HAL open science

La dendrochronologie : potentialités et nouveaux enjeux pour l'archéologie

François Blondel, Vincent Labbas, Lisa Shindo, Camille Noûs

To cite this version:

François Blondel, Vincent Labbas, Lisa Shindo, Camille Noûs. La dendrochronologie : potentialités et nouveaux enjeux pour l'archéologie. Carine Carpentier; Rose-Marie Arbogast; Philippe Kuchler. Bioarchéologie : minimums méthodologiques, référentiels communs et nouvelles approches : Actes du 4e séminaire scientifique et technique de l'Inrap, 28-29 nov. 2019, Sélestat, Inrap, 23 p., 2020, 10.34692/n7b7-y170 . hal-03081687

HAL Id: hal-03081687

https://inrap.hal.science/hal-03081687

Submitted on 18 Dec 2020

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.

Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

La dendrochronologie : potentialités et nouveaux enjeux pour l'archéologie

François BLONDEL
UMR 6298 ARTEHIS
francois.blondel.2@hotmail.fr

Vincent LABBAS
Université Toulouse Jean Jaurès
UMR 5602 GÉODE – UMR 5608 TRACES
vincent.labbas@univ-tlse2.fr

Lisa SHINDO
Cluster of Excellence ROOTS
UMR 7299 CCJ
lshindo@roots.uni-kiel.de

Camille NOÛS
Cogitamus Laboratory
camille.nous@cogitamus.fr

Résumé
La dendrochronologie, méthode de datation qui étudie la variation des largeurs de cernes de croissance des arbres, est habituellement utilisée en archéologie pour obtenir une datation absolue. Le dialogue et le partage de données entre les différents acteurs de la discipline sont nécessaires afin de fiabiliser les résultats. L'analyse des bois archéologiques ne se limite toutefois pas à cette seule datation et de nouvelles approches voient le jour permettant l'émergence de nouveaux champs de recherche et le comblement des espaces et des chronologies encore lacunaires. Dans ce contexte, la dendrochronologie contribue à une meilleure compréhension des pratiques sylvicoles et de l'état des forêts, mais aussi à leur localisation dans des espaces peu ou fortement anthropisés. La sélection des arbres, les exploitations forestières et leur évolution au cours du temps ainsi que la provenance des bois, sont autant d'informations qui peuvent être mises en perspective entre un site archéologique et son environnement. Plus spécifiquement, cet article a pour objectif de présenter ces nouvelles approches dendrochronologiques et leurs enjeux dans le cadre de l'archéologie.

Abstract
Dendrochronology, a dating method that studies the variation in the tree-rings width, is usually used in archaeology to obtain an absolute dating. Dialogue and data sharing between different actors of the discipline are necessary in order to make the results reliable. However, archaeological woods analyses is not limited to dating and new approaches are emerging, allowing new fields of research and filling spaces and chronologies gaps. In this context, dendrochronology contributes to a better understanding of silvicultural practices and state of forests, but also to their location in areas with few or no human presence. Tree selection, forest exploitations and their evolution over time, as well as the provenance of woods, are as much information that can be put into perspective between an archaeological site and its environment. More specifically, the aim of this article is to present these new dendrochronological approaches and their issues in the framework of archaeology.

Mots clés
Dendrochronologie, bois archéologiques, sélection des bois, provenance des bois, relations espaces urbains et ruraux, sylviculture, interdisciplinarité, approches transversales

Keywords
Dendrochronology, archeological wood, wood selection, wood provenance, relations between town and country, forestry, interdisciplinarity, transversal approaches

Référence électronique
Blondel, François, Labbas, Vincent, Shindo, Lisa & Noûs, Camille (2020). La dendrochronologie : potentialités et nouveaux enjeux pour l'archéologie. Dans C. Carpentier, R.-M. Arbogast & Ph. Kuchler (dir.), *Bioarchéologie : minimums méthodologiques, référentiels communs et nouvelles approches : actes du 4e séminaire scientifique et technique de l'Inrap, 28-29 nov. 2019, Sélestat.* <https://doi.org/10.34692/n7b7-y170>.

1. Introduction

La dendrochronologie est une discipline appliquée à l'archéologie, autant préventive que programmée, dès que des bois sont analysés dans le cadre d'études de bâti ou mis au jour lors de fouilles sédimentaires ou subaquatiques (Buntgen, 2019). Elle est d'un intérêt majeur pour l'acquisition d'une datation absolue, précise à l'année, voire à la saison près (printemps/été ou automne/hiver, correspondant à la période de repos des arbres). Elle s'adapte également aux différents modes de conservation du bois, le plus souvent sur bois secs (bois de construction, objets d'art) ou gorgés d'eau, mais s'applique également aux bois carbonisés, voire aussi aux charbons de bois et, plus rarement, aux bois fossilisés (Blondel et coll., 2018 ; Taillandier & Blondel, à paraître). Cette discipline est aussi porteuse de multiples informations sur les usages des bois, les modes de sélection, les pratiques sylvicoles (qui peuvent être soit opportunistes, occasionnelles, intensives ou raisonnées), les échanges et les chemins d'approvisionnement. Elle ouvre de nouveaux champs d'analyses complémentaires qui permettent de faire le lien entre les sociétés humaines et les espaces forestiers. Cet article a pour objectif de dresser un panorama des possibilités qu'offre la dendrochronologie pour l'archéologie, mais également de présenter ses nouveaux apports à partir de trois aspects essentiels : la datation, la sélection et la provenance.

La datation constitue le socle de toutes recherches dendrochronologiques. Elle se base sur une méthodologie construite au début du XXe siècle, qui s'est adaptée et a su évoluer au fil des découvertes archéologiques, notamment celles, dans les années 1980, des sites palafittes ayant livré de nombreux bois (France, Suisse, Allemagne et Italie) (Lambert, 2005, p. 24), mais aussi à partir des bois d'œuvre issus des chantiers archéologiques des anciens centres urbains. En effet, dès cette période, la datation en dendrochronologie intègre progressivement les études archéologiques du sous-sol et des élévations dans le cadre de grands chantiers archéologiques, notamment en milieu urbain (Orcel et coll., 1993).

La sélection se traduit par les approches technologiques, la connaissance sur les usages et les pratiques d'exploitation de cette ressource. Ainsi, au-delà de la contextualisation archéologique, l'étude des bois peut être abordée de plusieurs manières : l'analyse morpho-technique menée au regard des critères de sélection (calibre, âge, essence), la tracéologie qui étudie la surface des bois, le débitage et les plans de fente, tout en renseignant une partie des usages et des techniques (Mille, 1996 ; Pillonel, 2007 ; Épaud, 2007 ; Labbas, 2016 ; Blondel, 2018 ; Burri et coll., 2019) et l'étude anatomique. Enfin, l'analyse des variations de largeur de cernes offre une lecture sur le type de peuplement exploité, son évolution dans le temps et sur les pratiques sylvicoles associées.

La provenance interroge les stratégies d'approvisionnement de la ressource bois au travers des réseaux économiques (naval ou terrestre) et à différentes échelles (sur de courtes ou très longues distances). Plusieurs apports livrent des éléments de réponse sur la provenance géographique des bois : les archives[1], les aires de distributions de certaines essences contraintes à des espaces définis (sapin, épicéa, mélèze), les stratégies d'approvisionnements et enfin les analyses chimiques, notamment isotopiques, qui offrent de nouvelles perspectives dans la continuité des approches de dendro-provenance.

1 - Archives essentiellement disponibles pour le Moyen Âge et l'époque moderne. Il s'agit notamment des prix-fait, des comptes de construction, des actes notariés, des lettres de voiture, etc.

Ces trois aspects, parmi d'autres approches plus écologiques et climatiques qui ne seront pas détaillées ici, contribuent à estimer l'impact de l'homme sur les espaces forestiers et, plus largement, sur son environnement.

2. La dendrochronologie : les minimums méthodologiques

Aujourd'hui, la datation par dendrochronologie est incontournable pour ancrer chronologiquement les bois archéologiques. Elle fait suite aux travaux d'Andrew Ellicott Douglass (début du XXe siècle, États-Unis) qui étudie l'influence solaire sur les largeurs de cernes des pins ponderosa et, par extension, l'impact du climat sur la croissance des arbres (Bannister et coll., 1998). Le tree-ring dating deviendra la discipline que nous connaissons aujourd'hui sous le nom de dendrochronologie (Douglass, 1929). Cette nouvelle méthode de datation est importée en Europe, dans les années 1960, par les écoles allemande et anglo-saxonne[2] (Lambert et coll. 1988 ; Lambert, 2005). Elle est alors appliquée dans les domaines de la datation, de l'écologie forestière et de la climatologie avec de nombreux précurseurs[3] (Lavier, 2013a, p. 260). La découverte de nombreux bois archéologiques issus des fouilles lacustres en Allemagne, en Italie, en Suisse et en France, va dynamiser cette nouvelle méthode de datation appliquée à l'archéologie.

2 - Pour l'Allemagne, via les laboratoires de Munich, Trèves, Göttingen, Hambourg et Cologne : Bruno Hubert, Wita von Jazewitsch, Ernst Hollstein, Bernd Becker. Pour le Royaume-Uni, à Belfast et Sheffield : Michael Baillie, John Pilcher et Jennifer Hillam.

2.1. Le type de matériel étudié

3 - Notamment Elio Corona, H. Polge, André-Valentin Munaut, D. Eckstein, O.U. Bräker, Françoise Serre, Yvonne Trénard ou encore Ernt Hollstein.

L'étude dendrochronologique peut être réalisée sur des bois présentant différents types de conservation. Toutefois, même si la datation est surtout tributaire du nombre de cernes, certaines formes de conservation offrent plus de potentiel que d'autres.

2.1.1. Bois secs

Ces bois sont majoritairement conservés dans le premier (soubassements, planchers, charpente) et dans le second œuvre (menuiseries). Ils concernent également tous les éléments mobiliers tels que les objets du quotidien, les meubles, les œuvres et les objets d'art (Lavier, 2013b, p. 67-73). Les techniques de prélèvement et d'acquisition des séquences dendrochronologiques s'adaptent selon l'état des bois et les politiques de conservation (édifices classés, collections de musées).

2.1.2. Bois gorgés d'eau

Ces bois sont retrouvés en milieux humides, totalement immergés ou dans des types de sols adéquats (argileux). Ils sont fragiles et non pérennes à partir du moment où leur milieu de conservation subit des variations en matière d'hygrométrie, de température ou de luminosité (English Heritage, 2010). Ces bois sont mis au jour lors des fouilles autant sédimentaires que subaquatiques (cuvelages de puits, fondations de superstructure, éléments effondrés, embarcations, installations portuaires, etc.).

2.1.3. Bois carbonisés

Découverts lors des fouilles sédimentaires, certaines superstructures carbonisées de mobiliers ou, plus rarement, de rejets de foyer ou de structures artisanales de combustion (fours de potiers, forges, etc.) permettent des acquisitions dendrochronologiques. Les bois carbonisés, souvent sujets à la fragmentation, autorisent généralement une approche plus dendrométrique que dendrochronologique (Dufraisse & Garcia Martinez, 2011). Cependant, certains charbons, du fait de séquences de plusieurs dizaines de cernes, offrent un potentiel tout aussi pertinent que sur bois secs ou gorgés d'eau (Blondel et coll., 2018, p. 268-281). Une nouvelle approche innovante basée sur la reconnaissance de l'aubier carbonisé, à partir de la densité des thylles, va désormais permettre d'estimer les dates d'abattage, comme cela est déjà le cas pour les bois secs ou gorgés d'eau (Dufraisse et coll., 2018, p. 232-249).

2.1.4. Bois fossilisés

Mis en évidence dans le cadre de fouilles sédimentaires ou d'espaces vides (par ex. caveaux funéraires), ces bois sont conservés au contact d'objets métalliques par une migration lente des oxydes ferreux, mais aussi cuivreux (Hunot, 1996, p. 187 ; Taillandier & Blondel, à paraître). Ils présentent rarement de nombreux cernes, sauf en cas de conservation exceptionnelle.

2.1.5. Bois vivants

La dendrochronologie est également réalisée sur les arbres vivants, même si cela ne concerne pas directement l'archéologie. Ces acquisitions permettent de réaliser des modèles de tendance d'âge, de comprendre les modes de croissance, de restituer et de mieux appréhender les peuplements forestiers exploités. Elles servent surtout à construire les chronologies de référence à partir d'une année connue, qui correspond à celle du prélèvement dans l'arbre, et permet de remonter le temps à pas annuel (Delwaide & Filion, 2010, p. 167-197).

