



HAL
open science

**ARCADE. Approche diachronique et Regards croisés :
Archéologie, Dendrochronologie et Environnement :
Regards croisés et diachroniques sur les apports de la
dendrochronologie et de l'archéologie à la compréhension
de l'occupation humaine et de l'évolution des paysages
du Néolithique à la période moderne. : Séminaire
interlaboratoires Maison Méditerranéenne des Sciences
de l'Homme (MMSH), Aix-en-Provence, 10-11 avril 2014**

Maxence Bailly, Jean-Louis Édouard, Andreas Hartmann-Virnich, Lisa
Shindo, Franck Sumera

HAL Id: hal-02144041

<https://hal.science/hal-02144041>

Submitted on 5 Jun 2019

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.

► **To cite this version:**

Maxence Bailly, Jean-Louis Édouard, Andreas Hartmann-Virnich, Lisa Shindo, Franck Sumera (Dir.). ARCADE. Approche diachronique et Regards croisés : Archéologie, Dendrochronologie et Environnement : Regards croisés et diachroniques sur les apports de la dendrochronologie et de l'archéologie à la compréhension de l'occupation humaine et de l'évolution des paysages du Néolithique à la période moderne. : Séminaire interlaboratoires Maison Méditerranéenne des Sciences de l'Homme (MMSH), Aix-en-Provence, 10-11 avril 2014. Direction régionale des Affaires Culturelles de Provence-Alpes-Côte d'Azur, pp.208, 2019, 978-2-38094-121-0. hal-02144041

ARCADE

ARCADE

APPROCHE DIACHRONIQUE ET REGARDS CROISÉS : ARCHÉOLOGIE, DENDROCHRONOLOGIE ET ENVIRONNEMENT

Regards croisés et diachroniques sur les apports de la dendrochronologie
et de l'archéologie à la compréhension de l'occupation humaine
et de l'évolution des paysages du Néolithique à la période moderne

DIACHRONIC APPROACH AND CROSSED PERSPECTIVES:
ARCHEOLOGY, DENDROCHRONOLOGY AND ENVIRONMENT
Crossed and diachronic perspectives on the contributions of dendrochronology
and archeology to the understanding of human occupation
and the evolution of landscapes from Neolithic to modern period



Séminaire interlaboratoires
Maison Méditerranéenne des Sciences de l'Homme (MMSH),
Aix-en-Provence, 10-11 avril 2014

Coordination :

Maxence BAILLY, Jean-Louis EDOUARD, Andreas HARTMANN-VIRNICH,
Lisa SHINDO, Franck SUMÉRA

Avertissement

Ce volume diffusé à titre gratuit ne peut être vendu. Sa reproduction sur tout support – même partielle – est soumise à autorisation du ministère de la Culture (direction régionale des affaires culturelles /service régional de l'archéologie).

Direction Régionale des Affaires Culturelles

23, boulevard du Roi-René
13617 AIX-EN-PROVENCE CEDEX 1

Service régional de l'archéologie

Bâtiment Austerlitz - 21, allée Claude-Forbin
CS 80783 - 13625 AIX-EN-PROVENCE CEDEX 1

Éditeur

Ministère de la Culture / DRAC PACA - SRA

Maquettiste

Virginie Teillet / vteillet@wanadoo.fr

Imprimeur

??

ISBN

??

Illustrations de couverture, de haut en bas, de gauche à droite :

1. Épave Jules Vernes 8, Marseille, cliché L. Damelet et Ph. Groscaux / CNRS-CCJ.
2. Ferme de La Chau à Cervières (Hautes-Alpes), cliché L. Shindo.
3. Grange de Saint-Etienne-de-Tinée (Alpes-Maritime), cliché F. Suméra.

Montage : V. Gemonet / CNRS-CCJ.

La version numérique de ces actes est disponible en libre accès dans la collection ARCADE de l'archive ouverte HALL SHS : <http://hal.archives-ouvertes.fr/ARCADE2014>

Sommaire

<i>Xavier Delestre</i> Préface.	7
<i>Franck Suméra</i> Introduction	9
<i>À propos d'ARCADE</i>	15
<i>Patrick Hoffsummer</i> L'idée d'un <i>Corpus tectorum</i> lié à la dendrochronologie.	19
<i>Georges Lambert</i> Dendro-assistance à la détermination de la provenance géographique des bois archéologiques	33
<i>François Blondel et Didier Miallier</i> Une possible paléo-forêt du néolithique ancien à Joze (Puy-de-Dôme)	51
<i>Fabien Langenegger</i> Dendro-archéologie et dynamique de construction d'un village de l'âge du Bronze final. Entre maisonnées et espaces collectifs à Bevaix-Sud (Neuchâtel, Suisse)	59
<i>Nicoletta Martinelli</i> Prehistoric pile-dwellings in northern Italy: an archaeological and dendrochronological overview	69
<i>Stéphanie Wicha et Corinne Sanchez</i> L'apport des études xylogiques et dendrochronologiques à l'étude des aménagements portuaires de Narbonne romaine.	79
<i>Sandra Greck, Frédéric Guibal et Sabrina Marlier</i> Les bois de construction du chaland gallo-romain Arles-Rhône 3 (Bouches-du-Rhône). Datation, exploitation et mise en œuvre	89
<i>Olivia Pignatelli</i> Venise, de sa fondation à son apogée comme puissance maritime : approche archéologique et dendrochronologique	101
<i>Andreas Hartmann-Virnich</i> Archéologie du bâti et dendrochronologie	109

<i>Pascale Fraiture et Armelle Weitz</i>	
<i>avec la collaboration de Marie-Laure Van Hove et Didier Willems</i>	
Aperçu des résultats de l'étude dendroarchéologique de cercueils en bois du XII ^e siècle provenant de l'Abbaye de Nivelles (Belgique, Brabant wallon)	117
<i>Claire Venot-Tisserand et Frédéric Guibal</i>	
Constructions en bois et habitat rural rupestre en Basse-Provence au Moyen Âge. Dendrologie, anthracologie et archéologie	131
<i>Fabien Blanc-Garidel et Stéphanie Wicha</i>	
Archéologie du bâti et rénovation urbaine. La place de la dendrochronologie. L'exemple de Grasse (Alpes-Maritimes)	139
<i>Sandrine Claude, Lisa Shindo et Jean-Louis Edouard</i>	
L'église des Prêcheurs d'Aix-en-Provence : lecture archéologique et datations dendrochronologiques (La Madeleine, Aix-en-Provence)	151
<i>Lisa Shindo et Mathilde Tissot</i>	
L'hôtel Ferrier, un hôtel particulier des XV ^e -XVIII ^e siècles (Riez, 04) : une opération de déconstruction. Regards croisés sur les données archéologiques et dendrochronologiques	171
<i>Vincent Labbas</i>	
Les constructions traditionnelles d'alpage dans le Mercantour : le cas des granges de Bousieyas (Saint-Dalmas-le-Selvage, 06)	187
<i>Vincent Labbas</i>	
Les constructions traditionnelles d'alpage dans le Mercantour : le cas des granges de Bousieyas (Saint-Dalmas-le-Selvage, 06)	187
<i>Georges-Noël Lambert, Patrick Hoffsummer, Vincent Bernard et Virginie Chevrier</i>	
Note sur l'étude dendrochronologique de la charpente de Notre-Dame de Paris	201
❧	
État des référentiels dendrochronologiques publics de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur	205

Préface

*Xavier Delestre**

La tenue en 2014 du séminaire «ARCADE : Approche diachronique et Regards croisés : Archéologie, Dendrochronologie et Environnement» organisé par trois laboratoires d'archéologie de la Maison Méditerranéenne des Sciences Humaine d'Aix-en-Provence, a permis d'établir un point sur l'articulation entre ces deux disciplines dans la région Grand est et tout particulièrement en Provence-Alpes-Côte d'Azur. Cette rencontre conduite dans le cadre universitaire fait suite à une autre initiative de l'université de Provence qui avait rassemblé à Digne-les-Bains en 2009, une soixantaine de chercheurs autour de l'ensemble des facettes de la dendrochronologie en France (Astrade, Miramont 2010). Ces deux événements témoignent de l'importance accordée à la dendrochronologie dans la région PACA. Alors que la manifestation de Digne-les-Bains avait aidé à mesurer la diversité des approches et problématiques scientifiques autour de cette discipline en France, le séminaire ARCADE a permis d'approfondir la question de la dendrochronologie appliquée à l'archéologie dans la région sud-est et de découvrir l'émergence de nouveaux talents régionaux qui ont largement contribué à la réussite de cette rencontre. Ainsi, il faut saluer, tout particulièrement, l'investissement de Lisa Shindo, qui depuis ce séminaire a soutenu avec brio sa thèse, a pu approfondir ses connaissances pendant deux mois dans le berceau de la dendrochronologie, à Tucson au Laboratory of tree-ring research, University of Arizona et continue à travailler en dendrochronologie dans la région.

Au-delà du simple exercice universitaire, le séminaire ARCADE marque un virage dans les orientations de la dendrochronologie en Provence-Alpes-Côte d'Azur. Virage

souhaité et provoqué par le Service régional de l'archéologie au travers de la mise en place d'une politique d'archéologie préventive qui développe à la fois l'archéologie du bâti et ce qui devrait être un corollaire : la dendrochronologie. En effet, alors que l'archéologie sédimentaire s'appuie sur les fossiles directeurs essentiellement constitués par les matériaux céramiques et lithiques, l'archéologie du bâti dispose souvent du meilleur élément de datation qui puisse exister : le bois. Pour autant, le recours à cette discipline dans le cadre de l'archéologie du bâti est resté depuis de nombreuses années étonnamment discret et particulièrement peu utilisée en PACA. Ce point pourrait paraître paradoxal, au regard du fait que cette région constitue l'un des lieux historiques de la discipline en France, si l'on ne rappelait pas qu'en Provence la dendrochronologie est historiquement l'affaire de géographes. Ainsi, l'école marseillaise a été créée par Françoise Serre-Bachet, Lucien Tessier et Joël Guyot, lesquels se sont avant tout interrogés sur des problèmes écologiques et climatologiques.

Le virage évoqué plus haut a été pris après la rencontre entre deux chemins, celui de la mise en place d'une politique d'archéologie préventive commencée à la suite de projets de rénovation urbaines de centre historiques anciens tels que ceux de Grasse, Draguignan ou encore Marignane et l'autre lié à une inflexion dans la trajectoire professionnelle de Jean-Louis Edouard, qui en géographe nourri par les lectures de Raoul Blanchard, n'a eu de cesse que de faire le lien entre nature et culture. Traquant les mélèzes sur pied dans les montagnes pour restituer une courbe de référence pour les Alpes du sud, il a été conduit naturellement à carotter les poutres de bâtiments d'alpage pour compléter ses données. Ce faisant, il a renoué avec

* Conservateur régional de l'archéologie, SRA-DRAC PACA, Aix-en-Provence.

la géographie humaine et a fini par s'inscrire dans une démarche d'archéologie du bâti qui l'a conduit à quitter l'IMEP (ex IMBE) pour rejoindre le Centre Camille Jullian.

C'est grâce à ce contexte, que deux étudiants en science humaine, Lisa Shindo et Vincent Labbas, ont pu s'engager dans des projets de thèse à l'interface entre sciences environnementales et archéologie. Le séminaire ARCADE

est le fruit de cette nouvelle alchimie dans laquelle, archéologie terrestre et dendrochronologie trouvent un nouveau développement qui répond à un besoin pour l'archéologie préventive régionale. Ce nécessaire développement de la dendrochronologie appliquée à l'archéologie a conduit le Service régional de l'archéologie en partenariat avec le CCJ à mettre en place une dendrothèque destinée à assurer la conservation des bois étudiés et à garantir la conservation des données et leur accessibilité aux chercheurs.

Introduction

*Franck Suméra**

DENDROCHRONOLOGIE ET ARCHÉOLOGIE DU BÂTI : LES FONDEMENTS D'UNE GENÈSE DIFFICILE EN FRANCE, LES CONDITIONS D'UN AVENIR EN PACA

Rares sont les disciplines qui exercent un tel va-et-vient entre culture et nature. Née il y a plus d'un siècle en Amérique pour répondre à une problématique environnementale (la mesure de l'influence du soleil sur les arbres), la dendrochronologie a immédiatement flirté avec l'archéologie du bâti. Ainsi, lorsque Andrew Ellicott Douglass pose les principes de la discipline, il l'utilise aussi pour dater des bâtiments indiens abandonnés de l'Arizona et du Nouveau Mexique (Douglass 1929 ; Lambert 2005 ; Tissier 2010). Depuis, la discipline ne cesse de procéder à des va-et-vient entre études naturalistes et approches archéologiques avec des équilibres qui diffèrent d'un pays à l'autre.

En France, bien que la dendrochronologie apporte des réponses inégalées aux problèmes de datation, elle ne parvient pas à s'imposer à sa juste valeur dans le panel des études archéologiques. Communément utilisée dans le cadre des opérations liées aux milieux subaquatiques ou à la construction navale, la méthode est loin d'être systématiquement convoquée sur les chantiers d'analyses du bâti. Les premières opérations se déroulent le plus souvent dans le cadre de l'archéologie programmée et constituent des contextes d'exception tant par leur valeur informative que par leur nombre, les secondes sont plus fréquentes et sont parfois liées à l'archéologie préventive. Pour importants qu'aient été les besoins d'étude du patrimoine bâti au cours des dernières décennies, l'archéologie du bâti n'a pas connu en France le développement que l'on aurait

pu légitimement attendre. Cela a eu pour corollaire de ne pas encourager le développement de la dendrochronologie dans ce segment d'activité qui aurait pu être le vivier principal de l'activité de l'exercice de la discipline.

Pourtant, il y a maintenant plus de cinquante ans, des initiatives commençaient déjà à poindre et pouvaient laisser croire à un inéluctable développement de la dendrochronologie dans le contexte de l'archéologie médiévale et des analyses du patrimoine bâti (Leboutet 1966). En 1980, le colloque d'archéologie urbaine de Tour aurait pu légitimement et naturellement constituer un nouveau point de départ (Archéologie urbaine 1982). La ville devenue champ d'exploration, le bois, omniprésent dans les sols, les escaliers, les plafonds et les toits constituait un objet d'étude d'autant plus important que l'archéologie du bâti ne dispose que de peu d'éléments de datation. Mais ce fut un rendez-vous raté de ce point de vue, l'approche développée à cette occasion fut essentiellement celle de la diachronie et de l'analyse spatiale, et de l'archéologie sédimentaire. L'urgence provoquée par les renouvellements urbains était la gestion des sous-sols et cela même, alors que la période correspond aussi à celle des grandes démolitions de bâtiments historiques en élévation. Une décennie plus tard, en 1990, dans le sillon creusé par les fondateurs du G.M.P.C.A.¹, l'exposition itinérante « les Mystères de l'archéologie : Les sciences à la recherche du passé » a constitué une nouvelle vitrine pour la promotion de la discipline en archéologie. Présentée dans le prestigieux hôtel de Sully

1. Groupe des Méthodes Pluridisciplinaires Contribuant à l'Archéologie est une association selon la loi de 1901 qui regroupe la grande majorité des « Archéomètres » français.

* Conservateur en chef du patrimoine, SRA-DRAC PACA, Aix-en-Provence.

situé au cœur du Marais (Tabbagh 1994), l'exposition n'a eu aucun impact dans le cadre de la rénovation de ce quartier parisien historique où les bâtiments sont souvent caractérisés par la présence de monstrueuses poutres en chêne, ni ailleurs en France dans les processus d'archéologie dite alors «de sauvetage». Il est vrai que l'exposition s'est inscrite en marge des débats et mouvements sociaux qui, en cette année de l'archéologie, s'étaient multipliés autour de la question de l'organisation de la recherche archéologique. Le GMPCA, fondé par des chercheurs renommés de l'aile des sciences dures de l'archéologie, s'était associé à la Caisse nationale des monuments historiques. Les uns et les autres travaillant essentiellement dans le cadre de travaux programmés. Aussi, en cette année de débats, les promoteurs des sciences dures appliquées à l'archéologie n'étaient pas ceux de l'archéologie préventive et s'en sont probablement trouvés écartés de ce fait². Ainsi, on pouvait lire dans les colonnes de la revue du GMPCA «Histoire et Mesure» un commentaire sur l'exposition qui traduit bien les dissensions entre les tenants d'une supposée archéologie scientifique et une archéologie préventive qui était loin d'être reconnue et trouvait de très nombreux détracteurs dans les organismes de recherche. Alain Guereau, chartiste et directeur de recherche au CNRS, commentait l'exposition dans la revue du GMPCA «Histoire et mesure» ainsi : «C'est pourquoi nous ne saurions conclure autrement qu'en énonçant avec fermeté deux recommandations : 1. que les responsables (surtout financiers !) de la «politique archéologique» en France veuillent bien tenir compte enfin du fait que l'archéologie extensive (sauvetages à tout va, grands chantiers, grands travaux *e tutti quanti*) est une impasse, et qu'une archéologie intensive et programmée est mille fois plus productive en termes de progrès des connaissances : oui à une augmentation massive des crédits et des postes pour l'archéométrie ; 2. que les historiens se rappellent que tout n'est pas représentation et lisent cet ouvrage.» (Guereau 1992).

Intimement liée au sort de l'archéologie du bâti³, la dendrochronologie a souffert des difficultés rencontrées pour faire accepter ce versant de l'archéologie dans le contexte du préventif. En dépit de la définition réglementaire apportée par le code du patrimoine, pour beaucoup, le bâtiment n'est archéologique que lorsqu'il est en ruine et qu'il est enfoui dans le sédiment. Il suffit pour s'en convaincre de rappeler les propos de Pierre-André Lablaude, architecte en chef des Monuments historiques : «Que l'archéologue

aujourd'hui, comme l'homme préhistorique après les grandes glaciations, redresse l'échine, qu'il évolue vers une station debout, repositionne son cerveau en conséquence et découvre alors qu'il y a de l'archéologie au-dessus du sol, on ne peut que s'en réjouir [...]. Nous constatons en effet trop souvent que la densité de connaissances scientifiques d'un édifice décroît avec l'altitude des ouvrages concernés, comme si la motivation et l'activisme de l'archéologue se révélaient inversement proportionnels à sa sensibilité au vertige. Le terme nouveau d'«archéologie des élévations» est pourtant, en lui-même, une monstruosité : il n'y a, à vrai dire, de véritable archéologie que des élévations. Ce qui est sous le sol n'est que le rebut, le débris, ce que nos ancêtres ont, parfois avec beaucoup de bon sens, jugé comme étant indigne du regard [...]. Au-dessous du sol, si l'on excepte quelques édifices majeurs, [les églises] sont toutes semblables» (Lablaude 1997).

Ce dénie de la place de l'archéologue dans le cadre de l'archéologie des élévations a souvent été de mise dans le cadre de travaux réalisés sur les édifices protégés au titre des Monuments historiques. Il a conduit à ce que de nombreuses études soient réalisées sous les seules directives des architectes en chef. C'est ainsi que ces derniers, ont commencé à faire appel aux services des dendrochronologues. En l'absence de méthodes archéologiques, les prélèvements ont été le plus souvent réalisés au gré de l'inspiration des commanditaires et sans liens avec les relations stratigraphiques des monuments mais aussi sans tenir compte des valeurs statistiques des prélèvements. La démarche a souvent constitué à dater un bâtiment ou une charpente avec quelques prélèvements sans identification préalable de leur place dans les phases de construction, créant ainsi les conditions de contresens. Néanmoins, l'utilisation de la dendrochronologie pour l'étude des monuments historiques a permis de commencer le développement de la discipline dans le cadre des études du bâti. Pendant ce temps, il faut bien reconnaître que les services régionaux de l'archéologie, souvent engorgés par le nombre de dossiers de permis d'aménagements portant sur les sous-sols, ont très peu prescrit en dehors des constructions édilitaires, religieuses ou militaires et que les prescriptions portant sur l'archéologie des élévations sont restées marginales. Ainsi, en France, le développement de la dendrochronologie appliquée à l'archéologie est resté confiné aux opérations conduites d'une part en milieu fluvial, lacustre et marin et d'autre part aux opérations sur monuments historiques et beaucoup plus rarement aux opérations de restructuration d'îlots urbains historiques.

Cette histoire des relations entre archéologie et dendrochronologie a beaucoup pesé dans la structuration de la recherche de cette discipline et très rapidement le ministère

2. Il n'en a pas été de même pour les sciences environnementales, puisque le GMPCA a changé ses statuts pour ouvrir son champ d'adhésion aux sciences de l'environnement.
3. La question de la mise en place de l'archéologie du bâti a été développée dans la thèse de Fabien Blanc à qui j'emprunte quelques éléments de réflexion (Blanc 2007).

de la Culture et de la Communication s'est interrogé sur ce dernier point. Ainsi, en 1993, la mission de la recherche et de la technologie, en liaison avec les directions patrimoniales du ministère de la Culture, a commandé au Cabinet de conseil scientifique et d'expertise technologique Lambert, une étude sur l'organisation de la dendrochronologie en France (Étude sur la dendrochronologie en France 1996). L'étude a été motivée par le contexte de la décennie des années 1990 qui a été l'occasion de s'interroger sur l'organisation et le périmètre de la recherche archéologique, mais aussi par des dysfonctionnements observés autour du fonctionnement des études dendrochronologiques : « La rivalité entre laboratoires engendre plusieurs problèmes ; ils ne communiquent pas les résultats bruts de leurs mesures, ni le détail des données de référence essentielles. Ainsi il se construit autant de références qu'il y a de laboratoires indépendants, au détriment du coût pour l'utilisateur. Les résultats des datations ne sont pas davantage diffusés entre utilisateurs. Cela tient au caractère éparpillé des demandes, à l'herméticité entre services commanditaires et à l'absence d'outils de communication de ces données. C'est ainsi que les mêmes objets ont pu être datés plusieurs fois à la demande d'organismes distincts » (Étude sur la dendrochronologie en France 1996). La relative multiplication des études dendrochronologiques, a entraîné la création de laboratoires indépendants qui se sont très vite retrouvés en concurrence avec des structures de recherche publiques. Les uns et les autres vivant exclusivement de commandes publiques, la question du statut publique ou privé s'est d'autant plus soulevée que la dendrochronologie se nourrit de ses propres données⁴. La question de l'appartenance et de la communication des données de référence a été, comme aujourd'hui, au cœur des préoccupations. Sans trancher sur le statut des structures, le rapport confié au Cabinet Lambert avait conclu sur la nécessité de prendre trois mesures. Ces mesures étant encore malheureusement totalement d'actualité, nous les citons *in extenso* ci-après :

- « Instaurer une gestion centralisée des résultats et des données de référence dans une banque nationale ; cela augmenterait considérablement les performances de la dendrochronologie, sur le plan de la technique elle-même, et sur celui de ses applications.

4. L'article publié dans la revue « Culture et vous » indique : « depuis que la dendrochronologie est en service, la très grande majorité des fonds consacrés aux datations par cette méthode sont d'origine publique. Globalement le volume des prestations est passé de 0,50 MF en 1987 à 1 MF en 1990 et à près de 2 MF en 1993. Ces volumes, de même que les capacités d'intervention des laboratoires français, sont nettement inférieurs à ceux de nos voisins. Le contraste est flagrant avec la Suisse dont le territoire est 10 fois plus petit que la France et qui consacre 20 MF par an aux datations par dendrochronologie » (Étude sur la dendrochronologie en France 1996).

- Établir un code des bonnes pratiques tant techniques que contractuelles entre laboratoires et commanditaires. Une solution alternative ou complémentaire et plus radicale serait la mise en place d'une procédure d'accréditation par un organisme reconnu.

- Instaurer une gestion centralisée des échantillons de bois qui portent l'information, et qui sont plus précieux encore que les données de mesure. On peut s'être trompé dans la mesure d'un cerne, en avoir oublié un, ou encore n'en avoir pas daté certains. De plus les technologies évoluent et il peut être utile de revenir sur toute une collection, d'où l'intérêt de cette conservation aujourd'hui assurée par les laboratoires, mais avec une capacité nécessairement limitée. Il serait plus satisfaisant de centraliser les échantillons de bois dans un lieu unique et adapté. Outre le stockage, une telle entité aurait une fonction d'archivage et de communication pour de nouvelles mesures ou d'autres applications. Le plus rationnel serait qu'une seule et même entité assure les fonctions de banque de données, de gestion des échantillons et d'accréditation. Commanditaire de la très grande majorité des datations, l'État pourrait être le maître d'ouvrage d'un tel projet ».

Les mesures préconisées, il y a maintenant vingt ans, n'ont pas été appliquées et les maux observés se sont maintenus. Écarté dans les faits de l'archéologie préventive, l'essor de la dendrochronologie n'a pas été celui qui avait été prédit dans le rapport du Cabinet Lambert. Pour autant, les atteintes au corpus de bois de construction historiques perdurent et s'intensifient au gré des réfections de toitures de monuments historiques et de programmes de rénovations urbaines. Ces bois qui ont traversé les siècles, endormis entre les carrelages et les plafonds, cachés sous les combles ou piétinés dans les escaliers par des générations d'utilisateurs, ces bois qui ont enregistré l'histoire du climat mais aussi des stratégies de prélèvements forestiers, se retrouvent décimés en quelques décennies sous couvert des nécessités d'aménagements urbains mais aussi comble des paroxysmes : de protection du patrimoine et de restauration.

LA DENDROCHRONOLOGIE EN PROVENCE-ALPES-CÔTE D'AZUR

Face à ce constat et en l'absence de structuration à l'échelon national, le Service régional de l'archéologie de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur a mis en place une Dendrothèque à vocation régionale. Cette initiative est aussi à la conjonction des faits suivants : la multiplication des opérations d'archéologie du bâti dans la région, la mise en place d'une politique offensive de gestion du patrimoine bâti en bois en dehors du patrimoine bâti édilitaire,

l'existence de structures de recherche privées et publiques liées à la dendrochronologie.

Depuis plus dix ans, l'important programme de rénovation urbaine dans la ville de Grasse a engendré des opérations d'archéologie du bâti qui portent sur plusieurs îlots représentant près d'un quart de la ville historique. Dans ce cadre, le Service régional de l'archéologie a mis en place une politique systématique d'études archéologiques du bâti adossées à une approche dendrochronologique (Blanc *et al.* en cours d'impression ; Blanc, Suméra 2011 ; 2012). Un cahier des charges normalisés prescrivant la réalisation de prélèvements systématiques des bois issus des plafonds et des ossatures des sols dans la perspective d'identifier les éléments de chronologie mais aussi les homogénéités ou hétérogénéités de ces structures a été mis en place. Il s'agissait notamment ici de mesurer au travers des siècles les variations d'approvisionnement traduisant des prélèvements issus de la montagne (pins et mélèzes) ou des plaines de Provence (chênes). La question de l'histoire de l'impact de la ville sur les sources d'approvisionnement fait partie des problématiques développées à l'occasion de ces travaux. Le cadre de l'archéologie préventive impliquant une mise en concurrence des opérateurs, une attention toute particulière a été accordée dans les cahiers des charges afin de garantir une homogénéité des stratégies de prélèvements et d'enregistrements mais aussi de garantir la communicabilité des études et la conservation des prélèvements. L'ossature de ce cahier des charges a été reprise et adaptée à d'autres programmes d'étude du bâti qui ont émergé ailleurs en PACA (Aix-en-Provence, Draguignan, Marignane, etc.).

Concomitamment, une importante opération d'étude du bâti adossé à un programme d'étude dendrochronologique a été commencée dans le Mercantour en collaboration avec le Parc National du Mercantour et dans le cadre d'un PCR subventionné par le Projet ALCOTRA Alpi Maritime Mercantour qui avait pour objet de mesurer l'impact de l'homme dans la construction des paysages de haute montagne (Suméra 2013a ; 2013b ; 2015). La conjonction de cette première problématique avec la nécessité pour le PNM de mieux identifier la valeur patrimoniale des bâtiments d'estive, a conduit, ici aussi, à établir un cahier des charges scientifiques pour la réalisation d'une étude rémunérée pendant deux ans et ayant pour objectif la mise en œuvre (pour éviter répétition) d'études d'archéologie du bâti associées à des analyses dendrochronologiques. Ce projet coordonné à l'intérieur du PCR par Fabien Blanc, Jean-Louis Edouard et moi-même a permis en 2011 à Vincent Labbas d'entreprendre sa thèse soutenue en 2016 (cf. *infra*).

La cohérence de toutes ces opérations réalisées, tant dans le contexte de l'archéologie programmée que de l'archéologie préventive, a constitué la base de la réflexion qui a conduit au projet de création d'une Dendrothèque. Alors que nous ignorions tout du rapport Lambert, nous sommes parvenus aux mêmes conclusions. À savoir que la multiplication des opérateurs en dendrochronologie de droit privé qui interviennent parfois sur le même objet d'étude, génère des dysfonctionnements et la rétention d'informations. Cette dernière pratique interdit non seulement le contrôle de la qualité des études mais aussi constitue un frein à la création de courbes de références. Considérant que toutes ces études correspondent à des commandes publiques, il importe de mettre en place des procédures qui garantissent les trois objectifs fixés par le cabinet Lambert :

1. La conservation des échantillons de bois,
2. La centralisation des résultats et des données de référence,
3. Le contrôle qualité des opérateurs.

De ces trois objectifs, qui sont édictés ci-dessus par ordre d'importance, seul le premier est mis en œuvre en PACA. C'est-à-dire que la Dendrothèque est opérationnelle pour la conservation et la gestion des échantillons de bois qui ont été étudiés. Cela garantit d'une part de reprendre des mesures et d'autre part de procéder à toutes sortes d'analyses qui seront jugées utiles dans l'avenir (ADN, strontium, C13 N15, etc.).

Le deuxième objectif est probablement le plus difficile à mettre en œuvre, car il remet en cause les pratiques des différents laboratoires et les bases de données censées être hégémoniques n'ont cessé de se développer à travers le monde. Comme toujours, on observe des problèmes de diversité des logiciels utilisés, mais aussi une grande hétérogénéité dans les grilles d'analyses qui interdit de penser à la mise en place d'un système unique. Le choix actuel pris pour la Dendrothèque de PACA, constitue à demander aux opérateurs des rapports intégrant la restitution des mesures réalisées et à ne pas tenter d'intégrer celles-ci dans une base de données. Notre ambition, dans le cadre régional qui est le nôtre, se limite à saisir les métadonnées indiquant les références des études existantes, tant du point de vue des analyses dendrochronologiques que des analyses du bâti.

Le troisième objectif n'ayant pas donné lieu à une réglementation ou à la mise en place de structures agréées, n'est pas résolu sur la forme. Néanmoins, sur le fond, toutes les structures actuellement en concurrence intègrent des personnels qui ont obtenu une thèse sur la base de travaux en dendrochronologie, ce qui constitue le premier gage de qualité. Le deuxième gage repose sur la notion

de restitution des prélèvements et de communicabilités des mesures. Ces deux points constituent des garants qui devraient normalement limiter la remise de résultats non fondés ou excentriques.

En l'état, la Dendrothèque de PACA est encore un projet embryonnaire qu'il convient de consolider.

Aujourd'hui, l'un des objectifs concernant la Dendrothèque est de mettre en place des partenariats avec des structures gérant des bases dendrochronologiques afin que les données issues de travaux réalisés en PACA puissent être conservées mais aussi consultées en ligne.

Bibliographie

- Archéologie urbaine 1982 :** *Archéologie urbaine : actes du colloque international, Tours, 17-20 novembre 1980*, s.l. : Association pour les fouilles archéologiques nationales.
- Astrade, Miramont 2010 :** Astrade L., Miramont C., «Panorama de la Dendrochronologie en France.» [en ligne], URL: <http://hal-sde.archives-ouvertes.fr/halsde-00786410> [lien valide au 8 février 2014].
- Blanc et al. en cours d'impression :** Blanc F., Wicha S., Edouard J.-L., Suméra F., «Building timber in Grasse (Alpes-Maritimes, France) from late medieval to modern times recent contributions of preventive archéology», in: *Congrès international d'histoire urbaine, université nouvelle de Lisbonne*, Lisbonne : s.n.
- Blanc 2007 :** Blanc F., *Archéologie du bâti médiéval et moderne en Provence orientale* [en ligne], PhD Thesis (s.l., s.n.), URL: <http://www.theses.fr/2007PA010721>.
- Blanc, Suméra 2011 :** Blanc F., Suméra F., «Le patrimoine archéologique médiéval résiduel à Grasse: Renouveau des connaissances et intégration des connaissances dans les processus de rénovations urbaines», in: Delestre X., Pergola P. (éd.), *Archéologie et aménagement des territoires*, s.l. : Musée d'Anthropologie de Monaco, coll. «Bull/Mus.Anthropol.préhist.Monaco, suppl. n°2», 59-68.
- Blanc, Suméra 2012 :** Blanc F., Suméra F., «De la fouille urbaine à l'archéologie de la ville», *Archéologie urbaine. 137^e Congrès, Tours 2012* [en ligne].
- Douglas 1929 :** Douglass A. E., The secret of the southwest solved by talkative tree rings, in *National Geographic Magazine*, 56, 6, 736-770.
- Étude sur la dendrochronologie en France 1996 :** «Étude sur la dendrochronologie en France», *Cult. Rech.*, 57, 9.
- Guerreau 1992 :** Guerreau A., «Marie-Jeanne Roulière-Lambert (éd.), Les mystères de l'archéologie. Les sciences à la recherche du passé», *Hist. Mes.*, 7, 1, 192-193.
- Lablaude 1997 :** Lablaude P.-A., «La restauration : science ou pratique ?», in: *Science et conscience du patrimoine*, Théâtre national de Chaillot, Paris: Édition du Patrimoine, Fayard, 203-212.
- Lambert 2005 :** Lambert G.-N., «La dendrochronologie, mémoire de l'arbre», in *Les méthodes de datation en laboratoire*, s.l. : Éd. Errance, DL 2005, 19-75.
- Leboutet 1966 :** Leboutet L., «Dendrochronologie et archéologie», *Ann. Normandie*, 16, 4, 405-438.
- Suméra 2013a :** Suméra F., *Rapport de synthèse des travaux réalisés dans le cadre du Projet Collectif de Recherche «Peuplement et occupations du sol sur le territoire du Mercantour»*, Aix-en-Provence : PNM-UMR CCJ.
- Suméra 2013b :** Suméra F., «uso e occupatione del territorio del Parc du Mercantour durante l'Olocene», *Secundo forum cultura Marittime Mercantour, conoscere e valorizzare il territorio transfrontaliero. Ricerca e interventi, Cuneo, 11 avril 2013* [en ligne].
- Suméra 2015 :** Suméra F., *Signature des occupations protohistoriques et antiques dans l'évolution des paysages et dans la construction de la géographie humaine au massif du Mercantour (Alpes-Maritimes)*, Thèse doctorale (s.l., Aix-Marseille, Centre Camille Julian).
- Tabbagh 1994 :** Tabbagh A., «Notes pour servir à l'histoire du GMPCA», *Hist. Mes.*, 9, 3, 404-408.
- Tissier 2010 :** Tissier L., «La dendrochronologie : retour vers le passé», in Astrade L., Miramont C. (éd.), *Panorama de la dendrochronologie en France* [en ligne], Le Bourget-du-Lac: Laboratoire EDYTEM, Université de Savoie, coll. «EDYTEM», 13-18, URL: <http://hal-sde.archives-ouvertes.fr/halsde-00786410>.

À propos d'ARCADE

ARCADE: Approche diachronique et Regards croisés: Archéologie, Dendrochronologie et Environnement. Regards croisés et diachroniques sur les apports de la dendrochronologie et de l'archéologie à la compréhension de l'occupation humaine et de l'évolution des paysages du Néolithique à la période moderne.

Diachronic approach and crossed perspectives: Archeology, Dendrochronology and Environment.

Crossed and diachronic perspectives on the contributions of dendrochronology and archeology to the understanding of human occupation and the evolution of landscapes from Neolithic to modern period.

Séminaire inter laboratoires Maison Méditerranéenne des Sciences de l'Homme (MMSH), Aix-en-Provence, 10-11 avril 2014

La tenue de ce séminaire n'aurait pu voir le jour sans l'aide de l'USR 3125 AMU/ CNRS, dans le cadre du dispositif de soutien aux recherches et aux enseignements transversaux.

Deux années académiques de qualité ont été menées grâce à un ensemble de soutiens: les conseils prodigués par Brigitte Marin, alors directrice de l'USR, l'accompagnement de Nacira Abrous, la coordinatrice, la belle dynamique collaborative initiée par Jean-Louis Edouard, ainsi que le dévouement des experts scientifiques, qui ont favorisé la mise en place d'ateliers pratiques et de journées de recherche dans le domaine de la dendrochronologie, ouvertes aux jeunes chercheurs et aux étudiants.

La pérennisation de ces échanges, par la publication des actes de ce séminaire, est aujourd'hui rendue possible par le soutien du Service régional de l'archéologie (SRA-DRAC PACA) et de son conservateur régional, M. Xavier Delestre.

Comité scientifique

- Jean-Louis Edouard, Centre Camille Jullian, CCJ, UMR 7299
- Maxence Bailly, Laboratoire méditerranéen de Préhistoire, LAMPEA, UMR 7269
- Andreas Hartmann-Virnich, Laboratoire d'archéologie médiévale et moderne en Méditerranée, LA3M, UMR 7298, Aix Marseille Université/CNRS

- Lisa Shindo, Centre Camille Jullian, CCJ, UMR 7299 & Institut méditerranéen de biodiversité et d'écologie marine et continentale, IMBE, UMR 7263
- Franck Suméra, Centre Camille Jullian, UMR 7299 & Service régional de l'archéologie, DRAC PACA

Partenaires financiers

- Service régional de l'archéologie, Direction régionale des affaires culturelles Provence-Alpes-Côte d'Azur (SRA-DRAC PACA)
- USR 3125 de la Maison méditerranéenne des sciences de l'Homme (MMSH)
- Centre Camille Jullian (CCJ, UMR 7299)
- Laboratoire d'archéologie médiévale et moderne en Méditerranée (LA3M, UMR 7298)

Présentation

Pour les archéologues, historiens, dendrochronologues et dendrologues ce séminaire a été l'occasion de débattre de l'influence de l'espace forestier sur les activités humaines et, réciproquement, de l'impact de l'occupation humaine sur son environnement, spécialement forestier.

Il a permis de bien mettre en évidence le développement des opérations de réhabilitation-restauration, aux programmes interdisciplinaires et à la prise en compte du patrimoine culturel par les collectivités territoriales au

regard de la législation. Cette dynamique incite à multiplier des lieux d'échanges sur les problématiques, les méthodes et les perspectives, à la fois en terme de recherche et en terme d'évolution des métiers.

Dans ce contexte, ce séminaire a été centré sur la présentation et la discussion des apports de la dendrochronologie à l'archéologie du bâti, à l'archéologie « de fouille » et à l'archéologie subaquatique, autour de trois grands domaines d'occupation humaine, le domaine rural et montagnard, le domaine urbain et le domaine des rivages (littoral, rives de plans d'eau et de cours d'eau).

For archaeologists, historians, dendrochronologists and dendrologists this seminar was an opportunity to discuss the influence of the forest area on human activities and, reciprocally, the impact of human occupation on the environment, especially forest.

This seminar clearly highlighted the development of renovation-restoration operations, interdisciplinary programs and the consideration of cultural heritage by local authorities in terms of legislation. This dynamic urge us to multiply exchanges on issues, methods and perspectives, in terms of research and in terms of career development.

In this context, this seminar focused on the presentation and discussion of dendrochronology contributions to building archeology, "excavation" archeology and underwater archeology, around three major areas of human occupation: rural and mountain domain, urban domain and shoreline domain (coastline, lakes and waterways banks).



Liste des auteurs et des intervenants

Blanc-Garidel Fabien

Chef du service d'Archéologie Nice Côte d'Azur, 107 route de Canta Galet, 06200 Nice, France
Chercheur associé au LA3M (UMR 7298). Aix Marseille Univ, CNRS, LA3M, Aix-en-Provence, France
fabien.blanc@nicedotazur.org

Blondel François

Docteur Université Bourgogne Franche-Comté, ARTEHIS UMR 6298, Dijon, France
francois.blondel.2@hotmail.fr

Boetto Giulia

Chargée de recherche CNRS. CNRS, Aix Marseille Univ, CCJ, Aix-en-Provence, France
boetto@mmsl.univ-aix.fr

Bouticourt Émilien

Chercheur associé, LaMOP (UMR 8589), 13, rue du Four, 75006 Paris, France
emilienbouticourt@free.fr

Claude Sandrine

Archéologue, Direction Archéologie et Muséum de la ville d'Aix-en-Provence, CS 30715, 13616 Aix-en-Provence CEDEX 1
Membre associé au LA3M (UMR 7298). Aix Marseille Univ, CNRS, LA3M, Aix-en-Provence, France
claudes@mairie-aixenprovence.fr

Corona Christophe

Chargé de recherches, GEOLAB, UMR 6042, CNRS, Université Clermont Auvergne, MSH, 4 rue Ledru, 63057 Clermont-Ferrand CEDEX 1, France
christophe.corona@uca.fr

Delestre Xavier

Conservateur général du patrimoine, Conservateur Régional de l'Archéologie au SRA PACA. Aix Marseille Univ, CNRS, Minist. Culture, CCJ, Aix-en-Provence, France
xavier.delestre@culture.gouv.fr

Edouard Jean-Louis

Chargé de recherches CNRS honoraire, Centre Camille Jullian. CNRS, Aix Marseille Univ, CCJ, Aix-en-Provence, France
edouard@mmsl.univ-aix.fr

Fraiture Pascale

Collaborateur scientifique, Chef de travaux, Responsable du Laboratoire de Dendrochronologie, Institut royal du Patrimoine artistique (IRPA), Parc du Cinquantenaire 1, 1000 Bruxelles, Belgique
pascale.fraiture@kikirpa.be

Girardclos Olivier

Ingénieur d'étude CNRS, Chrono-environnement (UMR 6249), 16 route de Gray, 25030 Besançon CEDEX, France
Olivier.Girardclos@univ-fcomte.fr

Greck Sandra

Archéologue, chargée de mission, Ipso Facto ScopARL, 10 rue Guy Fabre, 13001 Marseille, France. CNRS, Aix Marseille Univ, CCJ, Aix-en-Provence, France
sandra.greck@ipsofacto.coop

Guibal Frédéric

Chargé de recherche CNRS, Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Écologie marine et continentale. Aix Marseille Univ, Avignon Universités, IRD, IMBE, Marseille, France
frederic.guibal@imbe.fr

Guillet Sébastien

Docteur, Institut des Sciences de l'Environnement, université de Genève, Boulevard Carl-Vogt, 1205 Genève, Suisse
Sebastien.guillet@unige.ch

Hartmann-Virnich Andreas

Professeur des universités. Aix Marseille Univ, CNRS, LA3M, Aix-en-Provence, France
hartmann@mmsch.univ-aix.fr

Hoffsummer Patrick

Professeur, Université de Liège, Laboratoire de dendrochronologie, Unité de recherche «Art, Archéologie et Patrimoine», Conseiller scientifique à la Médiathèque de l'Architecture et du Patrimoine, 19 allée du 6 août, B-4000 Liège, Belgique
phoffsummer@ulg.ac.be

Jourdan Robert

Conservateur régional des monuments historiques, DRAC PACA, Aix-en-Provence, France
robert.jourdan@culture.gouv.fr

Labbas Vincent

Membre associé, Aix Marseille Univ, CNRS, LA3M, Aix-en-Provence, France
labvince@gmail.com

Lambert Benjamin

Analyste développeur, G.L Conception, 65 Chemin de Mancy, 39000 Lons-le-Saunier, France
Benjamin@glconception.com

Lambert Georges-Noël

Collaborateur de l'université de Liège (ULg, Belgique) & chargé de recherche honoraire du CNRS.
lambertgeorges@orange.fr

Langenegger Fabien

Archéologue et dendrochronologue, Office du patrimoine et de l'archéologie du canton de Neuchâtel (OPAN), section archéologie, Musée du Laténium, Espace Paul-Vouga, 2068 Hauterive, Suisse
fabien.langenegger@ne.ch

Le Digol Yannick

Dirigeant de Dendrotech, 6, rue de la Forge, 35830 Betton, France
yannick.ledigol@dendrotech.fr

Marlier Sabrina

Archéologue, attachée de conservation du patrimoine, Musée départemental Arles antique (Conseil départemental des Bouches-du-Rhône), Presqu'île du cirque romain, BP205, 13635 Arles CEDEX, France
 Chercheur associée sous convention. CNRS, Aix Marseille Univ, CCJ, Aix-en-Provence, France
sabrina.marlier@departement13.fr

Martinelli Nicoletta

Dendrochronologue et archéologue, Laboratorio Dendrodata, via Pigna 14, I-37121 Verona, Italy
nicoletta.martinelli@dendrodata.it

Miallier Didier

Professeur, Laboratoire de Physique de Clermont-Ferrand, IN2P3, Université Blaise-Pascal, 4 avenue Blaise Pascal, Campus universitaire des Cézeaux, 63178 Aubière, France
didier.miallier@clermont.in2p3.fr

Pignatelli Olivia

Dendrochronologue, Laboratorio Dendrodata, via Pigna 14, I-37121 Verona, Italy
oliviapignatelli@gmail.com

Sanchez Corinne

Chargée de recherche CNRS, ASM, Archéologie des Sociétés Méditerranéennes, UMR 5140, Univ. Montpellier 3, CNRS, MCC, F-34000, Montpellier, France
corinne.sanchez@cnrs.fr

Shindo Lisa

Jeune docteur, Centre Camille Jullian. CNRS, Aix Marseille Univ, CCJ, Aix-en-Provence, France
shindo@mmsch.univ-aix.fr

Suméra Franck

Conservateur en chef du patrimoine chargé des Alpes-Maritimes au SRA PACA, Aix Marseille Univ, CNRS, Minist. Culture & Com., CCJ, Aix-en-Provence, France
franck.sumera@culture.gouv.fr

Tissot Mathilde

Archéologue, Service Départemental d'Archéologie des Alpes-de-Haute-Provence, France
mathilde.tissot26@orange.fr

Van Hove Marie-Laure

Archéologue, attachée AWaP – Agence wallonne du Patrimoine, Direction opérationnelle Zone Centre – Brabant wallon, rue de Nivelles 88, 1300 Wavre, Belgique
marie-laure.vanhove@awap.be

Venot-Tisserand Claire

Docteure, Aix Marseille Univ, Avignon Université, CNRS, IRD, IMBE, Marseille, France
& Aix Marseille Univ, CNRS, LA3M, Aix-en-Provence, France
claire.tisserand84@gmail.com

Weitz Armelle

Attachée de recherche, Laboratoire de Dendrochronologie, Institut royal du Patrimoine artistique (IRPA), Parc du Cinquantenaire 1, 1000 Bruxelles, Belgique
armelle.weitz@kikirpa.be

Wicha Stéphanie

Dirigeante de la société Archéobois
Chercheuse associée à Aix Marseille Univ, Avignon Université, IRD, IMBE, Marseille, France
Chercheuse associée à ASM, Archéologie des Sociétés Méditerranéennes, UMR 5140, Univ. Montpellier 3, CNRS, MCC, F-34000, Montpellier, France
wichafr@yahoo.fr

Willems Didier

Archéologue, Premier attaché AWaP – Agence wallonne du Patrimoine, Direction opérationnelle Zone Centre – Brabant wallon, rue de Nivelles 88, 1300 Wavre, Belgique
didier.willems@awap.be

L'idée d'un *Corpus tectorum* lié à la dendrochronologie

*Patrick Hoffsummer**

Résumé

Les progrès récents de l'archéologie du bâti génèrent de nombreuses études sur l'histoire de la construction. Les synthèses larges sont les plus difficiles à entreprendre car elles demandent de collecter des informations dispersées, souvent inédites. L'objectif du *Corpus tectorum*, centré sur la Belgique et la France est de rassembler de la documentation matérielle sur l'évolution des toitures qui possèdent encore leurs anciennes charpentes, du XI^e au XIX^e siècle. La méthodologie est celle mise en place par Patrick Hoffsummer, dans le sillage d'études pionnières comme celles de Henri Deneux ou Friedrich Ostendorf avec l'apport récent de la dendrochronologie.

