



HAL
open science

POINTER et DENDRO : deux applications sous R pour l'analyse de la réponse des arbres au climat par approche dendroécologique,

Pierre Mérian

► To cite this version:

Pierre Mérian. POINTER et DENDRO : deux applications sous R pour l'analyse de la réponse des arbres au climat par approche dendroécologique,. *Revue forestière française*, 2012, 64 (6), pp.789-798. <10.4267/2042/51116>. <hal-03446897>

HAL Id: hal-03446897

<https://hal.science/hal-03446897v1>

Submitted on 24 Nov 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

POINTER ET DENDRO : DEUX APPLICATIONS SOUS R POUR L'ANALYSE DE LA RÉPONSE DES ARBRES AU CLIMAT PAR APPROCHE DENDROÉCOLOGIQUE

PIERRE MÉRIAN

PRINCIPES DE L'ESTIMATION DE LA RÉPONSE DES ARBRES AU CLIMAT PAR APPROCHE DENDROÉCOLOGIQUE

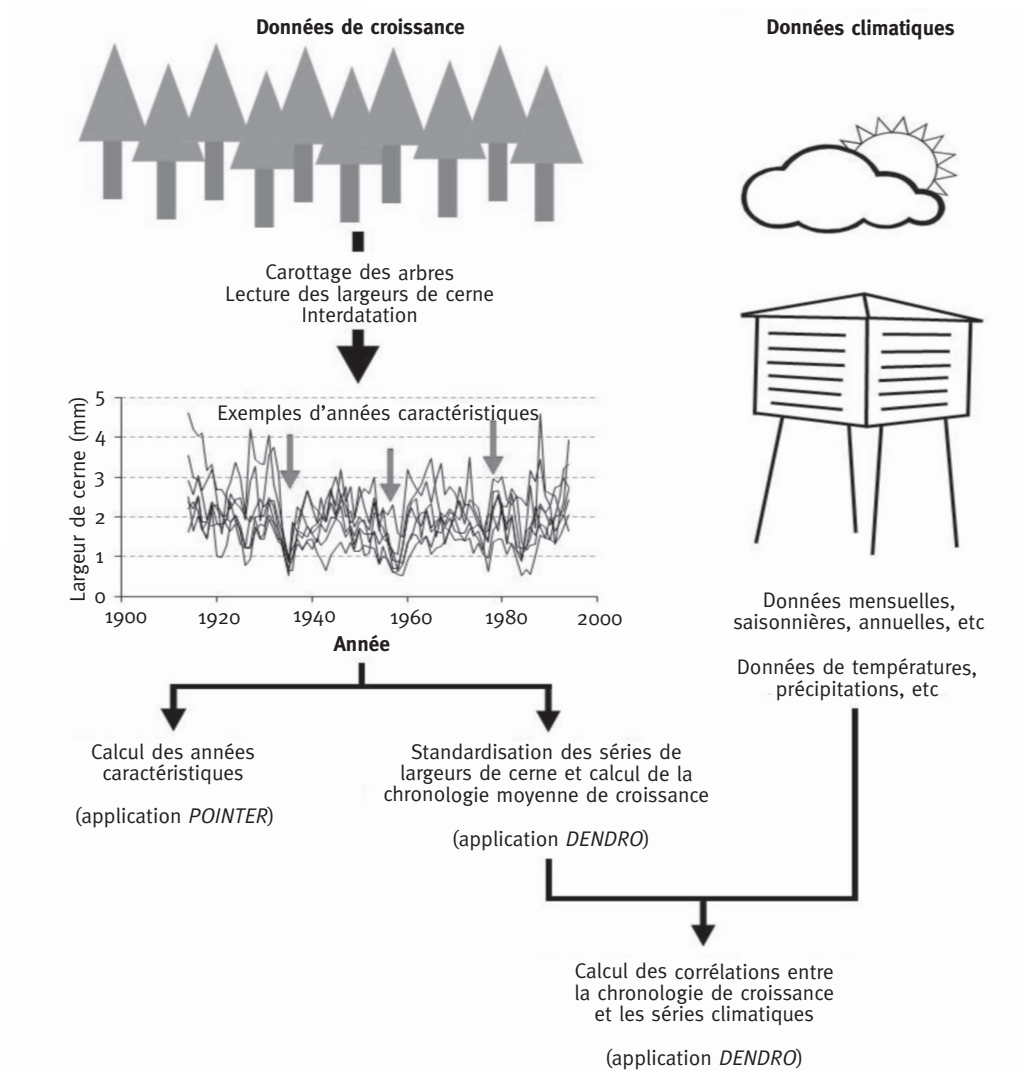
Il existe de nombreux ouvrages de référence qui décrivent précisément les principes et méthodes de l'estimation de la réponse des arbres au climat par approche dendroécologique (Fritts, 1976; Cook et Kairiukstis, 1990; Payette et Filion, 2011 – ce dernier étant en français). Les étapes de l'estimation des corrélations croissance-climat seront ici brièvement exposées, un article à paraître dans la *Revue forestière française* les détaillant plus largement (Mérian, 2013)⁽¹⁾. La dendroécologie a pour objectif de quantifier l'effet des facteurs environnementaux (climat, sol, compétition, etc.) et physiologiques (âge, taille, etc.) sur la croissance des arbres en utilisant la largeur de cerne comme indicateur de cette croissance (Fritts, 1976). L'approche non destructive de la récolte des données et la capacité à pouvoir reconstituer l'historique de croissance de l'arbre sur l'ensemble de sa vie ont fortement contribué au succès de la largeur de cerne comme estimateur de la croissance. Parmi les thématiques de recherche couvertes par la dendroécologie, l'analyse de la réponse des forêts au climat et à ses variations dans le temps et dans l'espace est l'une des plus courantes, notamment depuis une vingtaine d'années en raison du besoin croissant de prévoir les conséquences des changements climatiques (Lebourgeois et Mérian, 2011).