2.2. Fiabiliser la datation

Sur les sites archéologiques, lorsque cela est possible, il est préférable de prélever au moins une dizaine de pièces de bois par phase chronologique. La moyenne des séries dendrochronologiques[4] obtenue permet de mettre en

4 - La terminologie diffère selon les dendrochronologues : série individuelle, élémentaire ou patron de croissance.

évidence un signal climatique commun, indispensable au processus de datation (Lambert, 2005, p. 41) [fig. 1].

Néanmoins, selon qu'il s'agisse d'une étude de bâti en élévation, pour laquelle les bois sont visibles (mais pas toujours accessibles), ou d'une fouille sédimentaire, la stratégie de prélèvement peut parfois être différente. Dans le premier cas, l'analyse du bâti offre la possibilité de cibler les éléments à prélever et de distinguer plusieurs phases de construction et de possibles éléments remployés. Dans le second cas, la lecture moins évidente des structures et l'altération des bois conduit souvent à prélever le maximum de pièces disponibles. Ces échantillons doivent présenter au minimum 60-80 cernes de croissance pour assurer un niveau de sécurité statistique satisfaisant. Cependant, lorsque le contexte est cohérent et présente de nombreux bois, il est possible d'intégrer des séries plus courtes de 30-40 cernes qui permettent de constituer des chronologies moyennes supérieures à une soixantaine d'années (Billamboz, 2008 ; Bernard et coll., 2010). D'une manière générale, il est préférable de prélever, sur le terrain, le plus de pièces de bois possible pour fiabiliser les calculs statistiques en laboratoire (pour ex. Le Digol, 2013). Dans certains cas, le nombre d'échantillons ou de cernes est en deçà des recommandations, mais il ne faut pas exclure malgré tout la possibilité de nouvelles acquisitions dendrochronologiques. En effet, même si la datation d'un individu isolé présente un risque statistique élevé, il peut être daté lorsque le bois présente un nombre de cernes important.

Une fois l'échantillon préparé, les épaisseurs de ces cernes sont mesurées. Pour ce faire, beaucoup de dendrochronologues utilisent une loupe binoculaire et une chaîne de mesure reliée à un ordinateur. Cette technique, rapide et précise, permet une mesure au 1/100e de mm.

Lorsque l'objectif de l'étude est de dater les séries dendrochronologiques, celles-ci sont standardisées. Les séries brutes sont transformées en indices de dimension uniforme afin de : minimiser les fluctuations de croissance liées au développement des arbres et mettre en évidence celles associées au climat ; rendre comparables des séries d'âges différents (Lambert et coll., 1988 ; Lambert, 2006). Par exemple, la tendance normalement dégressive des séries dendrochronologiques est rectifiée afin de rééquilibrer le rapport entre les cernes, normalement plus larges, mesurés près de la moelle de ceux, plus étroits, mesurés vers l'écorce. Il existe différents types de standardisation[5], qui ont chacune leurs avantages ou leurs inconvénients et traduisent aussi un état de la recherche. Lorsque l'étude dendrochronologique concerne l'environnement dans lequel les arbres ont poussé, le travail sur des données non standardisées s'avère fréquemment pertinent (cf. 3.3 et 4.1).

5 - Standardisation par une fonction logarithmique, par une moyenne mobile (tel le « E de Besançon », « E » pour exception) ou par un polynôme (tel que le « Corridor »).

La part la plus importante de l'analyse dendro-archéologique est consacrée à la comparaison statistique et graphique des séries de cernes. Les tests de synchronisation consistent en des comparaisons pas à pas (pas de temps annuel), sous forme de calculs de corrélation entre séries. Tous les tests utilisés en dendrochronologie sont issus du domaine de la statistique et des logiciels permettent, aujourd'hui, de les exécuter rapidement.

Le coefficient de corrélation (r) indique la concordance entre les valeurs, les sens de variation et les pentes interannuelles de deux courbes comparées. Il est intégré au test de Student (t), qui exprime le degré d'affinité entre ces deux courbes. En dendrochronologie, pour être acceptable, une datation doit être accompagnée de bons résultats statistiques et de concordances graphiques, mais doit également être répliquée sur plusieurs chronologies de référence pour être assortie d'un niveau de sécurité élevé dans le calcul. Chaque laboratoire ou bureau d'étude possède ses propres valeurs seuils. Cependant, les outils statistiques ne font pas tout et le contexte archéologique doit être pris en compte. Enfin, l'expérience du dendrochronologue, lors de l'examen

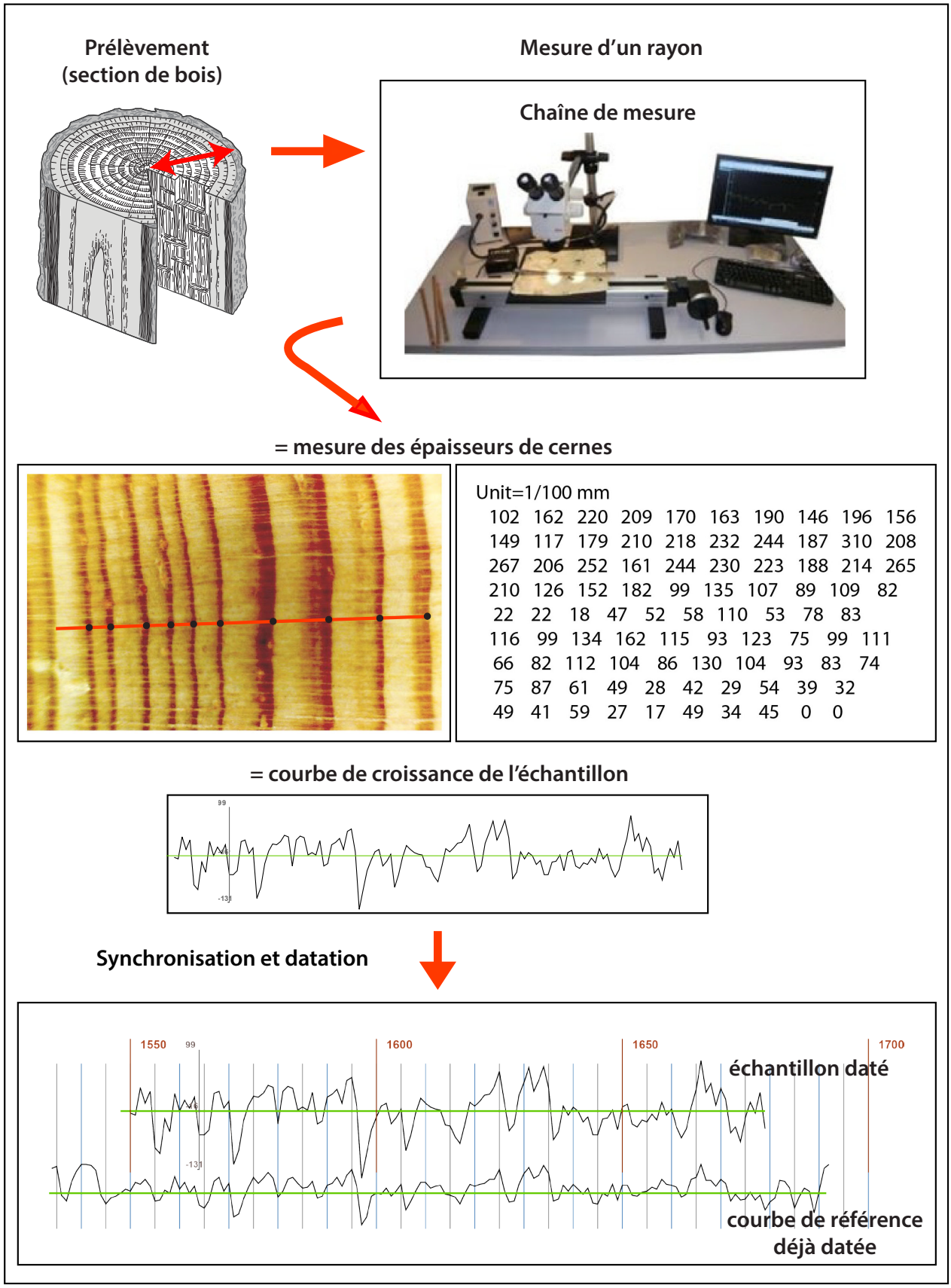


Fig. 1 - Principes de la mesure et de la synchronisation en dendrochronologie.

visuel des courbes de croissance, reste primordiale avant toute acquisition définitive.

2.3 Les chronologies de référence

Les référentiels, qui sont généralement des chronologies de largeur de cernes réalisées pour une région climatique donnée (mettant en évidence un signal commun), permettent de dater de nouvelles séries dendrochronologiques (Kaennel & Schweingruber, 1995, p. 218). Assemblés de proche en proche, certains référentiels remontent très loin dans le temps ou couvrent de larges zones géographiques : le référentiel *Historic oaks* regroupe ainsi plusieurs centaines de séries de chêne du centre et du nord de la France (Lambert, 2006 et 2011). Lorsqu'un lot de bois est corrélé avec une chronologie de référence locale, il a vocation à l'intégrer. Par conséquent, les chronologies de référence sont vouées à s'étoffer régulièrement. De même, il peut arriver qu'une chronologie de référence soit décomposée en plusieurs sous-groupes suivant une problématique de recherche particulière[6].

6 - Séries de bois aux croissances spécifiques, de contextes particuliers, de périodes précises, etc.

La construction de chronologies de référence est liée aux études ou aux découvertes de bois, réparties de manière inégale sur le territoire français. Ainsi, les zones géographiques faisant l'objet de beaucoup d'études archéologiques et patrimoniales donnent matière à de nombreuses recherches dendrochronologiques et sont donc bien représentées par les chronologies de référence. De plus, les périodes chronologiques couvertes par les référentiels dépendent de l'ancienneté des pièces de bois étudiées et sont liées à leurs conditions de conservation[7]. En France, l'Antiquité tardive et le haut Moyen Âge sont des périodes encore peu représentées du fait du manque de découvertes de bois pour ces époques, mais de nouveaux sites documentés pour ces périodes et l'apport d'un premier référentiel pour l'ouest de l'Europe (Est de la France, Belgique, Pays-Bas, Suisse et Ouest de l'Allemagne) ouvrent de nouvelles perspectives (Rzepecki et coll.,2019, p. 20-28).

7 - Les bois les plus anciens sont généralement retrouvés dans des milieux humides ou sous forme carbonisée.

Par ailleurs, la couverture géographique et chronologique des référentiels est également liée à certaines essences. En France, le chêne est très bien représenté, car il est largement disponible sur le territoire et a amplement été exploité par les populations humaines, pour ses bonnes propriétés mécaniques, sa durabilité (Rival, 1990, p. 56) et ses qualités calorifiques (Théry-Parisot, 2001, p. 16-19) [fig. 2]. Néanmoins, le chêne n'est pas la seule essence qui est étudiée par la dendrochronologie et il existe également des chronologies de référence pour le hêtre[8] (Bourquion-Mignot & Girardclos, 2001 ; Labbas, 2018), le châtaignier (Belingard et coll., 2010, p. 151-158) et pour les conifères comme le sapin, le mélèze, les pins et l'épicéa (Belingard et coll., 2019 ; Shindo et coll., 2017), que l'on trouve essentiellement dans les espaces montagnards du Jura, du Massif central, des Alpes, des Pyrénées[9] (Gonin et coll., 2014) et de la Corse. Ces essences ont été largement exploitées aussi bien en altitude que dans les territoires proches ou importateurs de bois (cf. 4.2).

8 - Notamment la chronologie du hêtre de la forêt d'Iraty. Le hêtre est essentiellement connu en tant que bois combustible, mais il est parfois utilisé comme bois d'œuvre (fig. 4). Le hêtre fait actuellement l'objet de recherches dendrochronologiques et anthracologiques dans les Pyrénées centrales, dans le cadre d'une thèse de doctorat conduite par Léonel Fouedjeu Foumou (sous la direction de Didier Galop et Vanessa Py-Saragaglia).

9 - Des peuplements de sapins existent également, à basse altitude, par exemple sur le piémont pyrénéen (voir notamment Gonin et coll., 2014).

Actuellement, on peut estimer que plusieurs milliers de bois sont analysés annuellement en France par les acteurs de la dendro-archéologie, au sein des laboratoires publics de recherche et des bureaux d'étude [fig. 3]. Ces derniers produisent la majorité des données, en matière de mesures de croissance et de datations. Si l'archéologie préventive est un moteur important de l'activité, ce sont les chantiers de restaurations du patrimoine qui génèrent le plus grand nombre d'études dendrochronologiques, et, dans une moindre mesure, les découvertes issues des fouilles sédimentaires.