Cette entreprise est le fruit de collaborations entre le Centre d'archéométrie de l'Université de Liège et des institutions qui ont la charge de la gestion ou de l'étude du patrimoine culturel immobilier, en particulier la Médiathèque de l'architecture et du Patrimoine du Ministère de la Culture et le Ministère de la Région Bruxelles-Capitale. Les régions qui ont déjà fait l'objet de publications de synthèse sont la Wallonie, le nord de la France et la Belgique, l'ouest de la France. D'autres ouvrages sont en préparation sur la région de Bruxelles et le nord-est de la France.

Outre l'étude typonchronologique des différentes formes de charpentes du XI^e au XIX^e siècle, la recherche s'intéresse au processus de construction des charpentes anciennes, aux essences forestières, à l'évolution des pentes de toit, aux matériaux de couverture. À ce stade du *Corpus*, plus avancé au nord de la Loire qu'au sud, on a pu mettre en évidence la grande inventivité technique des constructeurs du XIII^e siècle. Puis vient l'adaptation des techniques de charpenterie pour économiser le bois d'œuvre, avant que la Révolution industrielle ne change plus fondamentalement l'art de bâtir. Des traits régionaux dans la manière de charpenter et de couvrir semblent aussi se dégager en plus d'une évolution dans le temps. Sur ce dernier aspect, une extension du projet vers la zone méditerranéenne apporterait les compléments nécessaires à une vision culturelle plus large.

Mots-clés : Histoire de l'architecture, histoire de la construction, archéologie du bâti, dendrochronologie.

Abstract

Recent progresses in building archeology generate numerous studies on the history of construction. Broad syntheses are the most difficult to carry out because they require the collection of scattered information, often unpublished. The *Corpus tectorum* objective, focused on Belgium and France, is to gather material documentation on the evolution of the roofs that still have their old frames, from the 11th to the 19th century. The methodology is the one established by Patrick Hoffsummer, in the wake of pioneering studies like those of Henri Deneux or Friedrich Ostendorf, with the recent contribution of dendrochronology.

This initiative is the result of collaborations between the Center of Archeometry of Liège University and institutions that are in charge of the management or study of the immovable cultural heritage, in particular the Media Library of Architecture and Heritage of the Ministry of Culture and the Ministry of the Brussels-Capital Region. The regions that have already been the subject of summary publications are Wallonia, northern France and Belgium, and western France. Other works are being prepared in the Brussels region and northeastern France.

In addition to the typonchronological study of the various forms of frameworks from the 11th to the 19th century, the research focuses on the process of construction of old structures, forest species, evolution of roof slopes and on roofing materials. At this stage of the *Corpus*, more ahead in the north of the Loire than in the south, it was possible to highlight the great technical inventiveness of the 13th century builders. Then, the adaptation of carpentry techniques help to save timbers and, the Industrial Revolution fundamentally changed the art of building. Regional features in the way of carpentry and roofing also seem to emerge, in addition to an evolution over time. On this last aspect, an extension of the project towards the Mediterranean area would bring the necessary complements to a broader cultural vision.

Keywords: Architecture history, construction history, building archaeology, dendrochronology.

* Université de Liège. Centre européen d'archéométrie, Laboratoire de dendrochronologie. Unité de recherche « Art, Archéologie et Patrimoine ». Conseiller scientifique à la Médiathèque de l'Architecture et du Patrimoine.

L'histoire de la construction en bois est peu abordée dans les ouvrages d'histoire de l'art du XIX^e siècle et la chronologie est quasi absente de l'article « Charpente » du *Dictionnaire raisonné de l'architecture française* de Viollet-le-Duc¹. Au début du XX^e siècle, deux personnalités importantes se sont intéressées de façon plus approfondie à cet aspect de l'histoire de la construction. Il s'agit de Friedrich Ostendorf (1871-1915) en Allemagne et d'Henri Deneux (1874-1969) en France². Paradoxalement, ces chercheurs européens ne se doutent pas qu'outre Atlantique, un de leurs contemporains, l'astronome Andrew Ellicott Douglass (1867-1962), jette les bases d'une méthode de datation révolutionnaire qui aurait bouleversé leurs travaux si elle avait été mise au point en Europe au même moment³. Il faut attendre Bruno Huber puis Ernst Hollstein dans les années cinquante et soixante du XX^e siècle pour que la dendrochronologie s'impose petit à petit auprès des archéologues européens⁴; bien davantage encore auprès des historiens de l'art⁵.

Un peu avant l'an 2000, le développement de l'archéologie du bâti, de la dendrochronologie et, plus globalement, de l'archéométrie, a atteint une maturité que les spécialistes de l'histoire de la construction n'ignorent plus. Un peu partout en Europe, des études ont révélé que la charpente de comble est une véritable « boîte noire » susceptible de renfermer quantité d'informations matérielles. Celles-ci apportent autant à l'histoire du monument lui-même qu'à l'histoire des techniques et de l'architecture en général.

Entre 2007 et 2009, convaincu de cette idée, le laboratoire du Centre Européen d'Archéométrie de l'Université de Liège (ULg-CEA) a coordonné un programme d'échanges internationaux sur le thème des « Toits de l'Europe »⁶. Cette initiative allait dans le même sens que les travaux de synthèse sur les charpentes françaises coordonnés par la Médiathèque de l'architecture et du patrimoine (MAP) du Ministère de la Culture à propos du Nord, puis de l'Ouest⁷ en s'inspirant de la publication de notre recherche doctorale sur les charpentes de Wallonie⁸. En France, d'autres études ont vu le jour dans la foulée, en recourant, selon les moyens, à la dendrochronologie⁹ tandis que le principe d'un inventaire raisonné retenu pour le Nord et l'Ouest

se poursuit au travers de deux initiatives : l'une en région bruxelloise¹⁰ l'autre dans le nord-est de la France¹¹.

Avec les publications de 2002 et 2011 sur le Nord et l'Ouest, les inventaires thématiques en cours dans le nord-est de la France et à Bruxelles seraient idéalement le noyau d'un *Corpus tectorum* dont la viabilité ne repose que sur la collaboration entre chercheurs, la difficile quête de financements, de mandats, et l'investissement d'éditeurs comme l'ont déjà fait les Éditions du patrimoine du Ministère français de la Culture ou Brepols au sein de sa collection *Architectura MediiAevi*. On relèvera d'ailleurs le succès international de l'édition anglaise du volume consacré à l'ouest de la France dont la version papier est épuisée¹² et qui sera bientôt disponible en ligne.

ÉTAT DE LA QUESTION ET LIMITES DU CORPUS

Les deux ouvrages coordonnés à la MAP pour le Nord et l'Ouest couvrent des territoires en fonction des relais établis avec les chercheurs locaux et les autorités administratives. Pour le Nord, il s'agit du sud de la Belgique et du tiers septentrional de la France, correspondant approximativement à la Wallonie et aux anciennes régions administratives Nord-Pas-de-Calais, Picardie, Champagne-Ardenne, Lorraine, Alsace, Ile-de-France, Haute et Basse-Normandie, une partie de la région Centre (Loiret et Eure-et-Loir) et de la Bourgogne (Yonne). Pour l'Ouest : la Bretagne, les Pays de Loire, le Poitou et la Charente, l'Aquitaine et une partie de la région Midi-Pyrénées (le Gers uniquement). Le cadre chronologique est imposé par la nature de la documentation disponible. Comme pour le reste de l'Europe, on ne conserve guère d'éléments de charpente en place antérieurs au XI^e siècle. Les vestiges les plus anciens sont des entrants de la nef de l'église Saint-Denis à Liège¹³. Dans l'Ouest, la guerre de Cent Ans a manifestement marqué un ralentissement dans l'activité constructive qui se traduit indirectement par la diminution de dates dendrochronologiques de charpentes. C'est aussi une période de destructions et de reconstructions auxquelles le dendrochronologue est parfois confronté.

MÉTHODOLOGIE DU CORPUS TECTORUM

L'inventaire des charpentes du *corpus* a pour point de départ une documentation de première ou de seconde main plus ou moins détaillée selon les cas. On ne retient que les dossiers où un minimum de relevés en coupes longitudinale

1. Viollet-le-Duc 1854-1875.

2. Ostendorf 1908; Deneux 1927.

3. Webb 1983.

4. Hollstein 1980.

5. Fraiture 2011.

6. Hoffsummer 2009b; Hoffsummer, Eeckhout 2008.

7. Hoffsummer (dir) 2002; Hoffsummer (dir) 2011.

8. Hoffsummer 1995.

9. Bernardi 2007; Bontemps 2002; Bouticourt 2016; Epaud 2007; Epaud, Bernard 2009; Hunot 2001; Phalip 2004.

10. Weitz *et al.* 2015.

11. Blain 2015; Aumard 2015.

12. Hoffsummer (dir) 2009a.

13. Blain, Maggi, Hoffsummer 2015.

et transversale sont disponibles. Les monographies de toitures les plus abouties sont celles traitées avec l'approche de l'archéologie du bâti qui détermine si la structure est homogène ou si elle a été transformée, voire construite avec des pièces de récupération. Le relevé des charpentes à différentes échelles selon le niveau de détail utile est précieux. Les assemblages et leurs marques permettent de comprendre la technique du charpentier, dictée par le contexte culturel de son temps. D'autres signes gravés, encore visibles dans les monuments, identifiaient des lots de bois flottés parfois d'origine très lointaine. Les traces d'outils des charpentiers sont aussi précieuses pour comprendre le mode de débitage des bois dont la pratique a évolué au cours du temps et selon des contraintes liées à l'économie du matériau¹⁴.

La dendrochronologie, largement mise à contribution, a élargi ses compétences, d'autant plus nécessaires que les bois issus de régions de basse altitude, où l'homme a exercé tôt dans l'histoire une pression forte sur le paysage, posent de nombreux problèmes méthodologiques. Le plus souvent sous forme de carottages, le nombre d'échantillons prélevés dans une charpente varie entre 5 et 100 selon les problèmes rencontrés. Beaucoup de facteurs interviennent pour procéder à une dendrochronologie pertinente. À ces critères, relevant de la seule analyse des cernes, s'ajoute aussi l'impérieuse nécessité de choisir les échantillons en fonction de l'étude archéologique minutieuse du bâtiment qui jette les bases d'une chronologie relative¹⁵. Une analyse critique des bases de données sur le chêne, grâce à des analyses statistiques plus élaborées, conduit à réviser la datation de certains échantillons – essentiellement des séquences courtes ou fort perturbées par l'influence de l'homme sur la vie des arbres – sans conséquence grave sur la datation globale des sites. Cette révision a permis de mieux faire ressortir le signal climatique inscrit dans les moyennes de sites renforçant ainsi la qualité de la datation tout en offrant à l'historien du climat un matériel pour de futures études¹⁶. L'analyse affinée des échantillons d'un site permet aussi de caractériser le milieu forestier dont sont issus les arbres. La vision du dendrochronologue rejoint donc souvent celle de l'archéologue du bois pour identifier certaines ressources forestières médiocres, ainsi dans certains sites du Bas Moyen Âge en Bretagne ou en Normandie¹⁷.

Pour progresser, l'archivage et l'échange des données dendrochronologiques brutes – c'est-à-dire des mesures de cernes – mais aussi des métadonnées – localisation

géographique précise du site, proposition de datation, nom du dendrochronologue, laboratoire – sont essentiels. Le projet *Digital Collaboratory for Cultural-Historical Dendrochronology in the Low Countries (DCCD)*, né d'une initiative hollandaise¹⁸, croise nécessairement la route du *Corpus tectorum* car il s'agit dans les deux cas d'encourager les échanges au profit de meilleures performances en dendrochronologie européenne. Toutes ces recherches demandent un entretien et un perfectionnement constant des outils informatiques et logistiques. Le logiciel *Dendron*¹⁹ intègre un *modus operandi* qui contient toutes les opérations fondamentales de la dendrochronologie, y compris la gestion de bases de données et de méta-données, un module de conversion en différents formats de laboratoires à l'échelle internationale, et de riches outils d'exportations de résultats tant calculés que graphiques. Il ouvre de riches possibilités d'analyse qui vont au-delà de la simple datation. Son utilisation par plusieurs laboratoires partenaires francophones est la base de progrès considérables et d'enrichissements tant du *Corpus tectorum* que du *DCCD*.

La typologie normalisée des charpentes – c'est-à-dire le classement selon leurs formes, leurs structures et leurs matériaux – est la colonne vertébrale du *Corpus tectorum*. Pour mener à bien cet inventaire raisonné, un important travail d'illustration normalisée a été mis en place. L'expérience montre qu'un relevé de terrain idéal, pour une bonne analyse archéologique, sera à l'échelle 1/20 (fig. 1) et comprendra au moins une coupe transversale et une coupe longitudinale partielle entre deux fermes. On y ajoutera des relevés complémentaires pour les marques d'assemblage, les traces de débitage, et une bonne couverture photographique. Ils illustrent des études monographiques. Au stade de la synthèse et de la publication par familles de charpentes (fig. 2), les relevés sont publiés avec moins de détails et réduits à une échelle commune (1/200), selon une charte graphique unifiée, accompagnée d'une ligne du temps et d'une carte²⁰. Ces regroupements stimulent l'analyse avant même de proposer des hypothèses à caractère historique. Cette approche est le cœur du *Corpus tectorum*, ce qui le distingue des albums publiés antérieurement par le Centre de recherches sur les monuments historiques²¹ par ailleurs fort utiles, ou de l'Encyclopédie des Compagnons charpentiers qui y puisent une partie importante de sa documentation²². Trois cents charpentes de toitures à deux versants composent le corpus publié du Nord et trois cent quatre-vingt-dix, celui de l'Ouest. Pour les deux volumes, on possède des données

14. Bláha, Janák, Růžička 2008.

15. Hoffsummer 2003.

16. Lambert 2002; Lambert 2011a.

17. Bernard, Epaud, Le Digol 2007.

18. Jansma *et al.* 2012.

19. Lambert 2006; Lambert 2011b.

20. Hoffsummer 2002b; Hoffsummer, Van Ruymbeke, Touzé 2011.

21. CRMH 1982.

22. Le Port 1977.

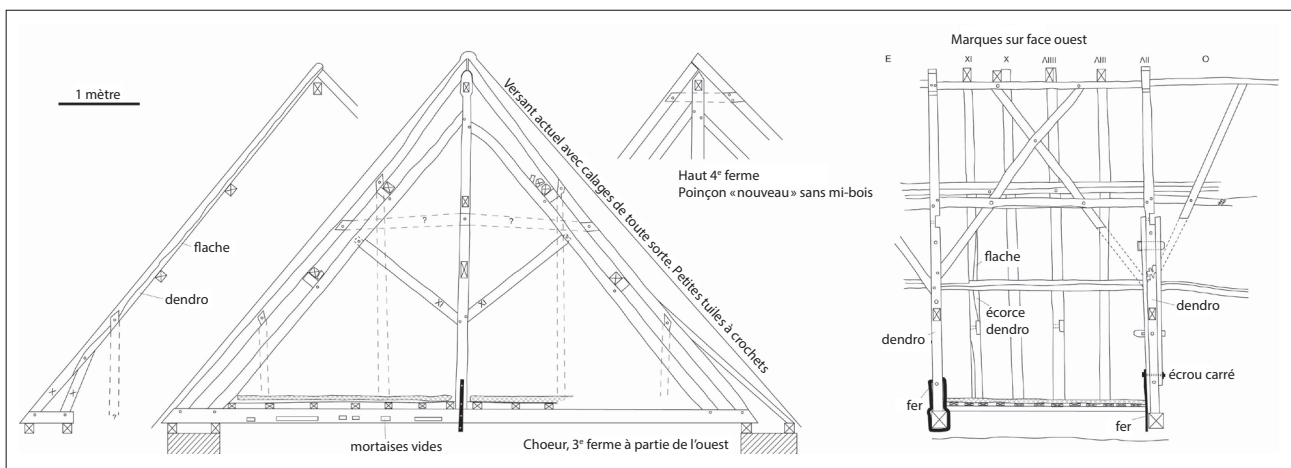


Fig. 1 – Fouquénies (Oise), église de Montmille, relevé archéologique à l'échelle 1/20 de la charpente remaniée du chœur, état existant d'une travée en 2012. ULG-CEA 2012.

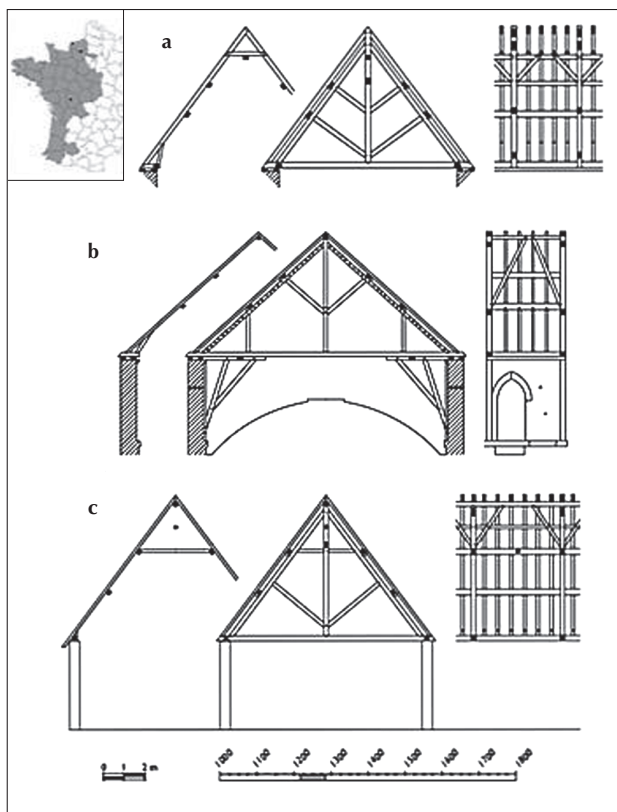


Fig. 2 – Exemple de planche illustrant une typologie (Hoffsummer 2011, 138, type 1.4.1.1.). Charpente à chevrons formant fermes contreventée par des pannes, liernes, sous-faîtières et, le plus souvent, une panne faîtière, avec des pannes à dévers pincées dans des doubles arbalétriers, avec de longues contrefiches à la place des faux-entraits : **a.** Fécamp (Seine-Maritime), église abbatiale de La Trinité, 1217-1223d (Rennes 1, V. Bernard); Epaud, 2007, 337-350. **b.** Poitiers (Vienne), cathédrale, nef, 1279-1280d, réparée, voire remaniée au-dessus des collatéraux en 1773-1774d (CEDRE et ULg 538); Blomme, 1994; EP François Jeanneau, 1990; Fillion, 1999. **c.** Pont-de-L'Arche (Eure), abbaye de Bonport, grange, charpente restituée datée de 1228d (Rennes 1, Y. Le Digol, V. Bernard, 2005); Epaud, 2007, 512-516.

dendrochronologiques pour deux cent d'entre elles. Afin de se limiter tout en choisissant un dénominateur commun à toutes ces toitures, on s'est concentré sur celles à deux versants, une forme simple mais révélatrice d'une multitude de choix techniques de construction. Plusieurs types de comble répondent à ces critères : plafonnés, lambrissés, construits au-dessus de voûtes, aménagés, etc.

L'étude des matériaux de couverture est un autre apport essentiel pour comprendre les types de charpentes. Selon les régions, les époques et les types d'édifices, de nombreux systèmes de couverture existent en Europe : bardeaux de bois, chaume, pierres plates, ardoises, tuiles, plomb... La pente du toit peut varier considérablement et est aussi liée au type de matériau de couverture via son système de fixation. Les toits à pentes raides des constructions gothiques étaient couverts de matériaux cloués ou accrochés : tuiles à crochets ou chevillées, ardoise, plomb, lauzes. Les couvertures originelles sont rarement conservées telles quelles. On est toutefois surpris de trouver d'anciennes tuiles contemporaines de la charpente mélangées à des matériaux plus récents lors des réparations périodiques des couvertures. On l'a démontré pour des églises d'Île de France et de Bourgogne en comparant la datation par archéomagnétisme et thermoluminescence des tuiles et la dendrochronologie des charpentes²³. La carte des toits de France dressée en 1937 (fig. 3) donne une idée de la variété des modes de couvertures dans la construction vernaculaire. Dans quelle mesure cette carte reflète-elle des traditions ancestrales ? Doit-on y voir une relation avec le climat ou avec un type de charpente, un fonds historique ou culturel ? Autant de délicates questions auxquelles il est difficile de répondre.

²³. Aumard 2008.



Fig. 3 – Carte des toits de France dessinée en 1937. Dessin de Gabriel Baron, d'après les documents de F. Soulez-Larivière (Ministère de la Culture, Médiathèque de l'architecture et du Patrimoine, diffusion RMN).

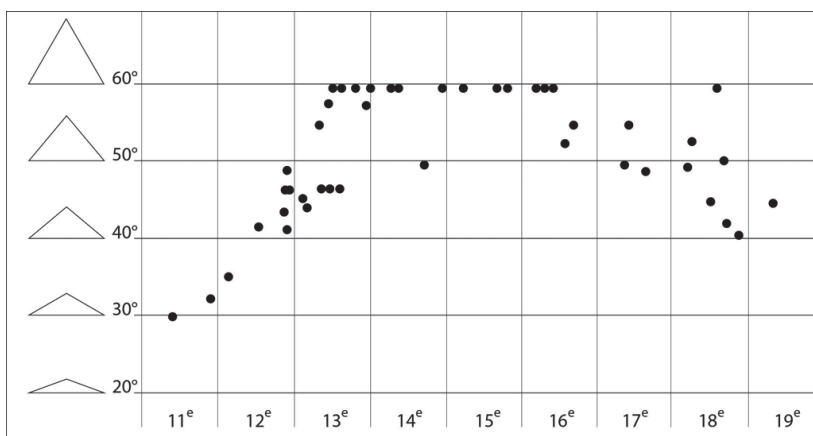


Fig. 4 – Évolution de la pente du toit des églises et grands monuments du Nord d'après les datations dendrochronologiques (Hoffsummer 2002).

L'évolution des pentes de toitures de monuments est marquée, dans le Nord et le Nord-Ouest, par un relèvement du toit au début du XIII^e siècle (fig. 4). Le phénomène est moins net au sud de la Loire, influencé par la tradition de la civilisation méditerranéenne, romaine en particulier. Les auteurs de traités aux XVII^e et XVIII^e siècles estiment que la *dignité de l'édifice* intervient pour une large part pour déterminer les proportions des toitures et leur inclinaison²⁴. Néanmoins, ces ouvrages des Temps modernes, avec des références à l'Antiquité, donnent une image souvent tronquée de la réalité matérielle et de la tradition médiévale²⁵.

24. Gilles 2011.

25. Touzé 2011.

SYNTHÈSE DES RÉSULTATS

Dans le Nord, les charpentiers du début du deuxième millénaire disposaient de bois en quantité, essentiellement du chêne dans les régions de plaine et de moyenne altitude. Le sapin est préféré dans l'Est, à proximité de la Rhénanie, et dans les zones montagneuses. Les résineux offrent des fûts plus longs et rectilignes que le chêne, ce qui aura une conséquence sur le tracé des charpentes. Dans l'Ouest, le chêne est aussi largement représenté mais l'emploi du châtaignier, du peuplier ou de l'orme, bien que rare, a été observé comme complément à un manque de chêne²⁶.

26. Epaud, Bernard 2009.

La situation change complètement dans la deuxième moitié du XIX^e siècle quand domine l'emploi de conifères et de peupliers²⁷. Au XI^e siècle, beaucoup d'assemblages dans les toitures sont à mi-bois ; le tenon-mortaise est peu utilisé. Les premiers exemples de marques d'assemblage sont assez rudimentaires : un mélange de symboles dont la juxtaposition est plus ou moins cohérente ou la numérotation en bâtons. Les traces d'outils montrent l'usage de la doloire pour l'équarrissage des bois de brin (fig. 5).

Les édifices les plus anciens encore debout avec leur toiture originelle sont des églises romanes. Au début du XI^e siècle, les toits de ces monuments ne sont pas bien hauts, 4 m environ, soit trois fois moins que deux siècles plus tard. Les charpentes de ces toitures sont faites de couples rapprochés de chevrons formant des arbalétriers assemblés à l'entrait de chaque ferme (charpente à chevrons formant fermes ; *common-tiebeam roof* ; *Sparrendach*). Elles illustrent un mode de construction typique du nord de l'Europe principalement aux XI^e et XII^e siècles, du nord de la Loire à la Suède et en Allemagne (fig. 6). Un autre modèle, méditerranéen, est illustré par l'antique système à fermes et pannes (fig. 7) où les chevrons sont indépendants, non couplés, dans une charpente dont les fermes espacées sont reliées par des pannes (*Pfettendach*) dans le sens longitudinal²⁸.

De 1150 à 1220, les charpentes à fermes et pannes (*Pfettendach*) sur les monuments du Nord sont rares. La juxtaposition des couples de chevrons porteurs (*Sparrendach*) est la norme. Le dessin des fermes à chevrons-arbalétriers est très simple : des poteaux, droits ou obliques, croisent des faux-entrants. Une des variantes de ce modèle, durant la seconde moitié du XII^e siècle est l'adaptation du comble à la présence des extrados des voûtes qui dépassent des murs gouttereaux (fig. 8). Dans beaucoup de cas, l'édifice n'est pas voûté et la charpente est soit apparente, soit fermée par un plafond ou un lambris.

Des perfectionnements apparaissent dans les années 1180-1210, peut-être liés à un redressement de la pente du toit autour de 45° et dans le contexte plus global de la création de l'*opus francigenum*, plus communément appelée « architecture gothique ». La division en travées de la charpente, avec une alternance de fermes principales à entrait et de fermes secondaires sans entrait est un fait majeur lié à ce mouvement (fig. 9 à 11). Les exemples les plus précoces se situent en Normandie, foyer de solutions nouvelles²⁹. La période 1180-1220 est marquée par quelques exemples



Fig. 5 – Abbaye de Floreffe (B.), toiture de la nef de l'abbatiale, traces de hache sur du chêne abattu en 1227-1237d. Photo : P. Hoffsummer ULG-CEA.

de renforcement des fermes par des liens obliques : contrefiches, écharpes en forme de ciseaux (*scissor bracing*). La plupart des cas observés dans les monuments du XIII^e au XVI^e siècle appartient à un « système mixte » qui associe, selon les cas, des fermes principales à entrait, des chevrons-fermes secondaires et des liens longitudinaux³⁰.

En 1220-1250, les pentes se redressent encore et atteignent 60° d'inclinaison. Le toit étant plus haut (souvent 10 à 12 m) et plus large (parfois 15 m), les charpentiers font face à de nouvelles difficultés techniques, liées aux efforts dynamiques qui parcourent la charpente et à la poussée du vent latéral. On perfectionne les assemblages, les pièces de la charpente sont plus spécialisées, on se soucie davantage du contreventement (fig. 15). Au XIII^e siècle, le tenon-mortaise se généralise, avec des variantes plus ou moins sophistiquées. L'assemblage du pied du poinçon, ou des suspentes, avec l'entrait, est étudié en vue de la résistance à une importante force de traction : étriers en bois serrés par un système de clés à clavettes ou étriers en fer³¹. La numérotation des assemblages à l'aide des chiffres romains se généralise, de même que le principe de latéralisation (signe servant à distinguer les assemblages à gauche et à droite dans une ferme), voire de localisation (signe indiquant l'emplacement d'un bois dans un sous-ensemble particulier comme une croupe de toiture). Dans les édifices dépourvus de voûtes en maçonnerie, les charpentes françaises sont le plus souvent habillées par un lambris qui épouse le profil des pièces secondaires de la charpente (liens, aisseliers). Comme dans d'autres régions d'Europe, les parties apparentes de la charpente peuvent être sculptées ou peintes (fig. 10).

27. Hunot 2011.

28. Courtenay, Alcock 2015 ; Lohrum 2004.

29. Epaud 2007.

30. Lohrum 2004.

31. Maggi 2014.

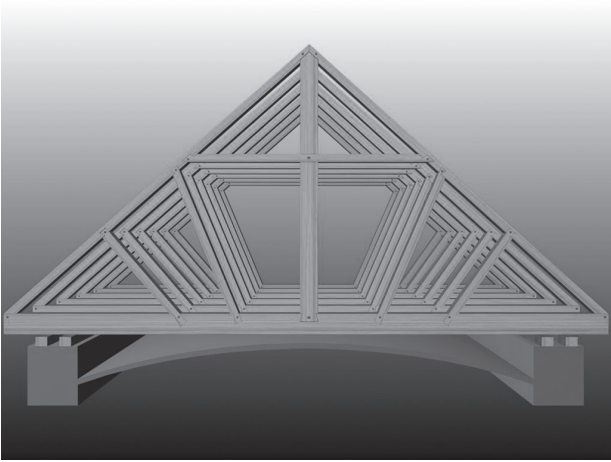


Fig. 6 – Allouis (Cher), église Saint-Germain, nef, 1124-1125d infographie par Célia Dormal (ULG-CEA) d'après MAP/CRMH, D 16718, Bontemps, 2002, 15-17.



Fig. 9 – Paris, ancien prieuré de Saint-Martin-des-Champs, toiture de l'ancien Réfectoire, début 1215-1220d (Hoffsummer, 2002). Photo : P. Hoffsummer.



Fig. 7 – Église de Langeronde (Vendée), charpente du type « bordelais » à fermes et pannes. Médiathèque de l'architecture et du patrimoine, Diffusion RMN.

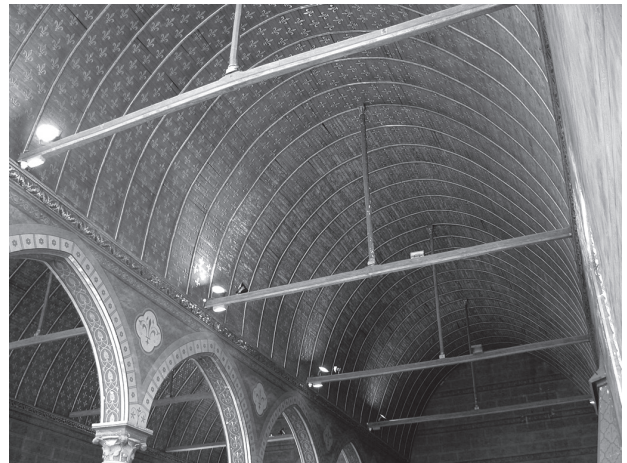


Fig. 10 – Blois (Loir-et-Cher), Château, salle des États Généraux, œuvre supposée de Thibaud VI, comte de Blois, mort en 1218 et de ce fait datée du début du XIII^e siècle. Bontemps, 2002, 138-141. Photo : P. Hoffsummer ULG-CEA.

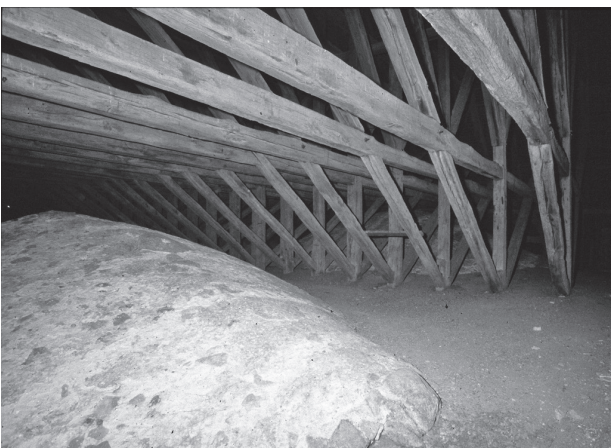


Fig. 8 – Étampes (Essonne), église Notre-Dame, charpente du bras sud du transept, 1177-1187d (Hoffsummer 2002). Photo : P. Hoffsummer ULG-CEA.



Fig. 11 – Beauvais (Oise), cathédrale Saint-Pierre, charpente du chœur (1257-1258d avec modifications après 1573 et au XVIII^e siècle). Photo : P. Hoffsummer ULG-CEA.



Fig. 12 – Bruxelles, église N.-D. du Sablon, charpente du bras sud du transept (1451-1453d) construite selon le modèle des toitures brabançonnaises à portiques. Photo : P. Hoffsummer ULG-CEA.



Fig. 13 – Liège (B.), église Saint-Denis, toiture du chœur avec sa fermeture provisoise (1422-1423d). Photo : P. Hoffsummer ULG-CEA.

Au nord de la Loire, le nombre d'exemples augmentant considérablement à partir de 1220, il est possible de grouper les charpentes par types plus ou moins régionaux. Ils appartiennent tous à la grande famille de charpentes divisées en travées où les couples de chevrons-fermes alternent avec des fermes principales. Formant les côtés d'un triangle équilatéral, les longs arbalétriers monoxyles seraient typiques de l'Ile-de-France et de la Bourgogne, de même que le haut poinçon « à la française » (*King Post*) soulage l'entrait des fermes principales et reçoit les liens de contreventement. Ce système se retrouve dans le comté de Flandre, jadis français, tandis que dans le Brabant et la bordure occidentale de l'Empire germanique (principauté de Liège), on préfère souvent une construction des fermes principales à l'aide d'étages successifs de portiques en forme de trapèze (fig. 12). Ce système fait usage de bois plus courts pour les segments d'arbalétriers et, dans le Brabant, la très grosse section (40 x 50 cm) des entrails empêche ces derniers de fléchir, même en l'absence de poinçon. Il se satisfait de gros chênes noueux à croissance rapide typique des régions de plaine et des forêts dégradées et est

sans doute apparenté, sans le reproduire exactement, au *Liegendestuhl* germanique. On le trouve également aux Pays-Bas³², à Liège et à Maastricht, avec une variante où un poinçon traverse le portique pour suspendre un entrait plus fin (fig. 13). Il offre des avantages au moment du levage, les portiques en trapèze des fermes principales, reliés par des pannes, servant d'échafaudage au moment de l'assemblage des chevrons-fermes secondaires. Dans le Bas-Rhin, l'utilisation des résineux favorise l'usage de bois longs au fil régulier. On y retrouve aussi les influences germaniques dans la construction des fermes à portiques, à poteaux (*stehenden Stuhls*) ou en forme de trapèze (*liegende Stuhls*).

Si on admet que les couvertures du Midi, en tuile romaine ou tuile canal, nécessitent une charpente à pente très douce, on serait tenté de suivre Viollet-le-Duc en identifiant en Aquitaine des structures à fermes et pannes de tradition méditerranéenne. Toutefois ces charpentes « bordelaises » (fig. 7), dont les fermes et pannes apparentes sont

32. Janse 1989.

sculptées, datent-elles aussi du XIII^e siècle ? Les exemples connus sont mal datés car on manque d'analyses dendrochronologiques. On notera toutefois certains liens entre les charpentes du sud-ouest et les *open roofs* anglais. L'Aquitaine était anglaise du XII^e au XV^e siècle.

Le Sud-Est n'a pas encore été touché par le projet *Corpus tectorum*, mais les travaux de Philippe Bernardi, puis d'Émilien Bouticourt, lèvent un coin du voile en nous montrant des charpentes apparentes dont les pannes posent sur des arcs tantôt en pierre, tantôt en bois³³.

Ainsi ébauchée, l'histoire des charpentes de toitures ne prend guère en compte la construction rurale et vernaculaire. Où d'ailleurs fixer la limite entre le monumental et le vernaculaire ? Les témoins du XIII^e siècle sont plutôt rares. La grange cistercienne de Ter Doest, près de Bruges, est un rare exemple de grange médiévale du XIV^e siècle (1370-1385d) – et non du XIII^e – comme on l'a souvent prétendu³⁴. On y trouve, dans cette plaine côtière flamande, la division classique de l'espace d'enferme en trois nefs grâce aux files de poteaux, mais aussi des trapèzes dans les fermes principales pour porter les pannes et, enfin, les classiques couples de chevrons-fermes secondaires. Certaines granges et halles de Normandie ou de Bretagne³⁵, datées du XIII^e siècle, sont, comme à Ter Doest, dans la lignée des *Ständerbau* du nord de l'Europe³⁶, les portiques en trapèze en moins. Le fait de lier des fermes principales par des pannes est une solution rationnelle à la fois pour porter la couverture et donner de la résistance aux chevrons. Cela peut être aussi une source d'économie en bois d'œuvre si on diminue la section des chevrons portés. On peut donc penser que les deux grands systèmes constructifs – chevrons formant fermes d'une part, fermes et pannes d'autre part – ont coexisté depuis très longtemps. De temps à autre, la dendrochronologie permet d'ailleurs de constater que des charpentes médiévales du Nord ou du Nord-Est, privilégient les systèmes à fermes et pannes, comme en Bourgogne, au-dessus de l'église-halle voûtée de Vermenton, une église dont la charpente du chœur (fig. 14) avait déjà éveillé l'attention de Friedrich Ostendorf³⁷.

De 1300 à 1480, on ne note pas de changements fondamentaux dans les techniques inventées au XIII^e siècle. Rare avant 1300, la panne faîtière devient banale dès 1420 et il n'existe plus de charpente qui ne soit correctement contreventée. Le contreventement axial prend même parfois une importance démesurée (fig. 15) en multipliant les étages de



Fig. 14 – Vermenton (Yonne), église Notre-Dame, charpente du chœur (1300-1314d) construit en édifice halle à trois nefs. Hoffsummer, Lambert, Weitz 2012. Photo : P. Hoffsummer ULG-CEA.

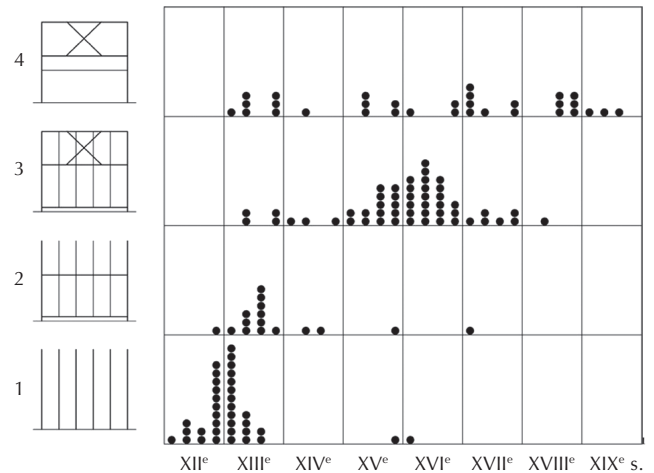


Fig. 15 – Évolution générale du système de contreventement dans le Grand-Ouest (Hoffsummer 2011, 332).

sous-faîtières et de croix-de-Saint-André. Un des faits les plus remarquables que fait ressortir la typo-chronologie est l'émergence d'un ensemble de familles de charpentes très homogènes, bien calé dans le temps sur une longue période de 1310 à 1680. Ce groupe de charpentes à structures tramées de l'Ouest se caractérise par la présence d'un poinçon de fond dans les fermes principales, associé à des liens de contreventement raidis par des croix-de-Saint-André. Il illustre parfaitement les spécificités de la charpenterie française de la fin du Moyen Âge et de l'Époque moderne (fig. 16), le modèle retenu par Le Muet dans son traité³⁸.

De 1480 à 1700, le fait majeur est la diminution des ressources forestières avec pour conséquence l'abandon progressif des chevrons-fermes et le recours au bois de sciage

33. Bouticourt 2016.

34. Nuytten 2008.

35. Epaud 2007 ; Epaud 2011.

36. Zimmermann 1998

37. Ostendorf 1908 ; Hoffsummer, Lambert, Weitz 2012

38. Le Muet 1681 ; Gilles 2011.



Fig. 16 – Exemple du type «1.3.1.6.1» (Hoffsummer 2011, 115-120). Charpente à chevrons formant fermes contreventée par une ou plusieurs sous-faîtières et une panne faîtière, alternance de fermes à entrait et de fermes à entrait retroussé, poinçon, jambettes et aisseliers, à un seul étage de faux-entrait : Sargé-sur-Braye (Loir-et-Cher), château des Radrets, grange. Photo : P. Hoffsummer ULG-CEA.



Fig. 17 – Cour-Cheverny (Loir-et-Cher), château de Cheverny, aile entre l'escalier central et le pavillon est, 1627-1628d. Traces de la scie à cadre. Photo : P. Hoffsummer ULG-CEA.



Fig. 18 – Ravenel (Oise), dôme du clocher de l'église de la Nativité Notre-Dame. Charpente à la Philibert De L'Orme soutenue par une charpente en chêne de plus gros équarrissage, le tout daté en dendrochronologie de 1600-1622 (Hoffsummer, Delye 2015). Photo : P. Hoffsummer.

(fig. 17) qui permet une exploitation plus économique des grumes. Le phénomène est très clair dans la région liégeoise à partir des années 1530 environ. En Île-de-France, à Versailles par exemple, de grands monuments adoptent encore les chevrons-fermes mais il s'agit de cas isolés et prestigieux. Les traités des XVII^e et XVIII^e siècle font allusion à ces changements. Savot décrit les charpentes à chevrons formant fermes qu'il qualifie de «*plus belles, & plus nobles (...), y en ayant autant [de fermes] que de chevrons, (...)*» et Briseux fait grand cas de la pénurie de bois en regrettant leur abandon : «*On voit d'anciens combles, où chaque chevron porte ferme ; & on ne sait pourquoi on en a perdu l'usage, puisque leur durée ne laisse pas douter de leur solidité, qui d'ailleurs peut être démontrée*»³⁹. Le problème du bois d'œuvre était

préoccupant au point que Philibert de l'Orme inventa, en 1561, un procédé révolutionnaire : des arcs de bois composés de courtes planches assemblées par des clavettes⁴⁰ (fig. 18). Cette invention, particulièrement indiquée dans la construction de toitures «à l'impériale», eut peu de retentissement à l'époque. L'idée ne sera pleinement exploitée qu'à partir du XIX^e siècle et conduira aux actuelles charpentes en lamellé-collé. La charpenterie traditionnelle perdue et s'adapte à la mauvaise qualité des bois et aux formes nouvelles des toitures. La construction des toits à la Mansard répond au besoin d'aménager le comble en un volume habitable mais fait aussi usage de bois courts. Elle fera école dans toutes les régions d'Europe⁴¹.

39. Savot 1624; Briseux 1743; Gilles 2011.

40. De l'Orme 1561.

41. Zalewski 2009.

PERSPECTIVES

La région de Bruxelles

Dans le cadre d'une action relevant à la fois de l'archéologie préventive et de la recherche programmée, la méthodologie du *Corpus tectorum* est désormais appliquée dans la région bruxelloise⁴². L'initiative et le financement reviennent à la Direction des Monuments et sites de la Région Bruxelles Capitale (coordination Sylvianne Modrie) qui s'adjoit les contributions d'archéologues du CReAPatrimoine, de l'Université libre de Bruxelles⁴³, de dendrochronologues du Centre européen d'archéométrie de l'Université de Liège et de l'Institut royal du patrimoine artistique (IRPA). Comparé au Nord ou au Grand Ouest, le territoire est très réduit et le nombre d'exemples élevé puisque le *corpus* comprendra, d'ici fin 2016, environ 120 exemples de toitures à deux versants, la plupart ayant fait l'objet d'analyses dendrochronologiques. Cette concentration d'exemples offre de nouvelles perspectives pour observer dans le détail, et à une échelle statistique enviable, le travail des charpentiers brabançons. Le bombardement de Bruxelles par les Français en 1695⁴⁴ nous prive d'importants témoins médiévaux mais des comparaisons dans les environs de la capitale pourront compenser ces lacunes. En travaillant sur une aire restreinte, on a la possibilité, sans trop se déplacer, de pousser l'analyse du travail du bois grâce aux relevés précis, aux études tracéologiques, à celles du marquage. Cette enquête systématique offre aussi l'avantage de toucher toutes les couches sociales des commanditaires, bâtisseurs de maisons modestes ou de grandes églises⁴⁵.

La dendrochronologie du chêne dans les plaines du nord de la Belgique n'est pourtant pas simple. Confrontés à l'analyse de chênes à croissance rapide, les dendrochronologues travaillant à Bruxelles obtenaient rarement de bons résultats sur des échantillonnages réduits⁴⁶. Le projet en cours est l'occasion d'être bien plus performant même s'il subsiste des arbres irréductibles. La recette est facile à comprendre : plus vous multipliez les échantillons et les chronologies de site, plus vous donnez à *Dendron IV* l'occasion d'être performant. En augmentant les campagnes sur le bâti bruxellois, une autre constatation est apparue : faute de chêne, d'autres essences sont utilisées, en particulier dans l'architecture modeste de la fin du Moyen Âge ou des Temps modernes : échantillons d'orme, peuplier, pin sylvestre, épicéa ou

frêne arrivent désormais au laboratoire, au moins pour être identifiés, datés dans le cas de certains résineux. En cas de difficulté, C14 et dendrochronologie sont combinés.

Le nord-est de la France

Au vu des expériences positives à propos des charpentes du Nord et du Grand Ouest, la Médiathèque de l'Architecture et du Patrimoine du Ministère de la Culture (MAP) souhaite poursuivre le *Corpus tectorum* sur l'ensemble de l'Hexagone. C'était la volonté du regretté Jean-Daniel Pariset à la fin de son mandat de directeur. Choisir la nouvelle aire d'étude, tout en tenant compte des nouvelles limites données aux régions administratives n'était pas une décision facile. C'est finalement le Grand-Est qui est a été retenu (Alsace Champagne-Ardenne, Lorraine et Bourgogne-Franche-Comté). Ce choix induit un recouvrement partiel du Nord déjà publié mais il y a suffisamment de données nouvelles pour le justifier. Outre le personnel de la MAP, le projet s'appuie sur la collaboration de personnes extérieures issues notamment des Conservations régionales et des agences des Architectes en chef des Monuments historiques. Par ailleurs, Sophie Blain, attachée au CEA de l'ULg, est intervenue dans un mandat du FNRS belge obtenu pour la période 2013 à 2016, et le Centre d'Études Médiévales d'Auxerre (CEM, CNRS), en la personne de Sylvain Aumard, assure un suivi approfondi de certaines restaurations de couvertures. Des résultats intéressants sur l'analyse des couvertures en tuiles ont été produits⁴⁷.