La figure 1 (p. 790) illustre les principales étapes d'une étude dendroécologique, depuis la récolte des données jusqu'aux analyses statistiques. La récolte des données de croissance d'un ou plusieurs peuplements se fait le plus souvent par le prélèvement d'un échantillon de bois par arbre (appelé carotte) à 1,30 m de hauteur, ces arbres devant être judicieusement choisis selon les objectifs de l'étude (Mérian, 2013). Les largeurs de cerne sont par la suite mesurées à partir de ces échantillons. Sachant que l'arbre produit généralement un cerne par année et connaissant l'année de la dernière saison de végétation vécue par l'arbre, il est possible d'associer une année à chaque cerne depuis l'écorce (cerne le plus récent) jusqu'à la moelle (cerne le plus ancien) et de construire une série temporelle de croissance par individu. À ce stade de l'analyse, il est impératif de vérifier que chaque cerne est attribué à la bonne année. Il s'agit de l'étape de l'interdatation des séries qui vise à repérer les erreurs de mesure ainsi que les années durant lesquelles l'arbre aurait fait un double cerne ou aucun cerne afin de caler correctement les séries de croissance dans le temps. Des logiciels tels que COFECHA (Holmes, 1983) ou INTERDAT⁽²⁾

(1) Les lecteurs désireux de connaître précisément les principes de l'estimation de la réponse des arbres au climat par approche dendroécologique sont également invités à se référer au document de cours et de vulgarisation suivant, disponible sur le site professionnel de François Lebourgeois (<https://www2.nancy.inra.fr/unites/lerfob/ecologie-forestiere/pages-perso/f-lebourgeois/lebourgeois.html>) : LEBOURGEOIS (F.), MÉRIAN (P.). – Principes et méthodes de la dendrochronologie. – Document de cours AgroParisTech, 2012. – 90 p.

(2) Le logiciel INTERDAT est en français et disponible gratuitement.

FIGURE 1 ILLUSTRATION DES PRINCIPALES ÉTAPES D'UNE ÉTUDE DENDROÉCOLOGIQUE ET INTÉGRATION DES APPLICATIONS POINTER ET DENDRO DANS CETTE ANALYSE



(Becker, 1989) fournissent une aide à la décision précieuse lors de l'interdatation. En parallèle, les séries temporelles climatiques mensuelles (températures, précipitations, indices de stress hydrique; Lebourgeois et Piedallu, 2005) peuvent être obtenues à partir, entre autres, des stations météorologiques du réseau national Météo-France. Une fois le jeu de données complet et exempt de toute erreur, l'analyse de la réponse des arbres au climat se fait par deux approches complémentaires:

- L'analyse de la réponse aux événements climatiques extrêmes (fortes sécheresses estivales, froids hivernaux) par le calcul des années caractéristiques, aussi appelées *pointer years* (Schweingruber *et al.*, 1990). En France et en Europe de l'Ouest, ces années sont souvent

calculées selon la méthode développée par Becker en 1989, et largement utilisée depuis (Bert, 1993; Desplanque *et al.*, 1999; Lebourgeois *et al.*, 2004; Lebourgeois *et al.*, 2010; Mérian et Lebourgeois, 2011; Mérian *et al.*, 2011). Ces années correspondent aux dates pour lesquelles au moins 75% (seuil 1) des arbres du peuplement ont présenté une variation relative de croissance d'au moins 10% (seuil 2) par rapport à l'année précédente. L'année sera positive en cas de croissance plus forte et négative sinon. Notons que les seuils 1 et 2 peuvent sensiblement varier d'une étude à une autre selon le contexte écologique et l'essence.

