

GROOT : un projet de base de données et d'outil de calcul en dendroarchéologie

François BLONDEL

Université de Genève
UMR 6949 Chrono-Environnement
francois.blondel@unige.ch

Alba FERREIRA DOMÍNGUEZ

Bureau d'études IPSO-FACTO, Marseille
UMR 7299 Centre Camille Jullian
alba.ferreira-dominguez@ipsofacto.coop

Olivier GIRARDCLOS

UMR 6949 Chrono-Environnement
olivier.girardclos@univ-fcomte.fr

Vincent LABBAS

Université de Liège/IRPA-KIK
UMR 5608 Traces
vincent.labbas@kikirpa.be

Sylvain MEIGNIER

Laboratoire d'informatique - Université du Mans
sylvain.meignier@univ-lemans.fr

Lisa SHINDO

Métropole Nice-Côte d'Azur
UMR 7299 Centre Camille Jullian
lisa.shindo@nicedotedazur.org

Mots clés

dendrochronologie, logiciel libre, application web, base de données, FAIRisation

Keywords

dendrochronology, open-source software, web application, database, FAIRification

Référence électronique

BLONDEL, François, FERREIRA DOMÍNGUEZ, Alba, GIRARDCLOS, Olivier, LABBAS, Vincent, MEIGNIER, Sylvain & SHINDO, Lisa. (2025). GROOT : un projet de base de données et d'outil de calcul en dendroarchéologie. Dans L. Beck, M. Bouiron, C. Carpentier, R. Cottiaux, E. Delqué-Kolić & S. Féret (dir.), *Datations « absolues » en archéologie : actes du 8e séminaire scientifique et technique de l'Inrap*, 3-4 déc. 2024, Orsay. <<https://doi.org/10.34692/pazjfr12>>.

Résumé

L'atelier GROOT (*GR*ouping research *On Tree-rings database*) de la fédération de recherche en archéologie « Bioarchéologie, faire de l'histoire du vivant une force de l'avenir » (CNRS – INEE-SHS) a pour objectif de fédérer les dendrochronologues francophones afin de sauvegarder, partager et valoriser les données dendrochronologiques mais aussi de développer de nouveaux outils de recherche collaboratifs. Les principales difficultés, auxquelles la communauté devra bientôt faire face, concernent les logiciels de calcul et la préservation des données numériques. Deux outils sont en cours de développement : l'application web *pyDendron*, *open source* et gratuite (LIUM, université du Mans) et la plateforme web *Deep in Heritage* (université de Liège, KIK-IRPA, Belgique). Leur mise en place se fait progressivement ; à terme, l'objectif est de les interconnecter afin de proposer un écosystème cohérent, capable d'accroître les capacités analytiques en dendrochronologie, le partage et la visibilité des données.

Abstract

The GROOT workshop (*GR*ouping research *On Tree-rings database*) of the archaeology research federation 'Bioarchéologie, faire de l'histoire du vivant une force de l'avenir' (CNRS - INEE-SHS) aims to bring together French-speaking dendrochronologists to safeguard, share and enhance dendrochronological data, as well as to develop new collaborative research tools. The main challenges the community will soon face concern calculation software and the preservation of digital data. Two tools are currently under development: the *pyDendron* web application, which is open source and free of charge (LIUM, University of Le Mans) and the *Deep in Heritage* web platform (University of Liège, KIK-IRPA, Belgium). These tools are being introduced gradually, with the aim of interconnecting them to form a coherent ecosystem that will enhance dendrochronological analytical capabilities, data sharing and visibility.

1. Présentation de GROOT

Depuis 2021, GROOT (*Grouping Research On dendroChronological daTabases*) faisait partie du groupement de recherche du CNRS « BioArchéoDat » (GDR 3644), dont l'objectif était de documenter l'histoire des interactions entre sociétés, biodiversité et environnement. Récemment, ce dernier a été requalifié en fédération de recherche en archéologie (FRA) intitulée « Bioarchéologie, faire de l'histoire du vivant une force de l'avenir » (FRA2006, contrat 2025-2029 entre le CNRS et l'INEE – SHS, sous la direction d'Alexa Dufraisse et Emmanuelle Vila).