Fig. 2 - Carte des principales aires de distribution actuelles des essences analysées par dendrochronologie en France. D'après les données disponibles sur le site EUFORGEN *(European Forest Genetic Resources Programme)* (http://www.euforgen.org/)

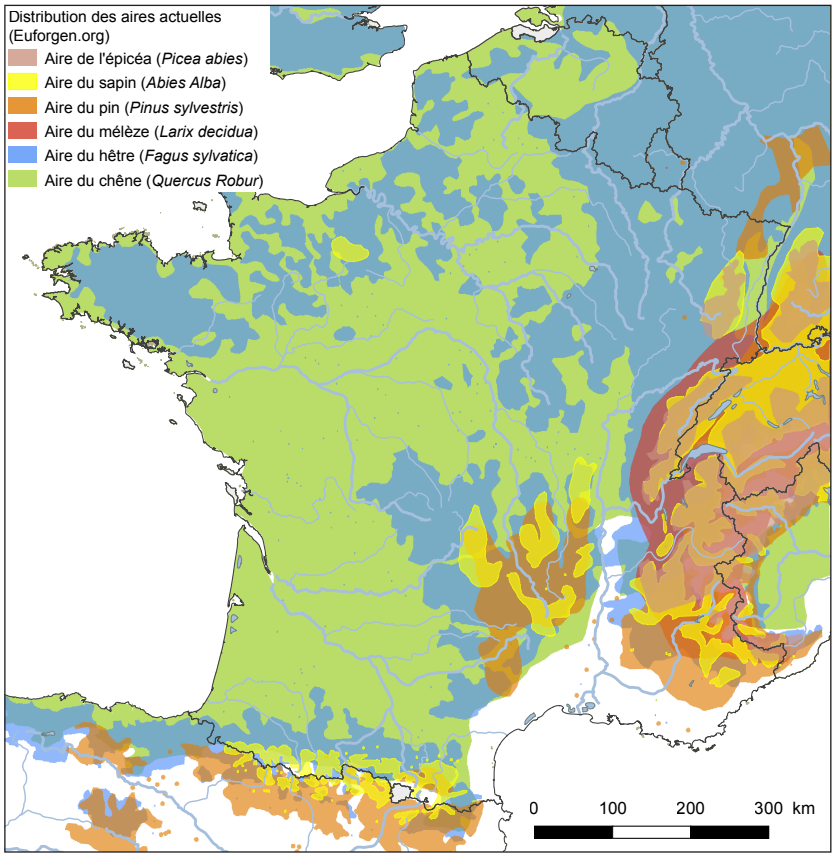
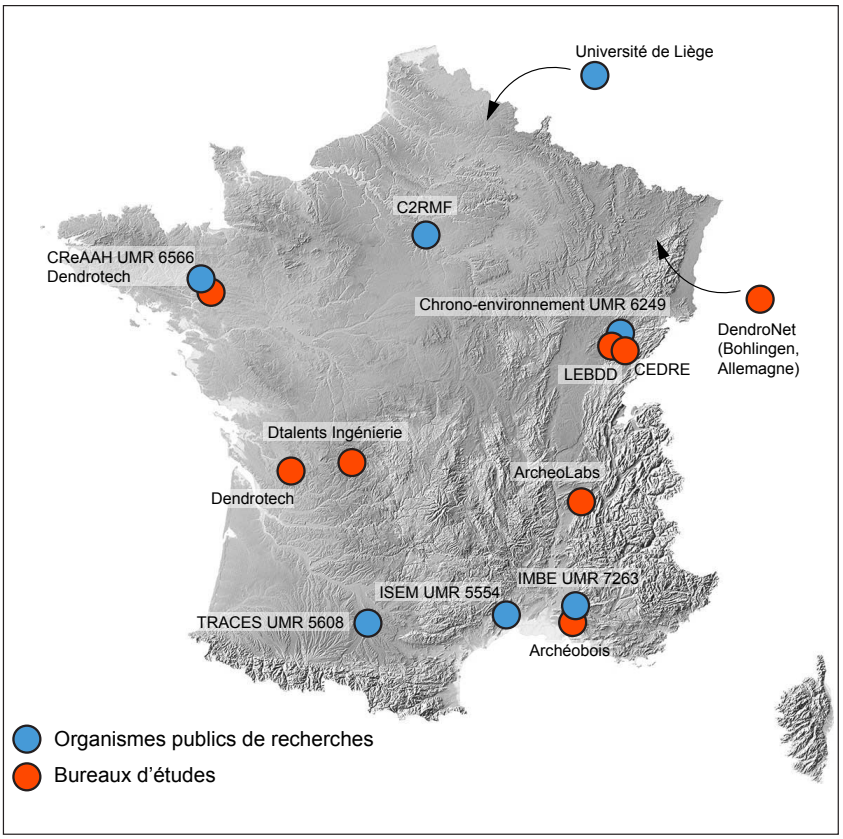


Fig. 3 - Carte de répartition des principaux laboratoires de recherche et bureaux d'étude travaillant en France dans le domaine de la dendrochronologie.



3. La sélection du bois

La sélection d'un arbre par l'homme, qu'elle soit occasionnelle, opportuniste, intensive ou raisonnée, est toujours régie par différents critères, que ce soit la destination des bois (bois d'œuvre, bois de feu), l'accès à la ressource ou sa disponibilité. Le choix d'un arbre est motivé par son essence (qualités mécaniques, calorifiques, voire esthétiques), sa morphologie (dimension, configuration particulière) et sa croissance (type de peuplement). Quel que soit la provenance du produit choisi (futaies, haies, taillis, forêts anciennes), il nécessite des transformations plus ou moins élaborées selon sa destination.

3.1. Les choix selon l'essence

La détermination de l'espèce, ou du moins du genre, est une étape incontournable de l'analyse dendrochronologique. L'échantillon prélevé est soumis à l'observation des plans transversal, tangentiel et radial, qui permettent d'identifier l'essence, voire l'espère. Cette détermination se base sur des critères d'identification anatomique et nécessite le recours à des collections et des atlas de référence (Jacquiot, 1955 ; Jacquiot et coll., 1973 ; Schweingruber, 1990 ; Gale & Cutler, 2000). La reconnaissance des essences exploitées soulève la question des critères de sélection, voire de la valorisation d'une essence par rapport à une autre. Plusieurs facteurs sont à prendre en compte comme la destination du bois, selon ses usages multiples ou spécifiques, et sa disponibilité.

La finalité du bois conditionne donc en grande partie sa sélection. Dans le cas d'un usage comme combustible, les essences privilégiées, si bien sûr elles sont disponibles pour les populations qui les exploitent, sont celles présentant un bon rapport calorifique. S'il s'agit de bois d'œuvre, les arbres sélectionnés sont ceux présentant de bonnes résistances mécaniques pour l'architecture et les dimensions recherchées. Dans le cas de façonnage d'objets, ce sont les qualités esthétiques ou de durabilité qui sont privilégiées. Des critères de robustesse et d'imputrescibilité sont également pris en compte pour la réalisation, par exemple, de coffrages de sépulture [fig. 4]. Au sein d'une même forêt, plusieurs espèces peuvent être employées, chacune pour un usage précis. Leur exploitation est fréquemment soumise à une réglementation, du moins pour certaine période historique, notamment pour le bas Moyen Âge (Verna, 2001 ; Py-Saragaglia et coll., 2019).

L'accès à la ressource contraint également la sélection des essences selon l'aire géographique exploitée (plaine, vallée, montagne). Les conifères, plus disponibles en altitude qu'en plaine, sont généralement plus exploités en moyenne et haute montagne que les feuillus. Le schéma inverse peut également être observé pour certains feuillus, notamment le chêne, plus largement disponible sur l'ensemble du territoire (Bary-Lenger & Nebout, 1993, p. 27-31) (cf. 2.3). Dans d'autres cas, ce sont à la fois les ressources d'altitude et de plaine qui peuvent être exploités, du fait d'une situation géographique particulière ; on exploite alors autant de conifères que de feuillus (Blondel & Girardclos, 2018, p. 17-33).

Même si l'accès à la ressource conditionne en partie la sélection des essences exploitées, certaines barrières peuvent être franchies grâce à la mise en place de circuits d'approvisionnement complexes et diversifiés permettant l'acheminement de la matière bois, parfois sur de longue distance (cf. 4.1). Dans ce cas, la disponibilité de certaines essences n'est plus un frein à leur exploitation. La sélection, pour les raisons évoquées précédemment, constitue alors un critère supérieur à celui de l'accès à la ressource bois.

Fig. 4 - Planches de chêne et de hêtre employées en coffrage de sépulture au début du XIIIe siècle, à Rieumes en Haute-Garonne (Labbas, 2018). En haut et en bas à gauche : cliché d'une planche de hêtre en cours de fouille (Alexis Corrochano, Éveha, 2018). À la même période, l'usage conjoint du hêtre et du chêne est également constaté pour coffrer des sépultures à l'Abbaye de Nivelles, en Belgique (Fraiture & Weitz, 2019).

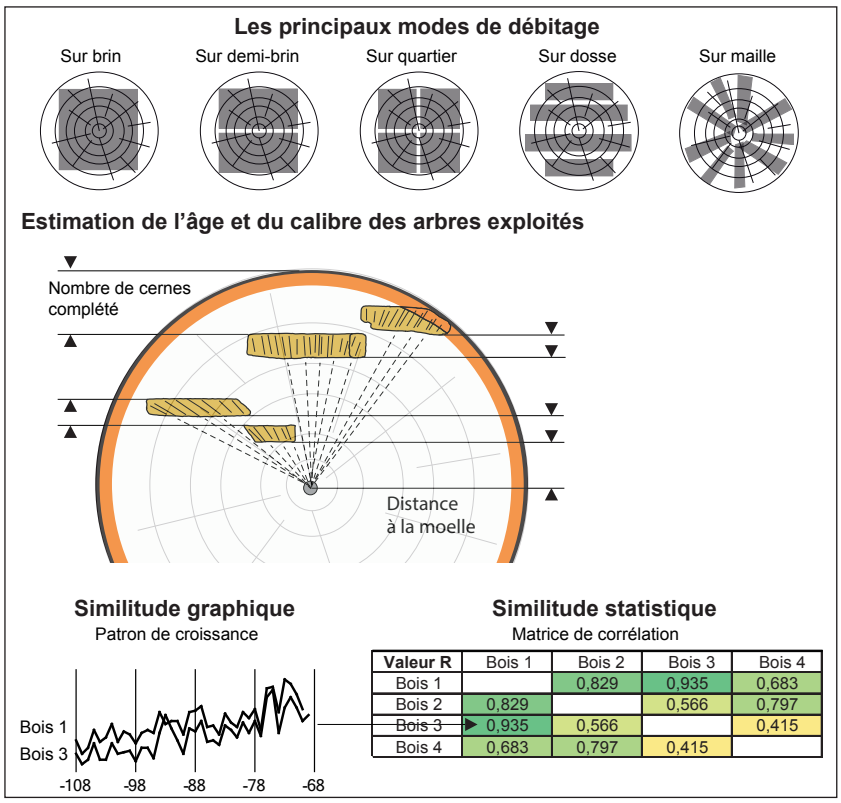
3.2. La morphologie du bois : les critères de sélection

Au-delà de l'espèce, la morphologie de l'arbre est un autre critère de sélection très important. Le calibre constitue l'un des principaux facteurs de sélection d'un spécimen en forêt (et ses possibilités morpho-techniques), mais également la longueur de son fût et son aspect rectiligne ou tors dans le cas d'usages spécifiques, par exemple pour la construction navale (Pomey & Rieth, 2005, p. 23).

Pour appréhender ce critère de sélection, il est primordial de restituer la forme originelle des arbres exploités. En effet, les bois archéologiques sont le plus souvent travaillés, et leur forme initiale n'est pas toujours évidente à restituer selon leur degré de débitage et de façonnage. Même si un arbre n'est jamais parfaitement circulaire, les rayons ligneux sont un bon indicateur pour restituer le calibre des bois exploités, dans le cas des feuillus[10]. En effet, la croissance d'un arbre induit le développement de rayons ligneux de la moelle vers la périphérie de l'arbre. Ils ont une fonction de conduction de la sève, de soutien mécanique du tronc (ou de la « tige ») et de stockage de substances chimiques (Barbe & Keller, 1996, p. 63-68). Au-delà de ces composantes anatomiques, les rayons ligneux permettent d'estimer le calibre des bois façonnés ou équarris pour qui la moelle est absente, comme dans le cas de débitage sur dosse, sur quartier et sur maille [fig. 5]. Cette approche s'applique à partir de la convergence des rayons ligneux vers la moelle supposée (Applequist, 1958, p. 151 ; Rozas, 2003, p. 192-212) et a été éprouvée dans plusieurs études de cas, notamment à Biesheim (Haut-Rhin), à Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme) ou encore à Bibracte (Saône-et-Loire) (Girardclos & Petit, 2011, p. 361-382 ; Blondel & Girardclos, 2018, p. 17-33 ; Blondel & Fochesato, 2018, p. 649-654).