- L'analyse de la réponse moyenne au climat se fait par le calcul de corrélations entre les séries de croissance et les séries climatiques. Au préalable, les séries de croissance doivent être standardisées afin de ne conserver, en théorie, que la variation de la largeur de cerne propre aux variations climatiques. Les séries standardisées sont ensuite moyennées pour obtenir une chronologie moyenne de croissance par peuplement censée ne contenir que l'effet du climat sur la croissance (Fritts, 1976; Mérian, 2013). Enfin, cette chronologie est confrontée aux séries climatiques par des approches corrélatives ou régressives. Bien qu'il existe de nombreuses méthodes (Blasing *et al.*, 1984; Guiot, 1985; Guiot, 1991; Payette et Fillion, 2011), les deux approches les plus courantes sont le calcul des fonctions de corrélation (Blasing *et al.*, 1984; Mérian, 2013) ou des fonctions de réponse (Fritts, 1976; Guiot, 1991).

La multiplication des études sur l'estimation de la réponse des arbres au climat, ainsi que l'augmentation de la taille de jeux de données (plus de peuplements, zones d'étude plus vastes, plusieurs essences) accroissent le besoin d'automatisation des traitements statistiques. Les logiciels existants, bien qu'utiles, présentent certaines limites pour les chercheurs francophones, les étudiants et les ingénieurs: des interfaces peu conviviales ou en anglais, des traitements des données non automatisés, l'exécution d'une seule étape de l'analyse de la réponse des arbres au climat (c'est-à-dire soit l'identification des années caractéristiques, soit la procédure de standardisation des séries de croissance, soit le calcul des fonctions de réponse ou de corrélation). Cet article présente ainsi deux applications levant ces limites et développées sous le logiciel libre R (R Development Core Team, 2012) pour l'analyse de la réponse des arbres au climat par approche dendroécologique: POINTER et DENDRO.

LE LOGICIEL LIBRE R: UN NOUVEL OUTIL POUR L'ANALYSE DES DONNÉES

Avant d'être un logiciel à proprement parler, R est un langage de programmation proche du langage S utilisé notamment dans le logiciel payant Splus. R propose un environnement de travail, qui consiste en une fenêtre de saisie des lignes de commande pour le traitement et l'analyse des données. Depuis sa première version au milieu des années 1990, l'équipe de développement a ajouté la plupart des fonctionnalités utiles pour la statistique de base. La mise à jour du logiciel se fait en moyenne deux fois par an, au printemps et à l'automne.

Outre sa gratuité, le principal avantage de R par rapport aux autres logiciels est l'ajout régulier de nouvelles fonctionnalités *via* l'installation d'extensions, aussi appelées packages ou bibliothèques. Ces extensions, qui utilisent les fonctions de base du logiciel, sont développées par des scientifiques et permettent à l'ensemble des utilisateurs de R de bénéficier de nouvelles fonctions préprogrammées et validées par les pairs. Les extensions sont soigneusement compilées et mises à disposition sur le site du CRAN (Comprehensive R Archive Network⁽³⁾). Ainsi, les possibilités de R progressent en permanence en intégrant ou en perfectionnant les outils mathématiques nécessaires aux traitements des données et aux analyses statistiques. La fenêtre de saisie des commandes proposées par R étant très peu conviviale, certaines extensions proposent des interfaces de travail telles que l'on peut en trouver dans les logiciels payants.

(3) <http://cran.r-project.org/>

Plusieurs extensions existent dans le domaine de la dendroécologie, et plus largement de la dendrochronologie (encadré, ci-dessous). Elles proposent des fonctions de calcul qui permettent, entre autres, de calculer les années caractéristiques, de standardiser les séries de croissance et de calculer les fonctions de corrélation ou de réponse. Les applications POINTER et DENDRO se basent sur les fonctions proposées dans ces extensions, proposent une interface conviviale de saisie des paramètres d'analyse et fournissent des fichiers et des graphiques de sortie contenant les informations nécessaires à l'interprétation des résultats.

La dendroécologie sous R

L'essor que connaît la dendroécologie depuis une vingtaine d'années a conduit la communauté scientifique à développer des extensions (ou packages) sous le logiciel libre R. Les applications POINTER et DENDRO utilisent certains outils contenus dans ces extensions pour estimer la réponse des arbres au climat. Pour les lecteurs qui souhaitent prolonger l'utilisation du logiciel R en dendroécologie, voici les trois extensions disponibles au 1^{er} janvier 2013 :

- **dplR**: *Dendrochronology program library in R* (Bunn, 2008; Bunn, 2010). Ce package, très complet et en développement continu, permet de conduire la grande majorité des analyses « classiques » des séries de largeurs de cerne. Cela comprend la lecture d'un grand nombre de formats de fichiers de données, la conversion de l'un à l'autre, la standardisation des séries individuelles de croissance, le calcul des chronologies moyennes de croissance et des statistiques classiques (sensibilité moyenne, auto-corrélation, *expressed population signal*; Cook et Kairiukstis, 1990), l'analyse des propriétés des signaux de croissance (décomposition spectrale ou par ondelettes), une aide à l'interdatation des séries, ou encore le calcul des années caractéristiques selon la méthode de Becker (1989).