Le sud-est de la France

Un *Corpus tectorum* du Sud-Est et des bords de la Méditerranée ainsi que du centre de la France (Centre, Limousin, Auvergne), pourrait être traité plus tard, selon les moyens humains et financiers disponibles. Comme à propos du Nord, où des exemples de Belgique ont été associés, l'ouest de la Suisse, une partie de l'Allemagne, de l'Italie ou de l'Espagne peuvent fournir des éléments de comparaisons intéressants en ancrant l'analyse française dans un contexte européen. Les régions méditerranéennes ou en contact avec les Alpes du sud montrent un potentiel riche et prometteur. Dans la foulée des travaux récents⁴⁸, et en prônant la mutualisation de moyens issus des universités, du CNRS et de la conservation du patrimoine, on pourrait donner un avenir et du sens à un inventaire raisonné systématique des charpentes. La voie tracée au Centre Camille Julian et à l'Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Écologie marine et continentale, sous la direction de

42. Hoffsummer, Modrie, Weitz 2013.

43. Heymans, Sosnowska 2011 ; Sosnowska 2013.

44. Culot *et al.* 1992.

45. Weitz *et al.* 2015.

46. Eeckhout 2005 ; Weitz 2012.

47. Blain 2015 ; Aumard 2015.

48. Bernardi 2007 ; Bouticourt 2016 ; Phalip 2004.

Jean-Louis Edouard et Frédéric Guibal, l'ouverture vers l'étude du patrimoine rural et montagnard, tant forestier⁴⁹ qu'architectural⁵⁰, mais en relation étroite avec les ressources forestières⁵¹, appellent inmanquablement des prolongements dans le domaine de l'archéologie du bâti. Aix-en-Provence représente un potentiel urbain et monumental quasi inexploré du point de vue de l'histoire de la construction. Espérons que l'initiative bruxelloise suscite d'autres entreprises. C'est le message de cette note.

Bibliographie

- Aumard 2008** : S. Aumard, Pour une archéologie des couvertures : une problématique en renouvellement, *in* : P. Hoffsummer, J. Eeckhout, *Matériaux de l'architecture et toits de l'Europe*, Institut du patrimoine wallon, Les dossiers de l'IPW, 6, Namur, 2008, 165-186.
- Aumard 2015** : S. Aumard, *Charpentes remarquables de Bourgogne, rapport d'étude commandité par la Conservation régionale des Monuments historiques (DRAC Bourgogne)*, Centre d'études médiévales Saint-Germain, Auxerre, 2015, 58 p.
- Bernard, Epaud, Le Digol 2007** : P. Bernardi, F. Epaud, Y. Le Digol, Le bois : de la forêt au chantier, *in* : F. Epaud, *De la charpente romane à la charpente gothique en Normandie. Évolution des techniques et structures de la charpenterie aux XII^e-XIII^e siècles*, Publications du CRAHM, Caen, 2007, 9-46.
- Bernardi 2007** : P. Bernardi (dir.), *Forêts alpines et charpentes méditerranéennes*, Éditions du Fournel, 2007, 255 p.
- Blain 2015** : S. Blain, P. Hoffsummer, S. Aumard, B. Togni, Typologie des charpentes de toiture en Bourgogne médiévale, *Archaeologia Mediaevalis*, 38, 2015, 54-56.
- Blain, Maggi, Hoffsummer 2015** : S. Blain, C. Maggi, P. Hoffsummer, Les charpentes de la collégiale Saint-Denis à Liège (Belgique) : apports de l'archéométrie et de l'archéologie du bâti à l'histoire du site (XI^e-XVIII^e siècle), *Archéologie médiévale*, 45, 2015, 85-116.
- Bláha, Janák, Růžička 2008** : J. Blaha, K. Janak, P. Ruzicka, Les traces du travail du bois, *in* : P. Hoffsummer, J. Eeckhout, *Matériaux de l'architecture et toits de l'Europe*, Institut du patrimoine wallon, Namur, Les dossiers de l'IPW, 6, 2008, 119-140.
- Bontemps 2002** : D. Bontemps, Charpentes de la région Centre du XII^e au XIII^e siècle, Albums du centre de recherches sur les monuments historiques, Éditions du Patrimoine, Paris, 2002, 203 p.
- Bouticourt 2016** : E. Bouticourt, *Charpentes méridionales, construire autrement : le Midi rhodanien à la fin du Moyen Âge*, Éditions Honoré Clair, Arles, 2016, 343 p.
- Briseux 1743** : C.-E. Briseux, *L'art de bâtir des maisons de campagne où l'on traite de leur distribution, de leur construction & de leur décoration*, Paris, Prault Père, 2 t., 1743, 162 p. et 195 p.
- Courtenay, Alcock 2015** : L. Courtenay, N. Alcock, Romanesque roofs: the nave of Jumièges abbey and the common-tiebeam tradition in northern Europe, *Medieval Archaeology*, 59, 1, 2015, 22-167.
- CRMH 1982** : Centre de recherche sur les monuments historiques, *Les charpentes du XI^e au XII^e siècle*, vol.1, Paris, Ministère de la Culture, Direction du Patrimoine, 1982, 375 p.
- Culot et al. 1992** : M. Culot, E. Hennaut, M. Demanet, C. Mierop, *Le bombardement de Bruxelles par Louis XIV et la reconstruction qui s'en suivit 1695-1700*, Éditions Archives d'architecture moderne, Bruxelles, 1992, 294 p.
- De l'Orme 1561** : P. De l'Orme, *Nouvelles inventions pour bien bastir et à petits fraiz*, Paris, 1561, 55 p.
- Deneux 1927** : H. Deneux, L'évolution des charpentes du XI^e au XVIII^e siècle, *L'architecte*, Paris, 1927, 49-53, 57-60, 65-68, 73-75, 81-89.
- Eeckhout 2005** : J. Eeckhout, Dendrochronologie et typologie de charpente à Bruxelles et problématique des chronologies de référence, *Archaeologia Mediaevalis*, 28, 2005, 154.
- Edouard 2007** : J.-L. Edouard, Les très vieux arbres vivants et les arbres morts, témoins et vestiges des forêts du passé dans les Alpes du Sud : lecture dendrochronologique d'un patrimoine naturel et humain, *in* : P. Bernardi (dir.), *Forêts alpines et charpentes méditerranéennes*, Éditions du Fournel, 2007, 9-16.
- Edouard 2010a** : J.-L. Edouard, Longue chronologie de cernes du mélèze et occupation humaine depuis plus de mille ans dans la vallée de la Clarée (Briançonnais, Alpes françaises), *in* : S. Tzortzis, X. Delestre (dir.), *Archéologie de la montagne européenne, Actes de la table ronde internationale de Gap, 29 septembre- 1^{er} octobre 2008*, Bibliothèque d'archéologie méditerranéenne et africaine, 4, Errance, 2010, 325-333.
- Edouard 2010b** : J.-L. Edouard, Datation dendrochronologique du bâti traditionnel et occupation humaine dans les Alpes françaises du sud au cours du dernier millénaire, *in* L. Astrade, C. Miramont (dir.), *Actes du colloque Panorama de la dendrochronologie en France, 8,9 et 10 octobre 2009, Digne-les-Bains, Alpes-de-Haute-Provence*, collection Edytem, 11, 2010, 169-176.
- Epaud 2007** : F. Epaud, *De la charpente romane à la charpente gothique en Normandie. Évolution des techniques et structures de la charpenterie aux XII^e-XIII^e siècles*, Publications du CRAHM, Caen, 2007, 613 p.
- Epaud 2011** : F. Epaud, La grange de la commanderie Sainte-Vaubourg du Val-de-la-Haye (Seine-Maritime), *in* : P. Hoffsummer (dir.), *Les charpentes du XI^e au XIX^e siècle, typologie et évolution dans le Grand Ouest de la France*, Turnhout, Brepols, Architectura MediiAevi, 5, 2011, 261-268.
- Epaud, Bernard 2009** : F. Epaud, V. Bernard, L'évolution des charpentes d'églises du Val-d'Oise, du XI^e au XX^e siècle, *Revue archéologique du Centre de la France*, 47, 2009, mis en ligne le 18 mai 2009. URL: <http://racf.revues.org/index1205.html>. Consulté le 14 mai 2010.
- Girardclos, Hoffsummer, Perrault, 2011** : O. Girardclos, P. Hoffsummer, C. Perrault, Les charpentes de la cathédrale Saint-Pierre à Poitiers, *in* : P. Hoffsummer (dir.), *Les charpentes du XI^e au XIX^e siècle, typologie et évolution dans le Grand Ouest de la France*, Turnhout, Brepols, Architectura MediiAevi, 5, 2011, 307-318.

49. Edouard 2007, 2010a et b.

50. Labbas 2016.

51. Shindo 2016.

- EiBing 2009** : T. EiBing, *Kirchendächer in Thüringen und dem südlichen Sachsen-Anhalt, Dendrochronologie, Flößerei, Konstruktion*, coll. Arbeitsheft des Thüringischen Landesamtes für Denkmalpflege, Neue Folge, 32, éd. E. Reinhold Verlag, Erfurt, 2009.
- Fraiture 2011** : P. Fraiture (dir.), *Tree Rings, Art, Archaeology, Proceedings of a conference 10-12 february 2010*, Institut royal du patrimoine artistique, Bruxelles, Scientia Artis 7, 2011, 340 p.
- Génicot L.-F. 1977** : L.-F. Genicot, Charpentes du XI^e au XIX^e siècle en Wallonie (2), *Bulletin de la Commission royale des monuments et des sites*, t.6, 1977, 139-162.
- Gilles 2011** : I. Gilles, L'évolution du comble à la lecture des traités d'architecture français du XVI^e au XVIII^e siècle, in : P. Hoffsummer (dir.), *Les charpentes du XI^e au XIX^e siècle, typologie et évolution dans le Grand Ouest de la France*, Turnhout, Brepols, Architectura MediiAevi, 5, 2011, 29-39.
- Heymans, Sosnowska 2011** : V. Heymans, P. Sosnowska, On Brussels carpentry (15th-18th centuries). Contributions of dendrochronology to the study of buildings, in : P. Fraiture (dir.), *Tree Rings, Art, Archaeology, Proceedings of an international Conference*, Bruxelles, coll. Scientia Artis 7, 2011, 255-269.
- Hoffsummer 1995** : P. Hoffsummer, *Les charpentes de toiture en Wallonie*, Division du Patrimoine, Ministère de la Région Wallonne, Namur, Études et Documents, Monuments et sites, 1, 1995, 173 p.
- Hoffsummer 2002a** : P. Hoffsummer (dir.), *Les charpentes du XI^e au XIX^e siècle : typologie et évolution en France du Nord et en Belgique*, Paris, Monum, Centre des monuments nationaux, Cahiers du patrimoine, 62, 2002, 376 p.
- Hoffsummer 2002b** : P. Hoffsummer, Typologie de la charpente, in : P. Hoffsummer (dir.), *Les charpentes du XI^e au XIX^e siècle : typologie et évolution en France du Nord et en Belgique*, Paris, Monum, Centre des monuments nationaux, Cahiers du patrimoine, 62, 2002, 163-257.
- Hoffsummer 2002c** : P. Hoffsummer, Les faits saillants d'une évolution, in : P. Hoffsummer (dir.), *Les charpentes du XI^e au XIX^e siècle : typologie et évolution en France du Nord et en Belgique*, Paris, Monum, Centre des monuments nationaux, Cahiers du patrimoine, 62, 2002, 259-277.
- Hoffsummer 2003** : P. Hoffsummer, La dendrochronologie de l'architecture, in : R. Noël, J.-P. Sosson, I. Paquay (dir.), *Au-delà de l'écrit, les hommes et leurs vécus matériels au Moyen Âge à la lumière des sciences et des techniques, nouvelles perspectives*, Université catholique de Louvain, Actes du colloque international de Marche-en-Famenne, 16-20 octobre 2002, Brepols, Typologie des sources du Moyen Âge occidental, 2003, 295-337.
- Hoffsummer 2009a** : P. Hoffsummer (dir.), *Roofs Frames from the 11th to 19th Century, Typology and Development in Northern France and in Belgium, Analysis of CRMH Documentation*, Turnhout, Brepols, Architectura MediiAevi, 3, 2009, 376 p.
- Hoffsummer 2009b** : P. Hoffsummer, *Charpentes d'Europe*, Institut du patrimoine wallon, Namur, Carnets du Patrimoine, 62, 2009, 72 p.
- Hoffsummer 2011** : P. Hoffsummer (dir.), *Les charpentes du XI^e au XIX^e siècle, typologie et évolution dans le Grand Ouest de la France*, Turnhout, Brepols, Architectura MediiAevi, 5, 2011, 385 p.
- Hoffsummer, Delye 2015** : P. Hoffsummer, E. Delye, *Ravenel (Oise), toiture du clocher de l'église de la Nativité Notre-Dame, archéologie de la charpente et analyse dendrochronologique*, rapport inédit, Université de Liège, ULG-CEA, 2015, 30 p.
- Hoffsummer, Eeckhout 2008** : P. Hoffsummer, J. Eeckhout, *Matériaux de l'architecture et toits de l'Europe*, Institut du patrimoine wallon, Namur, Les dossiers de l'IPW, 6, 2008, 256 p.
- Hoffsummer, Lambert, Weitz 2012** : P. Hoffsummer, G.-N. Lambert, A. Weitz, *L'église Notre-Dame de Vermenton, rapport d'analyse dendrochronologique* (inédit), Archives du Laboratoire de dendrochronologie de l'Université de Liège (réf. ULG-CEA-773), Liège, 2012, 21 p.
- Hoffsummer, Modrie, Weitz 2013** : P. Hoffsummer, S. Modrie, A. Weitz, Les charpentes de toiture en région bruxelloise : datation et étude typologique, *Archaeologia Mediaevalis*, Bruxelles, n° 36, 2013, 153-156.
- Hoffsummer, Van Ruymbeke, Touzé 2011** : P. Hoffsummer, M. Van Ruymbeke, R. Touzé, Typologie de la charpente, in : P. Hoffsummer (dir.), *Les charpentes du XI^e au XIX^e siècle, typologie et évolution dans le Grand Ouest de la France*, Turnhout, Brepols, Architectura MediiAevi, 5, 2011, 85-176.
- Hollstein 1980** : E. Hollstein, *Mitteuropäische Eichenchronologie. Trierer dendrochronologische Forschungen zur Archäologie und Kunstgeschichte*, Mainz am Rhein, Ph. Von Zabern, Rheinisches Landesmuseum, Trèves, Trier Grabunden und Forschungen, 11, 1980, 273 p.
- Hunot 2001** : J.-Y. Hunot, *L'évolution de la charpente de comble en Anjou, du XII^e au XVIII^e siècle*, Patrimoine d'Anjou : études et travaux 1, Conseil général de Maine-et-Loire, Angers, 2001.
- Hunot 2011a** : J.-Y. Hunot, De la forêt à la charpente : le savoir-faire du charpentier en Anjou, in : P. Hoffsummer (dir.), *Les charpentes du XI^e au XIX^e siècle, typologie et évolution dans le grand ouest de la France*, Turnhout, Brepols, Architectura MediiAevi, 5, 2011, 41-48.
- Hunot 2011b** : J.-Y. Hunot, L'hôpital Saint-Jean d'Angers, in : P. Hoffsummer (dir.), *Les charpentes du XI^e au XIX^e siècle, typologie et évolution dans le grand ouest de la France*, Turnhout, Brepols, Architectura MediiAevi, 5, 2011, 279-294.
- Hunot 2011c** : J.-Y. Hunot, Les charpentes de l'église abbatiale Sainte-Marie de Fontevraud., in : P. Hoffsummer (dir.), *Les charpentes du XI^e au XIX^e siècle, typologie et évolution dans le grand ouest de la France*, Turnhout, Brepols, Architectura MediiAevi, 5, 2011, 295-306.
- Janse 1989** : H. Anse, *Houten kappen in Nederland, 1000-1940*, Amsterdam, Delfste universitaire pers, Rijksdienst voor de Monumentenzorg, Bouwtechniek in Nederland, 2, 1989, 413 p.
- Jansma et al. 2012** : E. Jansma, R.-J. Van Lanen, P.-W. Brewer, R. Kramer, The DCCD : a digital data infrastructure for tree-ring research. *Dendrochronologia* 30, 4, 2012, 249-251.
- Lambert 2002** : G.-N. Lambert, Datation dendrochronologique des charpentes. Crédibilité et précision, in : *Les charpentes du XI^e au XIX^e siècle : typologie et évolution en France du Nord et en Belgique*, Paris, Monum, Centre des monuments nationaux, Cahiers du patrimoine, 62, 2002, 85-97.

- Labbas 2016:** V. Labbas, Archéologie et dendrochronologie du bâti subalpin dans le massif du Mercantour durant le deuxième millénaire de notre ère, thèse de doctorat inédite, Aix Marseille Université, 2016, 4 Vol, 529 p., 148 pl., 424 p. et 383 p.
- Lambert 2006:** G.-N. Lambert, *Dendrochronologie, Histoire et Archéologie, modélisation du temps. Le logiciel Dendron II et le projet Historic Oaks*, Habilitation à diriger des recherches, Université de Franche-Comté, Besançon, 2006, 2 vol., 152 p et 206 p.
- Lambert 2011a:** G.-N. Lambert, Datation précise par la dendrochronologie, nouveau cadre méthodologique, in: P. Hoffsummer (dir.), *Les charpentes du XI^e au XIX^e siècle, typologie et évolution dans le grand ouest de la France*, Turnhout, Brepols, Architectura MediiAevi, 5, 2011, 3-18.
- Lambert 2011b:** G.-N. Lambert, Dendrochronology, archaeology and science, in: P. Fraiture (dir.), *Tree Rings, Art, Archaeology, Proceedings of a conference 10-12 february 2010*, coll. Scientia Artis 7, Royal Institute for Cultural Heritage, Brussels, 2011, 19-30.
- Le Muet 1681:** P. Le Muet [1623], *Manière de bien bastir pour toutes sortes de personnes, contenant les moyens d'élever des bastiments de toutes grandeurs, d'y faire tous les ornemens, commoditez & détachemens qui s'y peuvent souhaiter. Ensemble des dessins pour bastir regulierement sur toute sorte de place*, éd. rev. et augm. F. Jollain, 1681.
- Le Port 1977:** M. Le Port, Évolution historique de la charpente en France, in: *La charpente et la construction en bois*, tome I, *L'humanisme du charpentier*, Paris, Librairie du Compagnonnage, Encyclopédie des métiers, 1977, 379-611.
- Lohrum 2004:** B. Lohrum, Vom Pfettendach zum Sparrendach; bemerkungen zur konstruktiven entwicklung des süddeutschen dachwerkes ab dem frühen 12 jahrhundert. In: *Alles unter einem Dach, Häuser, Menschen, Dinge*, Festschrift für Konrad Bedal, Peterberg, Michael Imhof verlag, 2004, 255-284.
- Maggi 2014:** C. Maggi, *Fer et bois dans les combles médiévaux et modernes du sud de la Belgique, contribution à l'histoire de la construction en Europe occidentale*, Thèse de doctorat inédite, Université de Liège, 2014, vol. 1, 300 p., vol. 2, 319 p.
- Nuytten 2008:** D. Nuytten, Bois et briques: l'apport de l'archéologie, l'archéométrie et l'architecture dans l'analyse de l'ancienne grange cistercienne de Ter Doest, in: P. Hoffsummer, J. Eeckhout, *Matériaux de l'architecture et toits de l'Europe*, Institut du patrimoine wallon, Namur, Les dossiers de l'IPW, 6, 2008, 29-40.
- Ostendorf 1908:** F. Ostendorf, *Die Geschichte des Dachwerks*, Leipzig, B.G. Teubner, 1908, 269 p.
- Patte 1769:** P. Patte, *Mémoires sur les objets les plus importants de l'architecture*, Paris, Rozet, 1769.
- Phalip 2004:** B. Phalip, *Charpentiers et couvreurs: l'Auvergne médiévale et ses marges*, Association lyonnaise pour la promotion de l'archéologie en Rhône-Alpes, Lyon, 2004, 148 p. (Documents d'archéologie en Rhône-Alpes et en Auvergne, n°26).
- Savot 1624:** L. Savot, 1624, *L'architecture française des bastimens particuliers*, Paris, Sébastien Cramoisy, 1624, 434 p.
- Shindo 2016:** L. Shindo, *Bois de construction et ressources forestières dans les Alpes du sud au II^e millénaire: dendrochrono-écologie et archéologie*, thèse de doctorat inédite, Aix Marseille Université, 2016, 935 p. (<https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-01325760>)
- Sosnowska 2013:** P. Sosnowska, *De brique et de bois, Contribution à l'histoire de l'architecture à Bruxelles. Étude archéologique, technique et historique des matériaux de construction (XIII^e-XVIII^e siècle)*, thèse de doctorat inédite, Université libre de Bruxelles, Bruxelles, 2013, vol. 1, 166 p., vol. 2, 327 p., vol. 3, 300 fig.
- Touzé 2011:** R. Touze, *Le bois dans les traités d'architecture du XV^e au XVIII^e siècle: entre l'antique et le moderne*, in: P. Hoffsummer (dir.), *Les charpentes du XI^e au XIX^e siècle, typologie et évolution dans le grand ouest de la France*, Turnhout, Brepols, Architectura MediiAevi, 5, 2011, 21-27.
- Viollet-le-Duc 1854-1875:** E. Viollet-Le-Duc, *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XI^e au XVI^e siècle*, 10 vol., Paris, 1854-1875.
- Webb 1983:** G.-E. Webb, *Tree-rings and Telescopes, the Scientific Career of A.E. Douglass*, Tucson, The University of Arizona Press, 1983.
- Weitz 2012:** A. Weitz, *La provenance du bois d'œuvre en Région Bruxelles-Capitale: première approche de la question à travers l'étude et la révision des données du laboratoire de dendrochronologie de l'Ulg/CEA*, (2 vol.), mémoire de Master, Université de Liège, 2012.
- Weitz et al. 2015:** A. Weitz, P. Charruadas, S. Crémer, P. Fraiture, P. Gerrienne, P. Hoffsummer, P. Sosnowska, S. Modrie, Réalisation d'un inventaire typologique et dendrochronologique des charpentes anciennes en région Bruxelles-Capitale, *Archaeologia mediaevalis* 37, 2015, 123-125.
- Zalewski 2009:** P. Zalewski (dir.), *Dachkonstruktionen der Barockzeit, Studien zur internationalen Architektur und Kunstgeschichte*, 66, Petersberg, Michael Imhof Verlag, 2009.
- Zimmermann 1998:** W. H. Zimmermann, Pfosten, Ständer und Schwelle und der Übergang vom Pfosten – zum Ständerbau – Eine Studie zu innovation und Beharrung im Hausbau. Zu Konstruktion und Haltbarkeit prähistorischer bis neuzeitlicher Holzbauten von den Nord – und Ostseeländern bis zu den Alpen, in *Probleme der Küstenforschung im südlichen Nordseegebiet*, 25, Isensee Verlag, Oldenburg, 1998, 9-242.

Dendro-assistance à la détermination de la provenance géographique des bois archéologiques

*Georges Lambert**

Avec les données de:
Jean-Luc Dupouey (INRA), Patrick Gassmann (Musée Laténium, Neuchâtel, Suisse),
Olivier Girardclos (CNRS), Frédéric Guibal (CNRS), Patrick Hoffsummer (ULg, Liège),
Georges Lambert et Catherine Lavier (CNRS), François Lebourgeois (INRA), Yvonne Trenard (CTB, Paris)

Résumé

L'objectif est de montrer comment les corrélations dendrochronologiques peuvent aider à la détermination des sources anciennes d'approvisionnement en bois. On utilise ici des matrices de corrélations croisées du chêne. Ces matrices de corrélations croisées de bois déjà tous inter-datés ou inter-corrélés seront rangées par une classification automatique. La méthode utilisée est une classification hiérarchique ascendante qui permet de regrouper les bois en familles. L'algorithme commence par rassembler les séries les plus « proches » dans des familles les plus homogènes possible. Puis, progressivement, par étapes successives, il étend les familles trouvées aux plus proches séries restantes jusqu'à ne constituer qu'une seule famille avec l'ensemble de la population à traiter. Le résultat est communiqué dans un graphique appelé « arbre hiérarchique ascendant » ou « arbre typologique ». Les membres de chaque famille sont reliés par des « branches » (ici horizontales) dont la longueur est *inversement* proportionnelle à la corrélation. Plus la branche est courte, plus les croissances sont semblables, plus la « famille » est homogène. L'objectif est donc de tester la pertinence de ce type de calcul sur des arbres carottés vivants parfaitement localisés. Une première série de tests porte sur 129 arbres prélevés dans 16 stations dispersées dans une même forêt sur une vingtaine de kilomètres (Forêt de Chaux, Jura). Une deuxième série de tests portera sur 155 arbres, extraits d'un lot de plus d'un demi-millier d'arbres, issus de 32 forêts réparties en France sur un large transect Est-Ouest d'environ 800 km de long. Une forêt du canton Suisse de Neuchâtel, et une autre de la province belge de Liège ont été intégrées à ce lot.

Les résultats sont intéressants mais non miraculeux. Sous les contraintes imposées à la démonstration – notamment la nécessité de ne pas travailler sur des séries typologiquement isolées –, l'algorithme sépare avec pertinence les familles d'arbres provenant du même lieu. Mais il ne livre pas de critère fiable qui permettrait d'estimer la distance entre ces familles. L'archéologue, l'historien ou l'expert du monument ancien ont donc loisir de mobiliser toute leur culture professionnelle pour appuyer telle ou telle interprétation des résultats affichés. Tous les calculs ont été effectués dans le logiciel expérimental Dendron-IV (Lambert 2006).

Mots-clés : dendrochronologie, modélisation mathématique, dendro-provenance, France, chêne.

Abstract

We want to show how to help the identification of geographical sources of archaeological or ancient woods using the dating correlations. We use here cross correlation matrices between ring width series. These matrices are ordered by an automatic classification called “ascendant hierarchical classification”. The algorithm gathers first the closer series in elementary “families” as more homogeneous as possible. Then, it extends the found families to the next closer series not yet included and so on, step by step, the algorithm builds a “tree” of families until the whole population is completely integrated in one big family. The result is visible on a graphic called “ascendant hierarchical tree”. Members of each family are connected by “branches” which of the length is *inversely* proportional to the correlation. More the “branch” is short (here the branches are horizontal), more the correlation is big, more the resemblance is great, more the family is homogeneous. Then, the aim consists to test the pertinence of this kind of computation against living trees (oak trees) perfectly located. The first part of the paper treats 16 places of one forest (Chaux Forest, Jura, France) spread along an about 20 km long transect. The second part treats 32 places of forests spread along a

* Collaborateur de l'université de Liège (ULg, B), chercheur honoraire du CNRS.

French transect West-East of about 800 km. Elements from the Belgian province of Liège and other ones from the Swiss canton of Neuchâtel were included in the computed set.

Results are interesting but not miraculous. Under forced constraints – especially do not use isolated typological series –, the algorithm separates clearly enough trees that come from the same location. But it does not deliver reliable criterion for the distance estimation between the places. So the professional culture and knowledge of our colleagues who are not dendrochronologists may completely work to give sense to such results. Computations made by the experimental software Dendron-IV (Lambert 2006).

Keywords: dendrochronology, mathematics models, dendro-provenance, France, Oak tree.

INTRODUCTION

La dendrochronologie permet de dater les bois trouvés dans les fouilles archéologiques ou les monuments anciens. La datation est basée sur la comparaison de la variation de la largeur des cernes annuels d'arbres différents, les arbres ou bois datés communiquant la date aux bois non datés. Les croissances d'arbres poussant au même endroit sont généralement très semblables. Il va de soi que les autres conditions environnementales, autres que l'éloignement jouent un rôle – ô combien non négligeable – dans la variation de la production du cerne : texture et hydrologie du sol, compétition, etc. Mais, en dendrochronologie archéologique, ces derniers facteurs sont quasiment

inconnus. Les chercheurs s'appliquent cependant à lever des critères, les moins imprécis possible, qui permettraient de définir un périmètre probable de la zone d'approvisionnement en bois. La dendrochronologie étant comparative, cette démarche est en arrière-plan de tout travail de datation¹. Cependant, il n'est pas rare que les bois d'un même bâtiment, proviennent de lieux différents et la question se complique quand les bâtisseurs s'approvisionnent aussi dans des dépôts du commerce à moyenne et longue distance, notamment du commerce par voie d'eau. Pendant la procédure de datation, le dendrochronologue identifie fréquemment, d'après la typologie variable de ses séries dendrochronologiques, des provenances différentes plus ou moins contemporaines. À défaut de publications

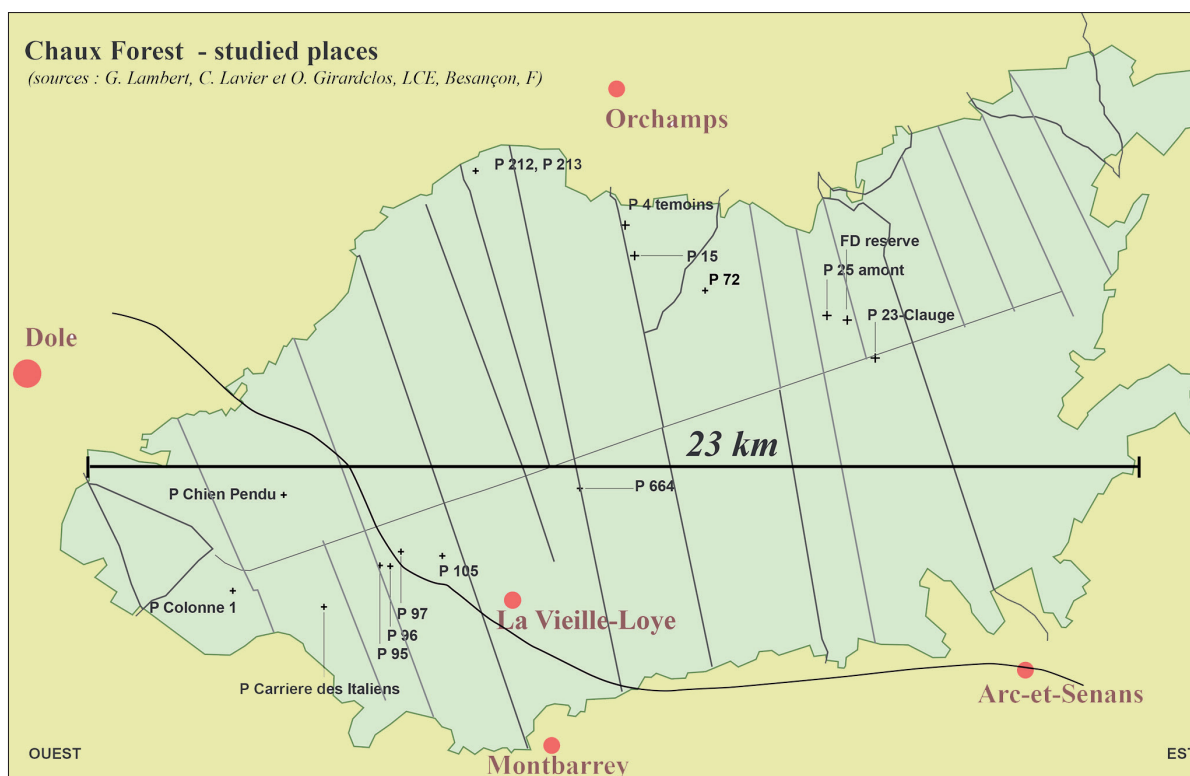


Fig. 1 – Étendue de la Forêt de Chaux, au nord du Jura Français, zone de prélèvements test sur du chêne. Les arbres ont été carottés par groupes en 16 points répartis dans les vingt mille hectares de cette forêt majoritairement domaniale. Cet espace sert ici de base expérimentale pour initier des calculs de dendro-provenance. Les stations sont diversement espacées sur un cailloutis argileux de l'époque tertiaire (système Aar-Doubs) percé ici et là de pointes du soubassement calcaire.

1. Voir par exemple Lambert *et al.* 2008.

French forests used in this study
The computing period is 1910 - 1980 AD (CE)

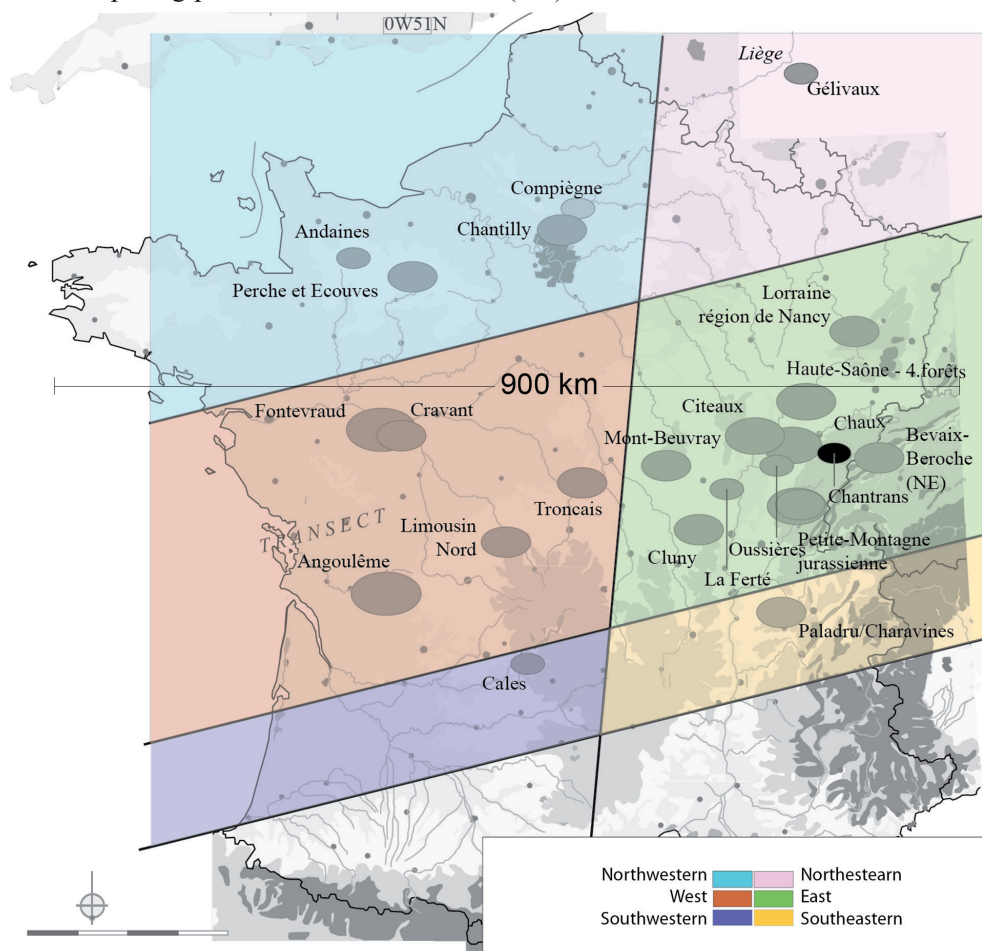


Fig. 2 – Stations forestières ou boisées échantillonnées en France Tempérée, Belgique du sud et Suisse occidentale. Ici, seul le chêne est concerné. Les laboratoires du CNRS (Besançon), de l'INRA (Nancy-Champenoux) ainsi que les laboratoires de l'université de Liège (ULg, Belgique) et du Musée Laténium de Neuchâtel (Suisse), ont fourni la plupart des échantillons. Les vents dominants atlantiques d'Ouest en Est constituent le principal facteur d'homogénéisation du signal dendrochronologique. La discrimination territoriale doit donc se moduler sur ce vecteur qui évolue d'une humidité atlantique étalée dans l'année vers des sécheresses aléatoires continentales.

de synthèse, les rapports privés des laboratoires de datation sont chargés de remarques traitant de cette question de l'origine des bois. Le traitement de cette question, la dendro-provenance, met en œuvre des faisceaux de considérations contextuelles : économiques, historiques, accidentelles (accidents météorologiques connus par exemple), etc.

En nous basant sur l'analyse dendrochronologique d'arbres vivants, carottés sur pied et par groupes (stations forestières), donc précisément localisés, nous évaluons dans ce papier la légitimité d'entreprendre une démarche de dendro-provenance à partir du seul signal dendrochronologique.

Ce texte est composé de deux parties qui suivront la présentation de la méthode. La première partie traite la question à l'échelle locale, échelle ordinaire d'un marché du bois d'une

bourgade au XV^e siècle par exemple. La forêt domaniale de Chauv, à l'est de Dole (Jura) nous offre un espace de 20 mille hectares dans lequel 129 arbres ont été prélevés par groupes dans 16 stations forestières, réparties sur près de 20 km (fig. 1). Visant à traiter des ensembles dendrochronologiques plus vastes, nous allons tirer de cette première partie, une technique d'échantillonnage des séries pour traiter 32 stations réparties sur l'ensemble de la France tempérée, la Belgique ardennaise et la Suisse occidentale (population totale 555 arbres, fig. 2). De la leçon tirée de la première partie, un échantillon de cette population (2 à 5 arbres par station, soit un échantillon de 155 arbres) est traité dans la seconde partie. Commençons par un rappel sur la méthode d'analyse que nous avons largement décrite ailleurs².

2. Lambert 2006.

MÉTHODE

La datation étant acquise (il s'agit d'arbres vivants connus sur pieds et carottés à une date précise), les calculs porteront sur une période fixe de 70 ans, 1910-1980 et les séries sont calibrées par la technique du corridor (fig. 3). Le coefficient de corrélation ou sa probabilité estimée par le test de Student seront utilisés comme «distance» entre les séries. La distance typologique entre les séries n'est pas la distance kilométrique mais une distance graphique qui permet d'évaluer d'un coup d'œil l'homogénéité du signal d'un groupe sur un graphique: ici, soit dans une matrice de corrélations croisées, soit dans un «arbre hiérarchique».

La matrice de corrélations croisées est un tableau carré (autant de lignes que de colonnes) des corrélations de toutes les séries sur toutes les autres. L'ordre des séries est le même en ligne qu'en colonne et la matrice se lit de la

même façon de gauche à droite que de haut en bas. Elle est symétrique: par exemple, la corrélation entre la série 4 et la série 7 se trouve portée deux fois: une fois dans la case ou colonne 4 de la ligne 7 et une deuxième fois dans la case ou colonne 7 de la ligne 4. La diagonale 1 de la matrice qui représente la corrélation de chaque série sur elle-même, est vide. Les calculs n'utilisent qu'une moitié de la matrice, située d'une part ou de l'autre de la diagonale 1. La présentation complète des matrices utilisée ici (sauf la dernière) n'est qu'un confort visuel ou une habitude, la moitié située en dessous de la diagonale suffit. La lecture des coefficients de corrélation précis ou des probabilités n'étant pas utile ici, les nombres ont été remplacés par des nuances de gris (10 paliers), le noir parfait représente la corrélation maximale (corrélation 1 ou probabilité 1), le blanc parfait représente la corrélation zéro ou la probabilité zéro. Le niveau de corrélation général étant assez bon, même à des distances de plusieurs centaines de kilomètres,

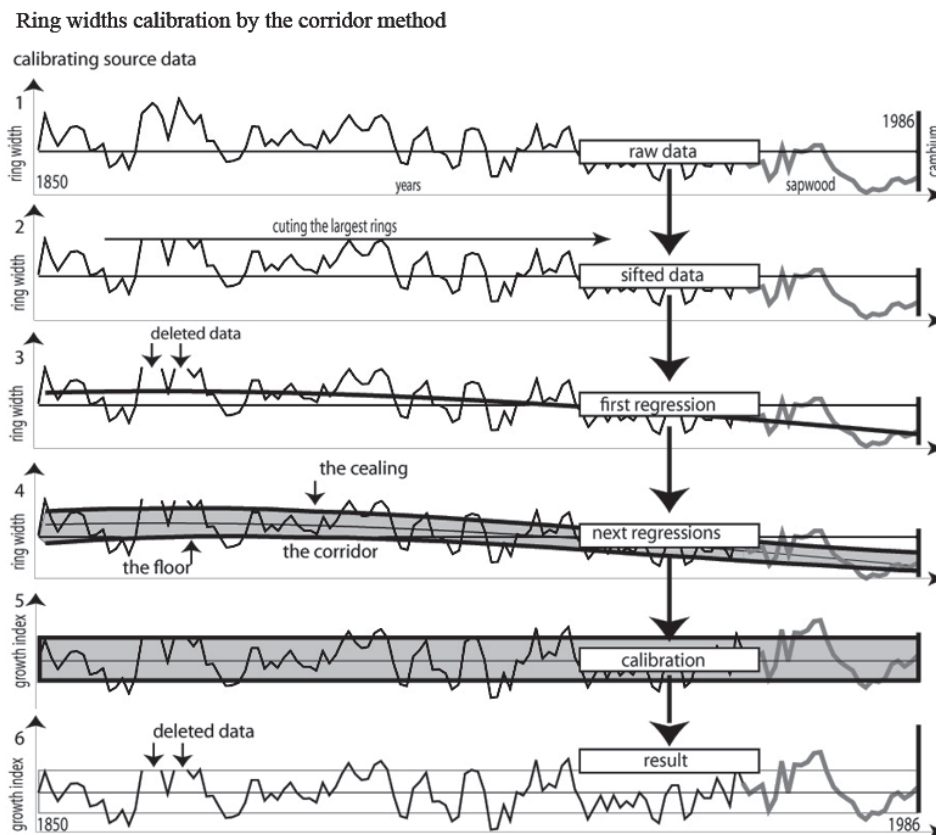


Fig. 3 – Méthode de calibration du signal dendrochronologique brut. Les largeurs de cernes sont incluses dans un «corridor» défini par 3 régressions polynomiales du même degré (en général du 3^e degré). Une première régression est calculée sur l'ensemble des données. Elle livre une «trace» qui traverse l'ensemble de la série. Une deuxième régression est calculée avec les points situés au-dessus de cette trace: cette régression livre le «plafond» du corridor. Une troisième régression calculée avec les points au-dessous de la trace donne le «plancher» du corridor. Le corridor défini par son plancher et son plafond est rectifié, transformé en un rectangle. Ce rectangle est obtenu par un centrage associé à une réduction de chaque largeur de cerne. Le centrage est obtenu par la soustraction de la valeur de la trace à l'année considérée et la réduction par la division du résultat centré par l'écart entre plancher et plafond de la même année. L'avantage de cette transformation sur d'autres, comme la correction par une moyenne mobile (Baillie et Pilcher) est qu'elle conserve une part d'ondulations mineures de la croissance qui, selon nous, sont susceptibles de caractériser plus précisément les différents environnements que la très haute fréquence.

les matrices sont assez «noires». Dans certaines d'entre elles, les plus basses corrélations ont été filtrées (évacuées), pour la lisibilité.

Le contraste entre zones très sombres et zones claires met en évidence des groupes de séries fortement apparentées – des familles homogènes «noires» – par opposition à des plages d'individus moins bien corrélés «blanches». Le rangement de la matrice joue un rôle efficace dans les capacités d'interprétation de la matrice. Dans le processus de datation, le rangement le plus efficace consiste à mettre en évidence la réplique des meilleures corrélations. Un algorithme du logiciel utilisé, inspiré des principes de Pareto ou loi des 20-80³, fait «monter» en haut à gauche les couples de séries qui présentent les plus fortes corrélations en ignorant les plus faibles. Ce type de rangement permet de distinguer rapidement des autres, les individus bien corrélés, bien «datés». Mais, sous l'angle de ce travail, ce type de rangement a un inconvénient. En effet, si la matrice contient plusieurs «familles» bien distinctes mais fortement homogènes, le rangement «de Pareto» a tendance à mélanger, en haut et à gauche, les meilleurs couples des différentes familles. Cette situation s'illustre par un certain désordre dans l'alternance des passages sombres et clairs le long de la diagonale. Il est alors pertinent de tenter d'améliorer le rangement de la matrice dans la perspective qui nous intéresse ici.

Parmi les différentes façons de classer une matrice symétrique de corrélations, la «classification hiérarchique ascendante»⁴ tente de hiérarchiser les corrélations par «familles». Noter : dans le langage de ce type de calcul une bonne «proximité» ou une faible «distance» équivaut à une bonne corrélation. Ces termes seront indifféremment utilisés dans ce qui suit. La classification hiérarchique se fait par étapes. Elle part des corrélations les plus élevées, pour finir par les plus basses. Au départ, il n'y a pas de familles, il n'y a que des éléments «orphelins», et petit à petit les «orphelins» seront intégrés aux familles en cours de constitution. À la différence du calcul précédent, à chaque pas de sa progression, la classification hiérarchique se préoccupe de la «proximité» de l'élément en cours de traitement avec ceux déjà associés dans des familles. S'il est plus proche d'une famille que d'un autre orphelin, cet élément est ajouté à la liste de la famille. Dans le cas contraire, le calcul crée une nouvelle famille avec les deux «orphelins» concernés. Et ainsi de suite, de proche en proche, les familles elles-mêmes «s'agglomèrent» en familles plus grandes (mais de moins en moins «homogènes») pour finir par une seule

hypothétique grande famille qui est l'ensemble de la population. Les étapes sont les suivantes (fig. 4) :

1. point de départ, il n'y a pas de «famille», il n'y a que des «orphelins».
2. les deux éléments les plus fortement corrélés sont saisis pour constituer la première famille, soit la première «branche» de l'arbre «hiérarchique» (qui mémorise la suite des opérations). Cette branche est aussi la plus courte de l'arbre car la longueur d'une «branche», la «distance», est le contraire de la corrélation (ici : distance = 1 – corrélation, ou, distance = 1 – probabilité).
3. La corrélation traitée est retirée du tableau original.
4. Le logiciel cherche alors la meilleure corrélation restante parmi les orphelins restants.

Il y a deux cas de figure :

- a) Ou bien cette corrélation concerne un autre orphelin : le logiciel crée une nouvelle famille avec les deux orphelins concernés. Une nouvelle branche indépendante de l'arbre est créée.
 - b) Ou bien cette corrélation concerne l'un des deux individus de la famille déjà trouvée. Dans ce cas la famille est augmentée d'un membre par «agglomération» de l'élément en cours de traitement. La famille compte alors 3 individus. Une nouvelle branche est ajoutée à la famille.
 5. La corrélation qui vient de travailler est effacée.
 6. Recommencer au point 4.
- Et ainsi de suite («boucler»).