Ce consortium de la donnée dendrochronologique est né d'une réflexion menée par les dendrochronologues sur l'avenir et la pérennité des données acquises depuis plus de 50 ans en France, en Belgique et en Suisse. Les principaux objectifs sont d'identifier les problèmes et freins actuels rencontrés par la communauté des dendroarchéologues et de proposer des solutions pour sauvegarder, partager, visualiser et prospecter ses données. Cela permettra de dynamiser la dendrochronologie francophone.

La présentation orale à l'origine de cet article¹, permet de visualiser quelques illustrations qui ne sont pas reprises ici.

1 - Captation vidéo accessible en ligne sur le carnet des « Rencontres scientifiques et techniques » de l'Inrap : <https://sstinrap.hypotheses.org/33873>

2. Difficultés actuellement rencontrées lors d'une analyse dendrochronologique

2.1. Échantillonnage et conservation

La majorité des études menées en dendro-archéologie repose sur des prélèvements de sections de bois ou des carottes (voir Blondel et coll., 2020). Une fois la mesure des épaisseurs de cernes effectuée et l'étude terminée, ces échantillons sont conservés dans les laboratoires ou bureaux d'étude², le plus souvent, sans inventaire ni plan de conservation à long terme. En effet, les commanditaires ne se préoccupent pas du devenir des échantillons, leurs attentes se limitant souvent à la remise du rapport.

Cette situation rend difficile l'accès aux échantillons dendro-archéologiques pour des personnes extérieures et empêche de les réétudier. Par ailleurs, ces collections, souvent volumineuses, peuvent être détruites pour libérer de l'espace ou parce qu'elles ont subi des attaques de moisissures, champignons ou insectes xylophages, en raison d'un manque de suivi dans leur conservation.

Une telle destruction est inacceptable, les objectifs mêmes des études dendro-archéologiques étant la connaissance, la sauvegarde et la conservation du patrimoine culturel et naturel. Le bois étant un matériau périssable — comme l'a rappelé l'incendie de Notre-Dame de Paris en avril 2019 — les études réalisables aujourd'hui doivent être menées sans délai, et les échantillons précieusement préservés pour les générations futures.

Il est donc indispensable que les prélèvements soient conservés de manière pérenne et demeurent accessibles aux chercheurs, lorsque leur étude est commandée par des institutions publiques ou fait l'objet de financements publics³.

2.2. Mesure des épaisseurs des cernes

La mesure des épaisseurs de cernes des échantillons génère des petits fichiers numériques, de quelques kilo-octets, contenant les métadonnées ainsi que les valeurs des épaisseurs de chaque cerne de croissance. Ces fichiers sont ensuite utilisés dans le processus de datation. Leur forme et leur contenu dépendent des logiciels de mesure, dont la pérennité n'est pas garantie (obsolescence de certains formats numériques, formats propriétaires non documentés), ce qui complique leur partage entre dendrochronologues utilisant des logiciels différents.

2.3. Standardisation et synchronisation

L'analyse des épaisseurs des cernes nécessite le recours à différentes méthodes de standardisation (par ex. Cook & Kairiukstis, 1992 ; Nicault et coll., 2011). Ces méthodes visent à mettre en évidence la composante commune du signal, principalement liée au climat, et à atténuer les autres composantes, telles que celles propres à l'individu ou aux conditions locales (dynamique de peuplement, type de sol, exposition). La standardisation d'un ensemble de séries permet de les rendre plus facilement comparables, en mettant en avant l'information la plus pertinente pour l'étude des échantillons.

Lors de la synchronisation, les données standardisées de chaque individu sont comparées les unes aux autres à l'aide d'outils de calculs plus ou moins répandus dans la communauté des dendrochronologues. Certains, publiés depuis de nombreuses années et utilisés en routine (par ex. standardisation de Bally-Pilcher, test de Student), font parfois l'objet de débats (Buras, 2015 ; Fowler, 2017). D'autres, plus expérimentaux, ont démontré leur efficacité

2 - La conservation des bois gorgés d'eau est complexe. Seul leur conditionnement en chambre froide (3-4°C) donne des résultats satisfaisants. L'imprégnation à la résine (PEG) est à éviter si des analyses chimiques futures sont envisagées. Un bon compromis consiste à emballer individuellement les échantillons et à les conserver dans des caisses remplies d'eau, dans un environnement stable, sombre et frais (de type cave). Toutefois, les échantillons doivent être inspectés régulièrement et l'eau doit être renouvelée dès l'apparition de micro-organismes. C'est pourquoi, aujourd'hui, après étude, les bois gorgés d'eau sont le plus souvent jetés ou ré-immergés.