- **detrendeR**: *A Graphical User Interface to process and visualize tree-ring data using R* (Campelo *et al.*, 2012). Ce package propose une interface graphique dynamique pour la standardisation des séries de croissance. L'idée est que l'utilisateur puisse visualiser en temps réel le résultat de ses choix dans la méthode de standardisation des séries. Cette librairie permet ainsi de faire des tests « en direct » dans l'analyse des séries de largeurs de cerne.

- **bootRes**: *Dendroclimatic calibration in R* (Zang et Biondi, 2012). Ce package permet le calcul des relations entre croissance et climat selon les deux méthodes les plus souvent utilisées dans la littérature: la fonction de corrélation (Blasing *et al.*, 1984) et la fonction de réponse (Guiot, 1991).

APPLICATION POINTER

POINTER permet de calculer les années caractéristiques à partir des données brutes de largeurs de cerne interdatées, selon la méthode développée par Becker (1989). Les calculs peuvent être automatisés pour un grand nombre de chronologies de croissance. L'utilisateur peut définir lui-même les seuils nécessaires aux calculs des années caractéristiques: le seuil minimal d'écart relatif au-dessus duquel le changement de croissance est considéré comme significatif, et le pourcentage minimal d'arbres qui doivent présenter un écart relatif significatif. L'application retourne un fichier de sortie au format .txt qui précise pour chaque année et chaque peuplement si l'année est caractéristique ou non, l'écart relatif moyen de croissance et le pourcentage d'arbres qui ont présenté une variation de croissance positive ou négative.

APPLICATION DENDRO

DENDRO permet de réaliser les étapes classiques du calcul de la réponse des arbres au climat : standardisation des séries de largeurs de cerne, calcul des chronologies moyennes de croissance et calcul des corrélations cerne-climat. Tout comme dans POINTER, les calculs peuvent être automatisés pour un grand nombre d'arbres et de groupes d'arbres. De nombreuses options sont disponibles afin que les paramètres de calcul soient les plus adaptés aux besoins de l'utilisateur (figure 2, ci-dessous). Le lecteur est invité à se référer à la notice détaillée du logiciel DENDRO⁽⁴⁾ et au cours d'AgroParisTech (Lebourgeois et Mérian, 2012) pour connaître la liste exhaustive des options et paramètres de calcul.

FIGURE 2 EXEMPLE D'UNE FENÊTRE DE SAISIE DE PARAMÈTRES DE CALCUL DE L'APPLICATION DENDRO

(Sources : Mérian *et al.*, 2013a, 2013b)

Les références bibliographiques de chaque option sont détaillées sur les marges quand nécessaire.

| Paramètres de généraux de l'analyse | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| - Sélection des analyses - | |
| <input type="radio"/> Standardisation (fichiers cerne.txt) <input type="radio"/> Relations croissance-climat (fichiers indices.txt et climat.txt) <input checked="" type="radio"/> Standardisation + Relations croissance-climat (fichiers cerne.txt et climat.txt) | |
| - Période d'analyse - | |
| - Type de période - <input type="radio"/> Max par placette <input checked="" type="radio"/> Max commun (1914-1993) <input type="radio"/> Personnalisée (< max. commun) | - Si période Personnalisée - Début de la période : 1914 Fin de la période : 1993 |
| - Paramètres de la standardisation - | |
| - Nombre de standardisations - 2 | - Retirer le bruit blanc ? - <input type="radio"/> Oui <input checked="" type="radio"/> Non |
| - Ajustement avec pente positive ? - <input type="radio"/> Oui <input checked="" type="radio"/> Non | - Type de moyenne des indices - <input type="radio"/> Arithmétique <input checked="" type="radio"/> Double pondération |
| - Paramètres des relations cerne-climat - | |
| - Type d'analyse - <input checked="" type="radio"/> Fonctions de corrélation <input type="radio"/> Fonctions de réponse | - Significativité - 95 |
| - Période d'analyse (-1 à 12) - Mois début : -9 Mois fin : 3 | |
| - Intervalle de calcul - Type d'intervalle : <input checked="" type="radio"/> Simple <input type="radio"/> Moving <input type="radio"/> Backward <input type="radio"/> Forward Largeur fenêtre : 50 | - Données climatiques - <input type="radio"/> 1 jeu (T ou P) Nom Jeu 1 T <input checked="" type="radio"/> 2 jeux (T et P) Nom Jeu 2 P |
| - Bootstrap sur les chrono. indiv. ? - <input type="radio"/> Oui <input checked="" type="radio"/> Non Nb. boucles : 500 | - Correction des coef. par l'EPS ? - <input type="radio"/> Oui <input checked="" type="radio"/> Non |
| Cancel | Ok |

(4) Disponible sur le site internet <https://sites.google.com/site/pierremerian/rscripts>

Pour chaque étape de l'analyse, l'application fournit des fichiers de sortie visant à faciliter l'interprétation des résultats et la détection d'erreurs ou de points aberrants dans les données initiales. Par exemple, pour chaque arbre et chaque étape de la standardisation des séries brutes de largeurs de cerne, un graphique est produit avec la série de croissance initiale, le type et l'ajustement de la standardisation, et la série standardisée (figure 3, ci-dessous). De même, pour chaque peuplement auquel est associée une chronologie moyenne de croissance et des données climatiques, l'application édite un graphique qui résume la valeur et la significativité des corrélations cerne-climat pour chaque régresseur climatique (figures 4 et 5, p. 795). L'ensemble des données présentées dans les graphiques ainsi que les indicateurs de qualité des chronologies moyennes de croissance sont entièrement disponibles en format .txt à la suite de l'exécution de l'application.