10 - Pour les conifères ce sont principalement les cernes de croissance qui sont utilisés pour restituer le diamètre de l'arbre.

Pour être complète, cette analyse doit être couplée avec celle de l'estimation de l'âge des arbres abattus. Ce dernier est calculé à partir des largeurs moyennes des premiers cernes conservés et de la distance à la moelle estimée



Valeur R	Bois 1	Bois 2	Bois 3	Bois 4
Bois 1		0,829	0,935	0,683
Bois 2	0,829		0,566	0,797
Bois 3	0,935	0,566		0,415
Bois 4	0,683	0,797	0,415	

Fig. 5 - Approche méthodologique employée à partir des bois archéologiques pour restituer le calibre et l'âge des arbres exploités selon leur mode de débitage et exemple de forte similarité graphique mise en perspective au sein d'une matrice de corrélation. (D'après Blondel & Girardclos, 2018)

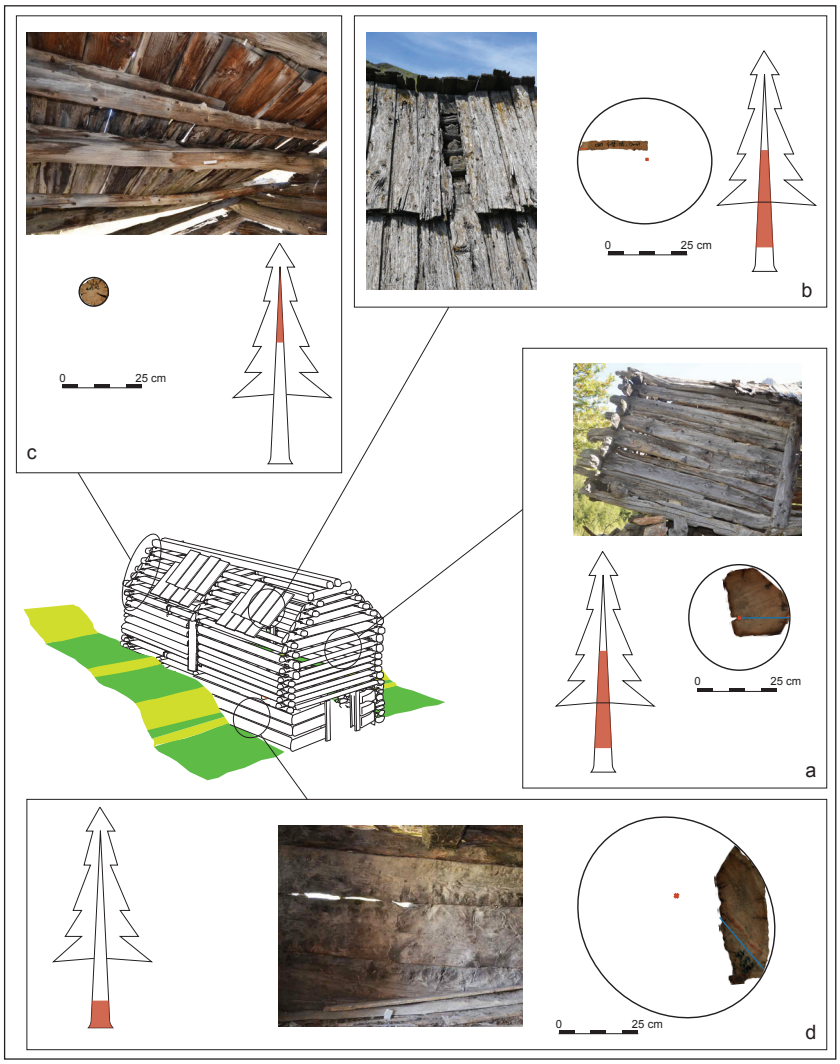


Fig. 6 - Exemple de la sélection du calibre et des parties de l'arbre employé dans les granges subalpines médiévales et modernes, dans la vallée de la Tinée (massif du Mercantour, Alpes françaises). La majorité des pièces de bois, comme les mailles horizontales (a) et les bardeaux (b), est débitée dans la bille des mélèzes (*Larix decidua* Mill.) qui est aussi une partie des arbres exportée vers les plaines. Dans les espaces de montagne, toutes les parties de l'arbre sont utilisées. Les houppiers, non commercialisés et souvent laissés sur place en forêt, sont localement employés dans les pannes des toitures et les sablières supérieures des granges (c). La base des troncs est également une partie non exportée (effet d'empâtement), mais elle est parfois utilisée pour réaliser de larges mailles horizontales dans la partie basse des granges (d). (D'après Labbas, 2016)

(Blondel & Girardclos, 2018, p. 21-22). L'âge des arbres n'est certes pas un critère de sélection en forêt, où le calibre reste l'un des principaux facteurs, mais le rapport âge-calibre permet, d'une part, de percevoir le degré de sélection des arbres exploités et, d'autre part, de renseigner l'état des forêts, afin de mesurer l'impact de l'homme sur ces espaces. Si les arbres sélectionnés présentent des âges et des calibres en nette diminution, cela signifie que leur exploitation est supérieure à leur régénération. En revanche, si l'âge est en diminution alors que les calibres restent stables, la forêt est exploitée de manière « raisonnée », les calibres sélectionnés correspondant toujours aux besoins. Enfin, l'observation de calibres inférieurs à la tendance rencontrée dans les exemples précédents, au regard d'âges relativement importants, est révélateur d'une forêt encore inexploitée jusque-là. Lorsque les forêts sont disponibles dans un périmètre proche du chantier de construction, la sélection des arbres, bien qu'opportuniste, révèle aussi une rationalisation des usages (Labbas & Shindo, 2018) [fig. 6].

3.3. Les types de peuplements exploités

Un arbre constitue une archive naturelle qui livre aussi des informations concernant son environnement, selon le milieu dans lequel il évolue. Son patron de croissance enregistre son histoire, ses stigmates, la compétition entre individus, les pratiques d'exploitation, les changements climatiques et, bien sûr, le type de peuplement dont il est issu[11] (Bépoix & Richard, 2019). Pour émettre des hypothèses sur la structure des forêts, il faut trouver des similarités entre des modèles de croissance[12] et des groupes de séries de bois archéologiques. Les paramètres enregistrés sont les suivants : âges cambiaux et leur distribution en classes d'âge, relation entre âge cambial et diamètre, variations de la croissance radiale et rapport aubier-duramen (Billamboz, 2010). D'autres paramètres renseignent également les types de forêts exploitées, tels que les essences des arbres sélectionnés par les populations humaines (cf. 3.1), les « signatures » dans les séries élémentaires (par ex. séquences de cernes minces) et l'épaisseur moyenne des cernes (Billamboz & Martinelli, 2015 ; Martinelli, 2013 ; Haneca et coll., 2005). En effet, le calibre et l'essence ne sont pas les seuls critères de sélection d'un arbre (cf. 3.1 et 3.2.), la croissance pouvant aussi conditionner ce choix. Ainsi, certaines productions artisanales ou industrielles privilégient des arbres à croissance régulière et lente, facilitant leur débitage (notamment par fendage) et leur façonnage, par exemple pour la confection de tonneaux ou de bardeaux (Bary-Lenger & Nebout, 1993, p. 169 ; Marlière, 2002, p. 29).

11 - Voir la récente synthèse collective réalisée sur la forêt française pour la période médiévale, sous la direction de Sylvie Bépoix et Hervé Richard.

12 - Ces derniers sont établis à partir d'arbres vivants provenant de différents peuplements connus : haie, futaie, taillis, etc.

D'une manière générale, les séries archéologiques doivent être nombreuses afin de documenter l'environnement du site (Billamboz & Martinelli, 2015). Ainsi, ce sont 2 000 pièces de chêne qui ont été étudiées à Cortaillod-est (Canton de Neuchâtel, Suisse ; Gassmann, 1984), 4 937 au lac de Constance (Bade-Wurtemberg, Allemagne ; Winiger, 2008), 130 troncs dans la tourbière de Brière (Loire-Atlantique ; Girardclos, 1999) et 288 bois pour la ville antique d'Augustonemetum (actuel Clermont-Ferrand, Puy-de-Dôme) mêlant des exploitations autant de chêne que de sapin (Blondel & Girardclos, 2018, p. 17-33).

À partir d'un important corpus de bois datés, issus de nombreux sites, il est également possible d'élargir la réflexion aux pratiques sylvicoles sur un large territoire et de percevoir ainsi des tendances sur les modes d'exploitation, leur évolution au cours du temps et de déterminer des spécificités propres à certaines régions ou en lien avec la culture et l'histoire d'une population. Ces approches ont été réalisées pour le nord-ouest de la Gaule antique, le nord de la France à la fin de La Tène, en Champagne-Ardenne à la transition de la fin de l'âge du Fer et au début de l'Antiquité (Bernard, 2003, p. 77-86 ; Durost & Lambert, 2006 ; Durost et coll., 2008, p 31-50 ; Tegel & Vanmoerke, 2014, p. 177-182) ou encore dans les Alpes du Sud du Xe au XXe siècle (Shindo et coll., 2018).

La sélection de la matière première révèle, en outre, des réseaux d'approvisionnement plus ou moins lointains qui interrogent sur la provenance des arbres et les forêts d'origine des bois d'œuvre.

4. La provenance du bois : des modes d'approvisionnement aux réseaux économiques

La provenance des archéo-matériaux constitue une problématique essentielle des recherches archéologiques actuelles. Résoudre la question de la provenance d'une ressource, d'un matériau ou d'un objet, livre des informations sur sa circulation, les réseaux commerciaux, les échanges entre des territoires, mais également sur l'organisation et les techniques mises en œuvre pour assurer leur acheminement. Elle se structure selon l'accès à la ressource, le profil géographique (altitude, cours d'eau, etc.) et différents circuits d'approvisionnement à plus ou moins longues distances. Cette problématique est aussi l'un des champs de la dendrochronologie appelé « dendro-provenance » ou dendro-provenancing dans sa terminologie d'origine. L'apport de nouvelles analyses, notamment chimiques et isotopiques, permettent aujourd'hui de compléter cette approche.

4.1. La dendro-provenance : une tendance climatique

La dendro-provenance est une méthode développée dans les années 1990 et qui consiste à déterminer l'origine du bois en comparant : des séries de croissance de bois archéologiques entre elles pour établir des groupes d'origine géographique commune ; des séries de bois archéologiques avec celles d'arbres vivants pour localiser les forêts sources (Eckstein et coll., 1986 ; Wazny, 1992 et 2002 ; Haneca et coll., 2005 ; Kuniholm et coll., 2007 ; Bridge, 2012 ; Daly, 2007). Pour comparer ces séries dendrochronologiques, il est courant d'utiliser la valeur *t* de Student. Les valeurs des coefficients de corrélation entre les arbres vivants, dans une forêt source potentielle, peuvent être utilisées comme valeur de référence pour les corrélations avec les bois archéologiques (Haneca et coll., 2005) (cf. 4.2).

Une autre possibilité consiste à construire un modèle à partir d'arbres vivants pour comparaison de certains paramètres (tel que la largeur moyenne des cernes de croissance et la sensibilité moyenne) avec des bois archéologiques (Eiβing & Dittmar, 2011). Enfin, dans le domaine de la dendro-provenance, les études interdisciplinaires basées sur des sources historiques et archéologiques sont riches d'informations sur l'approvisionnement en bois, les routes commerciales, l'intensité du commerce du bois, et permettent de corroborer les résultats statistiques. Parfois, le croisement de ces différentes sources permet de mettre en évidence plusieurs zones d'approvisionnement. Ainsi, les conifères employés dans le bâti d'Aix-en-Provence aux XVe-XVIe siècles sont issus de quatre vallées alpines (Grand-Buëch, Haute-Durance, Ubaye, Bléone), mais également du Verdon et des Alpes françaises du nord (Bernardi, 1995 ; Shindo & Claude, 2019). Dans ce cas, les sources d'approvisionnement sont plus vastes que celles suggérées par les textes. En plus des sources textuelles et des corrélations dendrochronologiques, les observations archéologiques renseignent également sur la provenance des bois[13] (traces de fixation, marques marchandes, etc.) (Bouticourt, 2016 ; Eiβing, 2009 et 2016).