3 - Un projet de dendrothèque publique, régionale dans un premier temps (région Sud - PACA), est en cours de développement. Ce projet n'est pas présenté ici car il fera l'objet d'une publication en 2026.

mais demeurent pourtant peu utilisés (comme le « Corridor », adapté par Durost, 2005 et Lambert, 2006, d'après Shiyatov & Mazepa, 1987).

Cette diversité des modes de standardisation et de synchronisation soulève des questions quant à leur interopérabilité et l'interprétabilité des résultats obtenus. Il est donc essentiel que les données dendrochronologiques brutes soient disponibles et partagées entre les laboratoires dont les méthodes présentent des variantes.

Après l'étape de datation, de nombreuses lectures des données sur la largeur des cernes ou sur le bois lui-même, son anatomie et/ou sa chimie élémentaire et isotopique (voir Blondel et coll., 2020), peuvent apporter des informations dans des domaines variés : reconstitution du climat, des environnements et de la gestion forestière passée, ou encore détermination de la provenance des arbres. Ces approches ne prennent toutefois tout leur sens que si la datation repose sur une méthodologie maîtrisée et partagée.

2.4. Les logiciels : obsolescence et freins dans le partage des données

Comme pour la mesure des épaisseurs de cernes, la standardisation et la synchronisation s'effectuent à l'aide de logiciels. Or, certains ne sont plus maintenus depuis plusieurs décennies et deviennent inadaptés aux nouveaux systèmes d'exploitation, ce qui entraîne des lenteurs de calcul, l'accumulation de bugs et des risques d'incompatibilité. À moyen terme, le risque que ces logiciels deviennent inutilisables est important, voire déjà avéré.

L'échange de données entre dendrochronologues a toujours été une source de difficulté. Non seulement les formats des fichiers sont variés, mais, en l'absence de base de données partagée, il est nécessaire de contacter individuellement chaque auteur pour accéder à ses données. Encore faut-il savoir qu'elles existent, car la majorité des données dendro-archéologiques n'est qu'indirectement publiée, sous forme de résultats archéologiques.

Il existe deux bases de données dendrochronologiques internationales⁴, l'*International Tree-Ring Data Bank*⁵ (ITRDB), hébergée aux États-Unis et non adaptée aux nombreuses métadonnées des séries dendro-archéologiques et la *Digital collaboratory for cultural dendrochronology*⁶ (DCCD), hébergée aux Pays-Bas et dont le dépôt et la gestion des données ainsi que l'utilisation sont complexes. Ces deux bases contiennent peu de données dendro-archéologiques issues d'études francophones.

La question du partage des données doit également tenir compte des spécificités de la dendro-archéologie francophone, voire européenne, qui compte presque autant d'opérateurs privés que publics. Or, les intérêts d'une structure privée ne sont pas nécessairement les mêmes que ceux d'un laboratoire public et des précautions doivent être prises afin que chaque acteur puisse y trouver son intérêt.

3. Les solutions proposées

3.1. pyDendron

pyDendron est une application web, c'est-à-dire un logiciel dont l'interface utilisateur s'exécute au sein d'un navigateur internet [fig. 1]. Compatible avec tous les systèmes (PC, MAC, Linux), il repose sur un script en langage Python. Ce logiciel est *open source*⁷ et gratuit, mais un soutien financier est toujours le bienvenu pour contribuer à son développement et à sa maintenance. Conçu par le Laboratoire d'informatique de l'université du Mans (LIUM),

4 - Une troisième base, SEAD (*Strategic Environmental Archaeology Database*) est hébergée par le *Environmental Archaeology Lab* (MAL) et Humlab, université d'Umeå, Suède (<https://www.sead.se/>). Elle conserve des métadonnées dendrochronologiques mais pas encore d'épaisseurs de cernes.

5 - <https://www.ncei.noaa.gov/products/paleoclimatology/tree-ring>

6 - <https://dataaverse.nl/dataaverse/dccd>

7 - <https://git-iliu.univ-lemans.fr/Meignier/pyDendron>

il bénéficie de mises à jour régulières et de l'appui d'un organisme public, ce qui lui garantit stabilité et pérennité.