FIGURE 3 EXEMPLE D'UN GRAPHIQUE DE SORTIE D'UNE ÉTAPE DE LA STANDARDISATION DES SÉRIES INDIVIDUELLES

Le graphique du haut présente la série brute de largeurs de cerne (mm) de l'arbre 22; la courbe grise représente l'ajustement d'une *spline* cubique (Cook et Peters, 1981) utilisée pour standardiser la série brute. Le graphique du bas montre les indices de croissance issus de la standardisation; ces indices sont obtenus par division, pour chaque année, de la largeur de cerne brute par la valeur de la *spline* cubique (Cook, 1985).

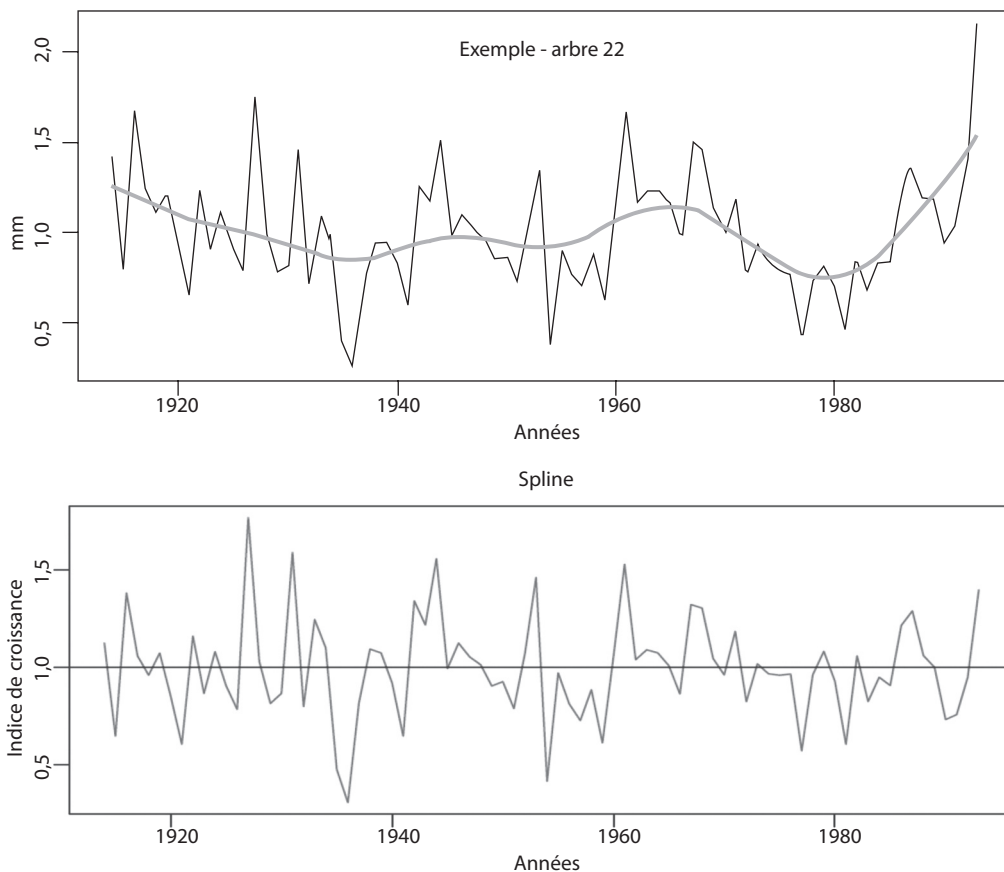


FIGURE 4

**EXEMPLE DE GRAPHIQUE DE SORTIE
D'UNE FONCTION DE CORRÉLATION CERNE-CLIMAT**

BCC: coefficient de corrélation de type *bootstrap* (Mérian, 2013); T: température; P: précipitation; les mois sont indiqués par des chiffres (1 pour janvier, etc.), les valeurs négatives correspondant aux mois de l'année précédente. Les bâtons foncés indiquent un coefficient significatif au seuil choisi par l'utilisateur (ici, 95 %).