Dans la «boucle» des opérations, à plusieurs reprises, il arrivera que la meilleure corrélation restante concerne les bords de deux familles déjà constituées, elles seront alors «agglomérées» en une super famille. Leurs arborescences sont alors liées par une branche et un «nœud» d'agglomération et les listes des deux familles sont juxtaposées.

À la fin tout le monde est «aggloméré», il n'y a plus qu'une famille et donc une seule liste. Cette liste donne l'ordre de la matrice nouvellement rangée. En parallèle, l'arbre hiérarchique qui mémorise la suite des opérations a été dessiné.

Il faut bien comprendre que les familles progressivement regroupées sont de moins en moins homogènes. Il reviendra à l'opérateur de décider des «nœuds» de partition pertinente. Le niveau de corrélation de ces nœuds peut varier d'une branche à l'autre car le calcul n'est pas dogmatique, il est descriptif, indicatif.

Dans ce papier, les arbres hiérarchiques se développent de gauche à droite, sauf le dernier (fig. 15) qui a été inversé pour des raisons graphiques.

3. Pareto 1909 et 1982.

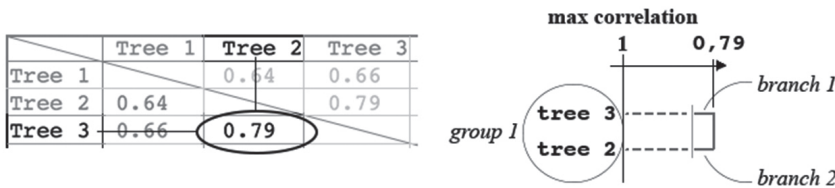
4. Jambu, Lebeaux 1978, Lerman 1981.

How to build of a typological hierarchical tree (a mathematical tree) Exemple with 5 oak trees of the Chaux forest, (Jura-39, France)

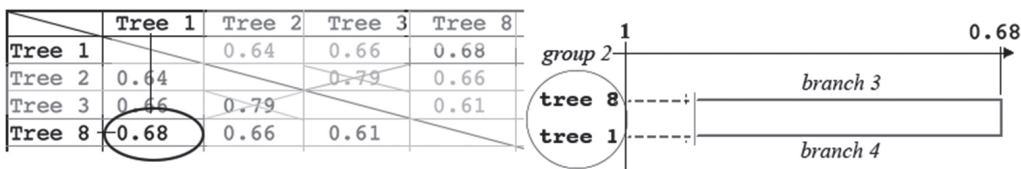
Phase 1 : do compute all inter-corrélations and to show them in a square matrix model

	Tree 1	Tree 2	Tree 3	Tree 8	Tree 9
Tree 1		0.64	0.66	0.68	0.31
Tree 2	0.64		0.79	0.66	0.44
Tree 3	0.66	0.79		0.61	0.48
Tree 8	0.68	0.66	0.61		0.47
Tree 9	0.31	0.44	0.48	0.47	

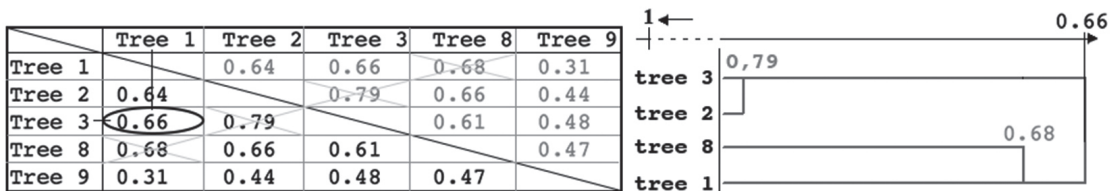
Phase 2 : do choose the best correlation and remove it from the board
then link the corelated elements as the first branches of the typological tree



Phase 3 : do choose the next best correlation, remove it from the board
then represent the correlation as new branches of the typological tree
In our case, the new branches 3 and 4 are not linked with the branches 1 and 2



Phase 4 : repeat the same operations. Now, the found correlation between oak trees 1 and 3 links the mathematical branches which were previously built.



After the last phase : the mathematical tree is complete

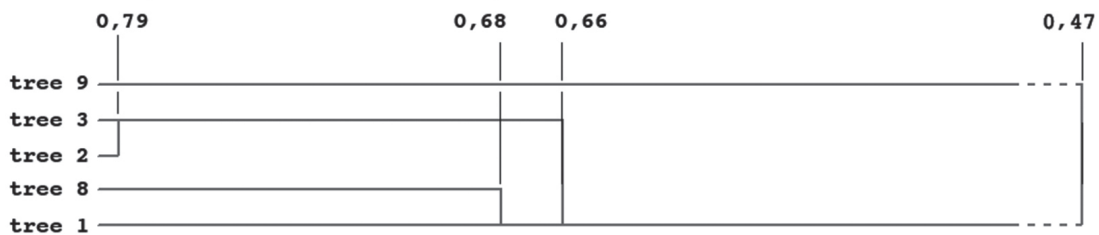


Fig. 4 – Principe du calcul d'un arbre hiérarchique ascendant ou arbre typologique. Un arbre ou une arborescence hiérarchique – souvent appelée arborescence typologique – est un graphique qui, à partir de critères quantifiés connus, tente de distinguer des groupes, des «familles» différents. Le principe consiste à calculer les «proximités» qui «rapprochent» les éléments les uns des autres, puis à les rassembler successivement, en commençant par les plus «proches» et en terminant par les plus «éloignés». Ici les «proximités» sont les corrélations ou les probabilités (de ressemblance) déduites du test t de Student. Il est impossible de construire un graphique qui montre toutes les proximités qui se développent dans un hyperespace à plus de 3 dimensions. Aussi, l'agglomération hiérarchique livre un point de vue sur cet espace par un arbre plan. Un arbre en mathématiques est un graphique dont deux points quelconques ne sont reliés que par un seul chemin. Ici, le chemin est une «branche» ou une suite de branches liées par des «nœuds» successifs. Les éléments les plus ressemblants sont reliés par les «branches» les plus courtes. À un niveau de ressemblance donnée (à une corrélation plancher par exemple) le calcul est capable de distinguer des familles différentes et indépendantes. Au cours du développement de l'arbre, les familles d'abord isolées seront finalement reliées à d'autre part des branches «longues». Il en sera de même des éléments les plus différents qui seront reliés à l'arbre par les «branches» les plus longues. L'objectif est d'évaluer la pertinence des familles de l'arbre au regard de la question posée, la proximité des arbres au sol, en «remontant» l'arbre des branches les plus courtes («petites» familles les plus cohérentes), aux branches les plus longues («grandes» familles les moins cohérentes).

La matrice, alors rangée dans l'ordre de la liste de l'arbre hiérarchique fait le bilan de l'algorithme et résume les résultats. Le «noyau» des familles y est en général bien représenté par des «pâtés» noirs (hautes corrélations) et les nœuds d'agglomération de l'arbre par des passages clairs (faibles corrélations) qui sont des chutes de corrélations consécutives.

Une matrice toute «noire» signale qu'il n'y a qu'une famille. Une matrice «claire» signale qu'il n'y a pas vraiment de famille. Un noyau noir dans un ensemble plus clair signale une famille qui comporte des éléments typiques («noirs») et d'autre plus libres ou alors étrangers mais trop dispersés pour constituer une autre famille (un deuxième noyau «noir»).

Le chercheur dispose alors de deux schémas de lecture de sa population d'arbres (vrais) : la matrice, synthèse des résultats, et l'arbre hiérarchique qui détaille la construction progressive des «familles» ou sous-groupes de la population analysée. L'analyse de l'arbre hiérarchique est une source de multiples observations intéressantes quand on analyse dans le détail une population donnée. Ici, il s'agit de donner une direction générale, les exemples qui suivent seront seulement utilisés dans leur principe général. Mais il y aurait beaucoup à dire de certaines figures...

1. ANALYSE D'UN ESPACE LOCAL : LA FORÊT DE CHAUX

La Forêt domaniale de Chaux est un vaste espace dans lequel il a été possible de faire des observations grâce à la bienveillance de l'administration des Eaux et Forêts (à l'époque). Des prélèvements groupés entre 10 et 30 arbres par placette ont été complétés par quelques échantillons qui ont pu être pris dans les environnements de travail. Une première phase a été faite sous la direction de l'auteur dans les années 1980 et une seconde par Olivier Girardclos (CNRS, Besançon) dans les années 2010. Au total, 16 stations sont documentées. Nous observerons la période 1910-1980.

1.1. Analyse des 16 moyennes de parcelles

Commençons par analyser les moyennes de parcelles (1 moyenne par parcelle). En Forêt de Chaux, le signal est assez homogène malgré les cycles forestiers qui ne frappent pas les parcelles en même temps, (fig. 5). On note une

remarquable chute de croissance en 1920 et 1921 (sécheresse de 1921), une autre vingt ans après et une oscillation en dents de scie des années 1956 – 1960, peut-être due au traumatisme dû à la vague de froid de février 1956 qui a altéré la périphérie des troncs. A priori, le terrain d'étude n'est pas favorable à une forte puissance de discernement géographique par le signal dendrochronologique, ce que confirme la matrice de corrélation des «moyennes» de station (fig. 6). Mais, dans la perspective d'une transposition historique, cette étendue correspond approximativement à la zone d'approvisionnement ordinaire d'un bourgeois aisé de la Renaissance rénovant sa propriété. Nous sommes donc dans un cas transposable dans une étude dendro-archéologique normale, avec ses contraintes.

L'arbre hiérarchique permet de ranger les séries par typologies voisines (fig. 7) et de ranger la matrice (fig. 8). L'arbre hiérarchique rapproche immédiatement les parcelles 96 et 97 (corrélation supérieure à 0,8) ainsi que les parcelles contiguës 212 et 213 (corrélation supérieure à 0,57). La parcelle 95, voisine des 96 et 97, a «attendu» d'être liée à celle dite «réserve» (éloignée) avant de se rallier à ses voisines (corrélations égales ou supérieures à 0,36). Ces coefficients de corrélation au-dessus de 0,35, sont très significatifs pour les 70+1 ans corrélés (1910 – 1980). Ce qui nous intéresse alors ce sont les écarts relatifs entre les nœuds d'agglomération des familles pour décider de la coupure entre deux familles pertinentes. Coupons au niveau de la corrélation 0,50 (fig. 8, ligne rouge) ce qui isole une première super famille de 5 éléments fortement corrélés (P96 – P97, puis P95 et P72), En pratiquant une autre coupure au niveau de corrélation 0,40, on étend la famille aux parcelles P212 – P213. Sont ainsi associées deux familles fortement «cousines» car les corrélations de coupure sont très élevées. La figure 9 suggère quelques détails du signal qui identifient les familles. Cet ensemble se détache très clairement dans la matrice de corrélation par un carré quasiment noir (groupe de corrélations maximales). Nous sommes en droit de supposer que les parcelles devraient être des plus rapprochées. La figure 10 montre qu'il n'en est rien, seules les familles élémentaires P96 – P97 et P212 – P213 sont réellement voisines au sol. Les coupures ne fonctionnent donc pas aussi bien que nous l'aurions aimé, à cause sans doute de la typologie des sols dont la spatialisation ne suit pas une géométrie régulière. Il faudrait étudier ce point précis, mais il n'y a pas la place ici. Pourtant l'arbre hiérarchique a bien distingué les stations nord-orientales des stations sud-occidentales.

Chaux Forest (Jura, France), Oak tree growth, averages of 16 places
 Period 1910 - 1980 AD (CE), corridor index.

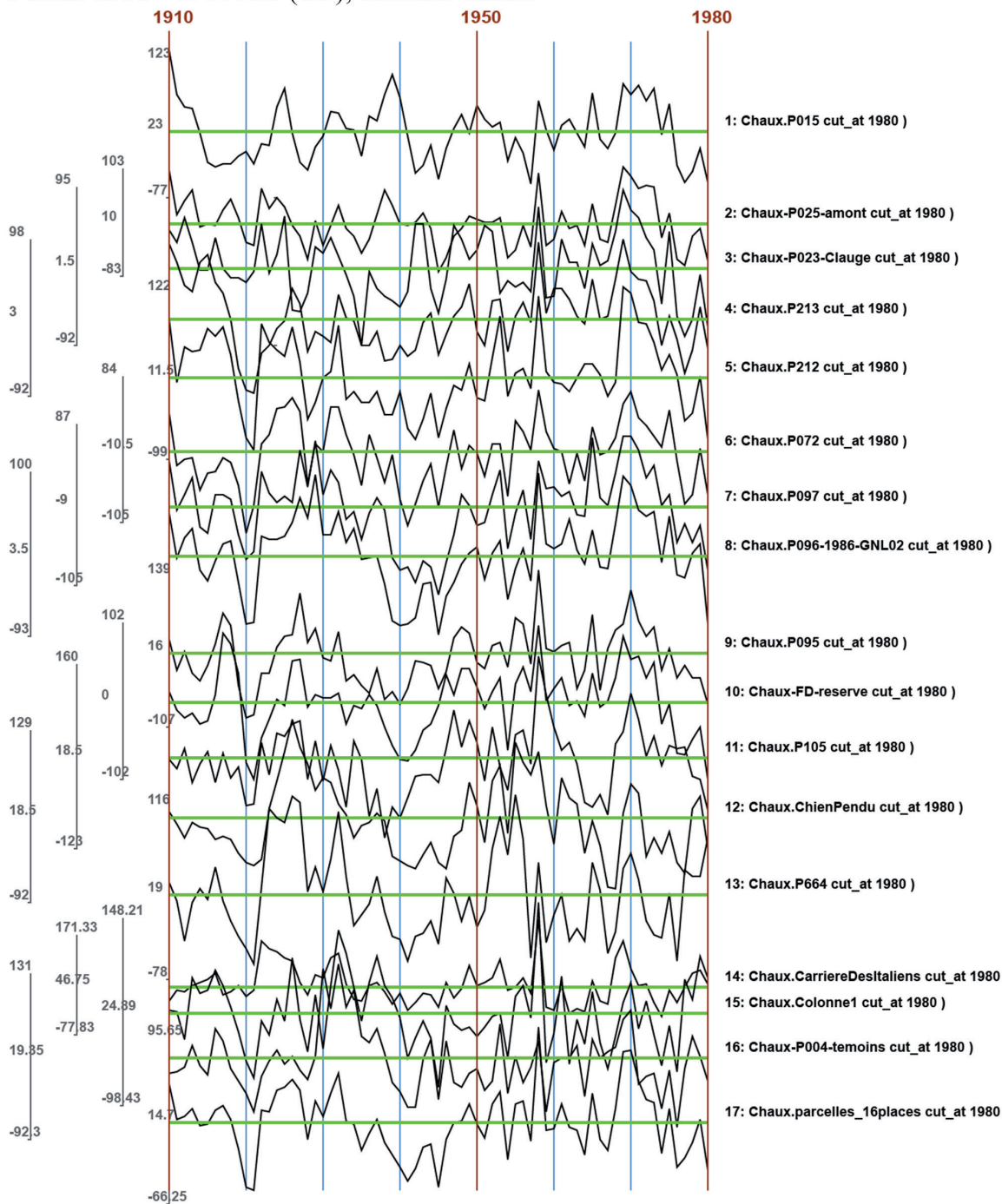


Fig. 5 – Graphique de synchronisation des moyennes dendrochronologiques des stations ou « parcelles » de la Forêt de Chaux dans le département du Jura (France) et réparties sur un espace d’une vingtaine de kilomètres. Période 1910-1980, essence analysée: le chêne. Noter immédiatement la forte convergence des mouvements de croissance de détail, quasi interannuels, entre les diverses parcelles. Ces mouvements sont la marque du climat. Les mouvements d’ensemble, à moyenne fréquence, se développant sur 10 à 30 ans, montrent plutôt la vie de ces parcelles: reprises de croissance après les coupes forestières puis chutes de croissance dans la reprise de la compétition naturelle pendant que les parcelles se reboisent. La calibration par le corridor réduit, mais conserve, ces mouvements de moyenne fréquence. Le corridor conserve donc la trace de la personnalité de chaque espace. Cette trace est le facteur qui permettra aux calculs de distinguer les différents lieux.

Chaux Forest, correlation matrix of the 16 local averages

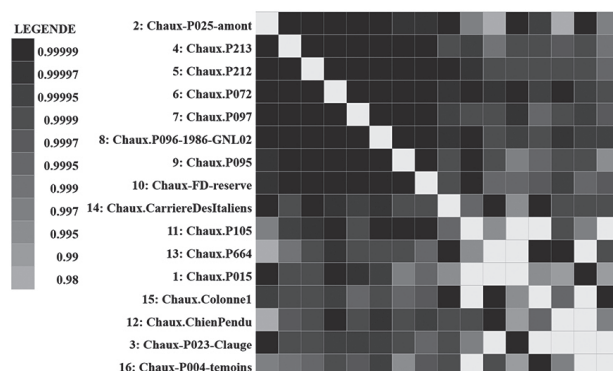


Fig. 6 – Matrice des corrélations croisées des moyennes de station de la Forêt de Chaux entre 1910 et 1980. En haut, à gauche, les neuf premières stations sont très fortement corrélées. Il est intuitif de supposer qu’il sera difficile de les différencier. Par contre, les sept parcelles suivantes signalent, à la fois, leur part d’originalité par la légère – mais perceptible – baisse de corrélation avec l’ensemble précédent (zone grisée en bas à gauche) et aussi leur indépendance respective par l’éclaircissement des inter-corrélations qui les concernent au voisinage de la diagonale (en bas, à droite) de la matrice. À ce stade la matrice n’a pas encore été rangée par l’arbre hiérarchique.

Chaux Forest, arrangement of the growth averages by a Hierarchical (typological) Tree

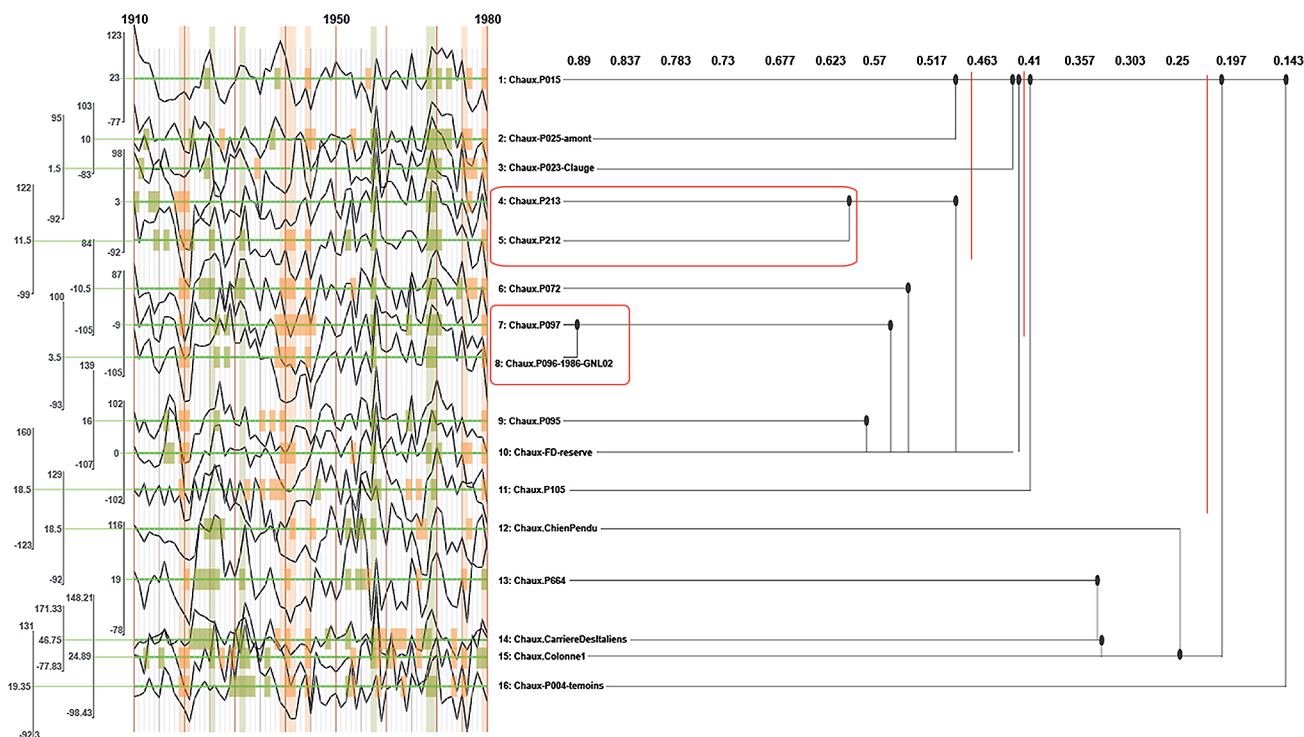


Fig. 7 – Arbre hiérarchique des corrélations des 16 stations de la Forêt de Chaux. L’arbre affiche 1 famille de stations très fortement corrélées : les parcelles 96 et 97 (probabilité d’identité voisine de 1, soit 0.99...) , puis, le calcul suggère de rassembler aussi les parcelles 212 et 213 (probabilité voisine de 0.62) et, dans le voisinage, les parcelles 95 et « FD-réserve » (probabilité légèrement supérieure à 0.57). Ensuite, les probabilités significatives tombent rapidement, le lien possible ne s’impose plus.

Chaux Forest, averages of 16 places, years 1910 - 1980, typological identification on a matrix

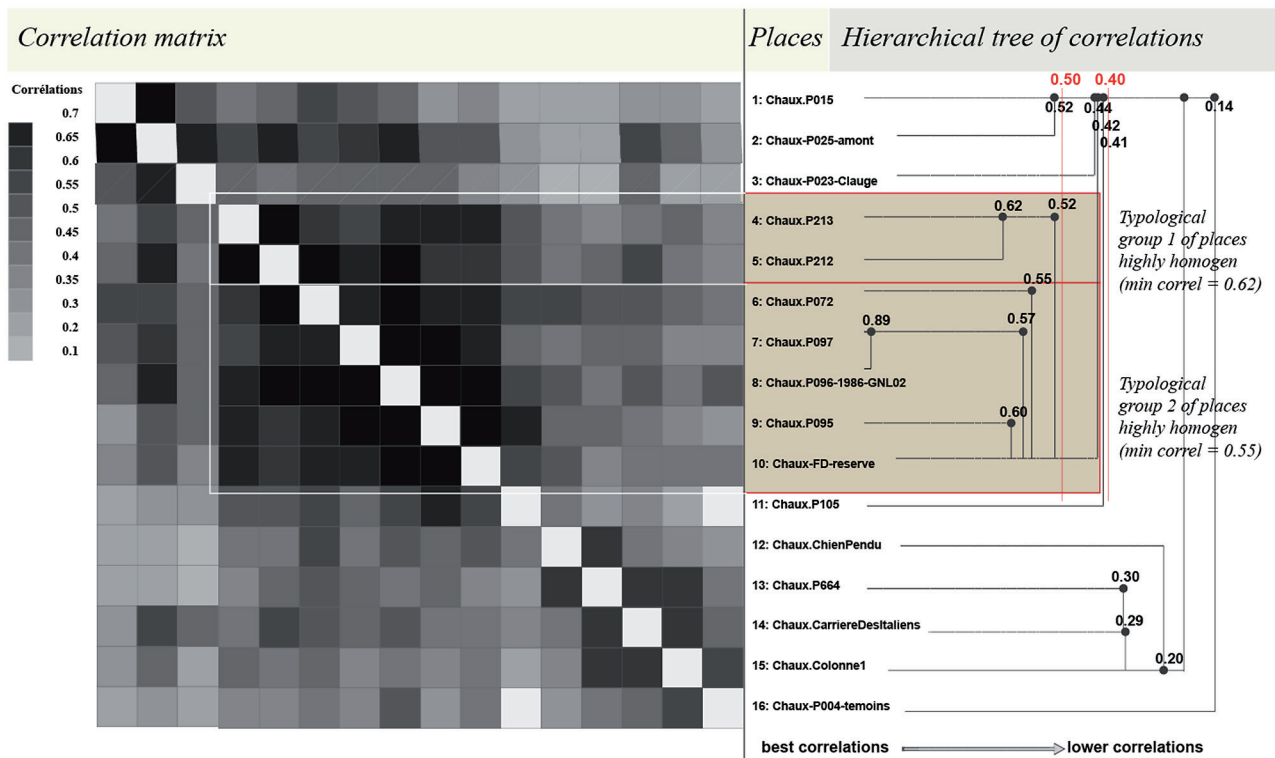


Fig. 8 – Rangement de la matrice des corrélations des moyennes de station par l’arbre et projection de celui-ci en marge droite de la matrice (Les branches les plus longues ont été compressées pour les besoins de la mise en page). La matrice rangée par l’arbre typologique permet d’en mieux interpréter les divisions. On y distingue le rassemblement en un pavé homogène de 7 des 9 stations déjà groupées en figure 6 (P212, P213, P97, P96, P95, P72 et FD-réserve). Par ailleurs, les stations hors de ce groupe pourraient être classées en deux sous-groupes bien distincts: un groupe du «haut», qui rassemblerait les parcelles 15, 23 et 25, et un groupe du «bas». En fait, nous verrons plus loin que l’arbre, indépendamment de la distance entre les nœuds a séparé les stations du nord-est de la forêt (zone plus drainée) de celles du sud-ouest (zone plus humide).

Chaux Forest, best typological groups, years 1910 - 1980, typological tokens

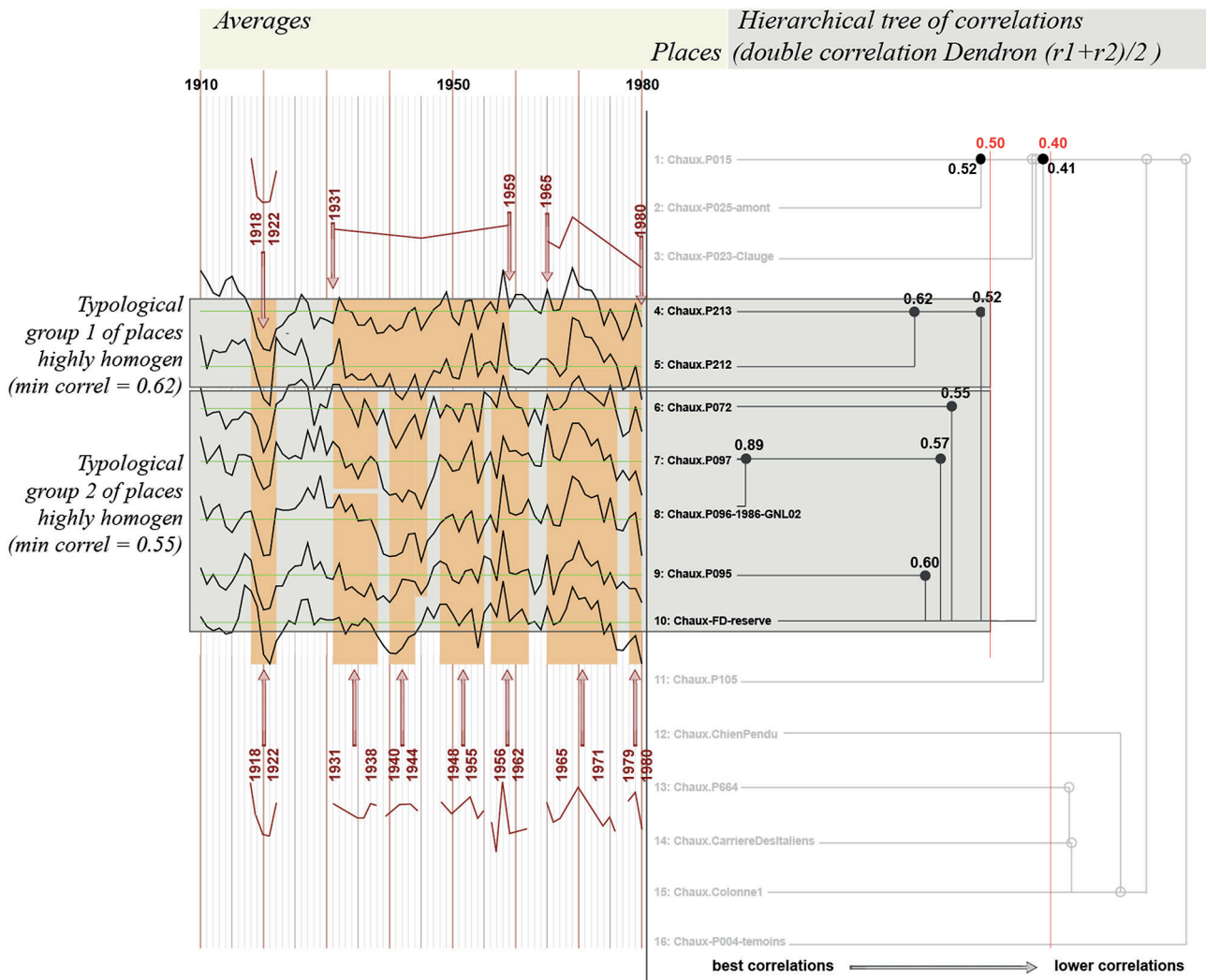


Fig. 9 – Analyse du groupe principal de stations de la Forêt de Chaux reconstitué par le calcul. Les croissances sont fortement parallèles. Une succession de marques du signal (signatures ou années significativement marquées) caractérise bien cet ensemble. Notamment les chutes de croissance des années 1918, 1922, 1954, 1976 et les reprises (météorologiques?) 1953, 1958 et 1969. Par contre la chute de croissance des années 1932 – 1945, sans doute attribuable à la concurrence liée à la reforestation, bien visible dans le sous-groupe principal n'a pas affecté les parcelles 212 et 213.

Chaux Forest, averages of 16 places, years 1910 - 1980, typological identification related to the locations

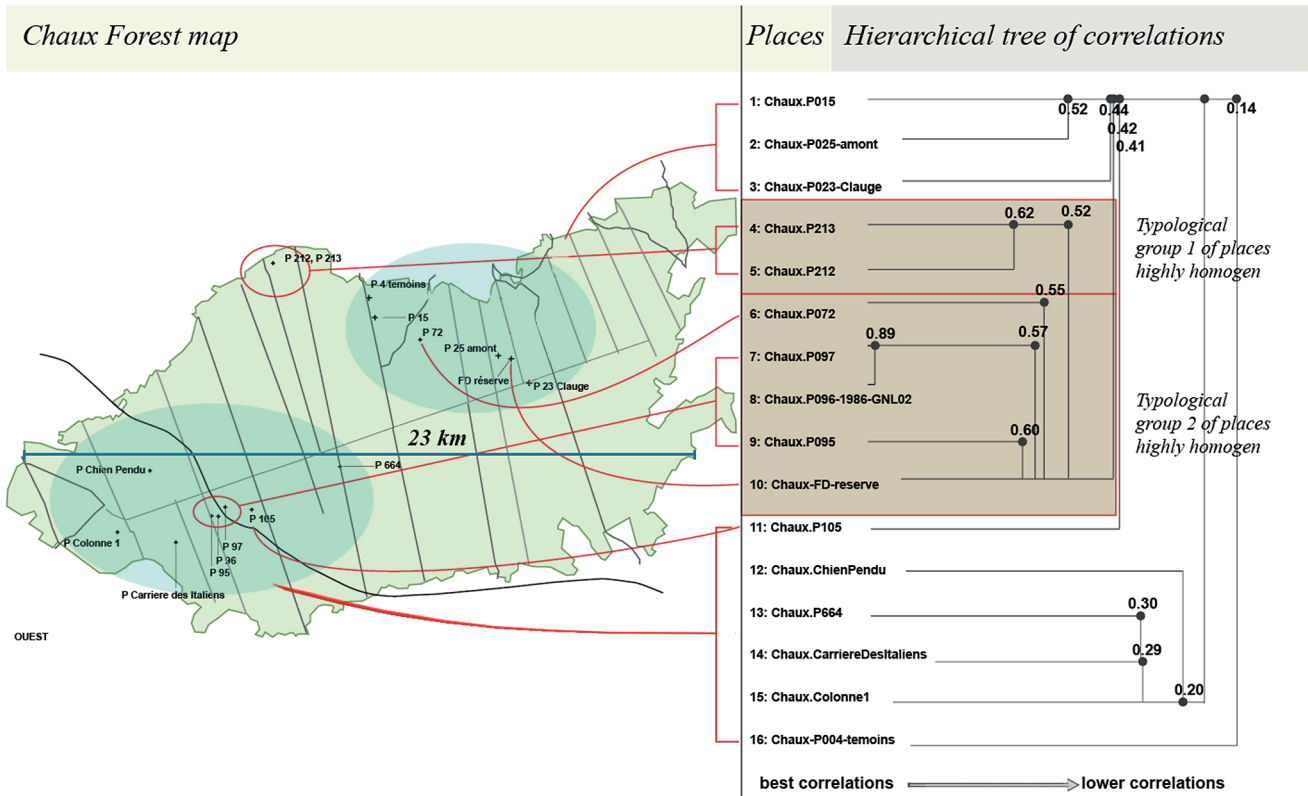


Fig. 10 – Projection sur le terrain des groupes proposés par l’arbre typologique et sa matrice de corrélations. En gros, l’arbre est parvenu à distinguer, les stations nord-orientales (haut de l’arbre) des stations sud-occidentales (bas de l’arbre) et plus en détail, il a rassemblé très clairement quatre des cinq stations contigües sur le terrain 212-213 et 96-97. Mais il a «éloigné» la station 95 de ses voisines (sur le terrain) 96 et 97, car il lui a trouvé une meilleure affinité avec la station éloignée FD-réserve. Affinité dont les causes sont sans doute pédologiques. Au final, il apparaît que le calcul, appliqué à des moyennes, a bien une prédisposition à discriminer des lieux, mais que des confusions, dues à des conditions écologiques semblables mais dispersées à cette échelle, ne sont pas exclues.

1.2. Analyse des 129 individus non regroupés

Appliquons les mêmes calculs aux individus après en avoir exclu quelques-uns qui «écrasent» l’arbre hiérarchique et sont à discuter dans un autre cadre. La matrice reclassée par l’arbre hiérarchique obtenu (fig. 11) n’améliore pas le résultat précédent. Les arbres des parcelles P95, P96, P97 sont dispersés dans l’arbre hiérarchique et donc dispersés dans la matrice, mais, inversement, ceux de trois autres parcelles (P664, «Colonne 1» et «Chien Pendu») sont tous rassemblés dans «leur» famille. Définissons une «performance» du rangement des arbres obtenus : la performance est la proportion d’éléments consécutifs qui représentent au moins 80% des arbres d’une parcelle rapportée au nombre total d’arbres calculés. La «performance» du calcul est donc ici de 37%, ce qui n’est pas suffisant. Réfléchissons.

1.3. Analyse d’un échantillon de la population

Il se pose la question de la représentation de chaque station forestière dans le calcul, certaines d’entre elles ayant fourni 20 arbres ou plus et d’autres n’en ayant fourni que deux ou trois. Cette différence donne un «poids» différent aux différentes placettes dans le calcul et d’une certaine façon, fausse l’égalité des chances dans la construction des nœuds d’agglomération. Il serait donc préférable de travailler sur le même nombre d’arbres pour chaque station. La station la moins «peuplée» impose alors ce nombre. Nous en prendrons cinq dans chacune des 11 stations suffisamment fournies. Censés représenter au mieux la station, ils seront choisis au plus près de la moyenne de station, soit, en fait, dans la zone la plus sombre de la matrice de corrélation de chaque station. Nous conserverons également les éléments des autres stations, à condition qu’il y en ait au moins deux. La figure 12 montre la position des séries choisies dans la matrice de chaque station. 67 séries sont ainsi rassemblées dans un nouvel ensemble à calculer.

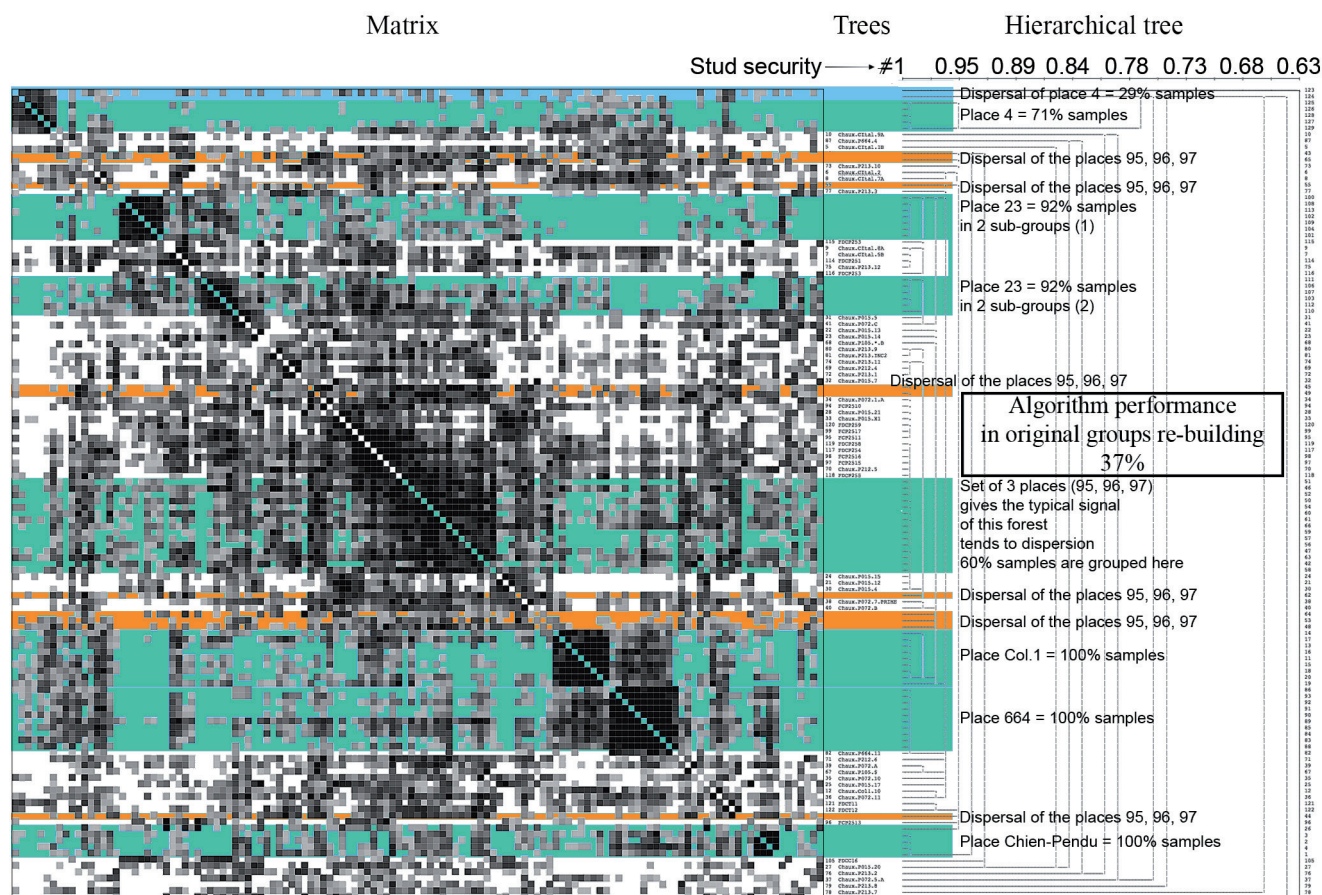


Fig. 11 – Analyse de tous les individus de la Forêt de Chaux dans la période 1910 – 1980, arbre hiérarchique et sa matrice de corrélations. Le calcul des individus est plus explicite que le calcul sur les moyennes. Les plages sombres de fortes corrélations et distinctes le long de la diagonale suggèrent un plus grand nombre de groupes potentiels. Peut-être six ou sept. Mais nous savons qu'il y a 16 stations différentes, le calcul aurait donc, intuitivement, un potentiel de discernement de l'ordre d'un tiers (6/16 ou 7/16). Nous proposons de calculer plus précisément la «performance» de ce type de calcul (voir dans le texte). La performance est un nombre qui évalue le taux d'individus correctement rassemblés par l'arbre typologique. La performance est ici de 37 %, soit à peu près ce qui était pressenti intuitivement. Le brouillard reste donc un peu trop épais à notre avis, tentons de l'éclaircir.

On y ajoutera – pour voir – cinq bois d'un site voisin, situé à 15 km au sud-ouest, sur la commune d'Ouessières (Jura). Soit, au total, 72 séries à calculer.

Le résultat, figure 13, est alors bien plus intéressant que les précédents. Les séries de 11 placettes sont rassemblées à au moins 80 % et la performance du calcul, établie comme précédemment, est de 71 %. L'amélioration était attendue, car la concentration de l'échantillonnage autour de la moyenne des stations améliore l'homogénéité des groupes retenus et diminue leur porosité, leur aptitude à se laisser pénétrer par des éléments étrangers. Il resterait à étudier de plus près ce qui se passe au niveau de la pertinence des calculs quand ils passent d'une population entière à un échantillonnage de cette population comme nous venons de le faire. Mais pour étudier des populations plus importantes, il faudra bien échantillonner. C'est ce que nous allons faire avec une population d'arbres qui couvrent toute la France.

2. ANALYSE D'UNE VASTE RÉGION

La figure 2 montre la répartition des points à notre disposition en France tempérée, Belgique du Sud et Suisse occidentale. Matière qui nous est accessible grâce à l'amabilité de nombreux collègues cités en tête de cet article. Soit 32 stations réparties sur presque 800 km, du Causse de Martel à la région de Liège, de la Charente au Canton de Neuchâtel et de l'Isère à la Normandie (555 arbres). Nous avons déjà mobilisé cette base de données collective pour un papier traitant de la collaboration potentielle du même matériau à la dendroclimatologie⁵. Il s'agit uniquement de chênes, sessiles, pédonculés ou hybridés entre eux. La représentativité au sol de ce set de données est déséquilibrée en faveur de l'Est de la France, région bien mieux échantillonnée que le reste du pays. Il faut faire avec.

5. Lambert *et al.* 2010.

Select the 5 best correlated oak trees of each place = select best samples of the typical signal of each place

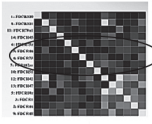
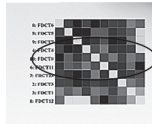
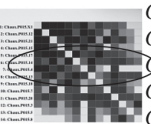
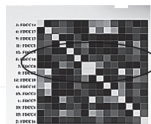
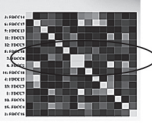
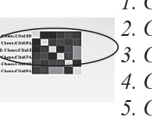
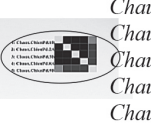
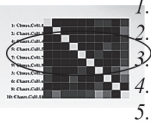

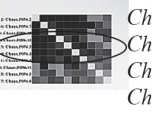
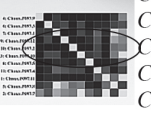
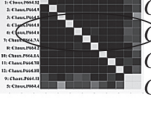
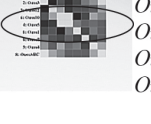
<p>Chaux FD réserve</p>  <ol style="list-style-type: none"> 1. FDCR46 2. FDCR51 3. FDCR73 4. FDCR75 	<p>Chaux P 4 témoins</p>  <ol style="list-style-type: none"> 1. FDCT11 2. FDCT13 3. FDCT4 4. FDCT7 5. FDCT8 	<p>Chaux P 15</p>  <p>Chaux.P015.13 Chaux.P015.14 Chaux.P015.17 Chaux.P015.18 Chaux.P015.4</p>	<p>Chaux P 23 «Clauge»</p>  <ol style="list-style-type: none"> 1. FDCC1 2. FDCC13 3. FDCC18 4. FDCC8 5. FDCC9
<p>Chaux P 25 «amont»</p>  <ol style="list-style-type: none"> 1. FCP2511 2. FCP2515 3. FCP2517 4. FDCP254 5. FDCP258 	<p>Chaux «Carrière des Italiens»</p>  <ol style="list-style-type: none"> 1. Chaux.CItal.1B 2. Chaux.CItal.2 3. Chaux.CItal.5B 4. Chaux.CItal.7A 5. Chaux.CItal.8A 	<p>Chaux «Chien Pendu»</p>  <p>Chaux.ChienPd.1B Chaux.ChienPd.2A Chaux.ChienPd.3B Chaux.ChienPd.8A Chaux.ChienPd.9B</p>	<p>Chaux «Colonne 1»</p>  <ol style="list-style-type: none"> 1. Chaux.Coll.3 2. Chaux.Coll.4 3. Chaux.Coll.5 4. Chaux.Coll.7 5. Chaux.Coll.9
<p>Chaux P 72</p>  <p>Chaux.P072.1.A Chaux.P072.5.A Chaux.P072.A Chaux.P072.B Chaux.P072.C</p>	<p>Chaux P 96</p>  <p>Chaux.P096.1 Chaux.P096.10 Chaux.P096.12 Chaux.P096.3 Chaux.P096.4</p>	<p>Chaux P 97</p>  <p>Chaux.P097.1 Chaux.P097.10 Chaux.P097.12 Chaux.P097.2 Chaux.P097.5</p>	<p>Chaux P 105</p> <p>(too few trees : no matrix)</p> <p>Chaux.P105.*.B Chaux.P105.S</p>
<p>Chaux P 212</p> <p>(too few trees : no matrix)</p> <p>Chaux.P212.4 Chaux.P212.5</p>	<p>Chaux P 213</p> <p>(too few trees : no matrix)</p> <p>Chaux.P213.1 Chaux.P213.10 Chaux.P213.11</p>	<p>Chaux P 664</p>  <p>Chaux.P664.5 Chaux.P664.6 Chaux.P664.7A Chaux.P664.8 Chaux.P664.9</p>	<p>Oussières 1982</p>  <p>Ouss1 Ouss10 Ouss12 Ouss3 Ouss5</p>

Fig. 12 – Préparation d'un échantillon «calibré» du même ensemble. On entend par «calibré», un échantillonnage régulier des parcelles : c'est-à-dire prendre à peu près le même nombre d'arbres par parcelle. Après analyse de chaque parcelle, les arbres seront choisis parmi les plus caractéristiques du signal moyen de la parcelle ou, plus simplement, dans la zone de hautes corrélations la plus «noire» de sa matrice de corrélation. Cinq arbres maximum par parcelle seront retenus, celles qui ont fourni moins de 5 individus resteront représentées par tous leurs arbres. 67 séries seront ainsi retenues pour le calcul suivant.

La Forêt de Chaux précédente y est représentée par trois moyennes de synthèse utilisées dans un travail précédent.