L'application *pyDendron* permet d'analyser des données dendrochronologiques et de les stocker localement sur le poste de travail de l'utilisateur, qui reste ainsi pleinement maître de ses données. Elle prend en charge les formats les plus courants en dendrochronologie, ce qui facilite les échanges entre chercheurs. Sa rapidité de calcul et la diversité des méthodes de standardisation proposées en font un outil particulièrement adapté aux besoins et pratiques en dendro-archéologie.

Enfin, son interface en anglais le rend accessible à un large public.

3.2. Deep in heritage

Deep in heritage (DIH) est un projet de l'université de Liège (Belgique) porté par Vincent Labbas. Il s'agit d'une plateforme en ligne permettant une visualisation multidimensionnelle des données grâce à une interface de recherche par filtres, simple d'utilisation [fig. 2].

Les dendrochronologues qui le souhaitent pourront y déposer leurs données de manière sécurisée et définir leurs niveaux d'accès. Ces données seront localisées sur une carte, avec un degré de précision dépendant des choix du déposant. Des visualisations chronologiques ou spatiales sont prévues, à partir de requêtes par filtre appliquées aux métadonnées. Enfin, les utilisateurs pourront télécharger les données via un formulaire dédié.

Comme *pyDendron*, l'interface de cette plateforme est en anglais afin d'en faciliter l'accès au plus grand nombre.

Dans un premier temps, la plateforme et les données seront hébergées sur les serveurs de l'Université de Liège, afin d'en assurer la pérennité. Cependant, des solutions de stockage externalisées de type *dataverse* sont envisagées (voir pour ex. *data.InDoRES*⁸). *Deep in heritage* a ainsi vocation à devenir un agrégateur des différentes bases dendrochronologiques, en proposant des liens vers leurs données.

4. Perspectives

D'ici la fin de l'année 2025, nous disposerons de versions stables de *pyDendron* et *DIH*. À moyen terme, ces deux outils seront interconnectés et permettront, d'une part, le téléchargement dans *pyDendron* d'un jeu de données hébergées sur *DIH* et, d'autre part, la mise à disposition sur *DIH* d'un jeu de données provenant d'un utilisateur de *pyDendron*. À plus long terme, nous souhaitons établir des passerelles entre nos outils et les bases de données internationales (ITRDB, DCCD, SEAD) qui conservent des données précieuses et qu'il serait pertinent d'exploiter.

En parallèle de ces outils informatiques, nous mettrons en place une dendrothèque pour la région Sud - Provence-Alpes-Côte d'Azur, c'est-à-dire un lieu public et pérenne de stockage et de conservation des bois archéologiques. Ce projet nécessite la mise en œuvre d'un système d'enregistrement permettant de relier chaque échantillon physique à ses métadonnées et à ses données dendrochronologiques, ainsi qu'aux rapports et publications associés. Si l'expérience est concluante, elle pourra être déployée dans d'autres régions.

⁸ - Dataverse mis en place par l'INEE, l'Institut Écologie et Environnement du CNRS et le Muséum national d'Histoire naturelle. URL : <https://www.indores.fr/>

Enfin, nous estimons que la dendrochronologie pourrait tirer parti des avancées récentes en intelligence artificielle. L'objectif est de systématiser les calculs lors du chargement de jeux de données inédits dans l'application afin de faire émerger de nouvelles synchronisations, notamment inter-espèces.