Dans la mesure où la détermination de la provenance possible d'un bois ou d'un ensemble de bois repose sur la robustesse des chronologies de référence et leur « profondeur chronologique[14] », il s'agit dans la plupart des cas de formuler une hypothèse ou une tendance liée à un signal climatique commun, qui doit être discutée grâce à l'apport d'autres sources et de nouvelles données. Pour que cette démarche soit optimale, le maillage dendrochronologique doit être important sur un territoire ou une région.

13 - Des traces de fixation des grumes entre elles ont été reconnues qui attestent de leur transport sous forme de radeaux sur les cours d'eau (Bouticourt, 2016). Des marques laissées par les marchands de bois sur les grumes permettent également d'identifier leur provenance, leur destination, ou encore un objectif comptable (Eiβing, 2009 ; Eiβing, 2016).

14 - Nombre de cernes documenté pour une même année au sein des référentiels. Plus le nombre de séries est important, plus la couverture chronologique est dite « profonde ».

Ainsi, plus le nombre de références de sites est important sur une même zone géographique, plus il est possible de mettre en évidence un signal climatique commun. Il reste malgré tout difficile, dans l'état actuel de la discipline, de localiser précisément l'origine d'un bois ou d'un arbre. Ce dernier est soumis à un signal commun, propre à sa région climatique, qui permet au moins de déterminer approximativement son origine. Cependant, d'autres approches complémentaires de celles décrites précédemment sont en développement, comme les analyses chimiques, par exemple (cf. 4.3).

4.2. De l'abattage aux pôles de consommation

L'exploitation d'arbres issus d'une même forêt, d'espaces forestiers proches ou très différents, interroge sur les stratégies de collecte en bois, les circuits d'approvisionnement et l'origine géographique des bois à courte, moyenne ou longue distance. Cette approche s'appuie sur le signal climatique mis en évidence par la ressemblance graphique des courbes de plusieurs séries de croissance (cf. 4.1.), mais surtout sur les calculs statistiques et les coefficients de corrélation déjà évoqués (cf. 2.3).

Cette similarité entre au moins deux individus, mise en évidence à partir des valeurs de corrélation, peut être représentée graphiquement à partir d'une matrice ayant les mêmes entrées en abscisse et ordonnée [fig. 5 et 7]. Selon les valeurs obtenues entre chacune des séries, la matrice de corrélation permet, entre autres, la mise en évidence de l'influence de facteurs environnementaux sur la croissance (Jansma, 1995, p. 57-68 ; Fraiture, 2009, p. 100-202 ; Lambert et coll., 2010, p. 211-214 ; Belingard et coll., 2010, p. 155, Shindo, 2016, p. 410-443). Ainsi, plus les valeurs de corrélation sont élevées, plus le terroir dendrologique est similaire et plus il y a de probabilité d'une origine très proche dans le cas d'arbres issus de mêmes stations forestières, voire de bois issus d'un même arbre (Jansma, 1995, p. 57-68 ; Girardclos & Petit, 2001, p. 369). Dans le cas de valeurs non significatives, les séries de croissance reflètent des origines diversifiées du fait d'approvisionnements issus de différents terroirs, qui peuvent témoigner de distances plus ou moins éloignées du lieu de mise en œuvre. Des analyses de cas ont été réalisées à partir d'arbres vivants pour établir des modèles d'étalonnage entre prélèvements de mêmes arbres, entre arbres de mêmes stations forestières et entre plusieurs stations forestières de mêmes terroirs et d'origines géographiques différentes (Girardclos & Petit, 2001, p. 368-371). Il en résulte, sans équivoque, que

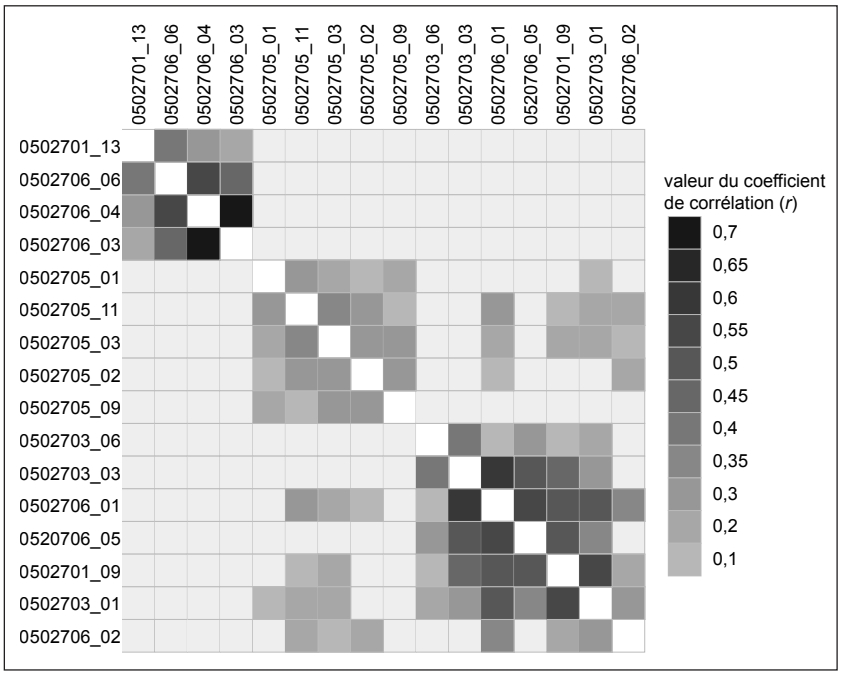


Fig. 7 - Matrice carrée des coefficients de corrélation (*r*) de 16 séries dendrochronologiques datées. Plus la case est foncée, plus la corrélation entre les deux individus concernés est sûre. Matrice automatiquement dessinée par le logiciel Dendron IV (Lambert, 2006). (D'après Shindo, 2016).

plus les corrélations sont importantes, plus la proximité entre individus est perceptible, notamment par des niveaux hydriques et trophiques proches ou équivalents. Cependant, chaque zone géographique (ou terroir dendrologique) étudiée doit présenter des particularités qu'il faut discriminer afin d'affiner les interprétations sur les pratiques d'approvisionnements et l'origine des bois.

Ces orientations conduisent, en fonction des contextes, à proposer des provenances à plusieurs échelles, celle d'une localité, d'une région ou de grands territoires. Parmi les trois cas de figure envisagés – courte, moyenne et longue distance – ce qui est recherché est la mise en évidence des circuits d'acheminement de la ressource bois, mais aussi des réseaux commerciaux. Dans le cas de stratégies d'approvisionnement à courte distance, les matrices de corrélation, déjà évoquées (cf. 4.1.), permettent de révéler des terroirs similaires ou très proches, probablement à l'échelle d'une ou plusieurs forêts. La distance entre le lieu de collecte et celui de mise en œuvre est donc, dans ce cas, relativement courte, comme sur le site antique de Biesheim (Girardclos & Petit, 2011, p. 361-382) ou pour des constructions médiévales et modernes en contexte de montagne (Labbas, 2019). L'exploitation de plusieurs essences sur une même localité présuppose la mise en place de circuits plus complexes, entre plusieurs terroirs, autant en plaine qu'en altitude, comme dans le cas de l'usage conjoint de feuillus et de conifères (cf. 3.1). En effet, certaines localités offrent des situations privilégiées permettant un accès à une ressource en bois diversifiée, issue de plusieurs aires de distribution, et suggère des zones de collecte en altitude puis une redistribution en plaine, vers les principaux pôles de consommation. On observe ces redistributions, notamment autour des agglomérations et ce pour toutes les périodes, avec les exemples antiques d'*Augustonemetum* et de *Vienna* (Vienne, Isère) (Blondel & Girardclos, 2018, p. 17-33 ; Clément & Blondel, 2019, p. 27-49), mais aussi avec l'exemple d'Aix-en-Provence déjà évoqué. Enfin, le commerce de bois peut aussi être mis en évidence sur de très longues distances (plusieurs centaines de kilomètres), dans de grandes métropoles ou pour de grands projets architecturaux (ponts, aqueducs, édifices religieux) pouvant nécessiter d'importantes quantités de bois disponible ou non sur place, ou ne correspondant pas à la demande en quantité et en qualité. Ces cas de figure nécessitent des approvisionnements auprès de plusieurs aires de collecte, parfois à très longues distances, comme cela a récemment été mis en évidence pour l'antique ville de Rome (Bernabei et coll., 2019). Le commerce à longue distance concerne également des usages de bois spécifiques[15] et induit, là encore, des circuits d'approvisionnement particulier.

15 - Il peut s'agir de bois rares ou précieux, comme l'ébène ou d'autres bois exotiques, dont des exemples de diffusion remonte jusqu'à l'Antiquité.

4.3. L'apport des analyses chimiques

La composition isotopique des cernes d'arbres constitue une source d'informations unique, notamment du fait de sa résolution annuelle et de son caractère régional (Daux, 2013, p. 14-22). Elle offre, à ce titre, de nouvelles perspectives pour déterminer la provenance géographique des arbres exploités. Les recherches en biogéochimie isotopique sur le bois sont majoritairement orientées vers des problématiques climatiques et environnementales (Treydte et coll., 2005) et leur application à la provenance géographique reste encore rare, voire au stade d'expérimentation, particulièrement pour les bois archéologiques (Kagawa & Leavitt, 2010, p. 175-183 ; Million et coll., 2018, p. 363-375). Cette approche, apparue aux États-Unis (Université d'Arizona) au début des années 1980, a depuis été approfondie (Leavitt & Long, 1982 et 1991) y compris pour la procédure d'échantillonnage (Leavitt, 2010).

Les isotopes contenus dans les sols et l'eau sont à même d'accroître la précision des terroirs d'origine. Concernant des traceurs géologiques et pédologiques, les rapports isotopiques du strontium suscitent un intérêt considérable en tant qu'outil de géolocalisation et sont maintenant largement appliqués en archéologie. Le strontium est un élément omniprésent dans les roches

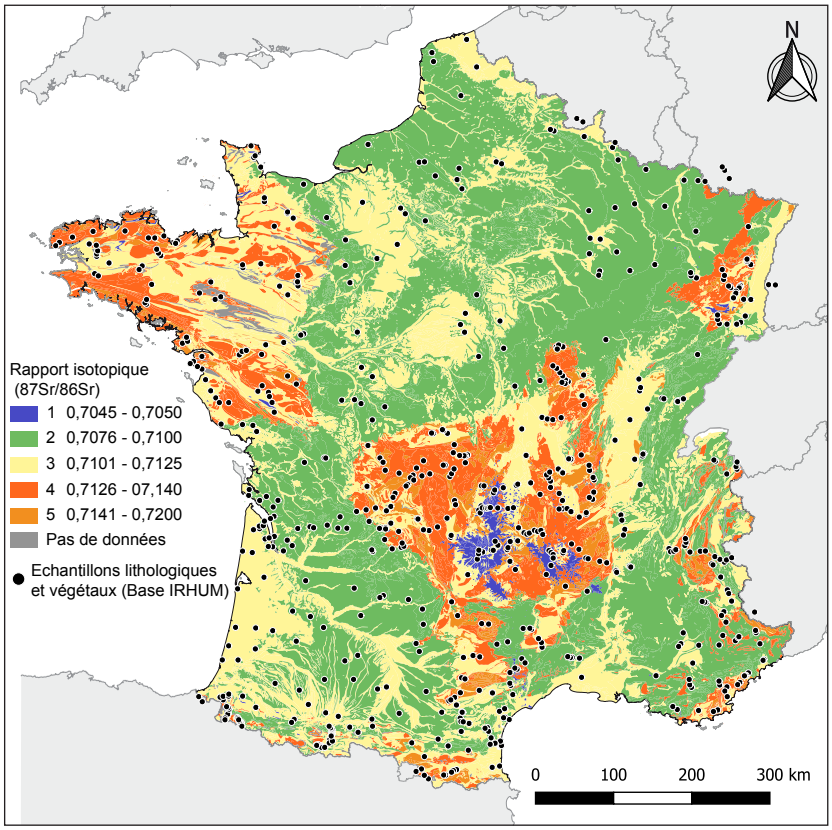


Fig. 8 - Carte de France représentant les contrastes selon les signatures géologiques du strontium. Réalisée à partir d'une classification du ratio isotopique du strontium ($^{87}Sr/^{86}Sr$) en cinq groupes. (D'après Willmes et coll., 2018).

et les sols. Lorsque ces derniers s'altèrent, il est intégré à l'eau par contact puis s'insère dans les tissus des organismes vivants (humains, animaux et végétaux). Ce processus biologique n'affecte pas le ratio isotopique du strontium ($^{87}Sr/^{86}Sr$) : la composition isotopique du strontium des plantes est à l'image de celle du sol sur lequel elles se développent et de l'eau qu'elles absorbent (Hajj et coll., 2017). L'intérêt croissant pour l'application du ratio87Sr/86Sr en tant qu'outil de géolocalisation réside principalement dans son modèle unique de variation géographique (Bataille et coll., 2018). Aujourd'hui, plusieurs universités contribuent à la difficile création d'un référentiel de signatures isotopiques du strontium : 1 400 sites géoréférencés en France, en Grande-Bretagne, aux Pays-Bas, en Allemagne et au Danemark permettent de cartographier 2 551 analyses isotopiques de strontium (Willmes et coll., 2018 ; Bataille et coll., 2018). Cependant, à ce stade, il apparaît nécessaire de multiplier les expérimentations pour fiabiliser et affiner la précision dans les recherches sur la provenance des archéo-matériaux et, en particulier, du bois. La signature géologique du strontium peut largement se révéler identique d'un espace à un autre si la lithologie s'avère similaire, mais offre un fort potentiel dans le cas de sols contrastés [fig. 8]. Il est donc primordial que ces nouvelles approches se conjuguent avec celles de la dendro-provenance afin de mieux orienter les analyses et les interprétations qui en découlent.