2.1. Analyse des moyennes de sites dans une vaste région

La figure 14 montre la matrice de corrélation des moyennes de site après rangement par l'arbre hiérarchique. La période calculée est toujours 1910-1980. Considérons l'aptitude de l'algorithme à distinguer les deux régions Est (en orangé sur la figure) et Ouest (sans couleur). Une différenciation des deux régions est effectivement esquissée. Les sites de l'Est marquent une préférence pour le haut de la matrice (11 sites groupés sur 15), ceux de l'Ouest pour le bas. Mais le bloc du haut ne donne pas 80% des sites de l'Est (11/15 = 73%), ce qui donne une performance de l'algorithme de zéro, au sens où elle a été définie précédemment. Il apparaît donc, une fois de plus, qu'au regard de la dendro-provenance, ce type de calcul ne doit pas manipuler

des moyennes archéologiques (moyennes globales de sites) en l'état. Il faudrait au moins les resserrer typologiquement et réduire la variabilité autour du signal moyen. Cette remarque se trouve confortée par le test qui suit.

2.2. Analyse d'un échantillonnage d'individus dans une vaste région.

Le nombre d'échantillons prélevés est très différent d'une station à l'autre, il passe d'une douzaine à une quarantaine. Les mêmes remarques que sur le plan de prélèvement de la Forêt de Chaux, s'appliquent ici. Il est préférable de travailler sur des nombres d'arbres identiques dans toutes les stations. Nous reprendrons le même type d'échantillonnage que précédemment, soit 5 arbres par forêt, également choisis parmi les plus corrélés à leur moyenne de site, ou à leur moyenne de «famille», si le site comporte plusieurs groupes (ce qui est le cas de la Forêt de Chaux). Sélection qui donne 155 arbres à calculer.

Chaux Forest : Computing with a population of 5 significant trees taken in each place

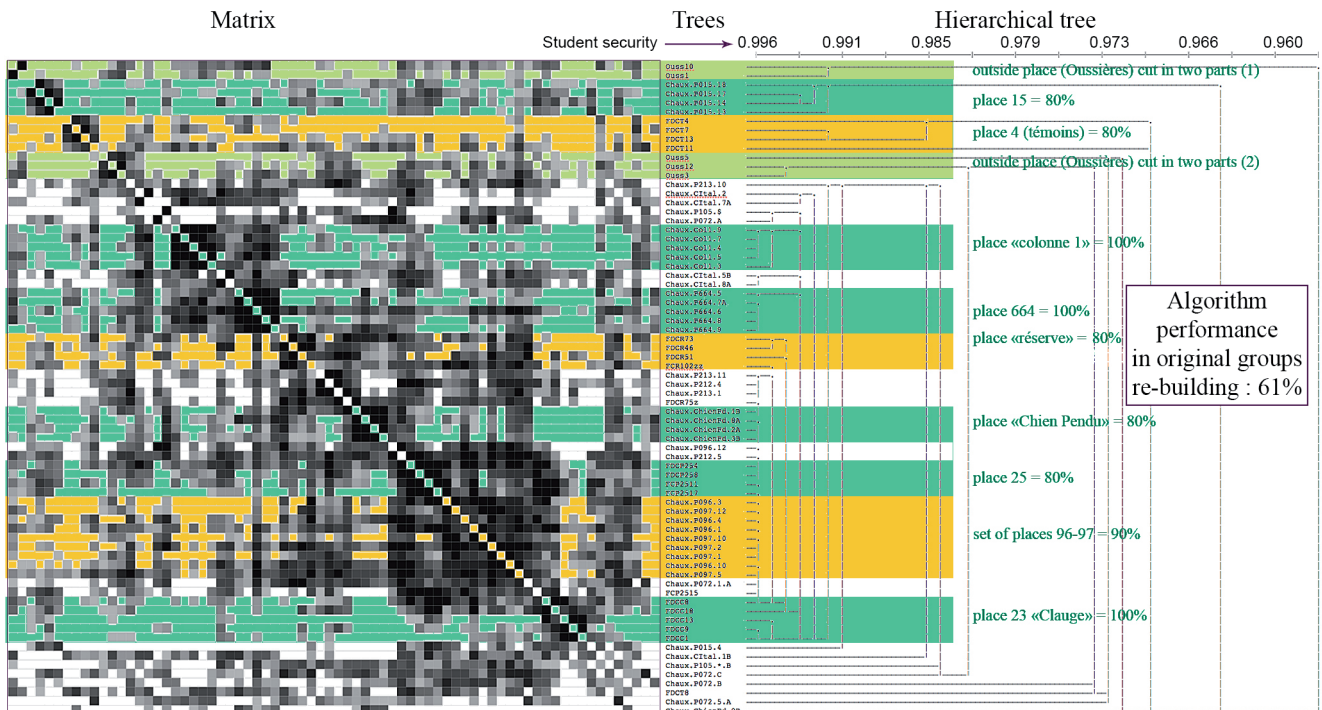


Fig. 13 – Analyse de l'échantillon de population composé des 67 arbres triés selon les matrices de parcelles. Un nouvel arbre hiérarchique est calculé sur ce nouvel ensemble ainsi que sa matrice de corrélations. On obtient un résultat semblable en apparence à celui de la figure 11. Cependant, le groupement des individus par station s'est amélioré. C'est assez logique car nous avons en quelque sorte «forcé» le signal de chacune d'elles en ne conservant que les séries les plus typiques du signal supposé standard pour chacune d'elles. Le score est meilleur que celui de la figure 11, en effet la «performance» qui évalue le taux de rassemblements corrects passe à 61%. Soit, en raccourci, le calcul serait apte à rassembler plus de la moitié des bois analysés.

Try to identify and separate eastern and western forests using the averages of the places

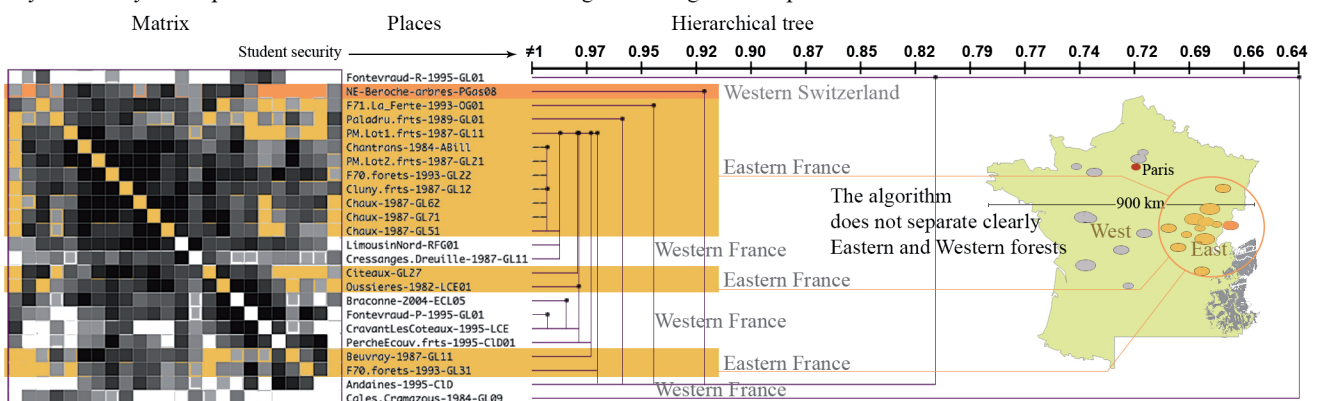


Fig. 14 – Analyse des moyennes de 24 stations réparties sur une vaste zone couvrant la France tempérée. Ici, une question est posée à l'arbre hiérarchique et sa matrice, à savoir s'ils sont capables de distinguer les stations de l'Est, continentales, des stations de l'Ouest, plus océaniques. La réponse du calcul est mitigée. Il a en effet rangé en haut de la matrice (et en haut de l'arbre typologique) une majorité de stations de l'Est, soit 11 stations. Mais quatre stations de l'Est – soit près de 27% – (Citeaux (21), Beuvray (71), Oussières (39) et F70-forêts de Haute-Saône) se trouvent mêlées aux stations de l'Ouest. La discrimination est/ouest n'est donc positive qu'à 73%. Mais nous avons déjà vu, figures 6 et 7, que les moyennes ne semblent pas être de bons vecteurs pour porter la question de la provenance : il est préférable de travailler sur les individus.

Sample of 155 trees extracted from a set of 32 forests spread in northern France, southern Belgium and western Switzerland

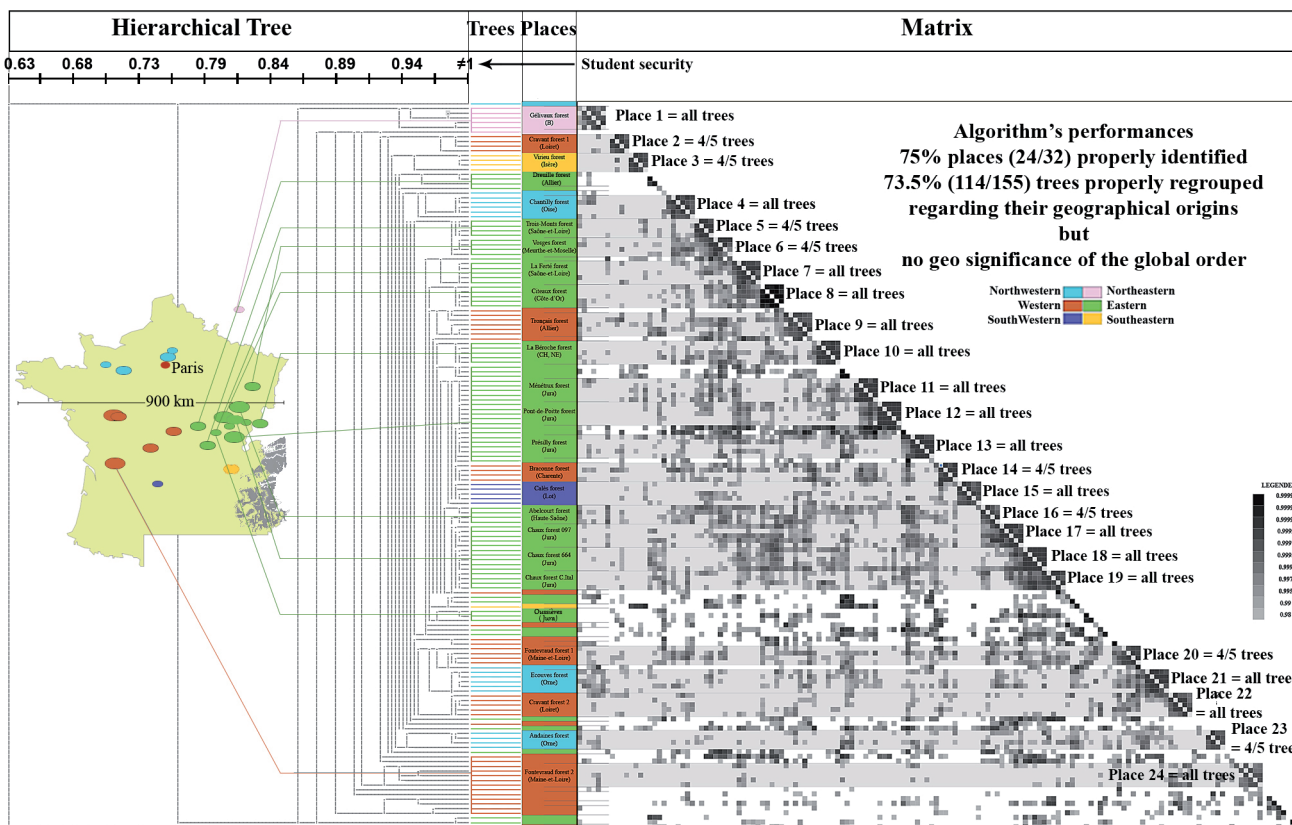


Fig. 15 – Analyse d’un échantillon de la population globale du chêne tempéré entre France, Belgique et Suisse occidentale. Basé sur le dernier calcul de la Forêt de Chaux, l’échantillonnage a consisté à prendre 5 arbres par station ou placette censés représenter au mieux le signal de station. La méthode de sélection a été la même que celle décrite figure 12. L’arbre hiérarchique et sa matrice de corrélations ont été appliqués aux 155 arbres sélectionnés. Pour simplifier la figure, seule la demi-matrice est représentée et l’arbre placé à gauche se lit en sens inverse des précédents, de droite à gauche. Les sites de l’Est, les plus nombreux, ont tendance à occuper le milieu de la figure et à rejeter sur les bords, en haut et en bas, des sites dont le signal est différent. Le résultat est intéressant car 24 places sur les 32 (75%) ont été identifiées par au moins à 80% de leurs individus. La performance de regroupement des individus atteint 73,5%. On considérera ces derniers pourcentages comme une base d’appréciation provisoire – mais bien factuelle – de la capacité de discrimination géographique de la méthode.

Les mêmes calculs sont engagés : matrice de corrélation de base, arbre hiérarchique et réarrangement de la matrice par l’arbre. La figure 15 montre un résultat intéressant : 75 % des places ont été correctement recomposées (en regroupant au minimum 80 % des arbres d’une station) ce qui a pour conséquence que 71 % (114 / 155) des arbres de la population ont été correctement rapprochés par l’algorithme. On peut suivre le long de la diagonale la succession des points de corrélations intra-station dont 15 d’entre eux rassemblent en un seul bloc les cinq arbres retenus pour représenter une station. Il semble que la distance – unique paramètre environnemental dont il est tenu compte ici – améliore la capacité discriminante du calcul et que celui-ci peut être utilisé comme discriminateur de lieux dans le cadre d’une sécurité supérieure à 70%.

Par contre l’ordre général de rangement n’a pas de sens devant la question posée.

CONCLUSION

Le processus peut se résumer ainsi :

1. calcul de l’indice écrêté du corridor de chaque série ;
2. utilisation du Coefficient de Corrélation ou de la probabilité de Student comme «distance» typologique ;
3. utilisation des individus et non pas des moyennes ;
4. constitution de populations homogènes ;
5. évacuation des individus marginaux ;
6. échantillonnage des groupes repérés à la datation ;
7. calcul de la matrice d’inter-corrélation de l’échantillon global ;
8. calcul de l’arbre hiérarchique à partir des corrélations ou des probabilités de Student ;
9. reclassement de la matrice par la classification hiérarchique ascendante ;
10. repérage des nœuds de corrélation de l’arbre typologique potentiellement pertinents et/ou délimita-

tion des taches de forte corrélation sur la diagonale de la matrice reclassée susceptibles de circonscrire des «familles» géographiques;

11. hypothèses de provenances en mobilisant l'environnement scientifique de l'étude.

Les calculs standards de datation peuvent être mobilisés pour produire des graphiques utilisables comme bases d'hypothèses de discrimination de lieux d'origine des arbres analysés en dendrochronologie. L'exercice développé ici, avec ses contraintes, débouche sur une pertinence potentielle de l'ordre de 75%. Résultat qui suggère que ce type de calcul doit être pris en considération dans une réflexion sur la dendro-provenance, mais il laisse une place légitime et assez large aux interprétations du chercheur.

Note : tous les calculs ont été faits avec le logiciel expérimental Dendron-IV⁶.

Bibliographie

- Jambu, Lebeaux 1978 :** M. Jambu, M.-O. Lebeaux M.-O., *Classification automatique pour l'analyse des données*, Dunod, Paris, 1978, 2 vols.
- Lambert 2006 :** G. Lambert, *Dendrochronologie, histoire et archéologie, modélisation du temps ; le logiciel Dendron II et le projet Historic Oaks*, Habilitation à Diriger les Recherches (HDR), Université de Franche-Comté, Besançon, 2006, 2 vol.
- Lambert et al. 2008 :** G. Lambert, B. Saint-Jean-Vitus, J.-L. Taupin, Y. Trenard, La datation dendrochronologique est-elle une science ? Une question de vocabulaire. Exemples du Tournugeois (71) et du Petit Louvre de La Pacaudière (42). *Structures bois dans le patrimoine bâti. ICOMOS, Actes des journées techniques internationales Bois, Metz, 29, 30 et 31 mai 2008*, 22-27.
- Lambert et al. 2010 :** G. Lambert, V. Bernard, J.-L. Dupouey, P. Fraiture, P. Gassmann, O. Girardclos, F. Lebourgeois, Y. Ledigol, C. Perrault, W. Tegel, Dendrochronologie et Dendroclimatologie du chêne en France. Questions posées par le transfert de données de bois historiques vers la Dendroclimatologie, in L. Astrad, C. Miramont (dir), *Panorama de la Dendrochronologie en France*, Université de Savoie, collection Edytem, 11, 2010, 205-216.
- Lerman 1981 :** I.-C. Lerman, *Classification et analyse ordinale des données*. Dunod, Paris, 1981, 740 p.
- Pareto (1896) 1909 :** V. Pareto, *Manuel d'Economie Politique*, V. Giard et E. Brière éditeurs, Paris, 1909.
- Pareto (1894) 1982 :** V. Pareto, Premier cours d'économie politique appliquée, donné à l'Université de Lausanne in Pareto Vilfredo, *Œuvres complètes*, t. XXIV, Droz, Genève, Travaux de Sciences Sociales, (1894), 1982, 264 p.

6. Lambert 2006, Dendron II / Dendron IV.

Une possible paléo-forêt du Néolithique ancien à Joze (Puy-de-Dôme)

François Blondel et Didier Miallier***

Résumé

Plusieurs bois subfossiles datés du Néolithique ancien ont été découverts dans les abords de la terrasse alluviale de l'Allier en rive gauche au niveau de la commune de Joze. La séquence sédimentaire et l'apport chronologique (radiocarbone, dendrochronologie) ainsi que la croissance des séries des bois recueillis permettent de renseigner l'évolution du cours de la rivière à travers des épisodes de crue et de son impact sur le couvert arbustif de ses abords.

Mots-clés : dendrologie, archéologie, Néolithique, forêt, paléoenvironnement.

Abstract

Several subfossil woods dating from the early Neolithic period were discovered in the vicinity of the Allier river alluvial terrace on the left bank of the commune of Joze. The sedimentary sequence and the chronology (radiocarbon, dendrochronology) as well as the growth of the collected wood series allow to document the evolution of the river course through flood episodes and its impact on the tree cover in the surrounding area.

Keywords: dendrology, archeology, Neolithic, forest, paleoenvironment.

1. INTRODUCTION

Plusieurs troncs d'arbres gorgés d'eau ont été découverts en 1974 dans la berge de la rive gauche de l'Allier au niveau du lieu-dit « la Borde » sur la commune de Joze (Puy-de-Dôme) par D. Léger et Fernand Malacher¹ lors de travaux de drainages de la rivière. Un premier échantillonnage a été réalisé l'année suivante afin d'obtenir une identification anatomique des différents troncs. Deux essences ont été reconnues par Georges Noël Lambert, le chêne et l'aulne². Enfin, en 1978, un sondage a été implanté sur le gisement afin de réaliser un relevé stratigraphique pour comprendre la dynamique sédimentaire du site et collecter de nouveaux échantillons en vue de datations par le radiocarbone et d'essais de datations par dendrochronologie.

En 1998, à proximité des premières découvertes de 1978, lors de l'exploitation d'une sablière, d'autres troncs ont été aperçus dans l'une des coupes latérales de la carrière ainsi que du mobilier archéologique (quelques tessons céramiques et deux meules dormantes). La stratigraphie a été rapidement enregistrée, mais peut être en partie complétée par les observations de 1978. Les troncs sortis de la coupe ont fait l'objet de prélèvements de section à la scie en vue de datations dendrochronologiques. Une analyse radiocarbone a également été réalisée sur l'un des bois pour rendre compte de la chronologie de cette découverte.

Cet article fait le point sur ces différentes découvertes localisées en rive gauche du cours de l'Allier dont les analyses permettent de mieux appréhender la dynamique du cours d'eau et son impact sur la végétation arbustive de ces berges. L'analyse dendrochronologique vise à caractériser les croissances des bois découverts et essayer l'acquisition de

1. Daugas *et al.* 1978, 59.

2. Lambert *et al.* 1980, 263-272.

* UMR 6298 ARTEHIS, Université Bourgogne Franche-Comté, Dijon.

** Laboratoire de physique de Clermont-Ferrand, IN2P3, Université Blaise-Pascal, Aubière, France.

datations couplées avec celles obtenues par le radiocarbone. Ce type d'étude a déjà été mené sur d'autres cours d'eau comme dans la région de la moyenne Durance³ (Alpes-du-Sud) pour des périodes anciennes ou sur des peuplements actuels de chêne et de peuplier notamment sur les rives de la Saône⁴. L'approche dendrologique des arbres enfouis lors d'événement de crue permet de reconstituer l'histoire des paysages fluviaux, les arbres étant de bons marqueurs chronologiques, quand ces derniers sont datés, et permettant d'appréhender l'activité de la rivière.

2. ZONE D'ÉTUDE ET MATÉRIEL

Les deux sites pris en compte se situent en bordure du cours de l'Allier dans la terrasse alluviale sur la commune de Joze distante de 24 km au nord-ouest de Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme) aux lieux-dits de «la Borde» et de «Brias» (fig. 1). La carte géologique décrit un sol composé d'alluvions actuelles et subactuelles reposant sur le substratum oligocène marneux (Fy; Fz)⁵. Les deux découvertes sont très proches l'une de l'autre, séparées par un peu plus de 500 m. L'activité de la rivière a pu être importante à cet endroit de l'Allier⁶, ce qui se confirmera par la lecture stratigraphique des alluvions. En effet, à partir de Pont-du-Château, le cours de l'Allier s'étend et forme de larges méandres consécutifs d'une forte activité⁷.

2.1. Indices stratigraphiques et archéologiques

Pour mieux comprendre la stratigraphie, l'enfouissement des bois et les autres vestiges archéologiques découverts, plusieurs séquences ont été réalisées entre 1978 et 1998⁸. Dans le cadre de la première découverte, un sondage au lieu-dit «la Borde» a été réalisé pour avoir une lecture stratigraphique la plus complète possible et réaliser la collecte d'autres échantillons de bois ainsi que de tourbes pour analyse pollinique⁹. En 1998, la stratigraphie a été rapidement relevée sur la grande coupe latérale est de la carrière au lieu-dit «Brias» et complète ainsi les premiers enregistrements sédimentaires de 1978¹⁰ (fig. 2). Les mêmes observations ont été faites et il est possible d'établir des liens stratigraphiques entre ces différentes découvertes pour appréhender les événements d'enfouissement de ces bois.

La première couche (01) sommitale correspond à une épaisseur de 0,50 m de colluvions de sable et de limon argileux avec la présence de quelques galets. Une seconde couche, d'une épaisseur identique se compose de colluvions sableuses avec une présence plus importante de galets. C'est dans ce niveau stratigraphique équivalent aux deux sites qu'un foyer a été observé sur le site de «Brias». La structure était déjà un peu endommagée par les terrassements. Il s'agit d'une structure de combustion globalement circulaire, de 50 cm de diamètre, formée d'un empièchement de galets reposant sur un sol légèrement rubéfié sans doute du fait du rayonnement de la combustion du foyer. Entre les galets, il a été recueilli huit fragments de céramique, de gros charbons de bois ainsi que deux meules dormantes en gneiss. Aucune observation n'a été faite sur l'installation du foyer et sur le niveau d'occupation. L'étude non exhaustive de la céramique livre une fourchette de datation entre le Néolithique final et le Bronze ancien¹¹. Le foyer reposait sur une couche (03) équivalente aux deux sites d'une épaisseur d'environ 1,30 m. Il s'agit d'une alternance d'alluvions constituée de lits sableux et de lits de graviers. La dernière couche (04) correspond à des graves grossières. Cette même couche a été plus détaillée dans la coupe du sondage de «la Borde». Elle a été observée sur 2,10 m d'épaisseur et se différencie en trois couches. La première (04 a) se compose de Graviers roux dans une matrice sableuse (0,50 m). La deuxième (04 b) de 0,60 m est un limon tourbeux avec des débris végétaux. Une analyse pollinique a été réalisée dans sa partie tourbeuse¹². La troisième couche (04 c) est identique à la première. C'est dans cette dernière couche que les troncs fossiles ont été observés sur les deux sites. La base du dépôt n'a pas été atteinte et se prolonge très certainement.

Une autre structure non datée avec précision a été mise au jour sur le site de «Brias». Il s'agit d'un tuyau de terre cuite de forte section, trouvé lors des terrassements réalisés dans la partie sud de la parcelle exploitée. Seul un tronçon de la canalisation a été recueilli, mais d'autres fragments ont été découverts et certains possédaient un joint en plomb assurant le lien entre les tuyaux pour leur étanchéité. Ces découvertes seraient d'époque gallo-romaine, attestant d'une occupation à cette période en bord du cours de l'Allier.

3. Miramont, Sivan 2006, 71-72.

4. Astrade, Bégin 1997, 232-239.

5. Carte géologique de France, BRGM.

6. Larue 1982, 365-384.

7. Cournez 2015, 14-15.

8. Daugas *et al.* 1978, 59-60; Coquilé 1997, 1-4; Surmely 1998.

9. Daugas *et al.* 1978, 59-60.

10. Surmely 1998.

11. Informations orales René Liabeuf.

12. Daugas *et al.* 1978, 59-60.

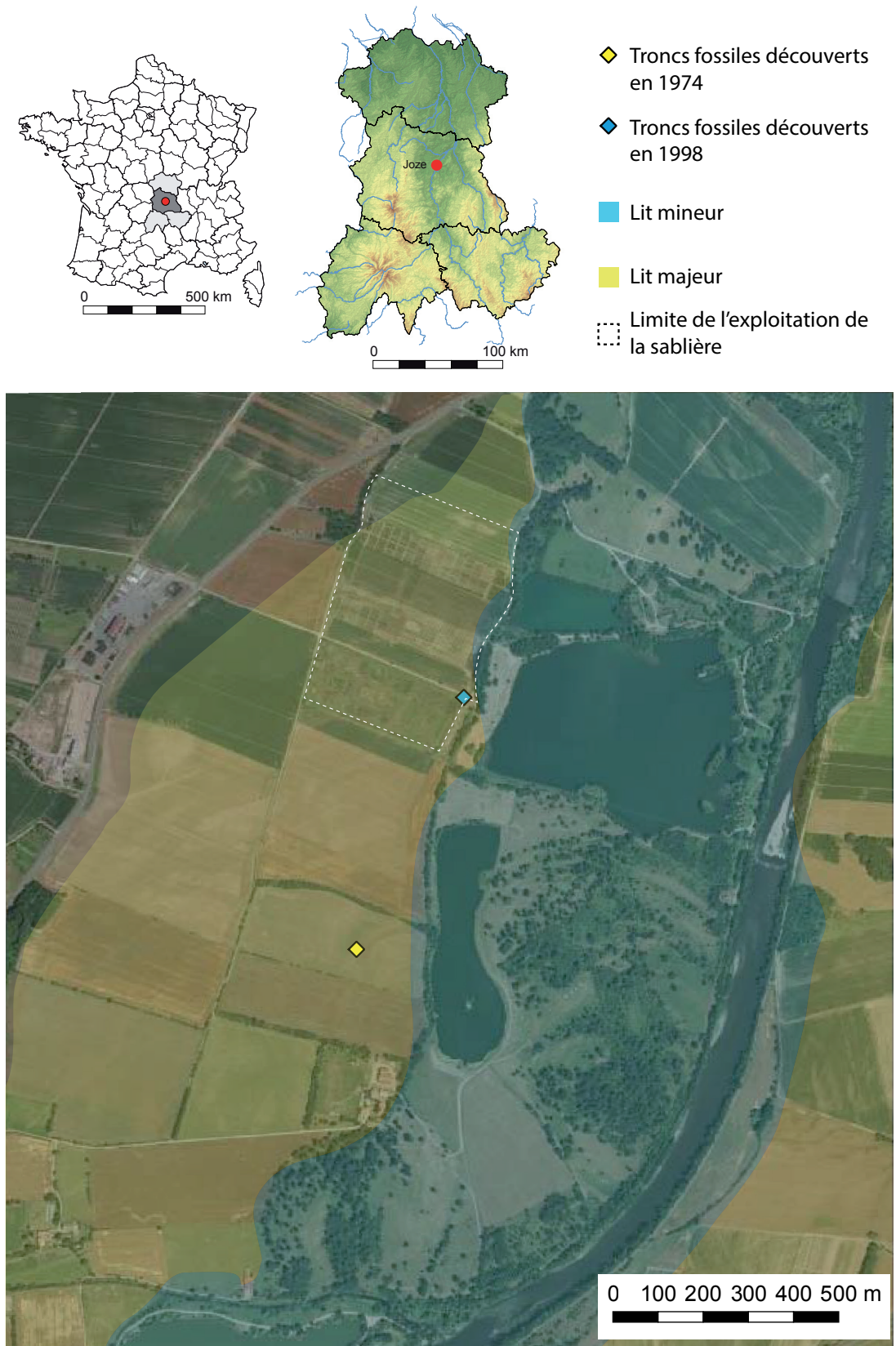


Fig. 1 – Localisation des deux sites ayant livré des troncs gorgés d'eau ainsi que le détail du lit mineur et majeur du cours de l'Allier (photographie aérienne: IGN; DAO: F. Blondel).

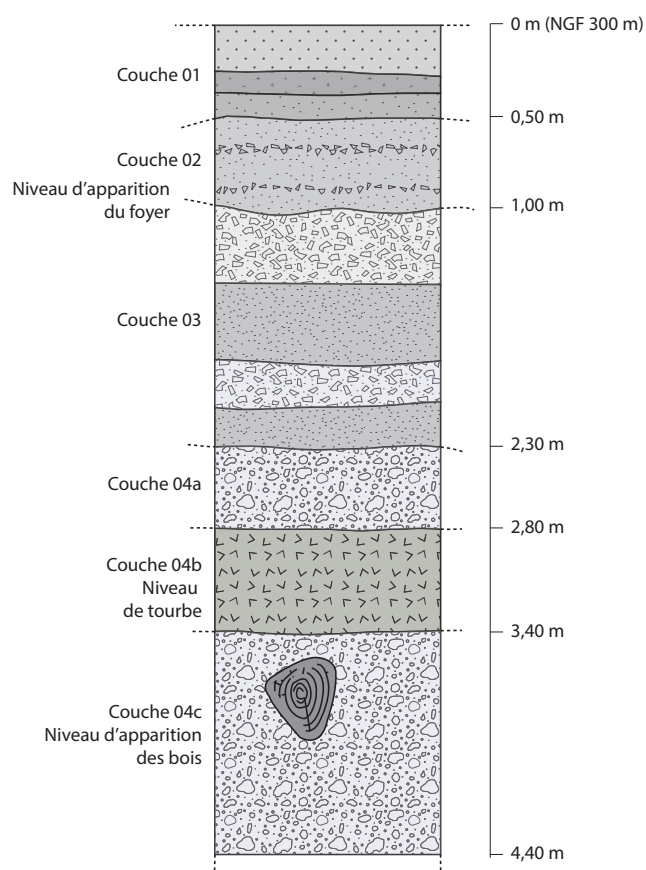


Fig. 2 – Coupe stratigraphique relative du site de la Borde équivalent également à celui de Brias (d'après le relevé de J.-P. Dugas et P.-P. Raynal) (DAO : F. Blondel).

2.2. Les datations radiocarbone (l'apport chronologique)

Deux datations ont été réalisées, sur les différents bois fossiles collectés, par le Centre de datation par le radiocarbone (Université Claude Bernard Lyon 1), la première sur un fragment des bois recueillis en 1978 sur lequel une analyse dendrochronologique a également été menée sans résultat. La date obtenue est de 7020 +/- 180 BP (Ly-1704) (fig. 3). La seconde datation a été réalisée sur l'une des sections prélevées en 1998 (Boi54) et livre un résultat de 6925 +/- 50 BP (Ly-8938). Les fourchettes de datation se chevauchent, mais il reste difficile de confirmer leur contemporanéité pour le moment par manque de synchronisme entre les différentes séries de croissance des bois prélevés autant en 1978 qu'en 1998.

2.3. Description des bois

Les bois découverts en 1998 ont été dégagés de la coupe et ont été regroupés par les exploitants de la sablière (fig. 4). Il n'y a donc pas eu d'observations des bois *in situ*. Par contre des « poches » de sédiments contenant beaucoup

de matières organiques ont été reconnues dans la coupe permettant d'envisager la couche précise de découverte des troncs. Quelques macro-restes ont également été recueillis dans cette couche organique, dont une noisette reconnaissable facilement. Le prélèvement d'une section a donc été réalisé sur chacun des bois permettant de renseigner le diamètre minimum des différents arbres enfouis. Au total, douze sections ont été réalisées à la scie. Leur diamètre minimum varie entre 25 et 50 cm. Tous n'avaient pas leur aubier de conservé, il faut donc envisager des diamètres plus importants pour au moins huit des douze bois. Les bois ont été conditionnés dans des sacs plastiques et déposés dans un dépôt du SRA Auvergne, dans un endroit frais et obscur en attendant d'être étudiés. Plus de dix ans se sont écoulés avant leur étude et ils étaient toujours dans un bon état de conservation.

Autre information intéressante sur ces bois, un insecte xylophage presque entier de la famille des coléoptères a été recueilli dans l'un des troncs (Bois 59), ce qui peut attester de leur enfouissement rapide, lors d'une crue par exemple. La perte de cet insecte ne permet malheureusement pas l'identification précise de ce xylophage qui aurait permis de mieux comprendre l'état des bois lors de leur enfouissement (bois mort, bois vert, bois flotté, etc.).

3. DONNÉES DENDROCHRONOLOGIQUES

Des mesures des largeurs de cerne ont été réalisées sur onze des douze bois, le douzième s'étant mal conservé (défillement des fibres) du fait d'un mauvais conditionnement (sac éventré) (fig. 5). Seulement quatre des onze bois avaient encore de l'aubier de conservé. Deux moyennes dendrochronologiques ont pu être générées par synchronisation des séries de croissance. La première moyenne compte trois bois (52, 59 et 61) et couvre une séquence de 118 années. Tous les bois de cette moyenne présentent de l'aubier conservé. Leur coefficient de corrélation est élevé, surtout entre les bois 59 et 61 où la forte valeur du coefficient de corrélation (r de 0,844) ainsi que la ressemblance des courbes permettent d'envisager une origine très proche, sans doute d'un seul et même arbre. La fragmentation des bois lors du prélèvement de section permet de supposer cette éventualité.

L'autre moyenne regroupe plus de bois. Six composent cette deuxième moyenne et couvrent une chronologie plus longue, de 198 années. Aucun aubier n'est par contre présent sur les six séries. Les coefficients de corrélation sont très satisfaisants, compris entre 0,47 et 0,7, et vont en parfaite adéquation avec la ressemblance graphique des courbes de croissance (fig. 5).

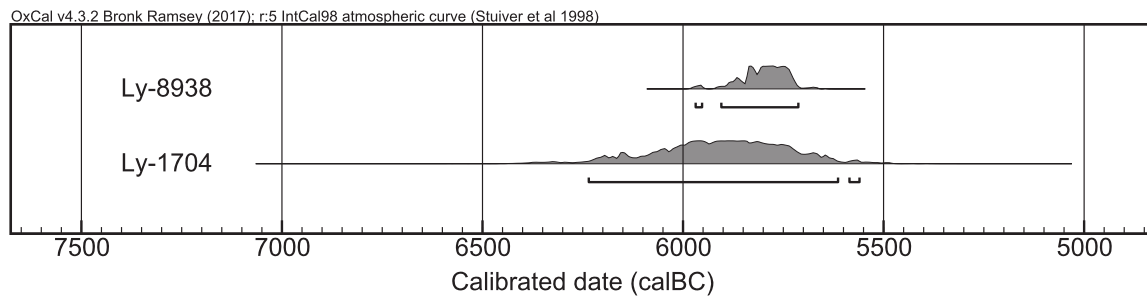


Fig. 3 – Multiple plots des deux radiocarbone réalisés sur les bois gorgés d'eau de 1978 et 1998.

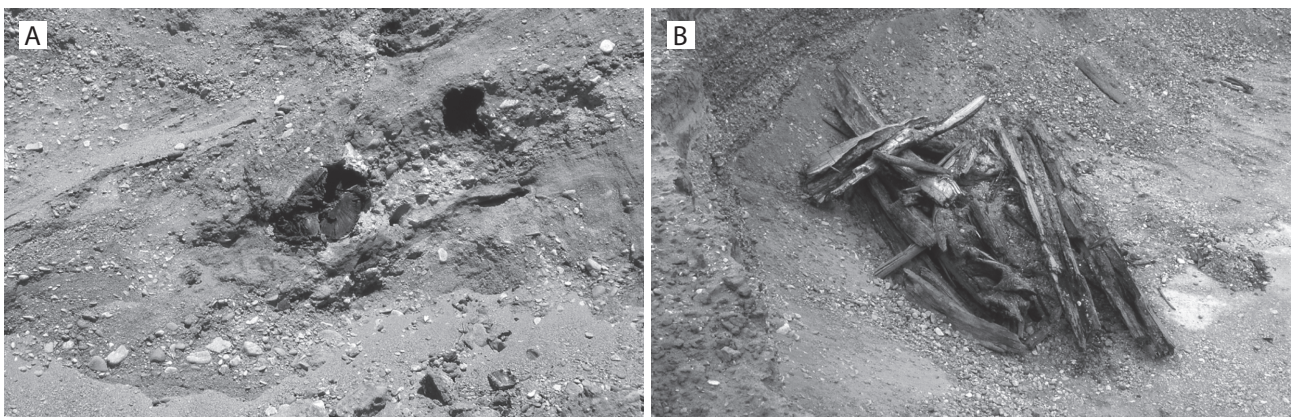


Fig. 4 – Photographies d'un bois encore en place dans la coupe latérale Est de la sablière en 1998 (A), ainsi que des bois recueillis par les exploitants avant d'avoir fait l'objet de prélèvements de section (B) (clichés: D. Miallier).

Enfin, deux patrons de croissances ne synchronisent ni avec l'une des deux moyennes ou entre eux. Malheureusement le bois ayant fait l'objet d'une des datations radiocarbone, fait partie de ces deux séries, rendant impossible l'attribution d'une contemporanéité à l'ensemble. La série de ce dernier n'est pas complète en raison d'une fragmentation le long d'un de ces cernes (roulure?). Sans corrélation avec les autres bois, il n'a pas été possible d'assembler les séries du début et de fin de croissance de cet individu et d'estimer le nombre de cernes perdu. Il est d'autant plus dommage que ce dernier a son aubier de conservé et compte un nombre important de cernes (245 cernes). L'autre bois sans synchronisation compte malgré tout 89 cernes.

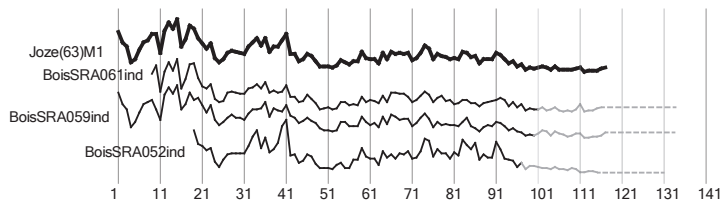
Enfin, la dernière série correspond au premier bois découvert en 1978. Il a un total de 78 cernes, sans aubier conservé. Il n'avait pas été daté à l'époque. Seul l'apport du radiocarbone permet de l'attribuer à une période globalement équivalente correspondant au Néolithique ancien. Il ne se synchronise pas avec aucune des deux moyennes ou bois isolés évoqués précédemment. Il peut correspondre à une période antérieure ou postérieure sans chevauchement possible avec les autres bois.

Le manque de référentiels locaux ou régionaux pour cette période ne permet pas l'acquisition d'une datation par dendrochronologie. En effet les référentiels ne remontent pas au-delà du V^e millénaire avant notre ère pour cette partie du territoire. Les datations radiocarbone oscillent entre 6219 à 5557 avant notre ère. Les fourchettes larges de ces datations avec un manque de référentiel ne permettent aucune attribution chronologique par dendrochronologie pour le moment. L'échange avec des laboratoires et universités hors du territoire français (Allemagne, Suisse, Autriche) pourrait permettre d'obtenir de meilleurs résultats. Les seules données exploitables à partir de ces bois sont pour le moment d'ordre paléoenvironnemental.

4. INTERPRÉTATIONS PALÉOENVIRONNEMENTALES

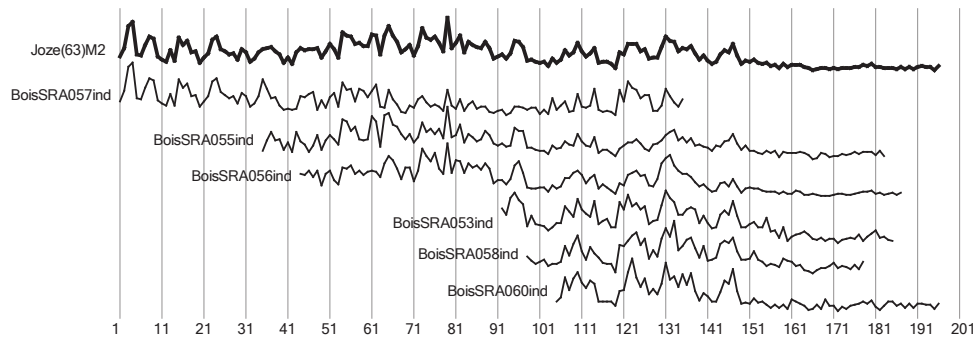
Le manque de corrélation entre les deux moyennes et les séries isolées sans synchronisme de 1978 et 1998 complique grandement les interprétations. Il faut donc envisager au moins deux groupes homogènes d'arbres ayant évolué dans un même environnement commun, mais potentiellement à deux périodes différentes. Pour les bois isolés, ils peuvent avoir été charriés lors d'une crue ou être également de

A. Moyenne 01



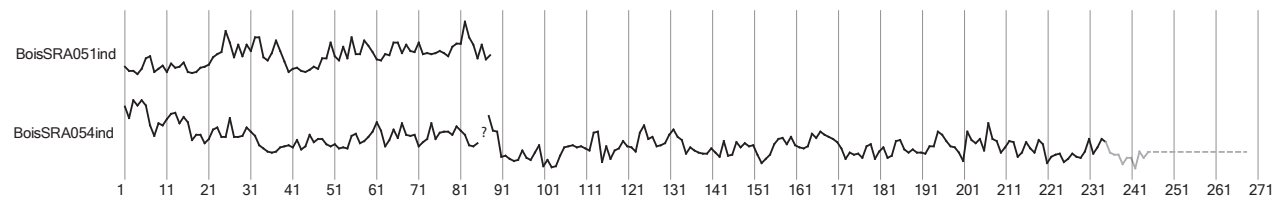
Valeur t	R	BoisSRA061ind	BoisSRA059ind	BoisSRA052ind
BoisSRA061ind			0,844	0,5692
BoisSRA059ind		15,7371		0,5798
BoisSRA052ind		6,5307	6,7134	

B. Moyenne 02



Valeur t	R	BoisSRA055ind	BoisSRA056ind	BoisSRA053ind	BoisSRA057ind	BoisSRA058ind	BoisSRA060ind
BoisSRA055ind			0,6374	0,5833	0,4657	0,5198	0,5013
BoisSRA056ind		9,504		0,5859	0,5481	0,7038	0,5923
BoisSRA053ind		6,5811	6,7051		0,6678	0,6263	0,5072
BoisSRA057ind		5,0751	6,0058	5,383		0,5656	0,684
BoisSRA058ind		5,1982	8,4655	6,8645	3,7563		0,6816
BoisSRA060ind		4,8812	6,3655	5,0287	4,497	7,5671	

C. Bois non synchronisés



D. Bois découverte en 1978

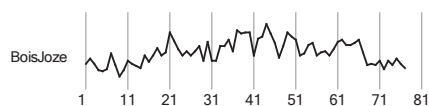


Fig. 5 – Courbe de croissance des différents bois regroupés par synchronisation (Moyenne 01 et 02) et sans synchronisme (DAO : F. Blondel).

périodes différentes. L'amplitude des fourchettes de datations par le radiocarbone va d'ailleurs dans ce sens. Toute la difficulté de l'interprétation des troncs recueillis se caractérise par l'absence d'observations stratigraphiques des bois *in situ* et de leur orientation (verticale : en place avec système racinaire, horizontale : charrié par le courant et déposé après retrait d'une crue). Ne pouvant pas interpréter les bois du point de vue archéologique, il est possible d'avoir une réflexion concernant leur type de croissance. En effet, en comparant les courbes de croissances d'après les moyennes dendrochronologiques et les bois isolés avec des peuplements connus (futaie, haie, taillis, taillis sous futaie), il est possible de caractériser les types de peuplement d'ori-

gine auxquelles se rattachent les troncs. Le nombre d'individus composant les moyennes étant limité, les croissances sont très peu lissées par rapport aux différents peuplements renseignés. Les écarts entre les cernes minces et larges sont donc très marqués, rendant parfois difficiles les comparaisons graphiques (fig. 6). Les moyennes 01 et 02, ainsi que le Bois54 ont des croissances bien supérieures à des futaies ou des taillis. En revanche, la croissance du Bois51 est très faible jusqu'à ses vingt premières années ; au-delà, elle est plus rapide. D'ordre général, les différents types de croissance des troncs se rapprochent de celle de peuplement de haie, mais restent tout de même avec des écarts de largeur de cernes très importants. Ces arbres auraient

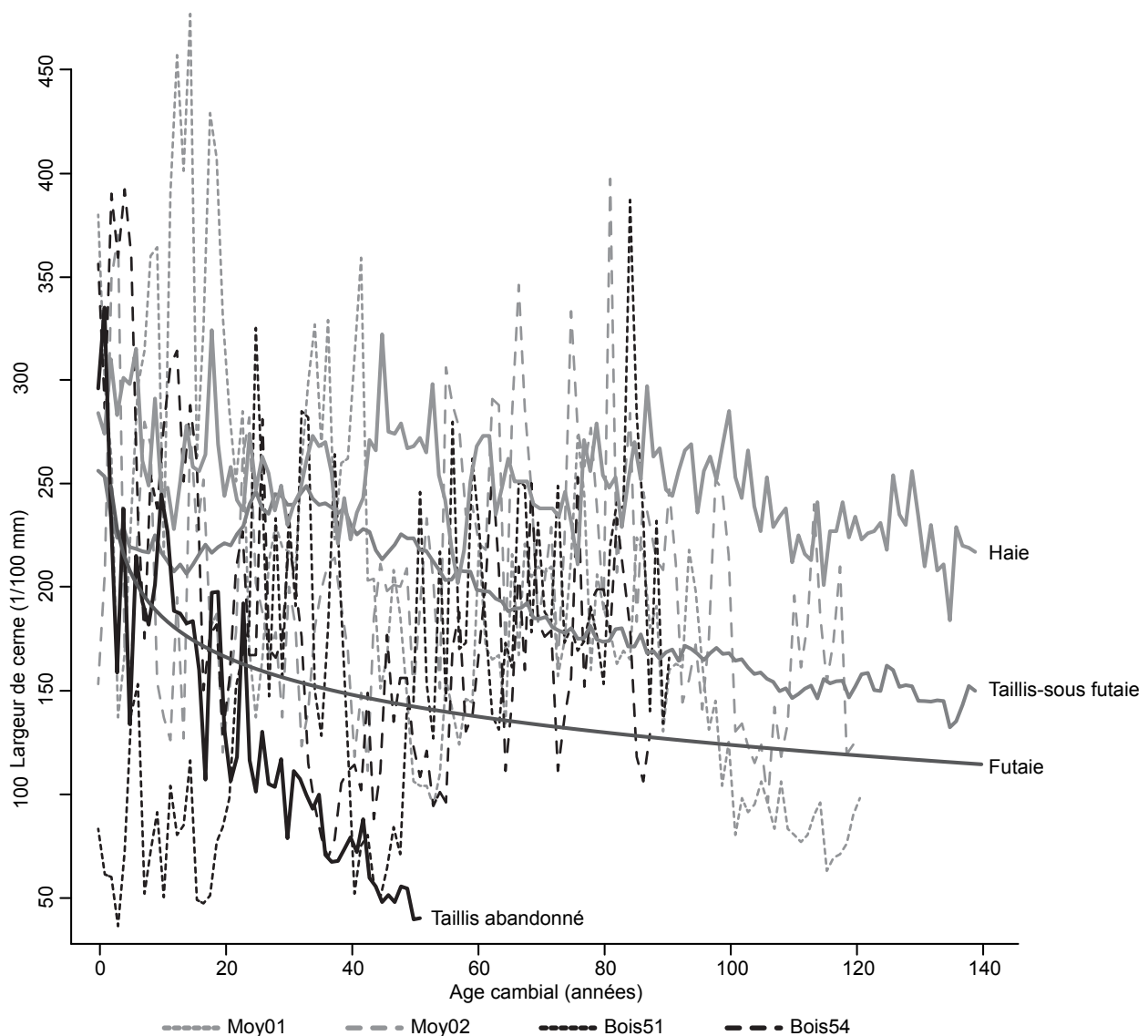


Fig. 6 – Comparaison des différents types de croissance rencontrés dans cette étude avec des croissances de peuplement connus (DAO : F. Blondel).

donc plutôt évolué dans un milieu ouvert, mais avec de fortes contraintes. Il faut sans doute évoquer la possibilité d'arbres ayant poussé proches du cours de la rivière et souvent perturbés par des crues ou des phénomènes analogues. En effet, les apports en eau du cours d'eau deviennent prépondérants sur les précipitations¹³. La croissance des arbres enregistre donc moins les variations climatiques, rendant difficile, voire impossible, leur datation.