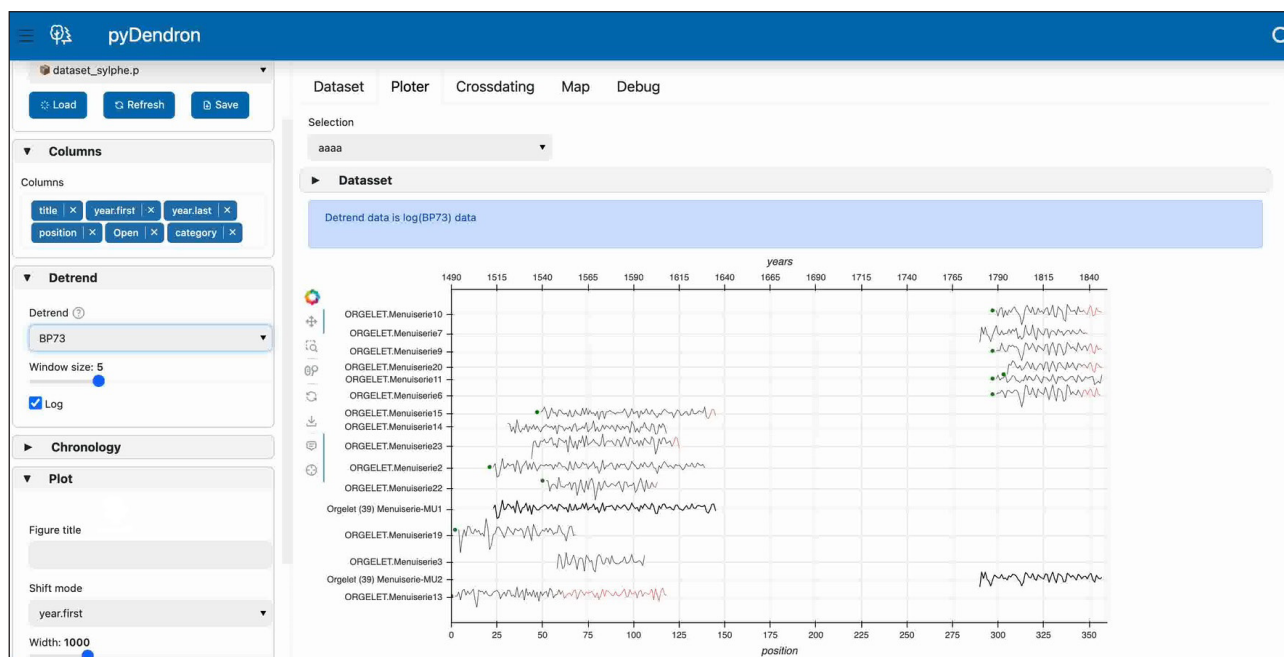


Fig. 1 - Interface de *pyDendron*, onglet « traceur » permettant la visualisation des résultats de calculs. (S. Meignier, Laboratoire d'informatique de l'université du Mans)