5. Conclusion

La dendrochronologie est une discipline en développement constant, principalement depuis le début des années 2000 et dont les frontières sont constamment repoussées (Čufar, 2007 ; Büntgen, 2019 ; Pearl et coll., 2019). En archéologie, la dendrochronologie permet d'ancrer chronologiquement les sites, de contextualiser les occupations et de renseigner, pour partie, les usages et les chaînes opératoires. Elle renseigne également sur l'impact des sociétés humaines sur leur environnement et sur les stratégies d'approvisionnement mise en place à différentes distances. Si les outils

dont dispose le dendrochronologue sont robustes pour contribuer à dater des évènements contextualisés et accroître « la résolution temporelle », ils permettent d'autres analyses au-delà de l'acquisition chronologique. La réflexion autour de la sélection des arbres, que ce soit par leur essence, leur morphologie ou leur croissance, permet d'éclairer les pratiques de collecte et de renseigner l'état des forêts au cours du temps. L'enjeu actuel, dans une problématique plus large autour de l'accès à la ressource et de l'organisation des territoires, s'oriente sur la provenance des ressources forestières et leur localisation au sein d'un terroir. Même si l'apport de la dendrochronologie est incontournable dans cette recherche, le concours d'autres sources est essentiel : archéologique, historique ou encore géochimique. Dans ce cadre, les informations contenues dans les isotopes sont précieuses pour déterminer des signatures géologiques, altitudinales, mais aussi les pollutions qui traduisent autant les circuits commerciaux empruntés par le bois que les diverses activités économiques (industrielles parfois) au contact des forêts d'où proviennent les bois. Ces différentes disciplines se conjuguent autour d'une même réflexion qui offre de nouvelles perspectives, autant pour l'histoire des forêts et de son économie que pour les enjeux actuels de la ressource bois.

Parallèlement aux enjeux strictement scientifiques, l'archivage des données dendrochronologiques doit constituer une préoccupation essentielle. En premier lieu, les échantillons doivent être conservés dans des conditions adéquates et avoir un statut spécifique comme archive bioachéologique[16]. Pour le moment, plusieurs centres de conservation et d'étude archéologique (CCE) s'ouvrent à la conservation des bois archéologiques, dont les échantillons dendrochronologiques font partie. On peut citer ici la dendrothèque régionale des Milles à Aix-en-Provence, mise en place par le service régional de l'archéologie de Provence-Alpes-Côte d'Azur en collaboration avec le CNRS (Suméra, 2019, p. 11). Pour être conservés, les bois gorgés d'eau sont souvent imprégnés de résine ce qui empêche certaines analyses chimiques ultérieures (Chaumat et coll., 2007, p. 169-177). Une réflexion doit donc être menée en amont de ce type de conservation. En second lieu, il est aussi nécessaire de prendre en compte la conservation des séries de largeurs de cernes, sous un format numérique le plus universel possible (par ex. au format TXT). Actuellement, la Digital collaboratory for cultural Dendrochronology (DCCD)[17], basée aux Pays-Bas, est la seule base de données dendro-archéologiques publiques européennes (Jansma et coll., 2012, p. 249-251). En France, même si la recherche dendrochronologique est dynamique, notamment grâce à l'échange de données entre les différents bureaux d'étude et laboratoires, il n'existe pas encore de base de données uniforme, pérenne et publique qui servirait à l'ensemble de la communauté nationale.

16 - Cf. Norme AFNOR « Conservation du patrimoine culturel – Lignes directrices pour la gestion du bois gorgé d'eau sur les sites terrestres présentant un intérêt archéologique » (PR NF EN 16873, décembre 2016).

17 - https://dendro.dans.knaw.nl/

Bibliographie

Applequist, Martin Benjamin. (1958). A simple pith locator for us with off-center increment cores. *Journal of Forestry*, *56*, 141.

Bannister, Bryant, Hasting, Robert E. & Banister, Jeff. (1998). Remembering in Douglass A.E. *Journal of the southwest*, *40 (3)*, 307-318. Disponible en ligne sur <https://www.jstor.org/stable/4017011> (consulté le 7 décembre 2020).

Barbe, Christophe & Keller, René. (1996). Les rayons ligneux et le matériau bois. *Revue Forestière Française*, *48 (1)*, 63-68. <https://doi.org/10.4267/2042/26729>.

Bary-Lenger, Anne & Nebout, Jean-Paul. (1993). *Les chênes pédonculé et sessile en France et Belgique*. Alleur-Liège : Éditions du Perron. 604 p.

Bataille, Clément P., Von Holstein, Isabella C. C., Laffoon, Jason E., Willmes, Malte, Liu, Xiao-Ming & Davies, Garets R. (2018). A bioavailable strontium isoscape for Western Europe: A machine Learningapproach. *PLOS ONE, 13 (5)*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0197386>.

Belingard, Christelle, Édouard, Jean-Louis, Guibal, Frédéric, Petitcolas, Véronique, Labbas, Vincent, Miramont, Cécile… Tessier, Lucien. (2019). État des référentiels dendrochronologiques publics de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Dans L. Shindo, J.-L. Edouard, F. Suméra, M. Bailly & A. Hartmann-Virnich (dir.), *ARCADE. Approche diachronique et Regards croisés : Archéologie, Dendrochronologie et Environnement* (p. 205-207). Aix-en-Provence : Drac de Provence-Alpes-Côte d'Azur. Disponible en ligne sur <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02144014> (consulté le 7 décembre 2020).

Belingard, Christelle, Paradis-Grenouillet, Sandrine, Rouand, Romain & Allée, Philippe. (2010). Exploitation à visée archéo-environnementale des patrons de croissance des bois prélevés pour la datation du bâti. Le cas des châtaigniers de la grange ovale de Saint-Eloy-les-Tuileries, Corrèze. Dans L. Astrade & C. Miramont (dir.), *Panorama de la dendrochronologie en France* (Collection EDYTEM, 11, p. 151-158). Mauguio : Laboratoire Edytem. Disponible en ligne sur <https://www.persee.fr/doc/edyte_1762-4304_2010_num_11_1_1161> (consulté le 7 décembre 2020).

Bépoix, Sylvie & Richard, Hervé (dir.). (2019). *La Forêt au Moyen Âge*. Paris : Les Belles Lettres. 424 p.

Bernard, Vincent, Billard, Cyrille, Jaouen, Gwenaëlle & Sands, Rob. (2010). Hétéroconnexions de courtes séries dendrochronologiques et Tracéologie : le cas des bois de pêcheries du début de l'Age du Bronze en baie du Mont-Saint-Michel (Manche). Dans L. Astrade & C. Miramont (dir.), *Panorama de la dendrochronologie en France* (Collection EDYTEM, 11, p. 177). Mauguio : Laboratoire Edytem. Disponible en ligne sur <https://www.persee.fr/doc/edyte_1762-4304_2010_num_11_1_1324> (consulté le 7 décembre 2020).

Bernard, Vincent. (2003). Stratégie d'approvisionnement en bois en Gaule du nord-ouest (du Ier siècle avant au IVe siècle après J.-C.). Dans S. Lepetz et V. Matterne (dir.), *Cultivateurs, éleveurs et artisans dans les campagnes de Gaule romaine* (Revue archéologique de Picardie, 1-2, p. 77-86). Disponible en ligne sur <https://www.persee.fr/doc/pica_0752-5656_2003_num_1_1_2358> (consulté le 7 décembre 2020).

Bernabei, Mauro, Bontadi, Jarno, Rea, Rossella, Büntgen, Ulf & Tegel, Willy. (2019). Dendrochronological evidence for long-distance timber trading in the Roman Empire. *PLOS ONE, 14 (12)*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0224077>.

Bernardi, Philippe. (1995). *Métiers du bâtiment et techniques de construction à Aix-en-Provence à la fin de l'époque gothique (1400-1550)*. Aix-en-Provence : Presses de L'Université de Provence. 500 p.

Billamboz, André & Martinelli, Olivia. (2015). Dendrochronology and Bronze Age pile-dwellings on both sides of the Alps: from chronology to dendrotypology, highlighting settlement developments and structural woodland changes. Dans M. Francesco (dir.), *The end of the lake-dwellings in the circum-alpine region* (p. 68-84). Oxford, Royaume-Uni : Oxbow books.

Billamboz, André. (2010). Dendroarchéologie et écologie des palafittes. Dans S. Payette & L. Filion (dir.), *La dendroécologie* (p. 509-536). Québec : Presses de l'Université de Laval.

Billamboz, André, (2008). Dealing with heteroconnexions and short tree-ring series at different levels of dating in the dendrochronology of the Southwest German pile-dwelling. *Dendrochronologia, 26 (3)*, 145-155. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2008.07.001>.

Blondel, François. (2018). *Approvisionnement et usages du bois en Auvergne, du Second âge du Fer au Moyen Âge* (Thèse de doctorat, Université de Bourgogne Franche-Comté, Dijon). 438 p. Disponible en ligne sur <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-02417482> (consulté le 7 décembre 2020).

Blondel, François, Cabanis, Manon, Girardclos, Olivier & Grenouillet-Paradis, Sandrine. (2018). Impact of carbonization on growth rings: dating by dendrochronology experiments on oak charcoals collected from archaeological sites. *Quaternary International*, *463*, 268-281. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.03.030>.

Blondel, François & Fochesato, Andréa. (2018). L'utilisation du bois d'œuvre sur l'oppidum de Bibracte du IIe au Ier s. ac. J.-C. : mode de débitage et sélection des arbres à partir des approches dendrologique et dendrochronologique. Dans Anne, Villard-le-Tiec (dir.), *Architecture de l'âge du Fer en Europe occidentale et centrale. Actes du 40e colloque international de l'AFEAF, Rennes 4-7 mai 2016* (p. 649-654). Rennes : Presses Universitaires de Rennes.

Blondel, François & Girardclos, Olivier. (2018). Approche dendroarchéologique de l'approvisionnement de la ville antique d'*Augustonemetum* (Clermont-Ferrand – Puy-de-Dôme) en bois d'œuvre et exploitation forestière. *ArcheoSciences*, *42 (1)*, 17-33. <https://doi.org/10.4000/archeosciences.5135>.

Bourquin-Mignot, Christine & Girardclos, Olivier. (2001). Construction d'une longue chronologie de hêtres au Pays basque. La forêt d'Iraty et le Petit Âge Glaciaire. Dans D. Galop & J.-P. Métailié (dir.), *Sud-Ouest européen, Environnement et anthropisation* (Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest, 11, p. 59-71). Toulouse : Presses universitaires du Midi.

Bouticourt, Emilien. (2016). *Charpentes méridionales. Construire autrement : le Midi rhodanien à la fin du Moyen Âge*. Arles : éditions Honoré Clair. 352 p.

Bridge, Martin. (2012). Locating the origins of wood resources: a review of dendroprovenancing. *Journal of Archaeological Science*, 39 *(8)*, 2828-2834. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2012.04.028>.

Büntgen, Ulf. (2019). Re-thinking the boundaries of dendrochronology. *Dendrochronologia*, *53*, 1-4. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2018.10.012>.