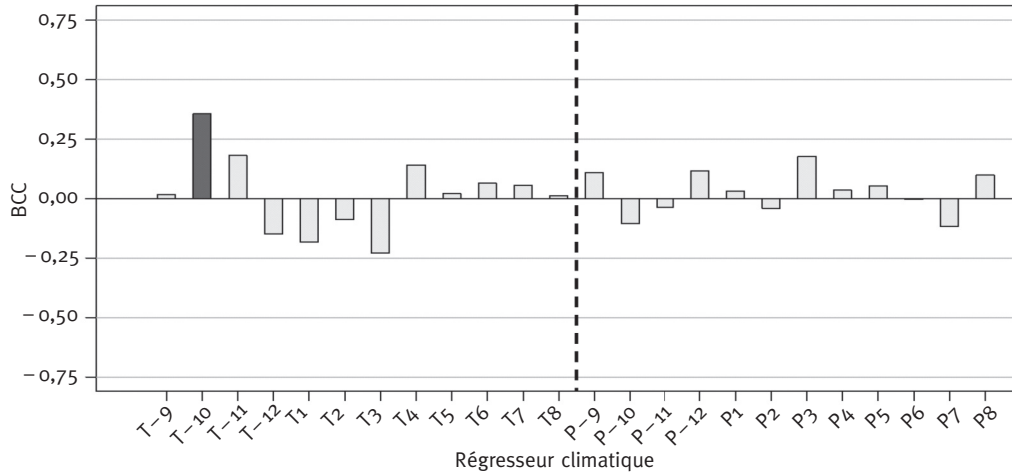
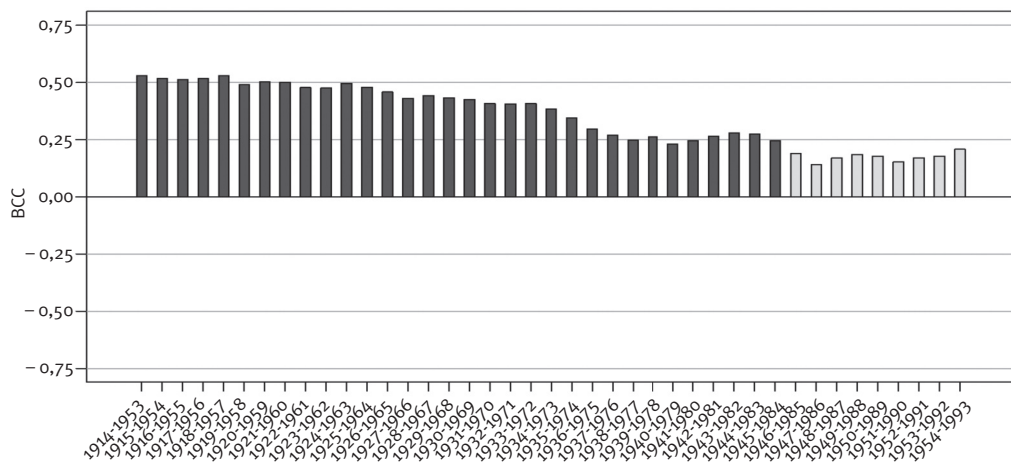


FIGURE 5

**EXEMPLE DE GRAPHIQUE DE SORTIE D'UNE ANALYSE
DE LA STABILITÉ TEMPORELLE D'UNE FONCTION DE CORRÉLATION CERNE-CLIMAT**

BCC: coefficient de corrélation de type *bootstrap* (Mérian, 2013). Chaque bâton représente une période dans le temps, le décalage entre deux bâtons successifs étant de 1 an. Les bâtons foncés indiquent un coefficient significatif au seuil choisi par l'utilisateur (ici, 95 %). Dans cet exemple, les arbres perdent leur sensibilité au régresseur climatique au cours du XX^e siècle. Cela peut être induit, entre autres, à des changements de conditions climatiques (Lebourgeois et Mérian, 2011), à des modifications de la compétition ou de statut social (Mérian et Lebourgeois, 2011), ou à des modifications de la physiologie de l'arbre au cours de sa vie (ontogénie; Bertrand *et al.*, 2011).



CONCLUSIONS

Le regain d'intérêt pour la dendroécologie en lien avec les changements climatiques ainsi que l'augmentation des données utilisées dans les analyses méritent le développement d'applications informatiques libres pour faciliter et automatiser le traitement des données et les analyses statistiques. Les applications POINTER et DENDRO, développées sous le logiciel libre R, permettent de conduire les principales étapes d'une étude de la réponse des arbres au climat. Les interfaces conviviales et en français en font des outils facilement utilisables par les scientifiques ne maîtrisant pas le langage de programmation et le logiciel R, les étudiants de niveau master et les ingénieurs. Ces applications sont disponibles sur simple demande auprès de l'auteur⁽⁵⁾, ainsi qu'auprès de François Lebourgeois, maître de conférences en écologie forestière à AgroParisTech⁽⁶⁾, et sont également téléchargeables sur le site professionnel de l'auteur⁽⁷⁾. Ces applications sont fournies avec une notice d'utilisation en français ainsi que des fichiers d'exemple pour que l'utilisateur puisse se familiariser avec les interfaces et la mise en forme des fichiers d'entrée.