En recoupant ces informations avec l'analyse pollinique réalisée en 1978 par Marie-Madeleine Paquereau, il est possible d'étendre ces premières interprétations. Le spectre pollinique révèle un taux de boisement élevé correspon-

dant à un stade relativement dense dominé par la chênaie mixte où le tilleul, l'orme, le noisetier et l'aulne sont bien représentés¹⁴. Lors des premières découvertes de bois gorgés d'eau entre 1974 et l'année suivante, de l'aulne et du chêne avaient déjà été identifiés par Georges-Noël Lambert parmi les bois recueillis¹⁵. Le développement important de cette essence indique un environnement local humide. La présence du tilleul plaide également dans ce sens ainsi que la flore herbacée principalement dominée par les Graminées, les Cypéracées et les hygrophiles. Il faut donc bien envisager des chênes poussant dans un environnement humide impactant fortement leur croissance.

14. Daugas *et al.* 1978, 60-61.

15. Daugas, Tixier 1977, 203-235.

13. Willms *et al.* 1998, 215-223; Astrale, Dufour 2010, 131-140.

5. CONCLUSION

Malgré l'impossibilité de datation par dendrochronologie pour ces bois et le manque de données précises sur leur découverte stratigraphique, quelques hypothèses peuvent être avancées. La localisation de ces bois en bordure de la terrasse alluviale de l'Allier présuppose que cette partie de la rivière était souvent en eau ou sujette à des épisodes de crue. Les résultats polliniques présentent également un environnement humide avec une végétation adaptée. La croissance des bois, même s'il n'a pas été possible de certifier la contemporanéité entre tous les individus, possède des tendances d'âge proches de peuplement de haie, mais avec des écarts très importants entre les cernes minces et larges. Cette forte variation conforte également un environnement contraint où l'apport continu en eau peut expliquer ces croissances. Même s'il est difficile de confirmer que ces bois ont tous été enfouis *in situ* lors d'une crue, ils ont au moins tous évolué dans un environnement impacté par leur proximité avec le cours de la rivière. Il est possible d'envisager que les arbres appartenaient à une ou plusieurs paléo-forêts et qu'ils ont été enfouis lors de crues, probablement à différentes périodes. Les séries de croissance des différentes moyennes attestent plusieurs individus ayant évolué dans un même milieu. Les séries sans synchronismes évoquent soit des périodes différentes, soit des bois ayant été ramenés par la rivière d'un autre environnement, soit des bois enfouis, à des périodes différentes de ceux précédemment cités. L'apport d'autres datations radiocarbone, au moins réalisées sur les cernes les plus récents des bois des deux moyennes, aidera sans doute à différencier plusieurs périodes d'enfouissement. L'échange avec d'autres universités ou laboratoires possédant des références remontant jusqu'au Néolithique ancien permettra sans doute de nouvelles possibilités. Enfin, la surveillance des autres carrières des environs de Joze serait également nécessaire pour étendre les données dendrologiques à travers les découvertes d'autres bois échoués ou ensevelis lors d'épisodes de crue.

Remerciements

Les auteurs remercient René Liabeuf et Frédéric Surmely (SRA-DRAC Auvergne, Clermont-Ferrand) pour avoir échantillonné les bois et communiqué leurs données.

Bibliographie

- Astrade, Dufour 2010 :** L. Astrale, S. Dufour, 2010, Dendrochronologie en ripisylve - des cernes aux changements hydro-morphologiques dans les systèmes fluviaux, *in*: L. Astrale, C. Miramont (dir.), *Panorama de la dendrochronologie en France*, Éditions Laboratoire EDYTEM, Le Bourget-du-Lac, coll. 11, 2010, 131-140.
- Astrade, Bégin 1997 :** L. Astrale, Y. Bégin, 1997, Tree-ring response of *populus tremula L.* and *Quercus robur L.* to recent spring floods of the Saône river, France, *Ecoscience*, 4, 2, 1997, 232-239.
- Coquide 1997 :** C. Coquide, 1997, Étude d'impact sur 5 hectares de gravière (basse terrasse) : étude morphologique, protohistoire colluviée, site antique mineur en place, Sondages et rapport d'impact, AFAN/Service Régional d'Archéologie d'Auvergne, Clermont-Ferrand, 1997, 4 p.
- Cournez 2015 :** E. Cournez, 2015, *Sur les traces de l'Allier, Histoire d'une rivière sauvage*, Tomacon, Cesset, 2015, 14-15.
- Daugas et al. 1978 :** J.-P. Daugas, J. Evin, M.-M. Paquereau., J.-P. Raynal, L. Tixier Luc., 1978, Éléments de datation pour la basse terrasse de l'Allier à Joze (Puy-de-Dôme). Nouvelles archéologiques du Museum d'Histoire Naturelle de Lyon, fasc. 16, suppl., 1978, 59-61.
- Daugas, Tixier 1977 :** J.-P. Daugas, L. Tixier, 1977, Variations paléoclimatiques de la Limagne d'Auvergne. *Approche écologique de l'homme fossile*, supplément au bulletin AFEQ, 47, Paris, 1977, 203-235.
- Lambert et al. 1980 :** G.-N. Lambert, C. Orcel, J.-P. Daugas, J.-P. Raynal, 1980, Premiers résultats dendrochronologiques pour le Massif central français obtenus sur un bois fossile de la basse terrasse de l'Allier, à Joze (Puy-de-Dôme), *Compte rendu de l'Académie des Sciences de Paris*, tome 290, 1980, 263-272.
- Larue 1982 :** J.-P. Larue, 1982, L'évolution morphologique des terrasses alluviales : les enseignements apportés par l'étude des nappes de La Loire et de ses affluents, *Norois*, 115, 1982, 365-384.
- Miramont, Sivan 2006 :** C. Miramont, O. Sivan, 2006, Les paléoenvironnements fluviaux dans les Alpes du Sud : un exemple d'étude dendro-géomorphologique, *in*: A. Dumont (dir.), *Archéologie des lacs et des cours d'eau*, Éditions Errance, Paris, 2006, 71-72.
- Surmely 1998 :** F. Surmely, 1998, Brias (Joze, Puy-de-Dôme) - Carrière Guittard, Rapport de sauvetage, Service Régional d'Archéologie d'Auvergne, Clermont-Ferrand, 1998, 2 p.
- Willms et al. 1998 :** J. Willms, S.-B. Rood, W. Willms, M. Tyree, 1998, Branch growth of riparian cottonwoods: a hydrologically sensitive dendrochronological tool, *Trees*, 12, 1998, 215-223.

Dendro-archéologie et dynamique de construction d'un village de l'âge du Bronze final. Entre maisonnées et espaces collectifs à Bevaix-Sud (Neuchâtel, Suisse)

*Fabien Langenegger**

Résumé

La baie de Bevaix, située sur la rive nord du lac de Neuchâtel, contient un ensemble remarquable de villages datés de l'âge du Bronze final. Le site le plus au large, Bevaix-Sud, immergé sous trois à quatre mètres d'eau a été intégralement fouillé entre 2004 et 2007. L'étude dendro-archéologique comprend trois volets principaux. Le premier concerne la restitution de l'architecture au sol du village depuis l'abattage du premier chêne sessile en 1011 av. J.-C. jusqu'à l'abandon du village soixante ans plus tard. Le second se penche sur une méthode destinée à assembler les produits de refente, c'est-à-dire à retrouver les pieux provenant d'un même arbre. Ce travail a permis de collecter des informations sur la gestion du bois d'œuvre et d'aider à montrer qu'une structuration de l'espace a précédé l'implantation des maisons. Le dernier chapitre traite de l'intégration du village dans l'évolution de l'habitat au Bronze final le long du littoral neuchâtelois. Cette approche dendro-archéologique met en évidence les rapports qui unissaient Bevaix-Sud à d'autres villages contemporains.

Mots-clés : dendrochronologie, Neuchâtel, baie de Bevaix, âge du Bronze final, les Lacustres, terroirs forestiers, gestion du bois d'œuvre.

Abstract

Several Late Bronze Age villages have been documented in the bay of Bevaix on the north shore of Lake Neuchâtel. Between 2004 and 2007 the site of Bevaix-Sud, located farthest offshore and three to four meters below the surface of the water, was entirely excavated. The dendro-archaeological study of the site is divided into three parts, the first of which deals with the reconstruction of the architectural plan of the village, beginning with the felling of the first sessile oak in 1011 BC up to the abandonment sixty years later. The second part focuses on a method used to detect piles split from the same tree. The aim of this research is to collect information about forest management regarding the harvesting of trees for timber. The final chapter discusses the significance of Bevaix-Sud in the development of the Late Bronze Age pile dwellings on the north shore of Lake Neuchâtel. This dendroarchaeological approach illustrates the relationship between Bevaix-Sud and other contemporary villages. At times construction, extension or maintenance work on houses and fences took place simultaneously in several bays. The knowledge gained from the dendrochronological study of the Bevaix lake dwellings enabled us to elaborate a theoretical model of the human occupation of the bays during the Late Bronze Age (traduction Jeannette Kraese).

Keywords: dendrochronology, Neuchâtel, Bay of Bevaix, Late Bronze age, pile dwellings, forest management, harvesting of trees.

INTRODUCTION

L'essor de la dendrochronologie en Suisse a commencé à partir des années 1970. La construction des routes nationales sur le plateau suisse a justifié la fouille de nombreuses stations lacustres. Dans le canton de Neuchâtel, le tracé de l'autoroute A5 a traversé des zones denses en palafittes et des opérations de sauvetage ont permis de conserver une partie des vestiges archéologiques. Des dizaines de milliers de bois préhistoriques ont été prélevés. Ces découvertes ont nécessité la création d'un laboratoire de

dendrochronologie en 1973 qui s'est spécialisé aussi bien dans l'expertise des cernes de croissance que dans l'étude techno-morphologique du bois d'œuvre. Depuis une vingtaine d'années, la méthode a dépassé ses compétences chronométriques pour traiter de nombreux autres thèmes liés à l'archéologie. Le terme «dendro-archéologie» est aujourd'hui mieux adapté pour définir le travail effectué sur les stations lacustres. Chaque décennie amène de nouveaux sujets d'étude pour le dendrochronologue. Aujourd'hui, on parle beaucoup de dendro-écologie ou même de dendro-génétique, car les travaux en pré- et proto-histoire liés à

* OPAN, section archéologie, Musée du Laténium, Espace Paul-Vouga, 2068 Hauterive.

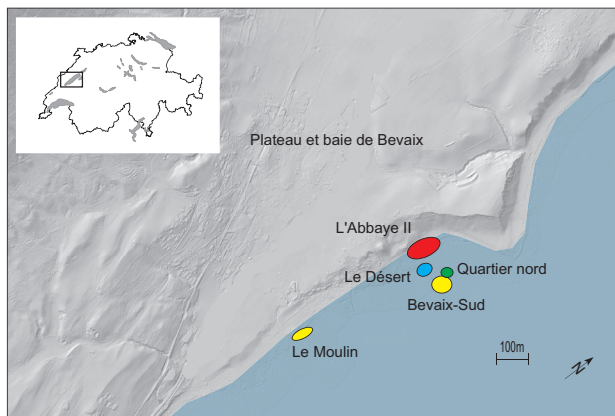


Fig. 1 – Situation géographique de la baie de Bevaix sur la rive nord du lac de Neuchâtel avec l'emplacement des villages de l'âge du Bronze final.

l'environnement et au climat de la période des Lacustres sont de plus en plus prisés. Les collaborations avec les généticiens ont déjà commencé avec la recherche de l'ADN ancien sur les pieux en chêne des palafittes. L'influence anthropique sur l'environnement immédiat des villages peut être étudiée à travers la lecture des courbes de croissance des arbres. La dynamique d'occupation implique des changements structuraux dans les forêts exploitées, car l'arbre garde en mémoire dans ses cernes, toutes modifications de son milieu.

La baie de Bevaix (fig. 1), située sur la rive nord du lac de Neuchâtel, a été, entre 2004 et 2012, le centre des recherches subaquatiques de l'Office du patrimoine et de l'archéologie de Neuchâtel (OPAN). Elle contient plusieurs villages datés du Bronze final. Le site le plus au large, Bevaix-Sud, immergé sous trois à quatre mètres d'eau et menacé par l'érosion, a été intégralement fouillé¹. Ce palafitte constitue la base d'une vaste recherche qui englobe toute la baie, mais aussi son arrière-pays, lequel a été largement documenté lors des fouilles de l'autoroute A5².

Le travail présenté comprend trois volets qui illustrent les possibilités de la dendrochronologie. La mesure des cernes de croissance permet de réaliser une étude chronométrique précise de l'évolution spatio-temporelle des villages lacustres. L'identification des échantillons provenant d'un même arbre apporte des informations sur la gestion du bois d'œuvre et sur une structuration de l'espace villageois. Et pour terminer, l'étude des chênaies met en lumière quelques liens entre les communautés villageoises et propose un modèle théorique d'occupation des baies du littoral neuchâtelois à l'âge du Bronze final.

1. Arnold, Langenegger 2012.

2. von Burg 2004, 13-28.

DE LA MESURE DES CERNES DE CROISSANCE À LA RESTITUTION DE L'HABITAT LACUSTRE

Un total de 250 000 cernes a été mesuré dans la baie de Bevaix, représentant plus de 2000 séquences individuelles, essentiellement de chênes sessiles (*Quercus petraea*). La courbe moyenne obtenue est longue de 423 ans pour la baie de Bevaix, calée chronologiquement entre 1300 et 878 av. J.-C. Une première observation du plan d'ensemble des pieux du village de Bevaix-Sud permet déjà d'obtenir quelques informations sur la disposition des structures (fig. 2). Les maisons sont groupées dans un espace quadrangulaire ceinturé entièrement par une palissade. Elle comporte deux ouvertures : la première permettait d'accéder au lac et la seconde donnait accès à l'arrière-pays. Plus au nord, on observe une concentration de pieux, située à l'extérieur de la palissade. Les pieux forment des bandes parallèles au rivage qui indiquent une direction privilégiée des maisons : les zones peu denses en pieux délimitent l'espace occupé par les maisons ; d'autres, plus fournies, correspondent aux réparations des maisons, souvent installées le long des bords longitudinaux. Ainsi, le pignon est orienté face aux vents dominants soufflant du sud-ouest. Sur le lac de Neuchâtel, pendant l'âge du Bronze final, le plan des maisons est composé de quatre rangées de pieux avec une nef centrale et deux bas-côtés de largeur équivalente. Ces architectures rectangulaires pouvaient comporter jusqu'à une dizaine de travées³.

Cinq phases principales d'aménagements ont été définies à Bevaix-Sud grâce, d'une part, à l'exercice de synchronisation des mesures des cernes de croissance sur les référentiels locaux et, d'autre part, à l'examen des fréquences annuelles d'abattage. La première correspond à la phase initiale de construction, les quatre suivantes participent aux extensions du village, aux réparations et aux reconstructions des structures (fig. 3). Le travail d'identification du plan des maisons a ensuite été réalisé en isolant les pieux, selon ces cinq grandes étapes du développement de Bevaix-Sud.

La première réalisation anthropique est probablement l'aménagement d'un espace empierré constitué de tonnes de galets importés depuis le rivage pour stabiliser le terrain. Pendant ce temps, dans la forêt, la préparation des éléments d'architecture en bois nécessaires à la construction du village a commencé. Le premier chêne a été abattu pendant l'hiver -1011/-1010. Ensuite, quatre campagnes d'abattage se sont succédé jusqu'au printemps -1007 pour préparer les pieux de fondation obtenus par débitage en quart ou en sixième de troncs d'un diamètre compris entre 30 et 50 cm. Dans chaque structure, des éléments issus de

3. Benkert 1998, 194-197.

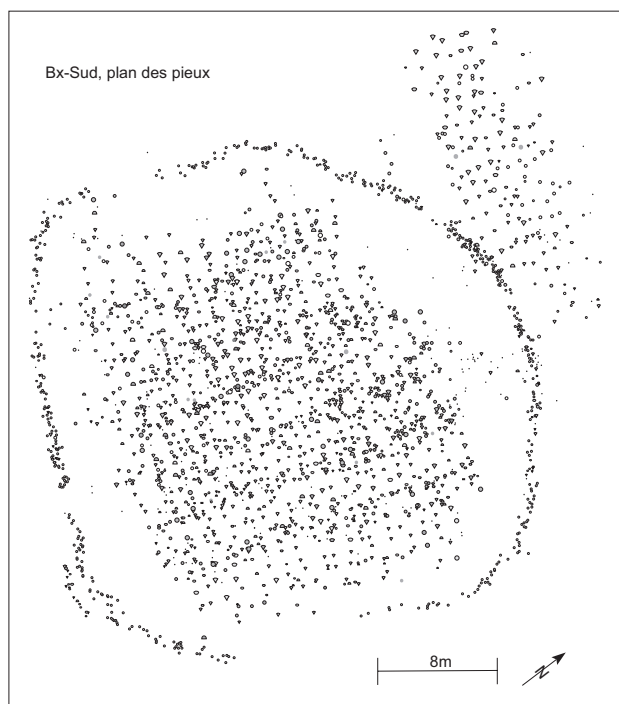


Fig. 2 – Bevaix-Sud. Le plan de répartition des pieux. Échelle: 1/2000.

plusieurs années consécutives d'abattage ont été utilisés, attestant ainsi le stockage du bois et une anticipation au vaste programme de construction. Un premier bâtiment (M9) a pu être construit, dès le printemps -1009 (fig. 4). Cette structure a peut-être servi de base de travail pour la construction du village (fig. 4). Dès le printemps -1007, le noyau principal du village est édifié avec l'ajout de neuf maisons. Dès le printemps -1006 jusqu'au printemps -1004, de nouveaux chênes, ainsi que 400 jeunes hêtres, sont prélevés dans la forêt pour compléter le noyau central par une onzième structure (M11) et installer la palissade. Les chênes sessiles et les hêtres peuvent provenir des mêmes surfaces, puisque ces deux espèces se font concurrence sur les sols forestiers du pied du Jura. Après cette première phase de construction du village, on assiste à plusieurs étapes d'agrandissement du village avec l'ajout de nouvelles structures et l'extension de la plupart des maisons pour augmenter la surface habitable. La première étape débute pendant l'hiver -995/-994. Avec l'établissement d'une maison supplémentaire (M12), qui vient clore la sixième rangée, deux structures (M2 et M5) sont agrandies et on procède à une réparation importante de la dernière maison construite (M11). Le dynamisme au sein du village s'accélère pendant l'hiver -992/-991 et se poursuit jusqu'à la fin du printemps. Il permet d'ajouter une rangée supplémentaire complète (M13 et M14), d'accroître la surface de cinq maisons (M2, M3, M4, M7 et M8) et de renforcer la palissade en hêtre à l'aide de pieux en chêne. Ensuite, une douzaine d'années s'écoule avant le commencement

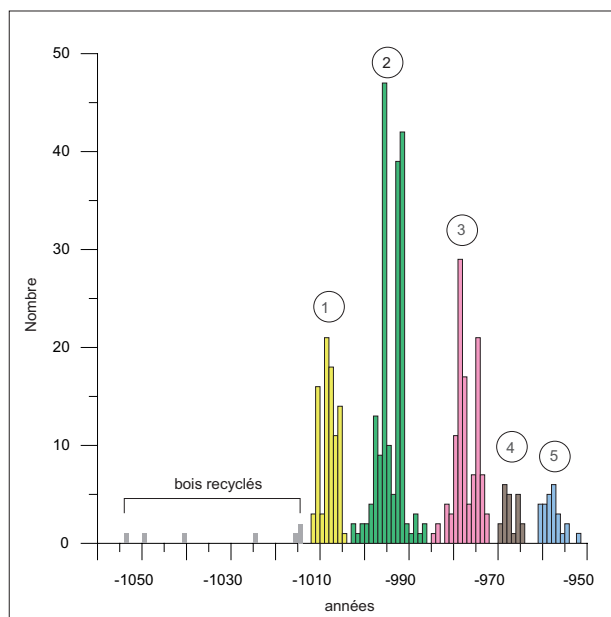


Fig. 3 – Bevaix-Sud. Fréquence annuelle des dates d'abattage des chênes, basée sur le cambium. Cinq phases principales apparaissent, qui correspondent aux grandes étapes de constructions et d'extensions du village.

de la troisième phase d'abattage intensif pendant l'hiver -978/-977. Trois maisons sont réparées (M4, M8 et M10). En -973, les efforts se concentrent sur la dernière rangée avec l'extension latérale d'une structure (M13) et la reconstruction complète de l'ultime maison (M14). Les dernières interventions majeures concernent un renforcement terminal (M5) et une reconstruction partielle (M8). Le dernier pieu daté présent dans la zone fermée par la palissade, provient d'un arbre coupé au printemps -959 et vient renforcer M11. Le village connaît ensuite un nouvel essor avec la création du Quartier nord, situé au-delà de la palissade et qui comprend trois nouvelles maisons (M15-M17), bâties entre -957 et -954. L'orientation est désormais perpendiculaire au lac, mais les structures sont protégées du vent dominant par les constructions plus anciennes. Le dernier pieu planté du Quartier nord date de l'hiver -952/-951.

DE L'IDENTIFICATION DE L'ORIGINE DES PRODUITS DE REFENTE À LA GESTION DU BOIS D'ŒUVRE

Les peuplements forestiers utilisés apparaissent en classant les pieux en fonction des dates des premiers cernes mesurés, ou avec l'estimation de la moelle pour les pieux refendus (fig. 5). À Bevaix-Sud, deux grands groupes apparaissent. Le premier (A) prend naissance vers 1300 av. J.-C. et contient tous les bois exploités pour les phases de construction. Le second (B), avec des pieux plus jeunes, a été utilisé pour les réparations des maisons ou la création

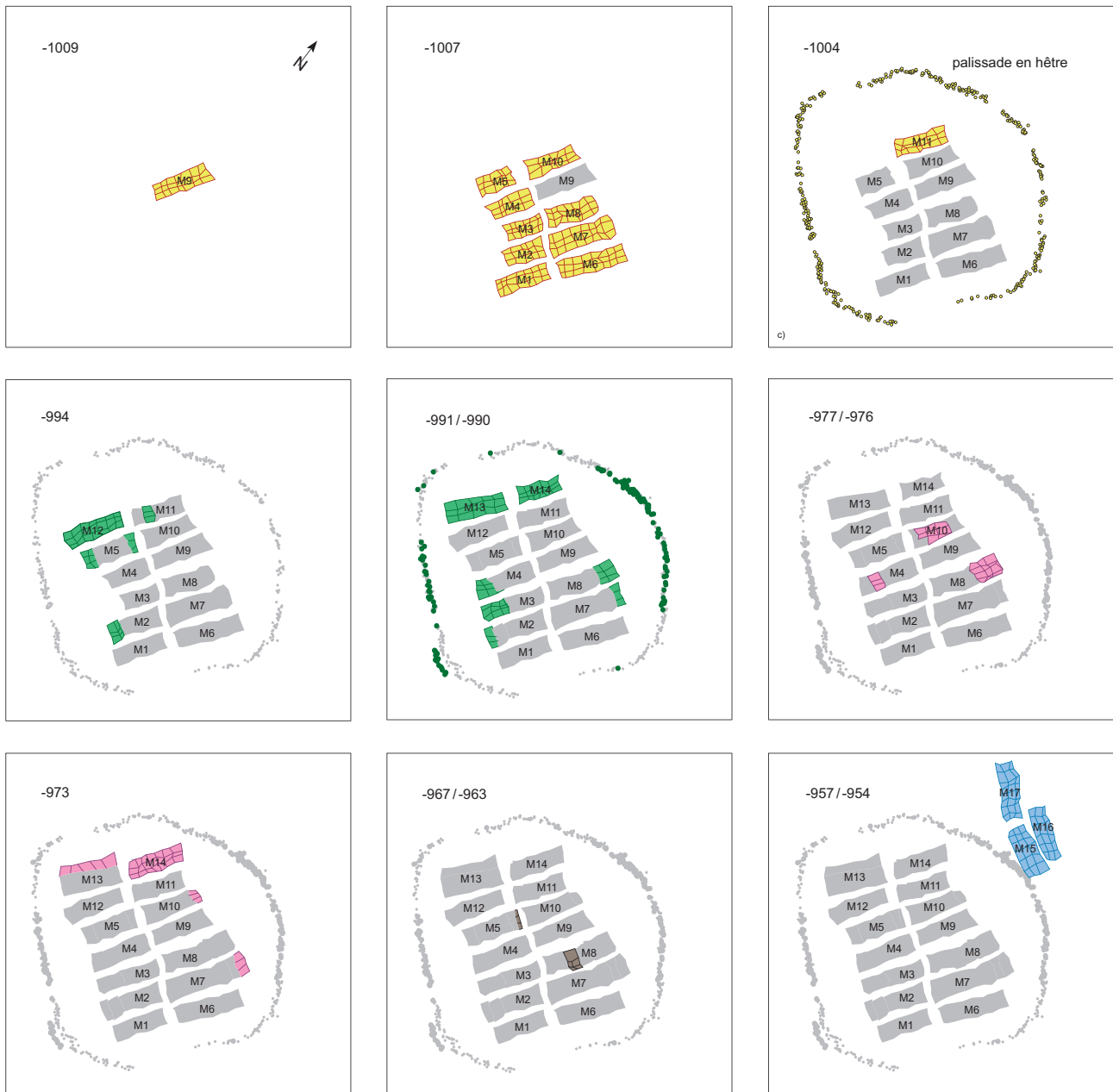


Fig. 4 – Bevaix-Sud. Évolution chronologique du plan au sol des architectures selon les cinq phases principales observées sur l’histogramme des fréquences d’abattage.

de structures annexes. À noter que les villages de la baie de Bevaix, Cortaillod et Auvernier, ont été construits à l’aide de pieux provenant d’arbres issus de peuplements de chênes qui ont régénéré d’importantes surfaces vers 1280-1300 av. J.-C. C’est une indication indirecte de la présence de zones déboisées avant cette époque, pour l’utilisation du bois ou pour ouvrir des surfaces dévolues à l’agriculture. La surface des sections des pieux est comprise essentiellement entre 100 et 200 cm² quelle que soit la provenance des bois. Seule l’intensité du débitage change. Pour le premier groupe forestier, le travail de refente a été plus important. Dans le second groupe, les pieux sont de section circulaire ou semi-circulaire. Le corpus des bois de Bevaix-Sud ne

permet pas une étude détaillée du couvert forestier. En effet, il est trop homogène, avec une prépondérance quasi exclusive du chêne sessile, et un manque de variabilité dans les classes d’âge des arbres. Mais, cette homogénéité est favorable à une autre approche intéressante du matériel ligneux: la comparaison des courbes individuelles de croissance, afin d’isoler les pieux provenant d’un même arbre. L’assemblage des bois de refend est un exercice qui demande la prise en considération de nombreux critères statistiques, métriques et optiques. Les objectifs d’un tel travail sont la détermination de la répartition spatiale des bois, le mode de distribution des produits d’un arbre depuis la forêt jusqu’au village. Il s’agit de définir si les séquences

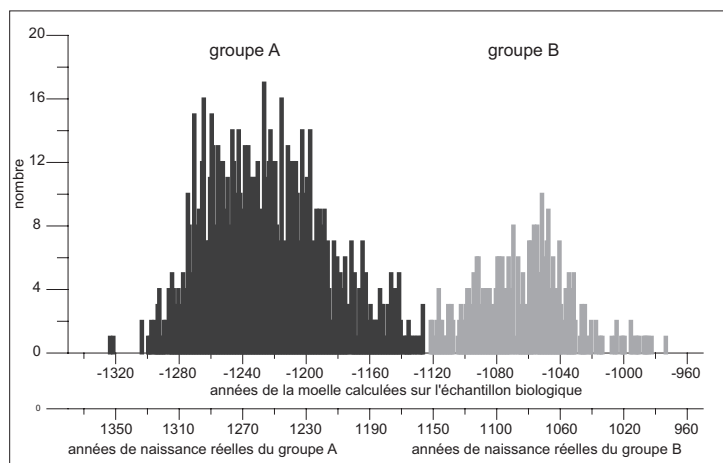


Fig. 5 – Bevaix-Sud. Âge et fréquence du premier cerne mesuré pour les pieux en chêne. Le diagramme révèle la présence de deux groupes forestiers bien distincts (A et B) exploités pour des types de travaux bien définis. A) phases de constructions, B) phases de réparations.

à l'aide des tests d'Eckstein, de Student (employé avec une transformation respective des séries selon Baillie et Pilcher⁴) et de la distance euclidienne. Cette dernière est importante d'autant plus que les désavantages liés habituellement à ce test disparaissent. On recherche les échantillons qui remontent ensemble et qui ont forcément des

courbes identiques et le même âge. Ainsi, l'effet juvénile ou sénescence ne vient pas perturber les calculs. Les séquences ayant obtenu les meilleurs coefficients sont ensuite vérifiées en détail à l'aide de six critères principaux décrits ci-dessous par ordre d'importance.

La date d'abattage : c'est le critère évidemment le plus important, bien qu'elle ne soit pas toujours connue lorsque le cambium n'est pas présent.

Le rythme de croissance : la comparaison des courbes se fait en conservant les mesures en valeurs brutes. Cette observation est plus rigoureuse en travaillant avec des longues séries, lorsque l'approche comparative peut se faire sur les trois stades de développement, juvénile, adulte et sénescence. Dans le cas des assemblages, il faut identifier les particularités individuelles d'un arbre.

L'aubier : au niveau de la zone de transition entre le duramen et l'aubier, la position du premier cerne de ce dernier varie très peu sur les échantillons d'un même arbre. Une différence d'un à trois cernes est courante et le nombre total de cernes dans l'aubier ne doit normalement pas s'écarter de cette marge.

La moelle : sur des pieux refendus, la moelle est rarement présente. Grâce à l'existence des rayons médullaires et des plans de refente sur le chêne, la partie perdue peut être mesurée et le nombre de cernes manquants estimé. La hauteur du prélèvement a aussi son importance, puisqu'entre deux échantillons séparés de huit mètres, une différence de 20 à 40 ans est possible⁵. Les cernes annuels des arbres se développent les uns sur les autres tels des cônes empilés. Pour connaître l'âge exact d'un arbre, il faut effectuer la mesure le plus près du sol. Le nombre d'années décroît en remontant le tronc.

individuelles des arbres présentent suffisamment de particularités pour les différencier, d'une part, de celles de leurs voisins immédiats et, d'autre part, d'arbres ayant poussé dans une placette plus éloignée. C'est la condition *sine qua non* pour espérer repérer les pieux provenant de la refente d'une même bille.

Le problème principal d'une telle méthode réside dans la vérification des résultats obtenus. Comment être certain que la méthode employée est efficace ? La solution retenue est de tester une méthode sur des échantillons de chênes sessiles modernes de provenances connues. Ainsi, la pertinence des résultats obtenus permettra, peut-être, de transposer ce procédé sur les prélèvements transversaux des bois préhistoriques. Il n'existe aucun critère suffisamment discriminant pour garantir un assemblage. Mais de nombreux paramètres sont à même d'exclure la « filiation » entre deux pieux. Chaque arbre a sa propre histoire et, dans la pratique, deux séquences ne sont jamais parfaitement identiques, mais comportent des similitudes qui sont quantifiées statistiquement. Des irrégularités graphiques, qui se produisent systématiquement dans toutes les séquences, constituent des points de repère, des signatures pour le dendrochronologue. Dans le cas des assemblages, il s'agit de retrouver des singularités propres à un seul arbre qui s'observent surtout sur le rythme de croissance (le *trend*), par des ruptures ou des reprises de croissance spécifiques. Si un stress subi par un arbre peut venir perturber la synchronisation sur un référentiel, à l'inverse, il devient un élément majeur permettant d'identifier les séries issues d'un même arbre. La première étape consiste à calculer l'ensemble des séries entre elles, sans aucun tri préalable, afin de pouvoir contrôler la justesse des résultats produits par calculs statistiques et de vérifier quelle fiabilité peut être accordée aux différentes propositions d'assemblage. Deux bois provenant d'un même tronc doivent obtenir des coefficients de corrélation très élevés, sauf si une anomalie de croissance est présente sur un seul échantillon (blessure, proximité d'un nœud). Les résultats de trois procédés de calcul sont vérifiés

4. Girardclos 1999, 78-92.

5. Arnold, Langenegger 2012, 141-143.

Les courbes de croissance cumulée : l'emploi de la croissance cumulée permet de synthétiser la tendance générale d'un échantillon. Sa représentation graphique peut être corrélée de la même façon qu'une courbe. Les courbes des valeurs ajoutées correspondent à la croissance du tronc année après année, à l'évolution du rayon en fonction de l'année de formation du cerne. Cette analyse permet d'améliorer sensiblement le regroupement des pieux issus de la refente d'un même tronc. Mais l'utilisation seule des croissances cumulées ne permet pas d'identifier les pièces provenant d'un même arbre. Les variabilités constatées en comparant deux rayons opposés sur un même échantillon sont parfois très importantes⁶. C'est pourquoi, les mesures individuelles prises en considération pour les assemblages ont été faites systématiquement sur le rayon moyen.

Les altérations : elles ne sont pas forcément visibles sur tous les échantillons d'un même arbre, mais certaines, comme la pourriture alvéolaire ou le mauvais état sanitaire de l'aubier, sont généralement de bons indices pour faire le rapprochement entre deux bois. À condition que l'altération se soit produite avant l'abattage de l'arbre et avant la refente du tronc.

En plus de ces observations déterminantes, la documentation photographique, les observations et les descriptions faites sur les pieux lors de la fouille, le mode de débitage et les dessins des sections peuvent fournir des indications précieuses en cas d'hésitation sur un assemblage.

Dans un premier temps, la méthode de travail a été testée sur 600 échantillons de chênes sessiles modernes, issus de huit placettes différentes réparties au pied du Jura neuchâtelois. Deux prélèvements transversaux par arbre ont

été pris en compte, un provenant de la bille et l'autre de la surbille. Une partie de ces échantillons provient d'un travail commencé en 1991 et destiné à observer la croissance du chêne sessile⁷. On constate qu'avec le test d'Eckstein et de la distance euclidienne, seul un quart des meilleurs coefficients a permis la réalisation d'un assemblage correct. Avec le test de Student, plus de la moitié des assemblages a pu être retrouvée. Mais parmi les échecs enregistrés, on observe une réunion de 90% des assemblages avec des prélèvements d'arbres certes différents, mais qui émanent de la même division forestière. Lors d'un échec de recouplement, il est essentiel de contrôler combien d'échantillons provenant d'autres arbres donnent des coefficients plus élevés. Pour le test de Student, dans 90% des cas, le bon échantillon se retrouve dans les cinq meilleures propositions. En prenant en compte les six critères discriminants, mentionnés plus haut, la courbe de croissance correcte peut être aisément isolée. En ne considérant que le test d'Eckstein et la distance euclidienne, la bonne série se retrouve souvent très loin derrière les autres et les échantillons à prendre en considération sont beaucoup trop nombreux.

Les résultats obtenus sur les échantillons modernes sont transposés sur les prélèvements transversaux de la station littorale de Bevaix-Sud. Les calculs de corrélations ont été effectués en prenant en compte toutes les mesures réalisées sur les prélèvements de pieux en chêne. Le test de Student (indiqué BP) a été privilégié (> 11.5), mais en filtrant avec des valeurs élevées pour le test d'Eckstein ($W > 6$) et une distance euclidienne très faible (< 1.7). Plusieurs centaines de propositions sont sorties et ont passé la vérification des six critères discriminants. Les meilleurs assemblages ont été retenus et reportés schématiquement sur deux plans différents contenant les surfaces au sol des maisons (fig. 6)

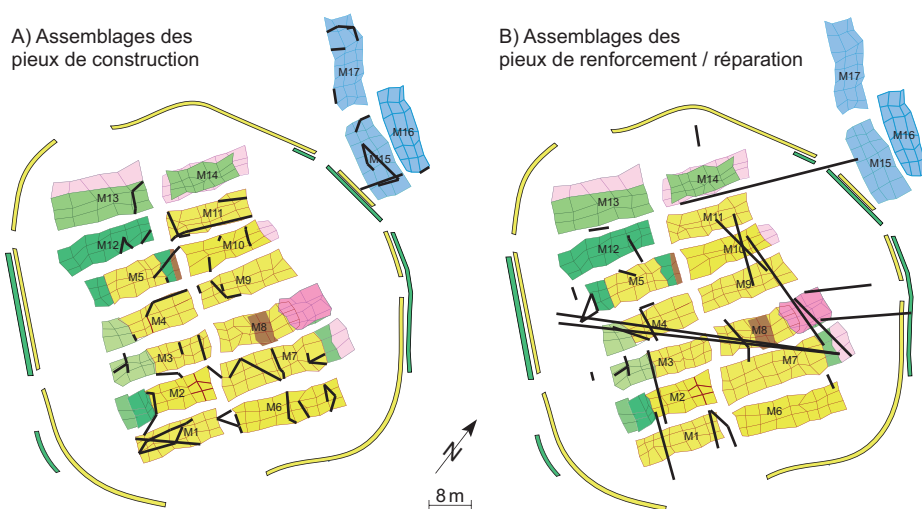


Fig. 6 – Bevaix-Sud. Carte de répartition des premiers assemblages (pieux refendus provenant d'un même arbre) qui réunissent A) les pieux de construction, B) les pieux de réparation.

6. Bernard 1998, 118-125 et 137.

7. Emery 1993.

et triés par pieux de construction (A) et pieux de réparation (B). Ces assemblages sont riches d'enseignements. Pour les phases de construction, le travail par maçonnerie est clairement confirmé. Mais les structures semblent avoir été montées les unes après les autres. Cette impression vient des remontages réalisés entre les pieux latéraux de maisons voisines. Les personnes dévolues à la construction du village, lorsqu'elles avaient terminé une maison, utilisaient le surplus de pieux pour la construction suivante située sur la même rangée ou sur la suivante. Pour les pieux de réparation, l'image est plus contrastée, avec des assemblages qui réunissent des pieux parfois très éloignés. Un stock de pieux déjà façonnés a été réservé pour les réfections ponctuelles.

Les assemblages de produits de refente ont également aidé à démontrer l'existence d'une structuration de l'espace avant le début de la construction du village de Bevaix-Sud. Avec la reconstitution spatiale et chronologique de plusieurs villages lacustres situés le long du littoral neuchâtelois, des plans très bien ordonnés ont été mis en évidence. Cette régularité est certainement le résultat d'une réflexion préalable et de l'établissement d'un plan prédéfini. La palissade de Bevaix-Sud ceinture entièrement le village. Elle intègre un espace de près de 4414 m², soit le double de la surface déjà construite. Des zones réservées pour la mise en œuvre de nouvelles maisons ont ainsi été prévues plusieurs années avant leur construction. L'installation synchrone de dix maisons peut également suggérer une anticipation du travail, déjà mise en évidence par le stockage des bois. Il reste désormais à apporter des indices pour étayer l'hypothèse d'une structuration de l'espace. Des éléments sur le terrain trahissent-ils un découpage préalable de la surface pour définir l'emprise de la palissade et des maisons? Une opération « d'arpentage » avant la construction des structures peut-elle être mise en évidence? Des bois ont-ils été implantés pour définir des espaces. Pour démontrer une telle pratique à Bevaix-Sud, tous les pieux plantés en -1007 au plus tard et qui n'ont pas participé directement à la fondation du noyau central ont été isolés.

L'espace occupé par le noyau central définit un quadrilatère d'une quarantaine de mètres de côté incluant la surface empierrée à l'ouest des structures qui fait partie intégrante de la première phase de construction (fig. 7). Les maisons sont disposées à l'intérieur en deux bandes de cinq rangées. Deux modules de construction se distinguent clairement. Les maisons situées dans la bande ont une surface au sol plus conséquente, car l'espace réservé aux structures de la bande ouest comprend une place empierrée A qui réduit ainsi l'emprise des bâtiments. La seule structure qui n'est pas empiétée par la place, M1, comprend deux rangées de pieux en plus. Le centre de ce quadrilatère se situe topographiquement exactement au centre des maisons,

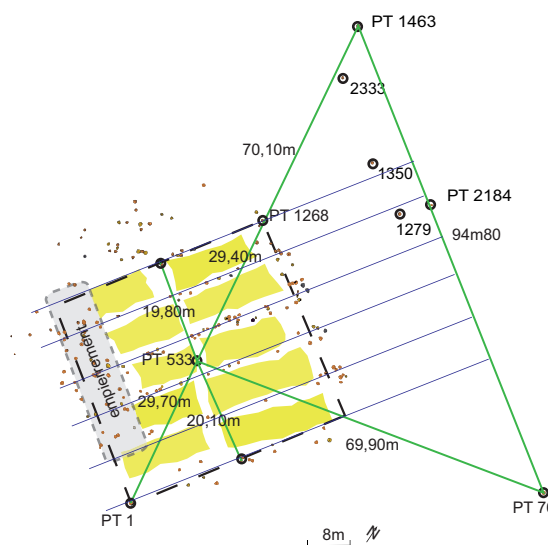


Fig. 7 – Bevaix-Sud. L'espace occupé par les premières structures est compris dans un quadrilatère de 40 m de côté. Un alignement de pieux a servi d'axe de référence pour une structuration de l'espace villageois.

dans l'étroite ruelle médiane et au milieu de la troisième rangée. Sur le plan de répartition, six bois sont disposés nettement à l'extérieur de l'emprise du reste des pieux, à 40 m des plus proches. Parmi eux, trois bois refendus sont alignés et les deux extrêmes se trouvent à 94,80 m l'un de l'autre. Ils forment un alignement parallèle aux côtés est et ouest du noyau des dix maisons et forment l'axe de référence pour l'implantation du village. Le centre du village tel qu'il a été indiqué sur le plan correspond à l'emplacement occupé par le pieu 533. Ce pieu refendu est issu d'un bois coupé au printemps -1007, la dernière campagne d'abattage effectuée avant la construction du village. Ce point central (PT 533) se trouve à 69,90 mètres du pieu 1463 et à 70,40 m du point 76. Le triangle ainsi constitué peut être considéré comme isocèle. En prolongeant l'axe 1463-533, on relie le point n° 1, qui forme l'angle sud du quadrilatère. Ce pieu, parmi les chênes, est le plus au large du pilotis. Il se trouve à 29,70 m du centre. À l'opposé, en remontant la ligne, on croise le pieu 1268, qui forme l'angle nord. Il est éloigné de 29,40 m du point central, soit trente centimètres de différence entre les deux angles par rapport au centre du village. La ligne médiane du quadrilatère qui longe la ruelle est marquée à ces deux extrémités par deux pieux doublés qui se situent à respectivement 19,80 m et 20,10 m du centre. Une géométrie déjà très élaborée peut être observée à partir de ces quelques points directeurs. Une preuve supplémentaire de l'existence d'un découpage préalable de la surface à bâtir est, que parmi les six points, trois proviennent du débitage d'un même arbre, les points n° 76, 1268 et 2184. À côté de ces marques principales, de nombreux marqueurs secondaires peuvent être mis en exergue en traçant des parallèles ou

des perpendiculaires en fonction de l'axe 1463/76. Cet axe a servi de référence pendant toute la durée d'occupation du site et a été positionné suffisamment loin pour ne pas se trouver dans l'espace prévu pour les constructions futures. Les ruelles horizontales s'orientent à 90° par rapport à l'axe et découpent le village en cinq rangées d'une largeur qui varient entre 7,40 m et 8,70 m. Le découpage des zones réservées à l'emprise des maisons est bien défini, mais suffisamment vaste pour laisser une certaine marge de manœuvre pour l'implantation des pieux.

