soils from tree ring widths in the Central Scandinavian Mountains, interpreted from tree ring widths. *Silva Fennica*, 35 : 415-424.
- Linderholm H.W., Moberg A., Grudd H. (2002). Peatland pines as climate indicators? A regional comparison of the climatic influence on Scots pine growth in Sweden. *Canadian Journal of Forest Research*, 32 : 1400-1410.
- Médail F. (2001). Biogéographie, écologie et valeur patrimoniale des forêts de pin sylvestre (*Pinus sylvestris* L.) en région méditerranéenne. *Forêt méditerranéenne*, 22 : 5-22.
- Oberhuber W. & Kofler W. (2000). Topographic influences on radial growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) at small spatial scales. *Plant Ecology*, 146 : 229-238.
- Ogden J. & Ahmed M. (1989) Climate response function analyses of kauri (*Agathis australis*) tree-ring chronologies in northern New Zealand. *Journal of the Royal Society of New Zealand*, 19 (2) : 205-221.
- Payette S. & Rochefort L. (2001). *Écologie des tourbières du Québec-Labrador*. Les Presses de l'Université de Laval, Québec, 621 p.
- Perot T., Perret S., Meredieu C. & Ginisty C. (2007). Prévoir la croissance et la production du Pin sylvestre: le module *Sylvestris* sous Capsis 4. *Revue Forestière Française*, 59 : 57-84.
- Polge H. & Keller R. (1968). Influence de l'approvisionnement en eau sur la structure interne des accroissements annuels. *Annales des Sciences forestières*, 25 : 125-133.
- Puranen R., Mäkilä M., & Säävuori H. (1999). Electric conductivity and temperature variations within a raised bog in Finland: implications for bog development. *The Holocene*, 9 : 13-24.
- Richardson D.M. (1998). *Ecology and Biogeography of Pinus*. Cambridge University Press, Cambridge, 527 p.

- Roosaluste E. (1982). Growth forms of the Scotch pine growing in bogs. *Peatland ecosystems, Estonian contributions to the international biological program*, 9 : 121-126.
- RStudio Team (2019). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, Inc., Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>.
- Stokes M.A. & Smiley T.L. (1996). *An introduction to tree-ring dating*. University of Arizona Press, Tucson, 79 p.
- Vennetier M., Vila B., Liang E.Y., Guibal F., Ripert C. & Chandioux O. *Impact du changement climatique sur la productivité forestière et le déplacement d'une limite bioclimatique en région méditerranéenne française*. Ingénieries-EAT, 49-61.
- Vitas A. & Erlickytė R. (2007). Influence of droughts to the radial growth of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) at different site conditions. *Baltic Forestry*, 13 : 10-16.
- Waugh D. (2002). *Geography : An Integrated Approach*. Nelson Thornes, Londres, 195 p.