| |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Pierre MÉRIAN AgroParisTech UMR1092, Laboratoire d'Étude des Ressources Forêt-Bois (LERFoB) 14 rue Girardet F-54042 NANCY Cedex</p> |
| <p>et</p> |
| <p>INRA UMR1092, Laboratoire d'étude des ressources Forêt-Bois (LERFoB) Centre INRA de Nancy-Lorraine F-54280 CHAMPENOUX (merianpierre@gmail.com)</p> |

Remerciements

L'auteur remercie François Lebourgeois, Nicolas Gomez, Raphaël Aussenac, Tanguy Manise, Paul Éberlé et Thomas Amodei pour avoir testé les deux applications et fortement contribué à leur amélioration.

BIBLIOGRAPHIE

- BECKER (M.). — The role of climate on present and past vitality of silver fir forests in the Vosges mountains of northeastern France. — *Canadian Journal of Forest Research*, vol. 19, n° 9, 1989, pp. 1110-1117.
- BERT (G.D.). — Impact of ecological factors, climatic stresses, and pollution on growth and health of silver fir (*Abies alba* Mill.) in the Jura mountains: an ecological and dendrochronological study. — *Acta Oecologica-International Journal of Ecology*, vol. 14, n° 2, 1993, pp. 229-246.
- BERTRAND (R.), GÉGOUT (J.-C.), BONTEMPS (J.-D.). — Niches of temperate tree species converge towards nutrient-richer conditions over ontogeny. — *Oikos*, vol. 120, n° 10, 2011, pp. 1479-1488.
- BIONDI (F.). — Evolutionary and moving response functions in dendroclimatology. — *Dendrochronologia*, vol. 15, 1997, pp. 139-150.
- BLASING (T.J.), SOLOMON (A.M.), DUVICK (D.N.). — Response functions revisited. — *Tree-Ring Research*, vol. 44, 1984, pp. 1-15.
- BUNN (A.G.). — A dendrochronology program library in R (dplR). — *Dendrochronologia*, vol. 26, n° 2, 2008, pp. 115-124.