La première phase n'est pas terminée en -1007, mais se poursuit jusqu'en -1004 avec la construction d'une onzième maison et de la palissade en hêtre. Ce nouveau bâtiment nécessite l'aménagement d'une sixième rangée. M11 se cale exactement sur le plan de M10 et avec les mêmes retraits selon l'axe de référence du site. Avec l'ajout de M11, le centre du village se déplace d'environ quatre mètres plus haut. Ce nouveau point central est utilisé pour déterminer l'emplacement de la palissade qui a un diamètre moyen de 75 m pour un périmètre de 250 m en tenant compte du développement du cercle, du côté du rivage. Si on conserve l'ancien point central, le tracé de la palissade ne pourrait géométriquement pas correspondre aux relevés effectués des 400 pieux en hêtre (fig. 8). La limite supérieure de la palissade, près de l'ouverture côté rivage, présente un élargissement vers le haut par rapport au tracé optimal,

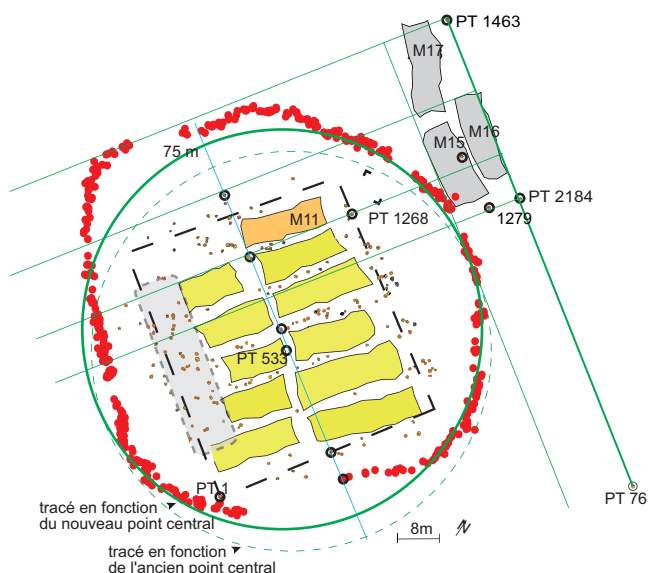


Fig. 8 – Bevaix-Sud. La construction de M11 décale le point central du village (PT533) de 4 m vers le nord. Ce nouveau point est utilisé pour définir le tracé de la palissade, une ceinture de pieux de 75 m de diamètre. En traçant le cercle depuis l'ancien point, le tracé ne correspond pas aux pieux. Le Quartier nord s'aligne parfaitement à l'axe de référence et se termine au point 1463.

qui s'arrête exactement perpendiculairement à la limite supérieure de l'axe de référence, marqué par le point 1463.

La construction du Quartier nord commencée en -957 présente une orientation perpendiculaire aux précédentes structures. Le Quartier nord se développe depuis le bord d'une petite ouverture dans la palissade jusqu'à la perpendiculaire de l'axe de référence au point 1463. L'emprise de M15, qui est la première maison à être mise en œuvre dans le Quartier nord dès -957, s'étire du côté du rivage parallèlement à l'axe de référence (cf. fig. 8). M16 est bâtie en -954, légèrement décalée vers le nord, mais sa façade longitudinale vient longer parfaitement l'axe du site et s'arrête exactement sur la même ligne que la paroi nord-ouest de M11. Quant à M17, elle s'aligne dans l'espace compris entre la façade latérale nord de M16 et la droite qui part du point de référence 1463, perpendiculairement à l'axe de référence, qui fixe précisément la limite supérieure du Quartier nord : une limite déjà respectée 50 ans plus tôt en -1004, pour définir l'extension maximale de la palissade du côté du rivage.

DE L'ÉTUDE DU TERROIR FORESTIER AU MODÈLE THÉORIQUE D'OCCUPATION DES BAIES NEUCHÂTELOISES À L'ÂGE DU BRONZE FINAL

Il existait à l'âge du Bronze cinq baies occupées de façon intensive le long des rives neuchâtelaises. Il s'agit des baies de Bevaix, de Cortaillod, d'Auvernier, de Neuchâtel et d'Hauterive / Saint-Blaise. Elles se partagent l'ensemble du terroir du pied du Jura. Elles ont été colonisées vers 1055 av. J.-C. par l'implantation de villages qui vont perdurer presque pendant toute la période du Bronze final (1055-870 av. J.-C.). Ces baies renferment parfois plusieurs sites de l'âge du Bronze final. Ces villages se succèdent-ils dans le temps ? Fonctionnent-ils en même temps ? Ont-ils des liens entre eux ? Autant de questions qui peuvent trouver des réponses en alliant l'aspect chronométrique et l'étude de l'exploitation du terroir forestier. Les connaissances acquises permettent de développer un modèle théorique d'occupation des rives neuchâtelaises durant l'âge du Bronze final palafittique.

L'occupation humaine dans la baie de Bevaix, sous la forme d'un habitat, a duré de façon ininterrompue pendant 176 ans (1053-878 av. J.-C.). La réoccupation du lieu, après une longue absence depuis le Bronze ancien, commence par l'implantation des premières architectures de la station de L'Abbaye II. L'établissement du site vers 1055 av. J.-C. se lit dans les cernes de croissance mesurés à Bevaix-Sud. En effet, la mémoire des arbres remonte jusqu'en 1300 av. J.-C., soit bien avant la fondation du village en 1009 av. J.-C. Une lecture attentive des séries

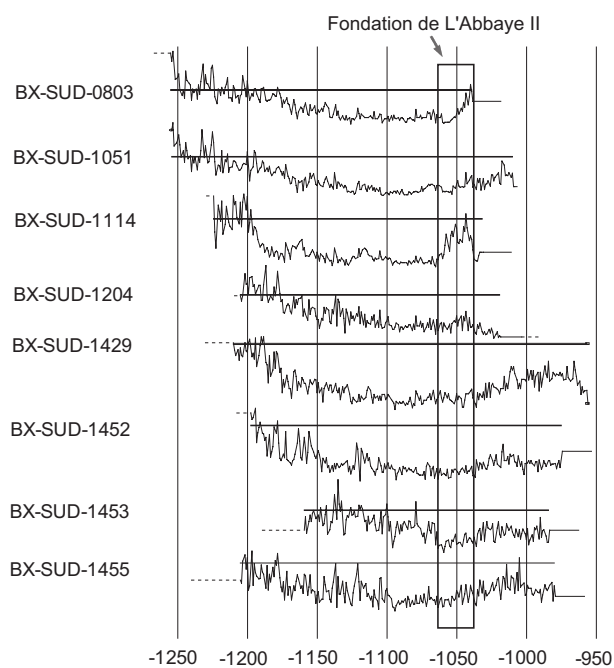


Fig. 9 – Bevaix-Sud. Reprises de croissance, vers 1055 av. J.-C., observées plus ou moins distinctement sur les séquences individuelles. Cette observation montre que les deux villages exploitaient le même terroir forestier.

individuelles révèle que certains arbres ont profité d'une reprise de croissance, plus ou moins nette, aux environs de 1055 av. J.-C. (fig. 9), voire 1060. Un défrichement massif réalisé à cette période a entraîné des éclaircies bénéfiques sur le développement des arbres, déjà âgés de 150 à 200 ans et restant sur pied. Ce signal important peut être associé chronologiquement à la construction des premières architectures de la baie. Cette observation a été faite pour plusieurs peuplements. L'analyse des cernes montre que les deux villages ont exploité le même domaine forestier.

Neuf pieux de Bevaix-Sud affichent des dates nettement plus anciennes que la fondation du village. Les dates obtenues correspondent aux phases de construction de l'Abbaye. L'échantillon le plus ancien de la baie provient de ce lot et date de l'hiver -1053. Ce sont des pièces recyclées, puis façonnées en pieux, déposées dans l'eau, et finalement employées, de nombreuses années plus tard, pendant l'occupation de Bevaix-Sud⁸. Ces bois issus des campagnes d'abattage effectuées lors de la construction du village de L'Abbaye II témoignent d'une nouvelle relation entre les deux villages. La présence sur ces pieux de nombreuses galeries d'insectes anaérobies montre qu'ils ont été stockés, intentionnellement ou non, dans l'eau. Leur immersion dans le lac a empêché la dégradation du bois et rendu

possible leur utilisation à Bevaix-Sud pour des renforts de structures d'habitat.

Bevaix-Sud est-il un village satellite de l'Abbaye II? Sa construction intervient une quarantaine d'années après la colonisation de la baie. Ce laps de temps correspond à la durée de vie moyenne des maisons constatée lors de l'étude des structures de Bevaix-Sud. Les gens de Bevaix/L'Abbaye, dans l'obligation de construire de nouvelles maisons, ont-ils préféré bâtir un nouveau village? Un habitat a-t-il été construit plus près du lac, en lieu et place d'une extension de l'ancien village? Une baisse prolongée du lac a-t-elle permis cette implantation plus au sud? La décision de construire un nouveau village se traduisant par une coupe massive de chênes dès l'automne/hiver -1011/-1010, n'est pas propre à la baie de Bevaix, mais a été constatée également à Cortaillod et Auvernier. L'année 1011 av. J.-C. est donc une date clé qui, comme 1055 av. J.-C., correspond à une nouvelle grande phase de construction. La durée globale de l'occupation de Bevaix-Sud est de 63 ans et son abandon est daté de -952, au profit d'un repli supposé vers le village fondateur de l'Abbaye. Ce dernier avait poursuivi son développement parallèlement à l'occupation de Bevaix-Sud et du Quartier nord. Les trente années qui suivent montrent une nette centralisation de l'activité de construction dans le village de l'Abbaye II. Vers 900 av. J.-C., celle-ci reprend dans le «village fondateur» et se poursuit par l'émergence d'un nouveau gisement, Bevaix / Le Désert, sur une surface de 400 m², localisé au sud de L'Abbaye II. Ce deuxième «village satellite» s'est étendu pendant 20 ans parallèlement au développement du «village fondateur» jusqu'en -878, où, selon les dates à disposition, les deux sites sont abandonnés simultanément. Ces «villages satellites» se différencient par une occupation plus limitée dans le temps, soit une soixantaine d'années pour ceux de la première génération (Bevaix-Sud, Cortaillod-Est et probablement Auvernier / Les Graviers) et moins d'une trentaine d'années pour les structures architecturales de la seconde génération (Bevaix / Le Désert). Leur localisation, dans le voisinage immédiat des «villages fondateurs», suggère une appartenance à une même communauté. L'espace à disposition ne manquait pas le long des rives pour l'installation de nouveaux groupes humains. L'exemple le plus frappant est celui de la baie de Saint-Aubin, très fréquentée pendant la période néolithique et qui n'a pas encore fourni un seul bois daté de l'âge du Bronze. Une explication plausible à cette appropriation d'un espace de proximité est l'appartenance des trois villages à un même groupe. Chacun remplissait peut-être un rôle bien précis dans l'organisation sociale de la communauté et les trois devaient nécessairement, vu la configuration des lieux, exploiter le même terroir agricole et forestier. Ce modèle théorique d'occupation de la baie de Bevaix au

8. Arnold, Langenegger 2012, 82-85.

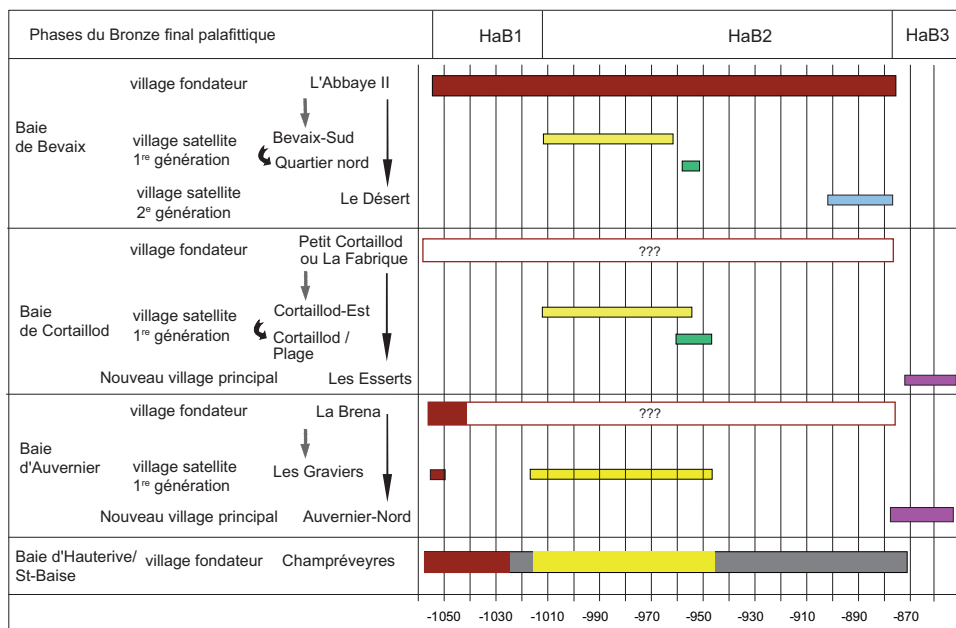


Fig. 10 – Modèle théorique d’occupation des baies le long du littoral neuchâtelois au Bronze final. Le concept proposé pour la baie de Bevaix entre «villages fondateurs» et «villages satellites» trouve des parallèles importants dans les autres baies. Pour Hauterive - Champrévevres, les deux périodes avec des abattages massifs sont marquées en couleur.

Bronze final trouve des parallèles remarquables dans les autres anses situées le long du littoral neuchâtelois (fig. 10).

Vers la fin du Bronze final, les villages fondateurs et satellites sont abandonnés au profit de nouveaux villages, caractérisés par une durée d’occupation très courte, d’une vingtaine d’années, mais qui couvrent une surface très importante. L’occupation des baies de Bevaix et d’Hauterive / Saint-Blaise est abandonnée définitivement au profit d’un regroupement important localisé dans les baies de Cortaillod, d’Auvernier et de Neuchâtel. Le site le mieux documenté est celui d’Auvernier-Nord avec 516 pieux dendrodatés entre 878 et 852 av. J.-C.⁹. Pour faire face à cette réorganisation sociale, 24 maisons sont construites dans un laps de temps très court¹⁰. Par sa taille et sa durée d’occupation, ce village se rapproche du gisement de Cortaillod / Les Esserts, dans la baie voisine, située à quatre kilomètres à vol d’oiseau.

La construction des «nouveaux villages» représente une nouvelle phase dans la dynamique d’occupation avec une restructuration complète de l’habitat qui se met en place conjointement entre les différentes baies. Une redistribution du terroir a certainement été également nécessaire pour répondre à cette nouvelle organisation territoriale. Cet essor remarquable à l’extrême fin du Bronze final se retrouve dans le mobilier archéologique qui définit l’ultime phase de la chronologie du Bronze final, HaB3.

Bibliographie

- Arnold 1983** : B. Arnold, Les 24 maisons d’Auvernier-Nord, *Annuaire de la Société suisse de préhistoire et d’archéologie*, 66, 1983, 87-104.
- Arnold 2009** : B. Arnold, - *A la poursuite des villages lacustres neuchâtelois : un siècle et demi de cartographie et de recherche*, Neuchâtel, Office et musée cantonal d’archéologie, Archéologie neuchâteloise, 45, 2009, 252 p.
- Arnold, Langenegger 2012** : B. Arnold, F. Langenegger, *Plateau de Bevaix, 8. Bevaix-Sud : plongée dans le passé, fouille subaquatique d’un village du Bronze final*. Neuchâtel, 2012, Office et musée cantonal d’archéologie, Archéologie neuchâteloise, 50 ; cd-rom, 2012, 261 p.
- Benkert 1993** : A. Benkert, *Hauterive-Champrévevres, 8. Les structures de l’habitat au Bronze final, zone A*, Neuchâtel, 1993, Musée cantonal d’archéologie, Archéologie neuchâteloise, 16, 1993, 101 p.
- Bernard 1998** : V. Bernard, *L’homme, le bois et la forêt dans la France du nord entre le mésolithique et le haut Moyen-Âge*, Oxford, 1998, Archeopress, British Archeological Reports (BAR), International Series 733, 190 p.
- Emery 1993** : S. Emery, *Influence du milieu sur la croissance radiale du chêne rouvre (Quercus petraea)*, mémoire de licence, Neuchâtel, 1993, Laboratoire d’écologie végétale de l’Institut de Botanique et laboratoire de dendrochronologie du Musée cantonal d’archéologie.
- Girardclos 1999** : O. Girardclos, *Dendrochronologie du chêne, influences des facteurs stationnels et climatiques sur la croissance radiale, cas des sols hydromorphes et des climats atlantiques. Applications paléo-écologiques aux bois subfossiles du marais de Brière (44)*, thèse, Besançon, Université de Franche-Comté, 1999, 377 p.
- Von Burg 2004** : A. Von Burg, *Préhistoire du plateau de Bevaix et de la plaine alluviale de l’Areuse : un premier survol*, dans Combe A. et Rieder J., *Plateau de Bevaix, 1. Pour une première approche archéologique : cadastres anciens et géoresources*, Neuchâtel, 2004, Service et musée cantonal d’archéologie, Archéologie neuchâteloise, 30, 2004, 13-28.

9. Arnold 2009, 129.

10. Arnold 1983.

Prehistoric pile-dwellings in northern Italy: an archaeological and dendrochronological overview

Nicoletta Martinelli*

Abstract

Northern Italy is one of the territories affected by the “Alpine pile-dwelling phenomenon”, with about 120 settlements across the southern slopes of the Alps, from the regions of Piedmont (west) to Friuli (east). The villages were built on lake shores, in marshy areas and also in river-channel depressions, from the Neolithic to the end of the Bronze Age. The greatest and most extensive diffusion of pile-dwellings took place between the 22nd and 14th centuries BC during the Early and Middle Bronze Age and endured until the first phase of the Late Bronze Age.

Dendrochronology has enabled the construction of many site chronologies, spanning the period from the 22nd to the 15th century, which can be dated by the wiggle-matching technique, based on a combination of radiocarbon and dendrochronology. The advances made in tree-ring research in Italy are of great importance for the study of pile-dwellings throughout the Alps, because of the different periods of settlement in wetland environments. The flourishing of Italian pile-dwellings occurred in two periods from around 2050 to 1900 BC and from 1500 to 1300 BC, when north of the Alps the lake shores seem to have been abandoned.

Keywords: pile-dwellings, Neolithic, Bronze Age, dendrochronology, oak (*Quercus* spp.), prehistoric human occupation, northern Italy.

Résumé

L'Italie du Nord, avec ses 120 sites palafittes, distribués depuis la région périalpine du Piedmont à l'ouest, jusqu'au Friuli à l'est, est au cœur du phénomène palafittique alpin. Du Néolithique à la fin de l'âge du Bronze, ces sites occupaient les rives des lacs, des marais asséchés ainsi que les lits des cours d'eau. L'essor des palafittes se situe entre les XXII^e et XIV^e siècles av. J.-C., au cours de l'âge du Bronze ancien et moyen, et continue jusqu'à la fin de l'âge du Bronze. Grâce à la dendrochronologie, nous avons construit de nombreuses chronologies de sites qui couvrent la période allant du XXII^e au XV^e siècle av. J.-C. Ces chronologies sont datées par la méthode du *wiggle-matching*, basée sur la combinaison du radiocarbone et de la dendrochronologie. Les différentes périodes d'occupation de ces milieux humides, ainsi que les progrès faits par la dendrochronologie en Italie, sont très utiles pour l'étude du phénomène palafittique dans toutes les Alpes. L'essor du phénomène palafittique en Italie est daté de deux périodes: entre 2050 et 1900 av. J.-C. et entre 1500 et 1300 av. J.-C. Les rives des lacs du nord des Alpes sont occupées de manière contemporaine à la première période italienne, alors que durant la deuxième période, elles semblent abandonnées.

Mots-clés: palafittes, Néolithique, âge du Bronze, dendrochronologie, chêne (*Quercus* spp.), occupation humaine préhistorique, Italie du Nord.

1. INTRODUCTION

The chronological and geographical range of prehistoric pile-dwellings in Italy is ample: sites are known both in northern and central Italy, from the early Neolithic (La Marmotta on Lake Bracciano (Rome) dates to the second half of the 6th millennium cal BC) to the Iron Age, a couple of sites on the lakes of Latium date from the first

half of the 1st millennium BC¹. Pile-dwelling villages were built on lake shores, in marshy areas and also in depressions along valley floors and in ancient lagoons, but proper lake-dwellings are grouped into two main areas: the piedmont lakes of northern Italy and the volcanic lakes in central Italy. This paper focuses on northern Italian pile-dwellings, which belong to the “Alpine pile-dwelling phenomenon” and form part of the UNESCO transnational site *Prehistoric*

1. Museo Civico di Storia Naturale 1982, Baioni et al. 2014.

* Laboratorio Dendrodata, via Pigna 14, I-37121 Verona, Italy; nicoletta.martinelli@dendrodata.it

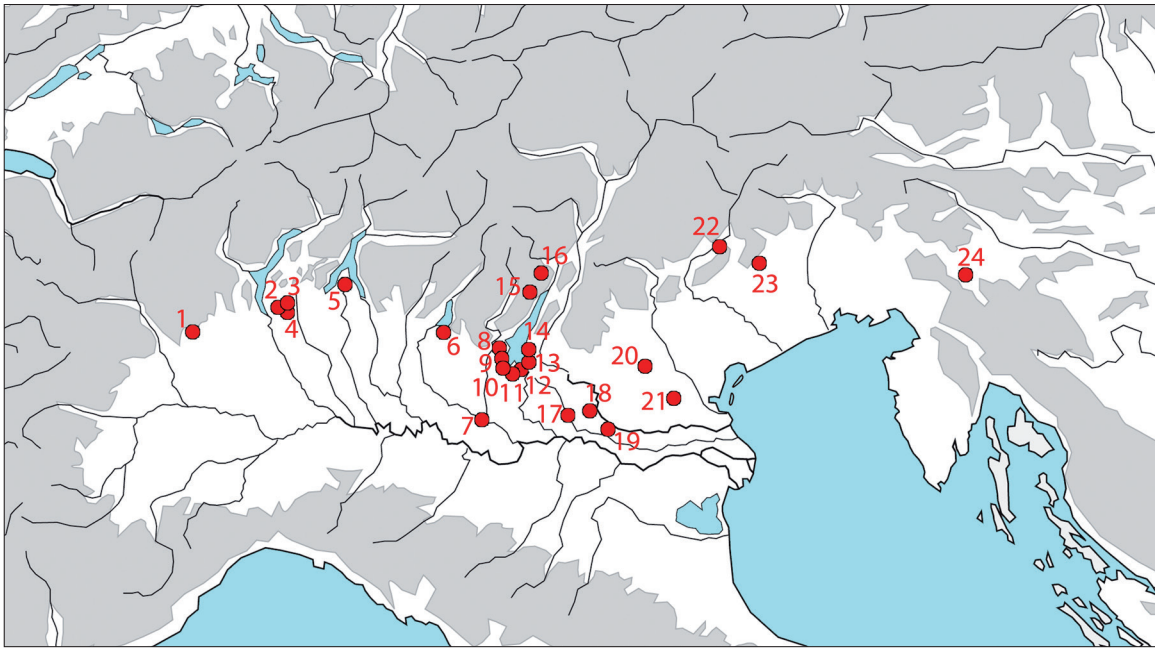


Fig. 1 – Location of pile-dwelling settlements in northern Italy; sites mentioned in the article and respective regional curves: 1) Viverone Vi1, 2) Il Sabbione, 3) Isolino Virginia and Bodio centrale, 4) Lagozza, 5) Torbiere di Bosisio Parini, 6) Iseo, 7) Castellaro del Vho, 8) Lucone di Polpenazze (GARDA1), 9) Padenghe, 10) Lavagnone (GARDA 1), 11) Barche di Solferino, Bande di Cavriana (GARDA1) and Pezzalunga (GARDA3), 12) Belvedere di Peschiera (GARDA1) and Frassino (GARDA3); 13) Ronchi del Garda (GARDA1) and Bosca di Pacengo (GARDA3), 14) Cisano and La Quercia (GARDA1), 15) Molina di Ledro, 16) Fiavé-Carera, 17) Dossetto di Nogara (GARDA1), 18) Tombola di Cerea, 19) Canà di San Pietro Polesine, 20) Valli di Fimon (Molino Casarotto and Arcugnano-Le Fratte), 21) laghetto della Costa di Arquà Petrarca, 22) Laghi di Revine and Paluch di Ponte nelle Alpi, 23) Palù di Livenza, 24) Hočevarica.

Pile-dwellings around the Alps. Italy possesses 19 of the constituent sites and shares the management of the UNESCO site with Switzerland, France, Germany, Austria and Slovenia².

2. ITALIAN PILE-DWELLINGS: A UNIQUE ARCHAEOLOGICAL RESOURCE

Pile-dwellings are mainly concentrated in northern Italy where about 120 settlements are known, spread across the southern slopes of the Alps, from the regions of Piedmont in the west to Friuli in the east, including Lombardy, the Veneto and the Province of Trento (fig. 1). The 19 villages that belong to the UNESCO site are grouped into 7 macro-regions named as follows: Small lakes and bogs of Piedmont, Region of Lake Maggiore and Lake Varese, Small lakes, bogs and rivers of eastern Lombardy, Region of Lake Garda, Small lakes and bogs of Trentino, Small lakes and bogs of the Berici and Euganei Hills, Small lakes and bogs of the eastern Veneto and Friuli.

The high number of known sites is due to the wide distribution of this settlement type during prehistoric times and Italy's long history of archaeological investigations into the remains of pile-dwellings. The first fortuitous finds of pile-dwellings in Italy occurred between 1830 and 1850 in Peschiera del Garda (Verona) on the occasion of digging work for the renovation of the Austrian fortress, but only after the 1854 discoveries in the Swiss lakes did both Italian and Swiss researchers begin the exploration of the southern Alpine lake basins, discovering dozens of pile-dwelling sites, both submerged and located on the shores above the water-line, or in peat bogs in morainic hollows. The Italian word *palafitta* was coined just after the first discoveries by Ferdinand Keller and comes from the German word *Pfahlbauten*. Among Italian archaeologists a strong interest in the topic continued till the beginning of the 20th century, when the sites of Arquà-laghetto della Costa (Padua), Molina di Ledro (Trento) and Barche di Solferino (Mantua) were discovered, but the turning point for the field – not only in Italy, but the whole Alpine region – was the excavation by Renato Perini at Fiavé-Carera between 1969 and 1976³.

2. Nomination Dossier 2011.

3. Guidi, Bellintani 1996, Marzatico 2004.



Fig. 2 – Belvedere di Peschiera (Verona) – Sampling of the piles for dendrochronology during underwater investigations (Photo: G. Merighi, Reproduced with permission of the © Ministero per i Beni e le Attività Culturali e del Turismo - Soprintendenza Archeologia del Veneto. All rights reserved (Rif. prot. n. SETT.FOTOG 3801 23/03/2015 Class. 34.16.19/2) reproduction forbidden).

A more recent group of sites can be considered a model for modern research methods, both underwater and on dry land. In recent decades underwater investigations have been carried out in Lake Viverone, in the sites of Peschiera-Belvedere and Lazise-La Quercia (Verona), and in Lake Garda, where precise positioning of the piles was accompanied by the cataloguing and sampling of the dense array of posts (more than 20 posts per square metre at Belvedere (fig. 2) and more than 10 per square meter at La Quercia)⁴. The stratigraphic sequence (from the beginning of the Early Bronze Age to the end of the Middle Bronze Age) present at Lavagnone di Desenzano del Garda (Brescia) allows us to follow the technological and cultural evolution of the communities living in the area⁵. More recently still at Lucone D (Lucone di Polpenazze del Garda, Brescia), the excavation was re-opened in 2005 and by summer 2015 had reached an extension of more than 300m², with the identification of more than 1000 wooden structural remains, pertaining to houses built on load-bearing timber posts with raised floors from 2034 to 1967 cal BC (± 10 y.), during the early phases of the village⁶. As well as vertical posts, there are plenty of horizontal components (planks, beams, large and small branches) preserved because they fell down during a big fire (fig. 3). The vertical posts are made exclusively of oak, while the other elements reflect the variety of tree species that grew nearby: alder, ash, beech, hazel and maple are present⁷.



Fig. 3 – Lucone di Polpenazze (Brescia) – elements of the carpentry coming from the raised part of the houses collapsed because of a fire occurred after 2031 cal BC (Photo: Museo Archeologico della Valle Sabbia di Gavardo, Reproduced with permission of the © Ministero per i Beni e le Attività Culturali e del Turismo - Soprintendenza Archeologia della Lombardia. All rights reserved (Rif. prot. n. 2965 24/03/2015 Pos. 28.13.10/3) reproduction forbidden).

4. Aspes et al. 1998, Capulli et al. 2012.

5. De Marinis 2007.

6. Baioni et al. in press.

7. Pignatelli et al. in press.

From a chronological point of view, lake dwellings have been built in northern Italy since the Neolithic: Isolino Virginia is the oldest in the whole Alpine region and dates to around 5000 BC. Built in the centre of the small island in Lake Varese, it preserves seven superimposed consecutive wooden platforms. Later the village expanded towards the peripheral zones of the isle: during a marked low-water level in 2005 on the western shore some different Middle Neolithic structures were discovered, with vertical posts and other constructions made of stone and plant material.

The existence of Middle and Late Neolithic lake-dwelling villages is recorded also in the nearby Lagozza pond (Varese), in Trentino-Alto Adige at Fivavé-Carera, in the Veneto at Molino Casarotto, not far from Lake Fimon (Vicenza), at Colmaggione di Tarzo by the Revine lakes (Treviso), at Paluch di Ponte in the Alps (Belluno) and Palù di Livenza (Pordenone) in Friuli⁸.

The widest and fastest spread of pile-dwellings, however, took place between the 22nd and 14th centuries BC, during the Early and Middle Bronze Age; these endured until the first phase of the Late Bronze Age. This was the very period (from 2100 to 1900 BC and from 1500 to 1300 BC) when in the other Alpine regions lake-dwellings decreased and then vanished. The settlements spread all around the lake basins of the Alpine foothills, reaching the northern part of the Po plain in the advanced Early Bronze Age (see also the section on dendrochronology). The area where the pile-dwellings are more dense, and also better known, is around Lake Garda, where more than 40 pile-dwelling sites have been investigated, in zones including the southern shores of the main lake and the surrounding morainic hills, where scattered small lakes occur⁹.

Italian pile-dwellings are prehistoric settlements characterized by different kinds of wooden buildings, which sometimes coexisted within the same village, such as in Fivavé-Carera where buildings with both raised floors and ground-level floors were brought to light, even at intermediate levels on the shore slopes. The great variety of Italian pile-dwelling structures was classified by Balista and Leonardi; they proposed to divide them in two main groups: *palafitta su elevato* (i.e. pile-dwellings *sensu stricto* on raised floors) and *bonifica*. The term *bonifica* refers to all structures built at ground level on top of different sorts of foundations – which might be made of wood, branches, timbers, stones, gravel, sand, lime, or proper planks and beams, more or less well-arranged. They date from the Neolithic until the end of the Bronze Age. Special types

of *bonifica* are those with caissons, found at Barche di Solferino, and those on beams with holes at Bande di Cavriana (Mantua)¹⁰. Despite their differences, the crucial feature that distinguishes pile-dwelling sites is their location in wetlands and the consequent preservation of wood. The choice of particular architectural techniques was caused by technological or cultural considerations, as well as by environmental factors.

With regard to “stilt houses”, vertical posts suitable for bearing a raised floor are found in Late Neolithic contexts, such as Isolino and Palù di Livenza, but their presence is known with certainty only since the beginning of Early Bronze Age. From the 21st century BC fields of posts are documented in Lake Maggiore and the Varese area, at Bosisio Parini, in Lake Garda, in the Trentino Alps, and in the Euganei and Berici hills region, reaching the plain north of the River Po towards the middle of the 20th century. At the same time, ‘post-shoes’ begin to be used for fastening the piles to the ground, but only in few settlements such as Lavagnone 3 and Canà di San Pietro Polesine (Rovigo). During the Middle Bronze Age, in the later village of Fivavé 6, the system for fastening piles and sharing the weight between the vertical posts became more complex: here the well-known *platea reticolata* was brought to light, a unique wooden structure consisting of a grid made of a pair of horizontal beams parallel to the shore with perpendicular beams at regular distances. The few most completely known villages, that have been investigated in their entirety, contain thousands of vertical piles – often belonging to different settlement phases – surrounded by one or more concentric palisades, and were connected to dry land by a walkway¹¹.

Finally, it should be remembered that waterlogged conditions often allow the preservation not only of the remains of wooden buildings, but also of a multitude of organic items and tools made of perishable materials. These give us the chance to make a true-to-life reconstruction of these prehistoric communities. The wooden finds from Italian pile-dwellings are numerous: containers (bowls, ladles, vats, trays), handles for tools and weapons (axes, hatchets, daggers) and spinning instruments (spindles, spools, spatulae); a striking example is the wooden plough from Lavagnone dating to the Early Bronze Age, one of the oldest ploughs in the world. In 1990 at Lazise-La Quercia a small charred bread loaf was found. These rare tools, and multidisciplinary research, reveal an economy based on a sedentary agriculture and animal raising.

8. Martinelli 2007b.

9. Martinelli 2007a, Baioni et al. 2014.

10. Balista, Leonardi 1996.

11. Marzatico 2004, Baioni et al. 2014, Menotti et al. 2012.

3. DENDROCHRONOLOGY AND PILE-DWELLINGS¹²

The chronological attribution of Italian pile-dwellings relies mostly on typo-chronology and radiocarbon determination, but since the 1990s the application of dendrochronology has allowed a definitively higher precision in absolute dating. The importance of the preservation of wooden structures in wet environments – and the consequent possibility of applying dendrochronology – was highlighted in the UNESCO Nomination Dossier itself (*Criterion V*) as a unique tool for absolute dating and construction analysis. To date, more than 40 pile-dwelling villages have been analyzed by the Author; the related dendro-sequences span from the late 5th millennium BC to the end of the 14th century BC, but the majority are Bronze Age sites, especially Early and Middle Bronze Age (EBA and MBA) from the region around Lake Garda, the most densely inhabited during this period.

From a general perspective, oak was the most important wood in Italian proto-history; due to the widespread occurrence of deciduous oak forests in the hilly regions and plains of northern Italy and its particular suitability for building purposes, it was the most widely used timber in pile-dwellings: more than 90% of the Bronze Age vertical posts were made of deciduous oak, namely *Quercus* sp. sectio *ROBUR*, as described by Cambini (1967). Only in the high-Alpine villages of Trento province, Ledro and Fivà, were coniferous woods used. Oak is a very suitable wood for dendrochronology, but nevertheless we have to cope with the absence of millennia-long Italian oak chronologies that would allow the local series to be cross-dated with annual resolution. This is due to the lack of ancient living oak forests and the rarity of samples from recent times, as a consequence of deforestation and landscape clearance during proto-historic and historical times. Important also is the absence of very long regional oak tree-ring chronologies that would allow the local series to be cross-dated against the oak master curves from Southern Germany, which reach the 9th millennium BC. Recent research conducted in collaboration with colleagues André Billamboz (Germany) and Katarina Čufar (Slovenia) has shown that successful trans-Alpine teleconnections from south to north can be performed only on chronologies more than 400 years long (Martinelli *et al.* in press). The only successful teleconnection established thus far for prehistoric northern Italy is that between the Slovenian HOC-QUSP1 chronology and the chronology established for Building 1 at the Neolithic pile-dwelling of Palù di Livenza. Cross-dating between the Italian oak series and the other southern-

Alpine sequence – namely that from the Slovenian site of Hočvarica – yielded a more precise date for the Italian structure: the first half of the 4th millennium BC¹³.

From the Neolithic period, we have also analyzed a few samples from the ancient village of Isolino di Varese, where structures from the 5th and 4th millennia were investigated¹⁴, and Padenghe sul Garda (Brescia) on the western shore of Lake Garda, which dates to the early centuries of the 4th millennium cal BC¹⁵. Samples from Fimon-Le Fratte (Vicenza), a village near the shore of a small lake in northeastern Italy, might constitute the only series available for the Copper Age, when Italian lake shores seem to have been almost abandoned. Unfortunately it was possible to investigate only a few samples from these Late-Neolithic/Copper Age sites, because their timber consists of very young trees of various species, while oak components make up less than 50 %, which is not very suitable for dendrochronology¹⁶.

Quite different is the situation for the Bronze Age: the cross-dating of oak site chronologies with the support of radiocarbon wiggle-matching techniques – based on the combination of radiocarbon and dendrochronology, which generally allows dating with an error of just ± 4 to ± 29 years (at 68.8% confidence) – offers accurate dates for sequencing the history of wetland occupation, often with one-year precision. The major concentration of dendrochronological data concerns the region around Lake Garda. At present, the respective mean tree-ring series from different settlements in the region have been cross-dated, enabling the construction of two main oak regional chronologies, GARDA 1 (22nd -19th centuries cal BC, 11 settlements) and GARDA 3 (19th - 17th centuries cal BC, 4 settlements)¹⁷.

The creation of the regional chronology GARDA 1 was a major result of research carried out in the 1980s and 90s. The absolute dating at high resolution (2171 - 1837 cal BC ± 10 y) of a first group of 7 pile-dwelling villages in the Lake Garda area was a turning point for the Early Bronze Age chronology of northern Italy and surrounding regions¹⁸. Thanks to dendrochronology we know that the Early Bronze Age had already begun by around 2050 cal BC, since felling dates have been identified that range from 2070 to 2030 cal BC in pile-dwelling villages in the Lake Garda region belonging to the Polada Culture. Moreover

13. Čufar, Martinelli 2004.

14. Banchieri *et al.* 2009.

15. Poggiani Keller *et al.* 2005.

16. Martinelli, Pignatelli 2012.

17. Martinelli 2007a.

18. Fasani, Martinelli 1996, Martinelli 1996.

12. Illustrated data are up-dated to 2015.

the GARDA 1 chronology allowed the identification of the oldest Early Bronze Age pile-dwellings in the Alps, at the sites of Bande di Cavriana, Barche di Solferino, Lavagnone and Lucone D, founded before the year 2000 cal BC. Only in around the middle of the 20th century do pile-dwellings seem to spread southwards along the rivers of the higher plains.

GARDA 3 is a more recently developed regional chronology regarding the 18th and 17th centuries BC, constructed from samples from the submerged sites of Frassino I (Laghetto del Frassino, Peschiera), Bosca di Pacengo (Lake Garda, Lazise), Belvedere di Peschiera (Lake Garda, Peschiera) and one series from Pezzalunga (Mantua).

Recently both chronologies were re-calculated following the insertion of new samples. Most of the new series included in the regional chronology GARDA 1 come from samples collected during re-excavation of the site Lucone D (2004-2014). Others have been obtained from the recently investigated submerged settlements of Belvedere di Peschiera and Ronchi del Garda. Although the amount of samples from both the sites is small, they however demonstrate that villages already existed on the shores of Lake Garda in the 21st century BC. As already mentioned, Belvedere has also yielded samples from a later village, the series of which were inserted into the GARDA 3 chronology.

Through the identification of the different felling phases for the sites included in the same chronology, we can follow the parallel development at a timescale of one-year precision. It was therefore possible to construct a provisional model of settlement dynamics: the oldest sites seem to be those on the western part of the morainic amphitheatre (such as Lavagnone, founded in 2070), but already in around 2050 pile-dwellings were present on the southern shores of the main lake. These villages consisted of houses built on vertical piles with raised floors, and seem to have been abandoned about every 50-80 years. Many pile-dwelling sites were founded in the region from the 21st until the end of the 20th centuries, for which period they are almost the only type of settlement known. Later they seem to decrease; in the 19th and 18th centuries a contraction in the number of sites – together with their enlargement in size – is attested both for pile-dwellings and for contemporaneous dry sites. Dendrochronology allows the introduction of post-shoes to be dated to around 2000-1950 cal BC; it is, though, more difficult to determine the beginning of the *bonifica*-type constructions with caissons, since we do not know the provenance of the dated samples from Barche di Solferino, the only investigated site where these structures are attested.

It should also be remembered that a number of site chronologies cannot be cross-matched with the regional chronologies, dated by means of independent wiggle-matching. Examples are two pile-dwellings in the southern plain of the Veneto region: Canàr di San Pietro Polesine (Rovigo, chronology span: 2040 – 1871 cal BC \pm 10 y.) and Tombola di Cerea (Verona, 1520 – 1413 cal BC \pm 15 y.). The list also includes the series from single samples from Fiavé-Carera 4 in Trentino (2066 – 1823 cal BC \pm 25 y.), and Castellaro del Vhò (Cremona, 1660 – 1577 cal BC \pm 29 y.) and Iseo (Brescia, 1440-1320 cal BC \pm 9 y.) in Lombardy¹⁹.

Along the south-western slopes of the Alps, investigations have focused on two sites: “Il Sabbione” on Lake Monate (Varese) and “Viverone Vi1” on Lake Viverone (Biella-Turin). The first belongs to the EBA-MBA transition, with felling episodes in the 17th century cal BC, the latter to the MBA. Research recently conducted at the submerged site Viverone Vi1 (2011-2013) was part of a project (“The end of the lake-dwelling phenomenon: cultural versus environmental change”) funded by the Swiss National Science Foundation, under the direction of Francesco Menotti (University of Basel – Institute of Prehistory and Archaeological Science), with the principal aim of determining the absolute chronology of its occupation. A total of 77 oak piles were sampled under water, enabling the creation of a 151-year site chronology. Absolute dating was performed by means of the wiggle-matching technique; felling phases dated to between 1465 – 1387 cal BC and 1443 – 1365 cal BC (2σ)²⁰.

Although there exists a continuous series of regional or site chronologies from 2200 to 1400 cal BC (fig. 4), the insufficient overlap between these sequences, or the different provenance of wood types, inhibit the creation of a long, gapless, oak master chronology. In 2013 the data were improved by the re-calculation of all the wiggle-matches in accordance with the new calibration curve IntCal13²¹ and the new release of the software OxCal (v 4.2) (Bronk Ramsey, 2009). Concerning the data assigned to GARDA 1 (data older than 1800 BC), the results of this revision are only slightly different from the previous version. In contrast, more significant differences are found for the chronologies spanning from the 18th to 16th centuries, including GARDA3 which seems now to be older by several decades²².

19. Martinelli 2005, Poggiani Keller et al. 2005.

20. Menotti et al. 2012.

21. Reimer et al. 2013.

22. Martinelli, Valzolgher 2013, Billamboz, Martinelli 2015, Martinelli unpublished data.

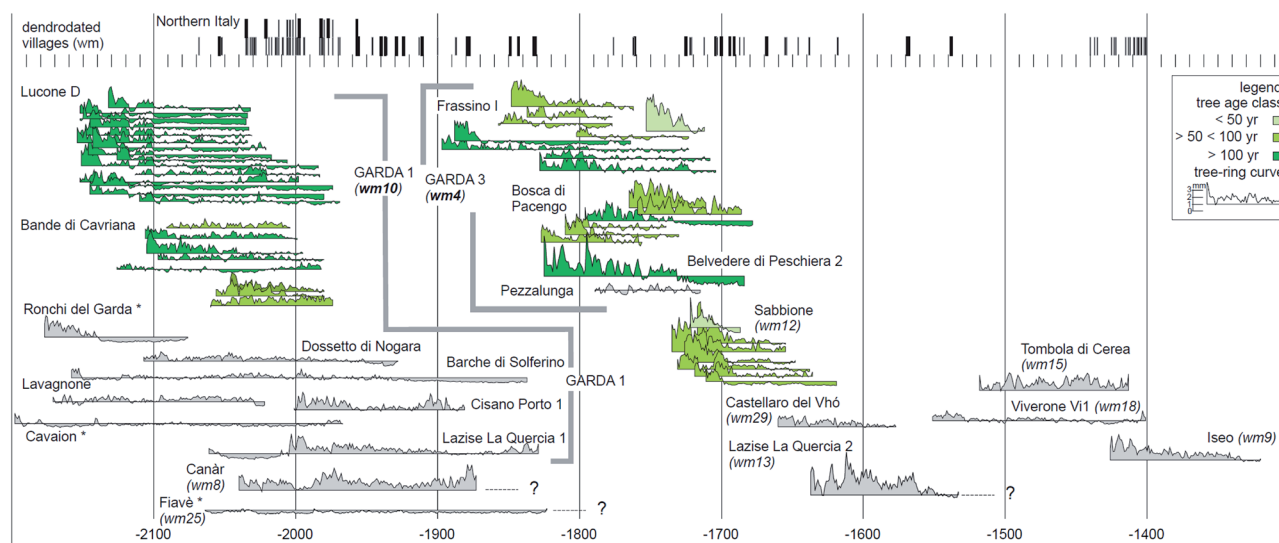


Fig. 4 – Time spans of tree-ring regional and site chronologies from pile-dwelling villages in northern Italy from 2200 to 1300 cal BC; short vertical bars represent the felling episodes with indication of the range of the wm precision, e.g. wm10 = wiggle matching with a precision of ± 10 years at 68.2% probability); oak dendrotypology: the dendro-groups are in green colour scale, according to three main classes of tree age, while site tree-ring chronologies are in grey colour; the curves are presented in synchronous position to the dendrodates indicating the main phases of building activities (re-elaborated from Billamboz, Martinelli 2015).

Other interesting elements for the Middle Bronze Age absolute chronology (17th century BC) emerged during the latest underwater excavation in the submerged lake-dwelling of Bodio Centrale in Lake Varese (Varese. IT-LM-10), dated to the 17th century BC. It has been possible to recognize the plan of part of a building made of elm, and repaired with oak timbers at two-year intervals. The building was located within a field of posts of which more than 250 vertical wooden elements have been detected and analysed²³.

Besides absolute dating, dendrochronology is an extraordinary tool for understanding the shape and size of pile-dwelling structures in plan, through identification of the load-bearing posts prepared by craftsmen at the same time. Results are achieved when all the posts from selected areas are investigated, and on the samples the bark-edge or the almost-complete sapwood is preserved: identification of posts made from trunks felled at the same time (year or season) gives a picture of the main structure of the huts. The dimensions and shapes of the houses were determined, for example, at Bande di Cavriana, which was settled between 2006 and 1952 cal BC (Martinelli 2007b, Martinelli 2017) (fig. 5). At the “Il Sabbione” site on Lake Monate (Varese), dendrochronology was part of a project of underwater investigation and interdisciplinary research, including the topographic survey and mapping of the site.

Tree-ring analysis focused on a well-defined area, along two transects extending from the centre to the western limit of the village, and led to the construction of a well-replicated chronology dated by wiggle-matching, indicating felling episodes between 1687 and 1618 cal BC ± 12 y. (1σ). The results made it possible to comprehend the progressive enlargement of the inhabited area, bounded by the successive construction of palisades that were continually lengthened and approached closer to the shore; the presence of two houses was also recognized. The houses were built on three rows of supporting piles, with frameworks of 3 x 4 and 3 x 5 posts, and dimensions of 3 x 5 metres (the earlier one) and 4 x 8 metres (the later one)²⁴.