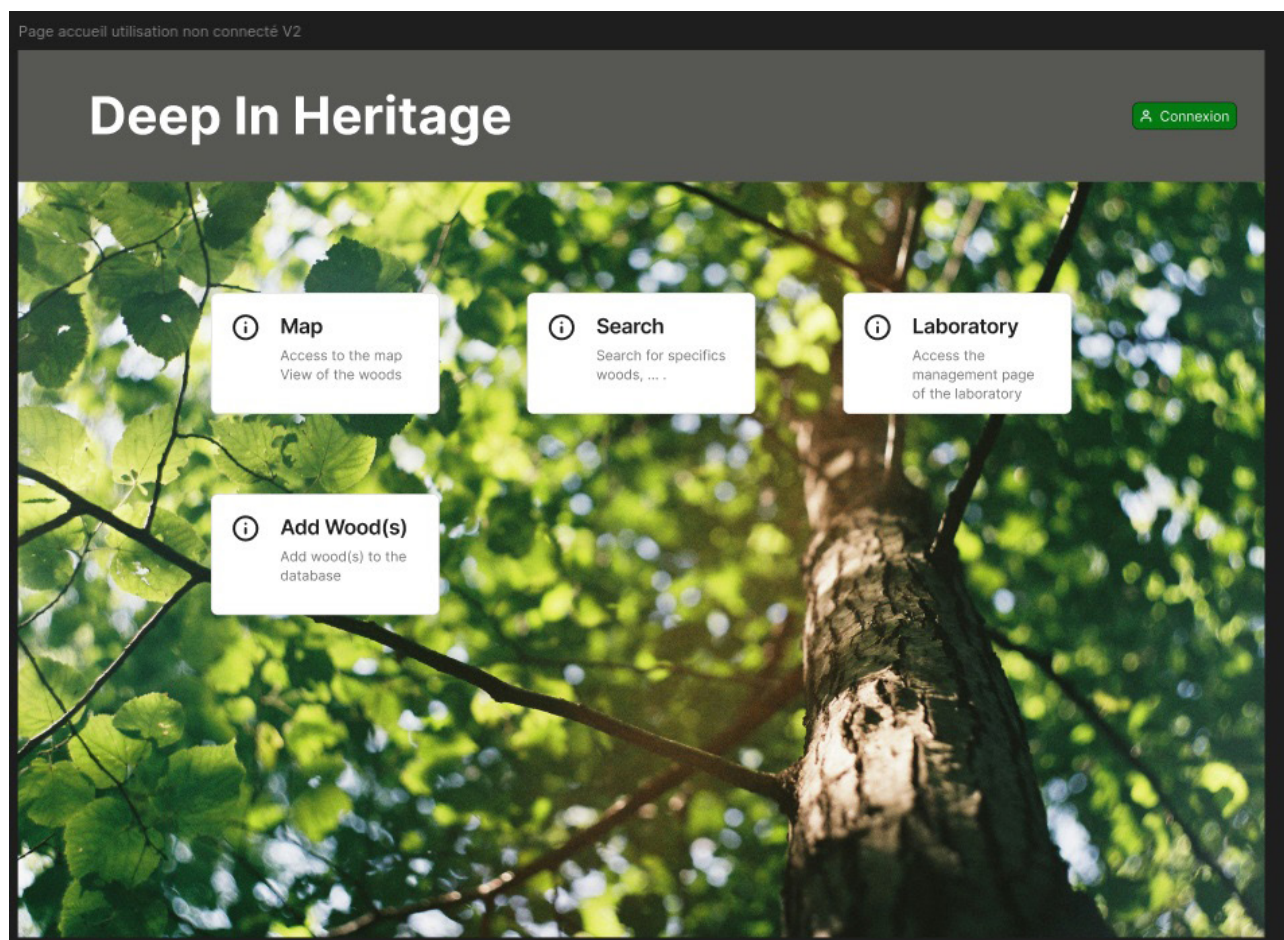


Fig. 2 - Interface de *DIH*, visualisation de la page d'accueil. (Nhtec / Uliège)

Bibliographie

- BURAS, Allan & WILMKING, Martin. (2015). Correcting the calculation of Gleichläufigkeit. *Dendrochronologia*, 34, 29-30. <<https://doi.org/10.1016/j.dendro.2015.03.003>>.
- FOWLER, Anthony M. & BRIDGE, Martin C. (2017). Empirically-determined statistical significance of the Baillie and Pilcher (1973) *t* statistic for British Isles oak. *Dendrochronologia*, 42, 51-55. <<https://doi.org/10.1016/j.dendro.2016.12.006>>.
- DUROST, Sébastien. (2005). *Dendrochronologie et Dendroclimatologie du 2^e âge du Fer et de L'époque Romaine dans le Nord et l'Est de la France. Datation, Système de Références et Modélisation* (Thèse de doctorat, Université de Franche-Comté, Besançon).
- BLONDEL, François, LABBAS, Vincent, SHINDO, Lisa & NOÛS, Camille. (2020). La dendrochronologie : potentialités et nouveaux enjeux pour l'archéologie. Dans C. Carpentier, R.-M. Arbogast & P. Kuchler (dir.), *Bioarchéologie : minimums méthodologiques, référentiels communs et nouvelles approches : Actes du 4^e séminaire scientifique et technique de l'Inrap*, 28-29 nov.2019, Sélestat, Inrap, 23p. <<https://inrap.hal.science/hal-03081687v1>>.
- COOK, Edward & KAIRIUKSTIS, Leonardas (dir.). (1990). *Methods of dendrochronology, application in the environmental sciences*. La Haye : Kluwer Academic publishers. <<https://doi.org/10.1007/978-94-015-7879-0>>.
- JANSMA, Esther, VAN LANEN, Rowin J., BREWER, Peter W. & KRAMER, Rutger. (2012). The DCCD: A digital data infrastructure for tree-ring research. *Dendrochronologia*, 30 (4), 249-251. <<https://doi.org/10.1016/j.dendro.2011.12.002>>.
- LAMBERT, Georges-Noël. (2006). *Dendrochronologie, histoire et archéologie, modélisation du temps. Le logiciel Dendron II et le projet Historik Oaks* (Habilitation à diriger les recherches, Besançon, 2 vol.).
- NICAULT, Antoine, Bégin, Yves & Guiot, Joël. (2010). Standardisation des séries dendrochronologiques. Dans S. Payette & L. Filion (dir.), *La dendroécologie. Principes, méthodes et application* (p. 199-227). Québec : Presses de l'université Laval.
- SHIYATOV, Stepan & MAZEPA, Valeriy. (1987). Some new approaches in the consideration of more reliable dendroclimatological series and in the analysis of cycle components. Dans L. Kairiukstis, Z. Bednarz, & E. Feliksik. (dir.), *Proceedings of Methods of Dendrochronology -1* (p. 87-96). Warsaw : International Institute for Applied Systems Analysis / Polish Academy of Sciences - Systems Research Institute.