Burri, Sylvain, Labbas, Vincent & Bernardi, Philippe. (2019). De la forêt au bâtiment. Approche pluridisciplinaire des couvertures de bois dans le sud-est de la France (XIIe-XIXe siècles). *Archéologie médiévale*, *49*, 133-170. <https://doi.org/10.4000/archeomed.24750>.

Chaumat, Gilles, Tran, Khôi & Boumlil, Nébia. (2007). Les techniques actuelles de conservation mises en œuvre par ARC-Nucléart. Dans H. Bernard-Maugiron, Ph. Coeuré, M. Clermont-Joly, J. Duchêne, P. Vaudaine & P. Veysseyre (dir.), *Sauvé des eaux, le patrimoine archéologique en bois, histoires de fouilles et de restaurations* (p. 169-177). Grenoble : CEA Grenoble.

Clément, Benjamin, Blondel, François, Charpentier, Gérard & Baldassari, David. (2019). La place du bois dans l'architecture de la colonie romaine de Vienne. L'exemple du « complexe commercial A-B » à Sainte-Colombe. *Pallas*, *110*, 27-49. <https://doi.org/10.4000/pallas.17139>.

Čufar, Katarina. (2007). Dendrochronology and Past Human Activity. A Review of Advances Since 2000. *Tree-Ring Research*, *63 (1)*, 47-60. <https://doi.org/10.3959/1536-1098-63.1.47>.

Daly, Aoife. (2007). *Timber, Trade and Tree-rings. A dendrochronological analysis of structural oak timber in Northern Europe, c. AD 1000 to c. AD 1650* (Thèse de doctorat, University of Southern, Denmark). 270 p. Disponible en ligne sur <https://dendro.dk/dendro-dk_files/timber%20trade%20and%20treerings.pdf> (consulté le 7 décembre 2020).

Daux, Valérie. (2013). Reconstruction du climat à partir de la composition isotopique de l'oxygène et du carbone des cernes d'arbres. *La Météorologie*, **80**, 14-22. <https://doi.org/10.4267/2042/48791>.

Delwaide, Ann & Filion, Louise. (2010). Échantillonnage et datation dendrochronologiques. Dans S. Payette & L. Filion (dir.), *La dendroécologie* (p. 167-197). Québec : Presses de l'Université de Laval.

Douglass, Andrew-Ellicott. (1929). The secret of the southwest solved by talkative tree rings. *National Geographic Magazine*, *56 (6)*, 736-770.

Dufraisse, Alexa, Coubray, Sylvie, Girardclos, Olivier, Nocus, Noémie, Lemoine, Michel, Dupouey, Jean-Luc & Marguerie, Dominique. (2018). Anthraco-typology as a key approach to past firewood exploitation and

woodland management reconstructions. Dendrological reference dataset modelling with dendro-anthracological tools. *Quaternary international*, *463 (B)*, 232-249. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.03.065>.

Dufraisse, Alexa & Garcia-Martinez, Maria-Soledad. (2011). Mesurer les diamètres du bois de feu en anthracologie. *Anthropobotanica*, 2, p. 1-18.

Durost, Sébastien, Rossignol, Benoît, Lambert, Georges-Noël & Bernard, Vincent. (2008). Climat, Guerre des Gaules et dendrochronologie du chêne (*Quercus* sp.) du Ier siècle av. J.-C. *ArchéoSciences*, *32*, 31-50. <https://doi.org/10.4000/archeosciences.932>.

Durost, Sébastien & Lambert, Georges-Noël. (2006), Révision dendrochronologique du Nord de la France à l'âge du Fer et au début de l'époque romaine. Dans Ph. Barral, A. Daubigney, C. Dunning, G. Kaenel & M.-J. Roulière-Lambert (dir.), *L'âge du Fer dans l'arc jurassien et ses marges. Dépôts, lieux sacrés et territorialité à l'âge du Fer. Actes du 29e colloque international de l'AFEAF, Bienne, 5-8 mai 2005* (p. 13-30). Besançon : Presses Universitaires de Franche-Comté.

Eckstein, Dieter, Wazny, Tomasz, Bauch, Josef & Klein, Peter. (1986). New Evidence for the Dendrochronological Dating of Netherlandish Paintings. *Nature*, *320*, 465-466. <https://doi.org/10.1038/320465a0>.

Eibing, Thomas. (2016). Flößerei, Johannesberger Arbeitsblätter. *Themenbereich*, *2 (4)*, 1-16.

Eibing, Thomas & Dittmar, Christoph. (2011). Timber transport and dendro-provenancing in Thuringia and Bavaria. Dans P. Fraiture (dir.), *Tree Rings, Art, Archaeology. Proceedings of the conference, Brussels, Royal Institute for Cultural Heritage, 10-12 Febr. 2010* (p. 137-149). Bruxelles, Belgique : Royal Institute for Cultural Heritage. Disponible en ligne sur <https://www.uni-bamberg.de/fileadmin/uni/fakultaeten/ggeo_faecher/arch_bau_denkmal/Dendro/Timber_transport_and_dendro-provenancing_in_Thuringia_and_Bavaria.pdf> (consulté le 7 décembre 2020).

Eibing, Thomas. (2009). Besitzmarken – Sortierzeichen – Abbundzeichen, Nicht-textual Markierungssysteme im Holzbau. Dans P. Andrássy, J. Budka & F. Kammerzell (dir.), *Non-textual Marking Systems, Writing and Pseudo Scripts from Prehistory to Modern Times* (p. 255-268). Göttingen, Allemagne : Seminar für Ägyptologie und Koptologie. Disponible en ligne sur <http://widmaier-verlag.de/data/pdf/studmon08/StudMon8_NTMS_16_Eissing.pdf> (consulté le 7 décembre 2020).

English Heritage. (2010). Waterlogged wood. Guidelines on the recording, sampling conservation and curation of waterlogged wood. Gand, Belgique : DeckersSnoeck. 35 p. Disponible en ligne sur <https://historicengland.org.uk/images-books/publications/waterlogged-wood/waterlogged-wood/> (consulté le 7 décembre 2020).

Épaud, Frédéric. (2007). *De la charpente romane à la charpente gothique en Normandie. Évolution des techniques et des structures de charpenterie aux XIIe-XIIIe siècles*. Caen : Publications du CRAHM. 624 p.

Fraiture, Pascale & Weitz, Armelle. (2019). Aperçu des résultats de l'étude dendroarchéologique des cercueils en bois du XIIe siècle provenant de l'Abayye de Nivelles (Belgique, Brabant wallon). Dans L. Shindo, J.-L. Edouard, F. Suméra, M. Bailly & A. Hartmann-Virnich (dir.), *ARCADE. Approche diachronique et Regards croisés : Archéologie, Dendrochronologie et Environnement* (p. 117-130). Aix-en-Provence : Drac de Provence-Alpes-Côte d'Azur. Disponible en ligne sur <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02143927> (consulté le 7 décembre 2020).

Fraiture, Pascal. (2009). Contribution of dendrochronology to understanding of wood procurement sources for panel painting in the former Southern Netherlands from 1450 AD to 1650 AD. *Dendrochronologia*, *27 (2)*, 95-111. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2009.06.002>.

Gale, Rowena & Cutler, David. (2000). *Plants in Archeology, identification manual of artefacts of plant origin from Europe and the Mediterranean*. West Yorkshire, Royaume-Uni : Westbury and Royal Botanic Gardens Kew. 512 p.

Gassmann, Patrick. (1984). Dendrochronologie : 100 000 cernes sur Cortaillod-Est. *Archéologie suisse*, *7 (2)*, 63-68.

Girardclos, Olivier & Petit, Christophe. (2011). L'exploitation de la forêt vue par la dendro-archéologie, l'exemple d'Oedenburg (Alsace) entre 10 et 180 apr. J.-C. Dans M. Reddé, Ph. Barral, F. Favory, M. Joly, J.-P. Guillaumet, J.-Y. Marc, P. Nouvel, L. Nuninger & Ch. Petit (dir.), *Aspect de la Romanisation dans l'Est de la Gaule* (p. 361-382). Glux-en-Glenne : Bibracte.

Girardclos, Olivier. (1999). *Dendrochronologie du Chêne (*Quercus robur, Quercus patraea*), influences des facteurs stationnels et climatiques sur la croissance radiale, cas des sols hydromorphes et des climats atlantiques. Application paléo-écologiques aux bois subfossiles du marais de Brière (Loire-Atlantique)* (Thèse de doctorat). Université de Franche-Comté, Besançon.

Gonin, Pierre (dir.), Fady, Bruno, Musch, Brigitte, Métailié, Jean-Paul, Galop, Didier, De Munnik, Nicolas, Cunill, Raquel, Poublanc, Sébastien… Drenou, Christophe. (2014). Caractérisation génétique et origine du Sapin pectiné (*Abies alba* Mill.) de Ste Croix Volvestre (Ariège) et du massif pyrénéen. Montels : Parc Naturel régional Pyrénées Ariégeoises, Toulouse : Institut pour le développement forestier. 160 p. Disponible en ligne sur <https://www.parc-pyrenees-ariegeoises.fr/wp-content/uploads/2016/07/Rapport_Sapin_Volvestre_Pyrenees_partie1.pdf> (consulté le 7 décembre 2020).

Hajj, Fadi, Poszwa, Anne, Bouchez, Julien & Guérold, François. (2017). Radiogenic and "stable" strontium isotopes in provenance studies: A review and first results on archaeological wood from shipwrecks. *Journal of Archaeological Science*, *86*, 24-49. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2017.09.005>.

Haneca, Kristof, Van Acker, Joris & Beeckman, Hans. (2005). Growth trends reveal the forest ctructure during Roman and Medieval times in Western Europe: a comparison between archaeological and actual oak ring series (*Quercus robur* and *Quercus petraea*). *Annals of forest science*, *62 (8)*, 797-805. <https://doi.org/10.1051/forest:2005085>.

Hunot, Jean-Yves. (1996). Les cercueils de bois médiévaux et modernes en Anjou : meubles précieux ou simples caisses ? *Revue Archéologique de l'Ouest*, *13*, 185-203.

Jacquiot, Clément, Trenard, Yvonne & Dirol, Danièle. (1973). *Atlas d'anatomie des bois des angiospermes (Essences feuillues)* (2 vol.). Paris : Centre technique du bois et de l'ameublement. 175 p., 72 p. de pl.

Jacquiot, Clément. (1955). *Atlas d'anatomie des bois des conifères* (2 vol.). Paris : Centre technique du bois. 133 p., 64 p. de pl.

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>.

Jansma, Ester. (1995). RemerberRING's, The development and application of local a regional Tree-Ring Chronologies of oak for the purposes of archaeological an historical research in the Neterlands. *Nederlandse Archeologische Rapporten*, 57-68.

Kaennel, Michèle & Schweingruber, Fritz H. (1995). *Multilingual glossary of dendrochronology*. Berne : Paul Hault Publishers. 467 p.

Kagawa, Akira & Leavitt, Steve. W. (2010). Stable carbon isotopes of tree rings as a tool to pinpoint the geographic origin of timber. *The Japan Wood Research Society*, *56*, 175-183. <https://doi.org/10.1007/s10086-009-1085-6>.

Kuniholm, Peter, Griggs, Carol B. & Newton, Maryanne W. (2007). Evidence for early timber trade in the Mediterranean. Dans K. Belke, E. Kislinger, A. Külzer & M. A.,Stassinopoulou (dir.), *Byzantina Mediterranea: Festschrift für Johannes Koder zum 65. Geburtstag* (p. 365-385). Vienne, Autriche : Bohlau Verlag.

Labbas, Vincent. (2019). Remploi et mobilité des bois de construction dans le bâti subalpin médiéval et moderne : le cas du massif du Mercantour (Alpes françaises). Dans J. Dumas (dir.), *Des ressources et des hommes en montagne*. Paris : Éditions du Comité des travaux historiques et scientifiques. <https://doi.org/10.4000/books.cths.5679>.

Labbas, Vincent. (2018). Rue des Carrey, Rieumes (31), analyse dendrochronologique des bois issus des sépultures. Dans A. Corrochano, & A.-G. *Verliac, Rue du Carrey, Place Des Marchands, Rieumes (31), Un cimetière médiéval inédit à l'emplacement de la Halle des Marchands* (Rapport final d'opération archéologique). Limoges : Éveha, Service régional de l'Archéologie d'Occitanie.

Labbas, Vincent & Shindo, Lisa. (2018). Using a dendrochronological and archaeological approach to understand timber uses and ancient forest management in the southern French Alps over the last millennium. Dans S. Paradis-Grenouillet, Ch. Aspe & S. Burri (dir.), *Into the Woods. Overlapping perspectives on the history of ancient forest*. Versailles : Éditions Quae.