(5) Courriel en 2013 : merianpierre@gmail.com

(6) Courriel en 2013 : francois.lebourgeois@agroparistech.fr

(7) <https://sites.google.com/site/pierremerian/rscripts>

- BUNN (A.G.). — Statistical and visual crossdating in R using the dplR library. — *Dendrochronologia*, vol. 28, 2010, pp. 251-258.
- CAMPELO (F.), GARCIA-GONZALEZ (I.), NABAIS (C.) — detrendeR - A Graphical User Interface to process and visualize tree-ring data using R. — *Dendrochronologia*, vol. 30, n° 1, 2012, pp. 57-60.
- COOK (E.R.). — A time series analysis approach to tree ring standardization. — Faculty of the School of Renewable Natural Resources, University of Arizona, 1985. — 183 p. (Thèse).
- COOK (E.R.), KAIRIUKSTIS (L.A.E.). — Methods of dendrochronology: Applications in the environmental sciences. — Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1990. — 408 p.
- COOK (E.R.), PETERS (K.). — The smoothing spline: a new approach to standardizing forest interior tree-ring width series for dendroclimatic studies. — *Tree-Ring Research*, vol. 41, 1981, pp. 45-53.
- DESPLANQUE (C.), ROLLAND (C.), SCHWEINGRUBER (F.H.). — Influence of species and abiotic factors on extreme tree ring modulation: *Picea abies* and *Abies alba* in Tarentaise and Maurienne (French Alps). — *Trees-Structure and Function*, vol. 13, n° 4, 1999, pp. 218-227.
- FRITTS (H.C.). — Tree rings and climate. — New York: Academic Press, 1976. — 567 p.
- GUIOT (J.). — The extrapolation of recent climatological series with spectral canonical regression. — *Journal of climatology*, vol. 5, n° 3, 1985, pp. 325-335.
- GUIOT (J.). — The bootstrapped response function. — *Tree-Ring Research*, vol. 51, 1991, pp. 39-41.
- HOLMES (R.L.). — Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. — *Tree-Ring Research*, vol. 43, 1983, pp. 69-78.
- LEBOURGEOIS (F.), COUSSEAU (G.), DUCOS (Y.). — Climate-tree-growth relationships of *Quercus petraea* Mill. stand in the Forest of Bercé ("Futaie des Clos", Sarthe, France). — *Annals of Forest Science*, vol. 61, n° 4, 2004, pp. 361-372.
- LEBOURGEOIS (F.), MÉRIAN (P.). — La Sensibilité au climat des arbres forestiers a-t-elle changé au cours du XX^e siècle ? — *Revue forestière française*, vol. LXIII, n° 1, 2011, pp. 17-32.
- LEBOURGEOIS (F.), MÉRIAN (P.). — Principes et méthodes de la dendrochronologie. — Document de cours AgroParisTech, 2012. — 90 p.
- LEBOURGEOIS (F.), PIEDALLU (C.). — Appréhender le niveau de sécheresse dans le cadre des études stationnelles et de la gestion forestière à partir d'indices bioclimatiques. — *Revue forestière française*, vol. LVII, n° 4, 2005, pp. 331-356.
- LEBOURGEOIS (F.), RATHGEBER (C.B.K.), ULRICH (E.). — Sensitivity of French temperate coniferous forests to climate variability and extreme events (*Abies alba*, *Picea abies* and *Pinus sylvestris*). — *Journal of Vegetation Science*, vol. 21, n° 2, 2010, pp. 364-376.
- MÉRIAN (P.). — Conseils pour l'échantillonnage des arbres en peuplements purs et réguliers en vue de l'estimation de leur sensibilité au climat par analyse dendroécologique. — *Revue forestière française*, vol. LXV, n° 1, 2013, à paraître.
- MÉRIAN (P.), BERT (D.), LEBOURGEOIS (F.). — An approach for quantifying and correcting sample-size-related bias in population estimates of climate-tree growth relationships. — *Forest Science*, 2013b, doi: 10.5849/forsci.12-047.
- MÉRIAN (P.), BONTEMPS (J.D.), BERGÈS (L.), LEBOURGEOIS (F.). — Spatial variation and temporal instability in climate-growth relationships of sessile oak (*Quercus petraea* Matt. Liebl.) under temperate conditions. — *Plant Ecology*, vol. 212, n° 11, 2011, pp. 1855-1871.
- MÉRIAN (P.), LEBOURGEOIS (F.). — Size-mediated climate-growth relationships in temperate forests: a multi-species analysis. — *Forest Ecology and Management*, vol. 261, n° 8, 2011, pp. 1382-1391.
- MÉRIAN (P.), PIERRAT (J.-C.), LEBOURGEOIS (F.). — Effect of sampling effort on the regional chronology statistics and climate-growth relationships estimation. — *Dendrochronologia*, 2013a, doi: 10.1016/j.dendro.2012.07.001
- PAYETTE (S.), FILION (L.). — La Dendroécologie - Principes, méthodes et applications. — Laval: Presses de l'Université Laval, 2011. — 765 p.
- R. Development Core Team. — R: A language and environment for statistical computing. — Vienna, Austria. ISBN: 3-900051-07-0, 2012 — URL <http://www.R-project.org>
- SCHWEINGRUBER (F.H.). — Tree rings and environment. Dendroecology. — Berne, Stuttgart, Vienna: Haupt, 1990. — 609 p.
- ZANG (C.), BIONDI (F.). — Dendroclimatic calibration in R: The *bootRes* package for response and correlation function analysis. — *Dendrochronologia*, 2012, doi: 10.1016/j.dendro.2012.08.001

POINTER et DENDRO : DEUX APPLICATIONS SOUS R POUR L'ANALYSE DE LA RÉPONSE DES ARBRES AU CLIMAT PAR APPROCHE DENDROÉCOLOGIQUE (Résumé)

Suite à la mise en évidence des changements climatiques il y a une vingtaine d'années, les études sur la réponse des arbres au climat et à ses variations par approche dendroécologique (c'est-à-dire en utilisant la largeur de cerne comme estimateur de la croissance totale de l'arbre) se sont multipliées, afin de pouvoir quantifier l'impact de ces changements sur la croissance et la vitalité des forêts. L'utilisation de plus en plus fréquente de jeux de données de plus en plus conséquents a conduit à l'augmentation du temps de traitements statistiques des données. Cet article présente deux applications POINTER et DENDRO, développées sous le logiciel libre R, qui permettent une automatisation des procédures de calculs des analyses dendroécologiques, proposent des interfaces de saisie des paramètres de calcul simples, conviviales et en français, et fournissent des fichiers et graphiques de sortie mis en forme pour une interprétation rapide des résultats. Ces applications constituent un outil d'intérêt pour les scientifiques, les étudiants de master et les ingénieurs francophones, en garantissant un gain de temps dans le calcul et une préanalyse des données de sortie.

POINTER AND DENDRO – TWO APPLICATIONS UNDER R SOFTWARE FOR ANALYZING TREE RESPONSE TO CLIMATE USING A DENDROECOLOGICAL APPROACH (Abstract)

In the wake of the discovery of climate change some twenty years ago, many studies on the response of trees to climate and its variations using a dendroecological approach (i.e., using ring width as an estimator for overall tree growth) were conducted to quantify the impact of those changes on the growth and vitality of forests. The more and more frequent use of ever-larger data sets led to longer statistical processing times for the data. This article presents two applications — POINTER and DENDRO — developed under the free R software that automate computing procedures for dendroecological analyses, offer simple interfaces for entering calculation parameters that are user-friendly and in French, and provide files and graphs by way of output with results that can be readily interpreted. By saving computing time and pre-analysing the output data, these are valuable tools are for French-speaking scientists, Masters' students and engineers.