Labbas, Vincent. (2016). *Archéologie et dendrochronologie du bâti subalpin dans le massif du Mercantour durant le second millénaire de notre ère* (Thèse de doctorat). Aix-Marseille Université, Aix-en-Provence. 528 p. Disponible en ligne sur <https://halshs.archives-ouvertes.fr/tel-01972862> (consulté le 7 décembre 2020).

Lambert, Georges-Noël. (2011). Datation précise des charpentes par la dendrochronologie, Nouveau cadre méthodologique. Dans P. Hoffsummer (dir.), *Les charpentes du XIe au XIXe siècle. Grand Ouest de la France. Typologie et évolution, analyse de la documentation de la Médiathèque de l'architecture et du patrimoine* (p. 3-18). Turnhout, Belgique : Brepols.

Lambert, Georges-Noël, Bernard, Vincent, Dupouey, Jean-Luc, Fraiture, Pascale, Gassmann, Patrick, Girardclos, Olivier, Lebourgeois, François, Le Digol, Yannick, Perrault, Christophe & Tegel, Willy. (2010). Dendrochronologie et dendroclimatologie du chêne en France : questions posées par le transfert de données de bois historiques vers la dendroclimatologie. Dans L. Astrade & C. Miramont (dir.), *Panorama de la dendrochronologie en France* (Collection EDYTEM, 11, p. 211-214). Mauguio : Laboratoire Edytem.

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.).

Lambert, Georges-Noël. (2005). La dendrochronologie, mémoire de l'arbre. Dans A. Ferdière (dir.), *La datation en laboratoire* (p. 19-75). Paris : Éditions Errance.

Lambert, Georges-Noël, Lavier, Catherine, Perrier, Patricia & Vincenot, Sophie. (1988). Pratique de la dendrochronologie. *Histoire et mesure*, *3 (3)*, 279-308. <https://doi.org/10.3406/hism.1988.1339>.

Lavier, Catherine. (2013a). Dendrochronologie et archéodendrométrie, évolution et développements. Dans J. Francis, G. Gérard & M. Denis (dir.), *Indices et traces : la mémoire des gestes. Actes du colloque internationale, 16-18 juin 2011, UFR d'Odontologie de l'Université de Lorraine* (p. 257-295). Nancy : Presses universitaire de Nancy, Éditions universitaires de Lorraine.

Lavier, Catherine. (2013b). Archéodendrométrie sur objets et œuvres d'art à support-bois : savoir-faire technique, capacités, obstacles et alternatives. *Sciences analytiques*, *292*, 67-73.

Le Digol, Yannick. (2013). « Petit guide » de dendrochronologie à l'usage des archéologues. Betton : Dendrotech. Disponible en ligne sur <https://www.dendrotech.fr/fr/Ressources/plaquettes/DENDROTECH_GUIDE_ARCHEO.pdf> (consulté le 7 décembre 2020).

Leavitt, Steve W. (2010). Tree-ring C–H–O isotope variability and sampling. *Science of The Total Environment*, *408 (22)*, 5244-5253. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.07.057>.

Leavitt, Steve W. & Long, Austin. (1991). Seasonal stable-carbon isotope variability in tree rings: possible paleoenvironmental signals. *Chemical geology: isotope Geoscience section*, *87 (1)*, 59-70. <https://doi.org/10.1016/0168-9622(91)90033-S>.

Leavitt, Steve W. & Long, Austin (1982). Stable carbon isotopes as a potential supplemental tool in dendrochronology. *Tree-Ring Bulletin*, *42*, 49-55. Disponible en ligne sur <https://repository.arizona.edu/handle/10150/261129> (consulté le 7 décembre 2020).

Marlière, Élise. (2002). *L'outre et le tonneau dans l'Occident romain*. Montagnac : Éditions Monique Mergoil. 205 p. (Monographies instrumentum, 22).

Martinelli, Nicoletta. (2013). Dendrotypology in Italy: the case studies of the pile-dwelling villages Lucone D (Brescia) and Sabione (Varese). Dans N. Bleicher, H. Schlichtherle, P. Gassmann & N. Martinelli (dir.), *Dendro -chronologie -typologie -ökologie. Festschrift für André Billamboz zum 65* (p. 117-124).Fribourg-en-Brisgau, Allemagne :Geburtstag.

Mille, Pierre. (1996). L'usage du bois vert au Moyen Âge : de la contrainte technique à l'exploitation organisée des forêts. Dans M. Colardelle (dir.), *L'homme et la nature au Moyen Âge. Paléoenvironnement des sociétés occidentales. Actes du Ve Congrès International d'Archéologie médiévale, Grenoble, 6-9 oct. 1993* (p. 166-170). Caen : Société d'Archéologie médiévale.

Million, Sebastian, Eisenhauer, Anton, Billamboz, André, Rösch, Manfred, Krausse, Dirk & Nelle, Oliver. (2018). Iron Age utilization of silver fir (Abies alba) wood around the Heuneburg – Local origin or timber import? *Quaternary international*, *463 (B)*, 363-375. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.05.035>.

Orcel, Alain, Orcel, Christian & Dormoy, Christian. (1993). La dendrochronologie en archéologie du bâti en milieu urbain. *Les Nouvelles de l'Archéologie*, *53/54*, 29-32.

Pearl, Jessie K., Keck, John R., Tintor, William, Siekacz, Liliana, Herrick, Hannah, Meko, Matthew D. & Pearson, Charlotte L. (2020). New Frontiers in Tree-Ring Research. *The Holocene*, *30 (6)*, 923-941. <https://doi.org/10.1177/0959683620902230>.

Pillonel, Daniel. (2007). *Hauterive-Champréveyres, 14. Technologie et usage du bois au Bronze final. Neuchâtel : Office et musée cantonal d'archéologie*. 376 p. (Archéologie neuchâteloise, 37).

Pomey, Patrice & Rieth, Eric. (2005). *L'archéologie navale*. Paris : Éditions Errance. 216 p.

Py-Saragaglia, Vanessa, Burri, Sylvain & Fouédjeu, Foumou L. (2019). Les forêts montagnardes du versant nord des Pyrénées. Dans S. Bépoix, & H. Richard (dir.), *La Forêt au Moyen Âge* (p. 276-299). Paris : Les Belles Lettres.

Rival, Michel. (1990). *La charpenterie navale romaine : Matériaux, méthodes, moyens*. Paris : éditions du CNRS. 324 p.

Rozas, Vicente. (2003). Tree age estimates in Fagus sylvatica and Quercus robur: testing previous and improved methods. *Plant Ecology*, *167*, 193-212. <https://doi.org/10.1023/A:1023969822044>.

Rzepecki, Andreas, Neyses-Eiden, Mechthild, Frank, Thomas, Diethelm, Barbara, Herzig, Franz & Tegel, Willy. (2019). Missing link in Late Antiquity? A critical examination of Hollstein's Central European Oak Chronology. *Dendrochronologia*, *54*, 20-28. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2019.01.003>.

Schweingruber, Fritz Hans. (1990). *Anatomie microscopique du bois* (3e éd.). Zürich, Suisse : Fluch-Wirth. 226 p.

Shindo, Lisa & Claude, Sandrine. (2019). Buildings and wood trade in Aix-en-Provence (South of France) during the Modern period. *Dendrochronologia*, *54*, 29-36. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2019.02.003>.

Shindo, Lisa, Labbas, Vincent, Édouard, Jean-Louis & Guibal, Frédéric. (2018). La construction en mélèze dans les Alpes du Sud depuis le Xe siècle : une nouvelle lecture dendrochronologique de l'occupation humaine en montagne et des ressources forestières, données et méthodologies inédites. *ArcheoSciences*, *42 (2)*, 2018, 63-75. <https://doi.org/10.4000/archeosciences.5877>.

Shindo, Lisa, Belingard, Christelle, Édouard, Jean-Louis & Saulnier, Mélanie. (2017). A long-term tree-ring chronology over 796 years for silver fir (Abies alba Mill.) in Southern France. *Annals of Forest Science*, *74 (4)*. <https://doi.org/10.1007/s13595-017-0664-8>.

Shindo, Lisa. (2016). *Bois de construction et ressources forestières dans les Alpes du sud au IIe millénaire. Dendrochrono-écologie et archéologie* (Thèse de doctorat). Université Aix-Marseille, Aix-en-Provence. Disponible en ligne sur <https://hal-sde.archives-ouvertes.fr/tel-01325760/> (consulté le 7 décembre 2020).

Suméra, Franck. (2019). Dendrochronologie et archéologie du bâti : les fondements d'une génèse difficile en France, les conditions d'un avenir en PACA. Dans L. Shindo, J.-L. Édouard, F. Suméra, M. Bailly & A. Hartmann-Virnich (dir.), *ARCADE. Approche diachronique et Regards croisés : Archéologie, Dendrochronologie et Environnement* (p. 9-13). Aix-en-Provence : Direction régionale des Affaires Culturelles de Provence-Alpes-Côte d'Azur.

Taillandier, Valérie & Blondel, François. (à paraître). Le bois perminéralisé au contact d'objets métalliques de PC15 sur l'*oppidum* de Bibracte (Saône-et-Loire) : méthodologie et résultats. Dans M. Higelin, A. Mulot & B. Béhague (dir.), *Métal & matériaux périssables. Actes des 7èmes journées d'étude Corpus – Étude du mobilier métallique et de l'instrumentum, Strasbourg, Sélestat, 21-23 mars 2018*.

Tegel, Willy & Vanmoerkerke, Jan. (2014). Recherches dendroarchéologiques sur la fin de l'âge du Fer et le début de l'époque romaine en Champagne-Ardenne. Dans V. Bernard, F. Favory & J.-L. Fiches (dir.), *Silva et saltus en Gaule romaine : dynamique et gestion des forêts et des zones rurales marginales. Actes du 7e colloque AGER VII, Rennes, 27-28 oct. 2004* (p. 175–182). Besançon : Presses universitaires de Franche-Comté.

Théry-Parisot, Isabelle. (2001). Économie des combustibles au Paléolithique. Expérimentation, taphonomie, anthracologie. Paris : CNRS éditions. 200 p.

Treydte, Kerstin, Schleser, Gerhard H., Esper, Jan & Andreu-Hayles, Laia. (2006). Climate signals in the European Isotope Network ISONET: First Results. Dans H. Kristof, Verheuden, Anouk, Beeckmann, Hans, Gärtner, Holger, Helle, Gerd, Schleser, Gerhard (dir.), *TRACE – Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology. Vol. 5, Proceedings of the Dendrosymposium 2006, April 20th – 22nd 2006, Tervuren, Belgium* (p. 138-147). Jülich : Forschungszentrum Julich GmbH. Disponible en ligne sur <https://www.vdu.lt/cris/handle/20.500.12259/47260> (consulté le 7 décembre 2020).

Verna, Catherine. (2001). *Le Temps des moulines. Fer, technique et société dans les Pyrénées centrales (XIIIe– XVIe siècles)*. Paris : Publications de la Sorbonne. 425 p. <https://doi.org/10.4000/books.psorbonne.20500>.

Wazny, Tomasz. (2002). Baltic timber in Western Europe – an exciting dendrochronological question. *Dendrochronologia*, *20 (3)*, 313-320. <https://doi.org/10.1078/1125-7865-00024>.

Wazny, Tomasz. (1992). Historical timber trade and its implications on dendrochronological dating. Dans Th. Bartholin, B. E. Berglund, D. Eckstein & F.-H. Schweingruber (dir.), *Tree Rings and Environment. Proceedings of the International Dendrochronological Symposium, Ystad, South Sweden, 3-9 Sept. 1990* (p. 331-333). Lund, Suède : Lund University, Department of Quaternary Geology.

Willmes, Malte, Bataille, Clément P., James, Hannah. F., Moffat, Ian, Mcmorrow, Linda, Kinsley, Leslie, Armstrong, Richard A., Eggins, Stephen & Grün, Rainer. (2018). Mapping of bioavailable $^{87}Sr/^{86}Sr$ isotope ratios in France for archaeological provenance studies. *Applied Geochemistry*, *90*, 75-86. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2017.12.025>.

Winiger, Ariane, Hurni, Jean-Pierre (coll.), Tercier, Jean (coll.), Magny, Michel (coll.), Orcel, Christian (coll.) & Burri-Wyser, Elena (coll.). (2008). *La station lacustre de Concise. 1, Stratigraphie, datations et contexte environnemental*. Lausanne, Suisse : Cahiers d'archéologie romande. 211 p.