In Italy a new challenge in dendrochronology consists of the application of dendrotypology to prehistoric samples. This new dendro-archaeological discipline, more widely applied on Southern German and Swiss pile-dwellings, analyzes the dendro-dated samples considered as the original trees selected by men in patches of forest, thus allowing the extraction of the whole information potential from tree-ring series and strengthening their connection with wood and forest sciences²⁵. Following Billamboz' steps, a couple of pile-dwelling sites have recently been investigated in Italy, which led to our first such insight into woodland management in Bronze Age northern Italy: at the begin-

23. Grassi, Mangani 2014.

24. Martinelli 2003.

25. Billamboz 2011.

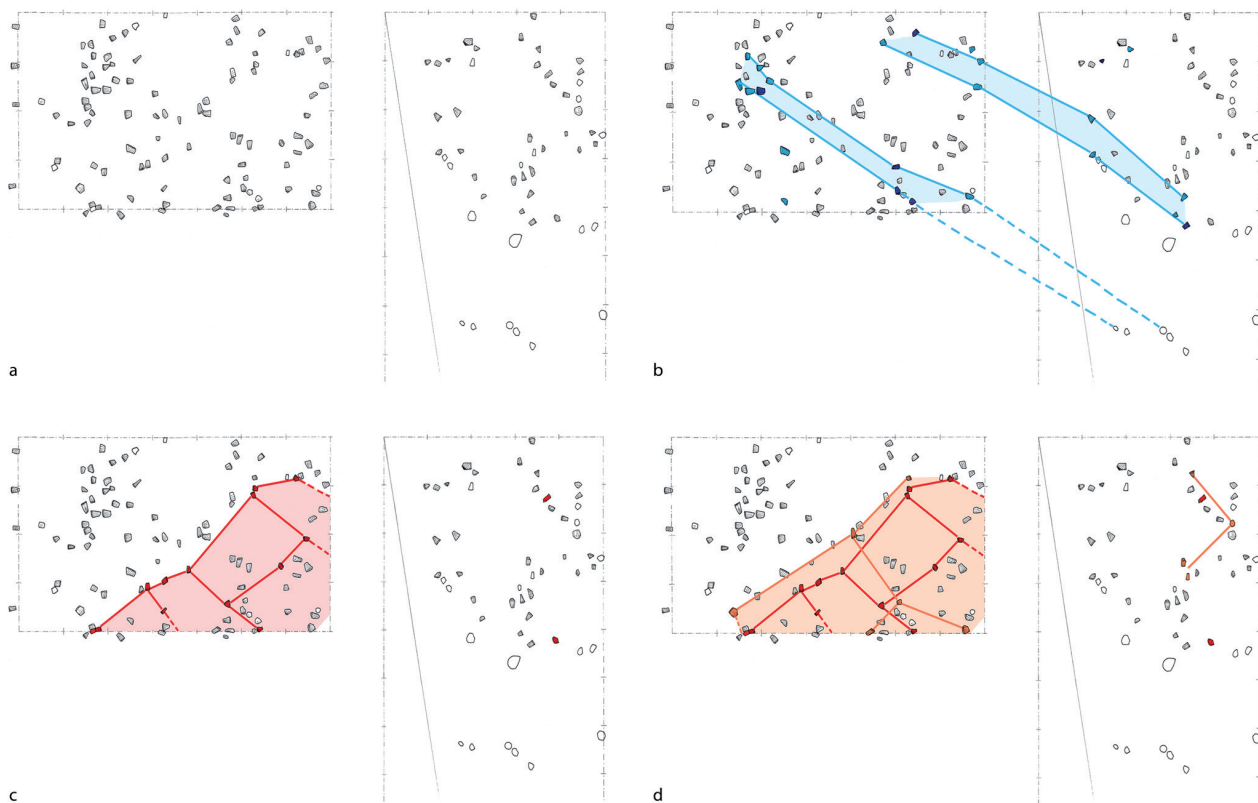


Fig. 5 – Bande di Cavriana (Mantua) - plan of the 1981-83 excavations in the Early Bronze Age village; location of the structures built in oak wood: a) general distribution of piles b) walkways from 1999 to 1994 cal BC; c) rectangular building in 1980 cal BC; d) building repair in 1974 cal BC; the posts felled at the same time are identified on the basis of tree-ring analysis (re-elaborated from Baioni et al. in press).

ning of the Early Bronze Age (a little later than 2050 cal BC) nearly natural, dense mixed oak woodland was used for the foundation of the first houses in the villages in Lucone D; this was followed by periods of reforestation occurring during later phases of minor building activity. A greater differentiation of timber sources and also changes in the woodland structure are attested in the sequence from Bande di Cavriana in the first half of the 20th century, but a stronger environmental impact on the forest can be detected only since the 17th century BC, as may be seen at Sabbione, where the practice of understory thinning is attested²⁶. At Frassino village e.g. the inhabitants had to abandon their principal source of good timber, an oak forest growing on the plain near the site, probably because of its depletion due to intensive use, and began to fell trees in a turkey oak wood (actually from wood analysis only the less precise identification of *Quercus* sp. sectio *CERRIS* is possible) on nearby hills, where that less distinguished timber was available. Dendrotypology provides a deeper insight into the complex relationship between the proto-historic human communities and their environment and can detect both the human impact on that environment and the strategies adopted by humans in the face

of periods of subsistence crisis. Therefore dendrotypology could also help us to understand the typical pile-dwelling patterns of lake occupation with phases of intensive lake-shore activities alternating with occupational hiatus, in terms more complex than simplified environmental determinism²⁷.

4. CONCLUSION

Advances in dendrochronological research in northern Italy are of great importance for the study of the development of the pile-dwelling phenomenon as a whole in the Alps and surrounding areas, because of the different periods of settlement in wetland environments. In the region we find that pile-dwellings flourish throughout almost the entire Bronze Age, even in the periods from around 2050 to 1900 BC and 1500 to 1300 BC, when north of the Alps the lake shores seem to have been abandoned.

However, the results from dendrochronological reconstructions, together with the information from the few sites where almost the whole village has been investigated, suggest a strong similarity between the better-known structures

26. Martinelli 2013.

27. Billamboz, Martinelli 2015.

from north of the Alps and those found in northern Italy, both with regard to the spatial organization of the villages and the main structural elements of the houses.

Acknowledgments

The author wishes to gratefully acknowledge the Soprintendenza Archeologia del Veneto and the Soprintendenza Archeologia della Lombardia for authorising the reproduction of the images (© Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo (All rights reserved) and Jim Bishop for the stylistic review of the manuscript.

Bibliography

- Aspes et al. 1998**: A. Aspes, C. Baroni, L. Fasani, Umweltveränderungen und ihre Folgen für die Bevölkerungen der Bronzezeit, in: B. Hänsel (dir.), *Mensch und Umwelt in der Bronzezeit Europas*, Kiel, 1998, 419-426.
- Baioni et al. 2007**: M. Baioni, G. Bocchio, C. Mangani, Il Lucone di Polpenazze: storia delle ricerche e nuove prospettive, in: F. Morandini, M. Volonté (dir.), *Contributi di archeologia in memoria di Mario Mirabella Roberti*, Atti del XVI Convegno Archeologico, Benacense di Cavriana, 2005, *Annali Benacensi*, XIII-XIV, 2007, 83-102.
- Baioni et al. 2014**: M. Baioni, B. Grassi, C. Mangani, N. Martinelli, Pile-dwelling villages of northern Italy: research and finds, in: *Archaeology of lake settlements IV-II mill. BC*, Materials of the international Conference dedicated to the semi-centennial anniversary of the researches of lake dwellings in north-western Russia Saint-Petersburg, 2014, The state Hermitage Museum – Russian Academy of sciences – Institute for the History of material Culture, Herzen State University – UMR 8215 CNRS, Trajectoires, Saint-Petersburg, 2014, 311-316.
- Baioni et al. in press**: M. Baioni, L. Fozzati, G. Leonardi, N. Martinelli, Le palafitte: definizione e caratteristiche di un fenomeno complesso attraverso alcuni casi di studio, in: *Le Palafitte: Ricerca, valorizzazione, Conservazione*, Atti del Convegno Internazionale di Desenzano del Garda, 2011.
- Balista, Leonardi 1996**: C. Balista, G. Leonardi, Gli abitati di ambiente umido nel Bronzo Antico dell'Italia settentrionale, in: D. Cocchi (dir.), *L'antica età del bronzo in Italia*, Atti del Convegno di Viareggio, 1995, 1996, 199-228.
- Banchieri et al. 2009**: D. Banchieri, N. Martinelli, O. Pignatelli, Nuove indagini sui resti lignei dell'Isolino Virginia, *Sibirium*, XXV, 2004-2009, 179-184.
- Billamboz 2011**: A. Billamboz, Applying dendrotypology to large timber series, in: P. Fraiture (dir.), *Tree Rings, Art, Archaeology*, Proceedings of the Conference in Brussels, 2010, *Scientia Artis* 7, 2011, 177-188.
- Billamboz, Martinelli 2015**: A. Billamboz, N. Martinelli, Dendrochronology and Bronze Age pile-dwellings on both sides of the Alps: from chronology to dendrotypology, highlighting settlement developments and structural woodland changes, in: F. Menotti (dir.), *The end of the lake-dwellings in the Circum-Alpine region*, Oxford and Philadelphia, 2015, 68-84.
- Bronk Ramsey 1995**: C. Bronk Ramsey, Radiocarbon calibration and analysis of stratigraphy: the Oxcal program, *Radiocarbon*, 37, 2, 1995, 425-430.
- Bronk Ramsey 2009**: C. Bronk Ramsey, Bayesian analysis of radiocarbon dates, *Radiocarbon*, 51 1, 2009, 337-360.
- Cambini 1967**: A. Cambini, Riconoscimento microscopico del legno delle querce italiane. *Contributi scientifico-pratici per una migliore conoscenza ed utilizzazione del legno*, X, 20, C.N.R. Istituto Nazionale del Legno, Firenze, 1967, 53-69.
- Capulli et al. 2012**: M. Capulli, L. Fozzati, N. Martinelli, A. Pellegrini, Underwater investigations at the site of 'Peschiera-Belvedere' (Lake Garda – Italy) and the use of GIS technology as an aid for spatial analysis and building reconstruction in lake-dwellings, in: J.-C. Henderson (dir.), *Beyond Boundaries: The 3rd International Congress on Underwater Archaeology*, Proceedings of the IKUWA 3 Congress London, 2008, Römisch-Germanische Kommission, 2012, 353-360.
- Čufar, Martinelli 2004**: K. Čufar, N. Martinelli, Telekonekcija kronoloij z naselbin Hočevarica in Palù di Livenza, Italija. Teleconnection of chronologies from Hočevarica and Palù di Livenza, Italy, in: A. Velušček (dir.), *Hočevarica Eneolitško kolišče na Ljubljanskem Barju. An eneolithic pile dwelling in the Ljubljansko Barje*, Ljubljana, 2004, 286-289.
- De Marinis 2007**: R. De Marinis (dir.), *Studi sull'abitato dell'età del Bronzo del Lavagnone, Desenzano del Garda*, *Notizie Archeologiche Bergomensi* 10, 2002, 2007, 315 p.
- Fasani, Martinelli 1996**: L. Fasani, N. Martinelli, Cronologia assoluta e relativa dell'antica età del bronzo nell'Italia settentrionale (dati dendrocronologici e radiometrici), in: D. Cocchi (dir.), *L'antica età del bronzo in Italia*, Atti del Convegno di Viareggio, 1995, 1996, 19-32.
- Grassi, Mangani 2014**: B. Grassi, C. Mangani (dir.), *Storie sommerse. Ricerche alla palafitta di Bodio centrale a 150 anni dalla scoperta*. Soprintendenza per i beni archeologici della Lombardia, Regione Lombardia, Cremona, 2014, 204 p.
- Guidi, Bellintani 1996**: A. Guidi, P. Bellintani (dir.), Gli abitati palafitticoli dell'Italia settentrionale, *Origines*, XX, 1996, 165-231.
- Martinelli 1996**: N. Martinelli, Datazioni dendrocronologiche per l'età del Bronzo dell'area alpina, in: K. Randsborg (dir.), *Absolute Chronology. Archaeological Europe 2500-500 BC*, Proceedings of the Conference in Verona, 1995, *Acta Archaeologica*, 67, *Acta Archaeologica Supplementa* vol. I, 1996, 315-326.
- Martinelli 2003**: N. Martinelli, Le indagini dendrocronologiche nella palafitta del Sabbione: datazione assoluta ed evoluzione della struttura abitativa, in: M.A. Binaghi Leva (dir.), *Le palafitte del lago di Monate. Ricerche archeologiche e ambientali nell'insediamento preistorico del Sabbione*, Gavirate, 2003, 121-131, 151-152.
- Martinelli 2005**: N. Martinelli, Dendrocronologia e Archeologia: situazione e prospettive della ricerca in Italia; in: P. Attema, A. Nijboer, A. Zifferero (dir.), *Communities and settlements from the Neolithic to the Early Medieval period*, Proceedings of the 6th

Conference of Italian Archaeology in Groningen, 2003, *Papers in Italian Archaeology*, VI, *BAR i.s.*, 1452, I, 2005, 437-448.

Martinelli 2007a: N. Martinelli, Dendrocronologia delle palafitte dell'area gardesana: situazione delle ricerche e prospettive, in: F. Morandini, M. Volonté (dir.), *Contributi di archeologia in memoria di Mario Mirabella Roberti*, Atti del XVI Convegno Archeologico Benacense di Cavriana 2005, *Annali Benacensi*, XIII-XIV, 2007, 103-120.

Martinelli 2007b: N. Martinelli, *Gli insediamenti palafitticoli dell'antica età del Bronzo nell'area benacense: studio stratigrafico e strutturale su scala cronologica ad alta precisione*, Tesi di Dottorato (XIX ciclo), l'Università degli Studi di Padova - Dipartimento di Archeologia, 2007, 174 p.

Martinelli 2013: N. Martinelli, Dendro-typology in Italy: The case studies of the pile-dwelling villages Lucone D (Brescia) and Sabbione (Varese), in: N. Bleicher, P. Gassmann, N. Martinelli, H. Schlichtherle (dir.), *Dendro – Chronologie – Typologie – Ökologie*, Festschrift für André Billamboz zum 65. Geburtstag in Hemmenhofen, 2013, 117-124.

Martinelli 2017: N. Martinelli, La dendrotipologia: una disciplina al confine fra le scienze per indagare e il rapporto delle comunità palafitticole con l'ambiente, in: M. Cupitò, A. Angelini, M. Vidale (dir.), *Beyond Limits – Studi in onore di Giovanni Leonardi*, *Quaderni Antenor*, 39, 745-751.

Martinelli, Kromer 1999: N. Martinelli, B. Kromer, High precision 14C dating of a new tree-ring Bronze Age chronology from the pile-dwelling of Frassino I (Northern Italy), in: J. Evin, C. Oberlin, J.-P. Daugas, J. F. Salles (dir.), *Actes du 3^e congrès international "Archeologie et 14C"*, Lyon, 1998, *Revue d'Archéométrie Suppl.*, 1999, *Soc. Préhist. Fr. Mémoire*, 26, 1999, 119-122.

Martinelli, Pignatelli 2012: N. Martinelli, O. Pignatelli, Le strutture lignee del villaggio, in: E. Bianchin Citton (dir.), *La ripresa delle ricerche nelle Valli di Fimon e l'indagine archeologica ad Arcugnano il località "Le Fratte"*, *Q4V*, XXVIII, 2012, 119-121.

Martinelli et al. in press: N. Martinelli, K. Čufar, A. Billamboz, Dendroarchaeology between teleconnection and regional patterns, in: *Le Palafitte: Ricerca, valorizzazione, Conservazione*, Atti del Convegno Internazionale di Desenzano del Garda, 2011.

Martinelli, Valzolgher 2013: N. Martinelli, E. Valzolgher, Revisione della curva regionale GARDA3, Poster displayed at XLVIII Riunione Scientifica dell'Istituto Italiano di Preistoria e Protostoria *Preistoria e Protostoria del Veneto*, held in Padoa, 5th-9th November 2013.

Marzatico 2004: F. Marzatico, 150 years of lake-dwelling research in northern Italy, in: F. Menotti (dir.), *Living on the lake in prehistoric Europe. 150 years of lake-dwelling research*, London & New York, 2004, 83-97.

Menotti F., Rubat Borel F., Köninger J., Martinelli N., 2012: *Viverone (BI) - Azeglio (TO). Sito palafitticolo Vi1-Emissario. Indagini subacquee e campionamento dendrocronologico*, *Quaderni della Soprintendenza Archeologica del Piemonte* 27, 196-201.

Museo Civico di Storia Naturale 1982: *Palafitte: mito e realtà*. Museo Civico di Storia Naturale, Verona, 1982, 327 p.

Nomination Dossier 2011: *Prehistoric Pile-Dwellings around the Alps*. Nomination Dossier for the inscription in the UNESCO World heritage List, International Group for the UNESCO Nomination, 2011, 3 vol.

Pignatelli et al. in press: O. Pignatelli, B. Baioni, N. Martinelli, D. Voltolini, L'utilizzo delle specie arboree nella palafitta del Lucone D (Brescia), in: *Le Palafitte: Ricerca, valorizzazione, Conservazione*, Atti del Convegno Internazionale di Desenzano del Garda (2011).

Poggiani Keller et al. 2005: R. Poggiani Keller, M. A. Binaghi Leva, E. M. Menotti, E. Roffia, T. Pacchieni, M. Baioni, N. Martinelli, M. G. Ruggiero, G. Bocchio, Siti d'ambiente umido della Lombardia: rilettura di vecchi dati e nuove ricerche, in: P. Della Casa, M. Trachsel (dir.), *WES'04 Wetland Economies and Societies*, Proceedings of the International Conference in Zurich (2004), *Collectio Archaeologica*, 3, 2005, 233-250.

Reimer et al. 2013: P. J. Reimer, E. Bard, A. Bayliss, J. W. Beck, P. G. Blackwell, C. Bronk Ramsey, C. E. Buck, H. Cheng, R. L. Edwards, M. Friedrich, P. M. Grootes, T. P. Guilderson, H. Haffidason, I. Hajdas, A. G. Heaton, T. J. Heaton, A. G. Hogg, K. A. Hughen, K. F. Kaiser, B. Kromer, S. W. Manning, M. Niu, R. W. Reimer, D. A. Richards, E. M. Scott, J. R. Southon, C. S. M. Turney, J. Van Der Plicht, Intcal13 and MARINE13 Radiocarbon Age Calibration Curves. 0–50,000 Years cal BP. *Radiocarbon*, 55, 4, 2013, 1869-1887.

L'apport des études xylologiques et dendrochronologiques à l'étude des aménagements portuaires de Narbonne romaine

Stéphanie Wicha* et Corinne Sanchez**

Résumé

Les fouilles sur les zones portuaires antiques de Narbonne ont révélé de nombreuses structures en bois (jetées, palées...). L'occupation du site du Castélou et Mandirac, qui s'étend du I^{er} au V^e s. ap. J.-C., offre un cadre exceptionnel pour l'analyse des vestiges ligneux en Gaule méditerranéenne. L'étude de ces vestiges a été réalisée par le biais d'analyses sur le terrain (tracéologie et morphologie) et en laboratoire (xylologie et dendrochronologie). L'analyse des pièces de bois en chêne caducifolié, omniprésent sur le site, a permis la réalisation d'une moyenne dendrochronologique de référence (120 av. à 78 ap. J.-C.). La datation des structures permet de suivre les aménagements dans leur complexité, avec notamment des réparations et des reprises de construction. Ces résultats sont également essentiels pour appréhender les questions paléoenvironnementales et paléoéconomiques relatives à ce site. En effet, outre une meilleure connaissance de l'environnement de la Narbonne antique, il s'agit aussi d'entrevoir les choix ou les contraintes des constructeurs à travers l'observation des types de bois mis en œuvre, locaux ou importés, travaillés ou utilisés bruts.

Mots-clés : ports antiques, berges, palées, dendrochronologie, xylologie, zones humides, paléoenvironnement, *Quercus*, Méditerranée.

Abstract

Excavations on the roman harbors areas of Narbonne revealed many wooden structures (jetties, palates...). The occupation site of Castélou and Mandirac, which extends from the 1st to the 5th century AD., offers an exceptional framework for wood analysis in Mediterranean Gaul. The data was derived through field analyzes (traceology and morphology) and in the laboratory (xylogy and dendrochronology). On the basis of Deciduous oak samples, which is ubiquitous on the site, has enabled the achievement of a dendrochronological mean (120 BC to 78 AD). The dating of the structures makes it possible to follow the installations in their complexity, with in particular repairs and expansions. These results are also essential for understanding the palaeoenvironmental and palaeo-economic issues close to this site. Indeed, besides a better knowledge in the ancient environment Narbonne, there is also a glimpse of the choice or the constraints of the constructors through the observation of the types of wood used, local or imported, worked or not.

Keywords: roman harbors, antiquity, sea shore, palates, dendrochronology, xylogy, wetlands, paleoenvironment, dating *Quercus*, Mediterranean.

Les fouilles du Castélou et de Mandirac, aux bords des Létangs de Bages et Sigean (Aude), sont réalisées dans le cadre du Programme Collectif de Recherche sur les ports de Narbonne antique¹. Ces deux lieux-dits (la zone sud correspondant au Castélou et la zone nord à Mandirac)

correspondent à l'emplacement des découvertes de la canalisation d'un bras du fleuve Aude dans la lagune (fig. 1). Dès le I^{er} s. ap. J.-C., deux jetées parallèles permettaient de maintenir son cours. L'importance des aménagements mis en œuvre en zones humides, reconnus pour l'instant sur 2 km avec des emprises en largeur d'une vingtaine de mètres, nécessite l'utilisation de grandes quantités de bois pour les fondations mais également pour le maintien des

1. Projet collectif de recherche sur les ports antiques de Narbonne coordonné par C. Sanchez, CNRS et M.-P. Jézégou, DRASSM. Ce projet fait l'objet depuis 2010 d'un partenariat entre la Région Languedoc-Roussillon, le CNRS, l'Université Montpellier 3 et le Ministère de la Culture (DRAC et DRASSM). Géré par le laboratoire Archéologie des Sociétés Méditerranéennes, UMR 5140, il bénéficie également

du soutien du Labex ARCHIMEDE, au titre du programme « Investissements d'Avenir » ANR-11-LABX-0032-011.

* Société Archéobois. Aix Marseille Univ, Avignon Universités, IRD, IMBE, Marseille, France.

** CNRS, ASM, Archéologie des Sociétés Méditerranéennes, UMR 5140, Univ. Montpellier 3, CNRS, MCC, F-34000, Montpellier, France.

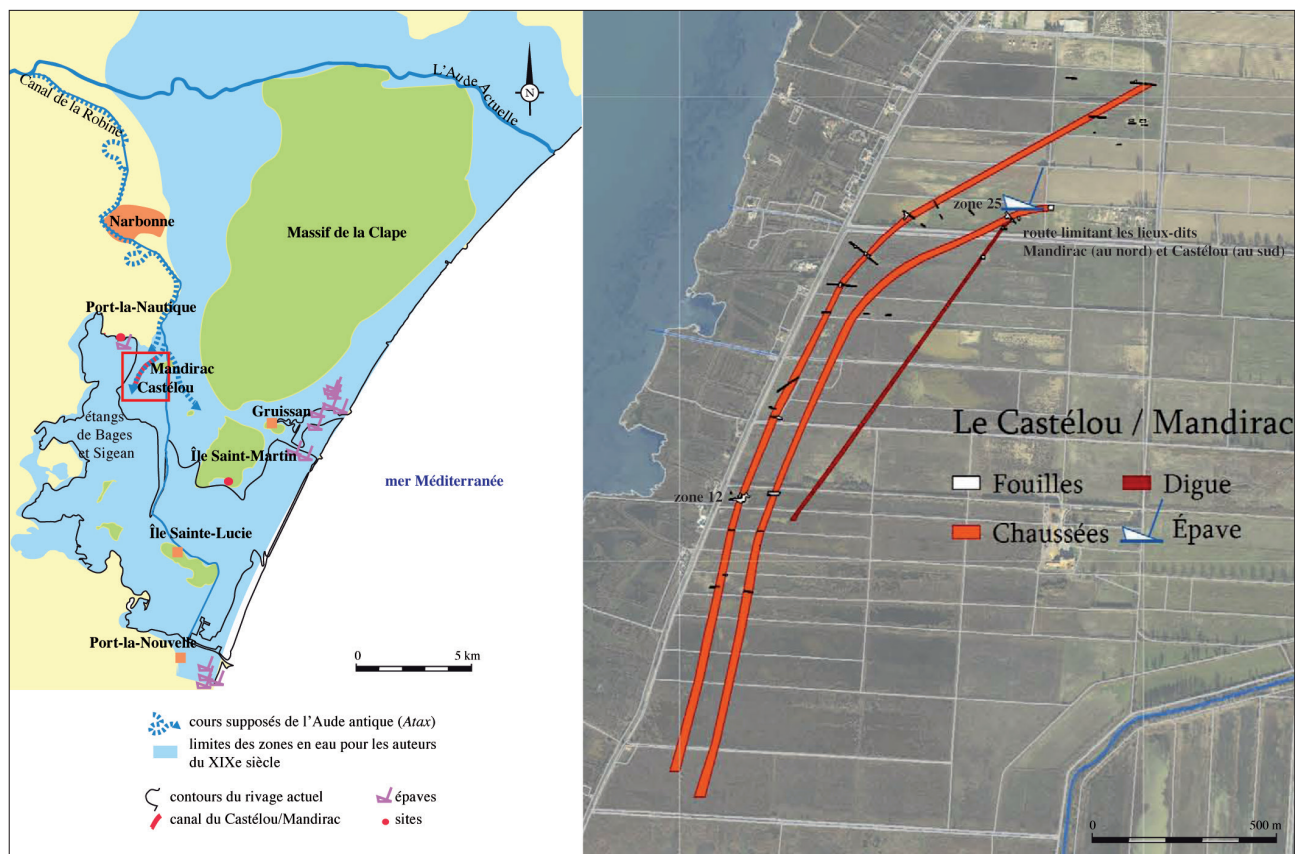


Fig. 1 – Le Castérou et Mandirac à Narbonne. Emplacement des deux jetées encadrant le fleuve.

berges². Les résultats des fouilles témoignent d'une évolution générale complexe liée à l'instabilité des zones humides et à des pressions venant du fleuve et de la lagune. La durée de ces structures, jusqu'au V^e s. ap. J.-C., induit de multiples phases d'entretiens et de réparation. En effet, ces quais et digues, structures par définition linéaires, sur de longues distances, ont dû avoir à répondre (et à résister) à des sollicitations importantes mais aussi spécifiques à certains points (courbes, rétrécissements). Les modes constructifs ont donc été ajustés aux risques encourus et de ce fait ne sont pas homogènes sur l'ensemble du linéaire observé, rendant la mise en phase complexe. Si le cours d'eau a une emprise de 50 m en aval, il s'élargit vers le nord, en amont, à Mandirac. Cette configuration a pour objectif de « pincer » le fleuve afin d'en augmenter le courant et de chasser le sable³. Mandirac devient alors une zone « entonnoir », à forts risques lors de crues : le courant impacte les rives, nécessitant des réfections régulières qui permettent de proposer une évolution qui doit être précisée notamment grâce à la dendrochronologie. L'échantillonnage des bois

de différentes phases constructives offre un référentiel sur cinq siècles et permet de discuter de l'apport de la xylogologie et de la dendrochronologie aux questions paléoenvironnementales et paléoéconomiques.

1. MÉTHODOLOGIE

Les méthodes d'investigation xylogologique et dendrochronologique ont fait l'objet de nombreuses publications auxquelles il convient de se référer⁴. Pour rappel, la méthode d'identification des essences de bois (xylogologie) consiste en l'observation de critères anatomiques microscopiques. En effet, presque toutes les essences ont leur anatomie propre et grâce à l'utilisation de clés d'identification, il est possible d'attribuer des caractéristiques propres à telle ou telle essence. Pour la datation, après avoir nettoyé à la lame de rasoir deux rayons par échantillon, on décompte les cernes sous une binoculaire. Puis les échantillons sont scannés à très haute résolution (1200 dpi) et les épaisseurs de cernes mesurées sur chacun des rayons (Lignovision, RINNTECH, Inc). La recherche de synchronisme est ensuite réalisée à l'aide du logiciel dendron IV⁵.

2. Seuls quelques pieux isolés au Castérou (sud de Mandirac), pourraient témoigner d'une phase de fréquentation antérieure (12157) datée par dendrochronologie de +3. Leur espacement et leur longueur laissent supposer qu'ils ont pu servir pour l'amarrage avant la construction des jetées.
3. Sanchez *et al.* 2014.

4. Schweingruber 1988 et 1996.
5. Lambert 2006 b.

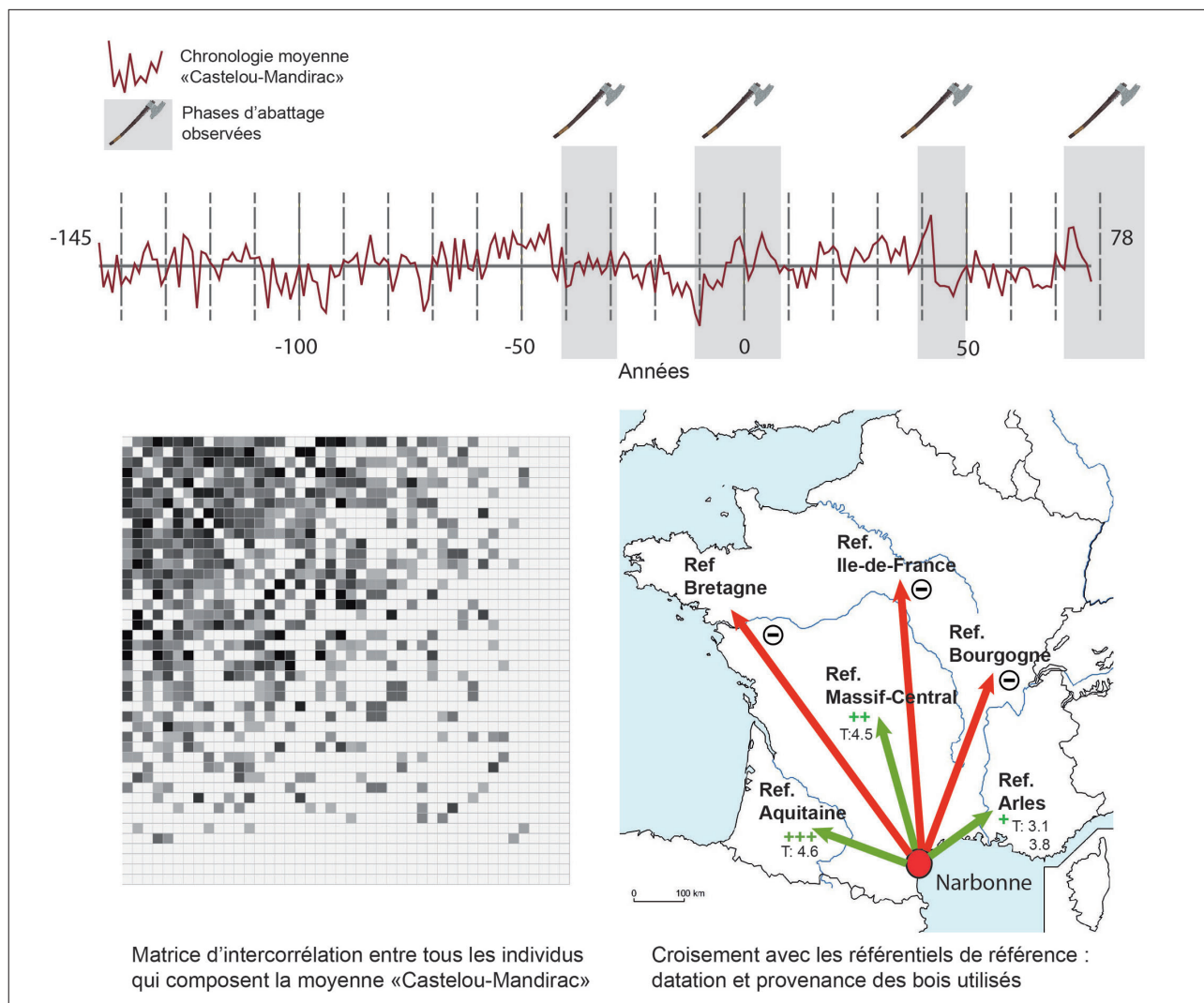


Fig. 2 – Dans cette figure est présentée la chronologie moyenne des sites Castérou-Mandirac qui couvre une longue période de -145 à +78. Les datations dendrochronologiques donnent quatre phases d'abattage. Toutefois si certaines sont clairement identifiables, par exemple les palées 12400 et 19009, datées entre 40 et 50 de notre ère, avec des bois qui ont gardé une partie de leur aubier. D'autres phases sont plus difficiles à appréhender, les bois n'ont pas d'aubier et/ou les séries sont relativement jeunes, ce qui explique des phases d'abattage estimées plus large. La matrice d'inter-corrélation témoigne également de cette hétérogénéité dans les bois. Dans cette figure, les lignes et colonnes représentent la même suite d'échantillons rangés de la même façon par affinités mathématiques. Chaque point, à l'exception de la diagonale, donne le degré de ressemblance entre deux séries, plus ce point est noir plus l'affinité est forte. Si globalement ces affinités sont bonnes, les éléments plus clairs sont également nombreux et autonomes. Cet effet est probablement lié à la diversité des approvisionnements. La carte montre la bonne corrélation de la moyenne «Castérou-Mandirac» sur les référentiels des régions Auvergne et Aquitaine.

Pour les deux sites, Castérou et Mandirac, cinquante-cinq pièces de bois ont été mesurées pour l'analyse dendrochronologique, dont quarante-six échantillons de chêne à feuilles caduques (*Quercus cad.*) et neuf travaillés dans d'autres essences, le sapin (*Abies alba* Mill.), le pin (*Pinus pinea* L.), l'orme (*Ulmus minor* Mill.) et le hêtre (*Fagus sylvatica* L.). Dans le cadre de cet article, nous nous intéresserons exclusivement au corpus de chêne qui est le plus conséquent. Malgré l'importance du nombre d'échantillons, la datation de ces structures s'est avérée un exercice difficile. Effectivement, l'étendue des sites est importante, le nombre

d'échantillons par secteur est inégal, beaucoup des bois échantillonnés sont relativement jeunes (50 ans et moins) et il y a de nombreux remplois⁶.

Concernant la datation de la moyenne du site, sur les 46 échantillons de chêne mesurés, nous avons pu intercorrélérer 44 individus qui constituent la moyenne du site Castérou-Mandirac, longue de 224 ans (fig. 2). Nous avons fait une recherche de synchronisme entre cette moyenne

6. Fletcher 1978.



Fig. 3 – Narbonne, le Castélou. La palée 12400, datée de +42 (© C. Sanchez).

et des chronologies de référence (datées à l'année calendaire). Celle-ci a été menée grâce au logiciel dendron IV⁷ qui intègre des routines mathématiques spécifiques des tests statistiques de synchronisation. Pour chacune de ces recherches, nous avons maintenu un seuil de probabilité supérieur à 0,99990 et nous donnons ici les résultats du t de Student pour un indice calculé en E de Besançon⁸. La moyenne Castélou-Mandirac date avec un terminus (Ter) à 78 ap. J.-C. Si cette date réplique faiblement sur les référentiels de la région PACA «épave antique d'Arles 2» (t de Student à 3,15) et sur «le cirque d'Arles» ($t = 3,8$)⁹, les résultats sont plus significatifs sur les référentiels des régions Auvergne (Massiac, $t = 4,55$) issus du référentiel «ClassicOaks»¹⁰ et plus encore sur ceux de la région Aquitaine (Bordeaux, $t = 4,6$)¹¹.

Dans cette moyenne, le groupe 12400 qui correspond à une palée de belle facture est particulièrement intéressant (fig. 3). En effet, la moyenne de ce groupe synchronise très fortement avec la moyenne de «Bordeaux, Cours maréchal juin» avec un t de Student qui s'élève à 6,95¹². Ce très bon résultat peut représenter un indice de provenance de ces bois, avec des conditions stationnelles proches, et peut être un même lieu d'approvisionnement.

2. L'APPORT DE LA DENDROCHRONOLOGIE À LA MISE EN PHASE DES STRUCTURES

Les résultats des datations dendrochronologiques ont été utilisés pour mieux cerner les différentes phases constructives. Dans ces contextes complexes où les remplois sont nombreux, les résultats doivent être systématiquement discutés, croisés avec toutes les autres données de terrain et considérés avec prudence.

2.1. La fondation des jetées (état 1)

Les premiers aménagements en bois servant de fondation aux jetées se retrouvent sur une longue distance avec quelques variantes mais

qui ont pour point commun de s'installer sur une levée naturelle de berges, notamment des bancs de sable. Or, ces premières constructions sont-elles toutes contemporaines ou y a-t-il une succession dans le temps? Au sud, dans le secteur du Castélou, les palées observées en rive droite ne sont pas homogènes par leur assemblage (à clin pour l'une, bord à bord pour l'autre) mais l'espacement entre les pieux est identique (fig. 4)¹³. De plus, la qualité de la mise en œuvre permet de considérer qu'elles appartiennent à la même phase constructive datée par la dendrochronologie en 42 ap. J.-C. Se pose alors la question de leur possible contemporanéité avec les palées situées plus en amont, à Mandirac, rive gauche (fig. 5 et 8). Les premières palées de Mandirac sont constituées par des pieux rectangulaires placés les uns contre les autres (26018 et 26019). Il s'agit souvent de pieux issus de poutres coupées en deux. De ce fait, si plusieurs bois sont datés de 3 av. J.-C., ils peuvent provenir de récupération. La mise en œuvre similaire mais soutenu par des madriers d'un ensemble dans la continuité (23005) donne une date plus récente, vers 59 ap. J.-C. (fig. 5 et 8). Dans cette même construction se trouvent des individus dont le terminus «ancien» pourrait correspondre aux mêmes réemplois. Leur corrélation dans un même état s'appuie sur leur position stratigraphique et le choix d'utiliser des bois assez massifs. La difficulté pour faire le lien entre les différentes structures repose sur des différences de mises en œuvre selon les secteurs et selon les rives. De plus, certains bois ne sont pas datables par dendrochronologie : entre les palées bien construites de Mandirac et de Castélou, seul un alignement de rondins côté sud sert de limite d'enrochement de berge (fig. 6). Il est difficile de dater cette construction composée de pieux en chêne caducifolié et en pin, d'un faible diamètre, de 8 à 10 cm

7. Lambert 2006 b.

8. Lambert 2006 a.

9. F. Guibal, Aix Marseille Univ, Avignon Université, IRD, IMBE, Marseille, France.

10. Durost *et al.* 2005.

11. C. Belingard, Dtalents Ingénierie, chercheuse associée au Géolab UMR 6042.

12. Belingard 2012.

13. L'étude de ces aménagements est réalisée par J.-M. Fabre et sera publiée dans la monographie du site.

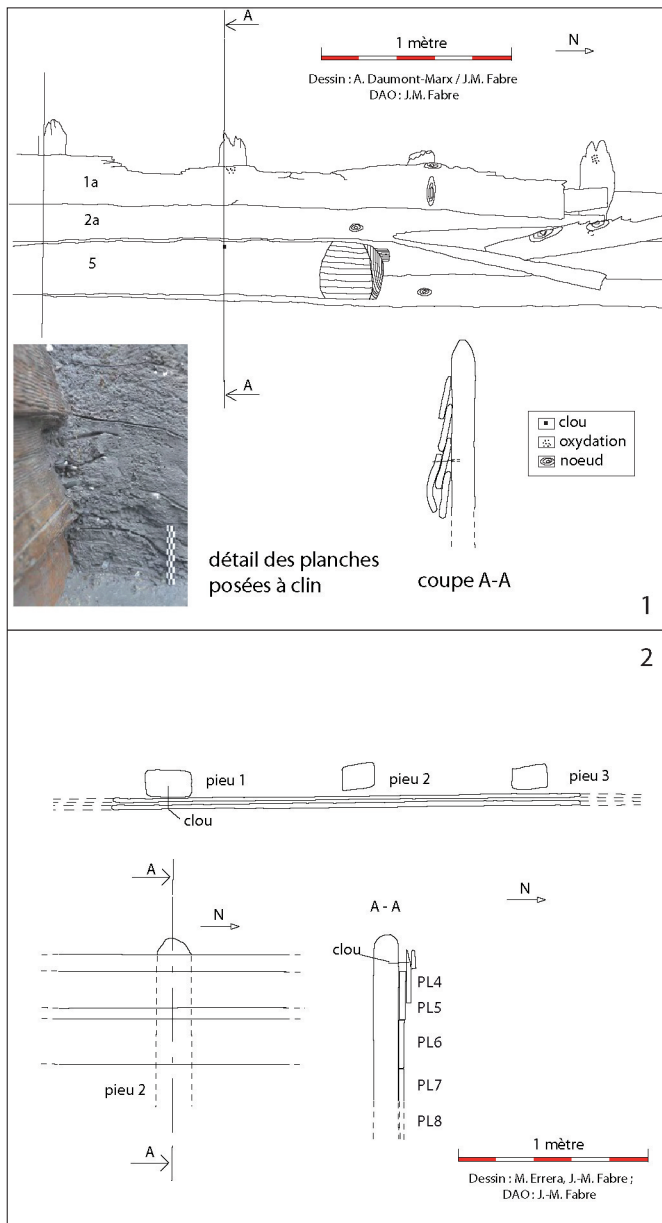


Fig. 4 – Narbonne, le Castérou. Dessins des palées 12400 (1) et 19009 (2).

en moyenne, à peine espacés. Les US les plus profondes atteintes et qui ont livré du mobilier laissent envisager une mise en place au cours du I^{er} s. ap. J.-C., sans précisions. Cette berge est ensuite renforcée par l'apport de blocs en grand appareil côté fleuve sur une faible distance.

Ainsi, l'ensemble des bois mis en place dans l'état 1 semble avoir pour vocation la stabilisation des berges vers le milieu du I^{er} s. ap. J.-C. et qui servira de fondation aux jetées utilisées comme quais. Les différences chronologiques entre les bois de ce premier état sont inférieures à une vingtaine d'années, ce qui peut laisser supposer plusieurs phases d'installations sur un temps assez court.



Fig. 5 – Narbonne, Mandirac, rive gauche, côté étang. La palée 23005 dont certains pieux sont datés de +59 (© J.-M. Fabre).



Fig. 6 – Narbonne, Mandirac, rive gauche. Les rondins de la palée 21047 (© C. Sanchez).

2.2. Les niveaux de fonctionnement (état 2)

La mise en place des jetées permet de créer des espaces de circulation qui seront utilisés jusqu'au V^e s. ap. J.-C. Le maintien des chaussées nécessite l'utilisation de nouvelles palées. Pour Mandirac, un niveau de circulation succède à un premier aménagement de berges. Il repose sur un enrochement et des remblais contenus par une palée nord (21046 et 28038 : fig. 8) composée de pieux circulaires principalement en pin et en chêne caducifolié ou vert (*Quercus ilex*), de faible diamètre, en moyenne 8 cm, et des planches en sapin épaisses de 2 à 3 cm. Cette palée est distante de celle de l'état 1 d'environ 7 m et permet de contenir un



Fig. 7 – Narbonne, Mandirac, rive gauche. La palée 28044 qui soutient le premier niveau de circulation (© C. Sanchez).

apport important de matériaux¹⁴. C'est également dans cet état qu'il faut placer les palées « centrales » (fig. 7). Les pieux sont en chêne caducifolié et présentent des sections relativement fortes, en moyenne 12 à 33 cm. On note également dans ce secteur la présence de planches de sapin avec des traces de tenons et mortaises qui montrent qu'elles sont en remploi. Ces palées viennent en maintien de remblais originaires des dépotoirs de la ville datés de la fin du I^{er} ou du début du II^e s. ap. J.-C. Elles sont construites à l'aide de pieux taillés et de madriers et fonctionnent avec un niveau de circulation contre la palée sud. La datation dendrochronologique de la palée centrale est autour de 71 ap. J.-C. On pourrait placer à la même période le renfort de la zone 23, à l'est, qui présente des dates autour de 72 ap. J.-C. Sur la rive droite de Mandirac, des palées permettent également le soutien des premiers niveaux de circulation. Cette rive a livré très peu de mobilier archéologique et les résultats dendrochronologiques étaient donc attendus. Les datations proposées montrent une disparité entre les phases d'abattage. Le groupe n'est pas dendrochronologiquement homogène : les dates observées sont anciennes (entre 29 av. J.-C. et 49 ap. J.-C.) et ne sont donc pas compatibles avec les observations de la fondation de la chaussée dans d'autres sondages. Ces dates anciennes se

retrouvent pour les palées sud en rive gauche (41 av. J.-C. à 50 ap. J.-C.). Il semble donc qu'un même lot de bois hétérogène ait été utilisé pour les deux rives, ce qui permet des rapprochements dans la date de mise en place des premiers niveaux de circulation de part et d'autre du fleuve. Ainsi, si la dendrochronologie à cause du biais des remplois ne permet pas d'obtenir ponctuellement des dates précises, elle peut être utilisée pour mettre en évidence des groupes de bois utilisés et vient donc en appui du raisonnement chronostratigraphique.

Durant l'état 2, un second niveau de circulation, plus large que précédemment, est mis en place : il a pu être observé sur toute sa largeur en rive gauche (9,40 m au minimum et sans les bas-côtés).

Quelques années après, sans doute dans le courant du II^e s. ap. J.-C., le niveau de circulation est élargi vers le sud avec la mise en place de deux palées, qui disparaissent totalement vers l'est. Dans cet alignement, les essences sont variées avec du pin, du hêtre et des planches en sapin et en orme. Les planches correspondent à des remplois : en effet, sur leurs tranches, ont été observés des tenons, mortaises et chevilles. Cet ensemble est difficilement datable, mais il semble que cette voie d'au moins 13 m de large soit fréquentée jusqu'à la fin du IV^e s. ap. J.-C.

2.3. Les réaménagements tardifs (états 3 et 4)

Durant l'état 3, l'ensemble de la rive gauche est réaménagé. Des événements climatiques violents provoquent des dommages importants qui sont réparés par l'apport de matériaux comme des blocs de monuments démantelés. Les berges côté fleuve sont reconstruites (25014) et la jetée est surélevée à l'aide d'un « mur » constitué de deux alignements de blocs en grand appareil (fig. 8). Ces alignements sont maintenus par deux palées de bois bruts. La berge est également renforcée et une épave sert ponctuellement d'assise à cette reconstruction. Cet état tardif voit l'utilisation de bois non travaillés, la plupart correspondant à des pieux avec leur écorce et certains ont encore le départ des branchages. La récupération de planches est également observée.

L'état 4 correspond à l'abandon du secteur après le V^e s. ap. J.-C., caractérisé par un ensablement massif puis à des dépôts de la plaine alluviale.

Cette chronologie relative établie permet de poser les bases des discussions croisées avec les études xylogiques et dendrochronologiques. Il est évident que les phases les plus récentes doivent prendre en compte les questions de récupération de bois.

¹⁴. Elle pourrait être contemporaine de 25024 et des premières palées de la zone 23 (pieux en chêne caducifolié et planche en sapin).

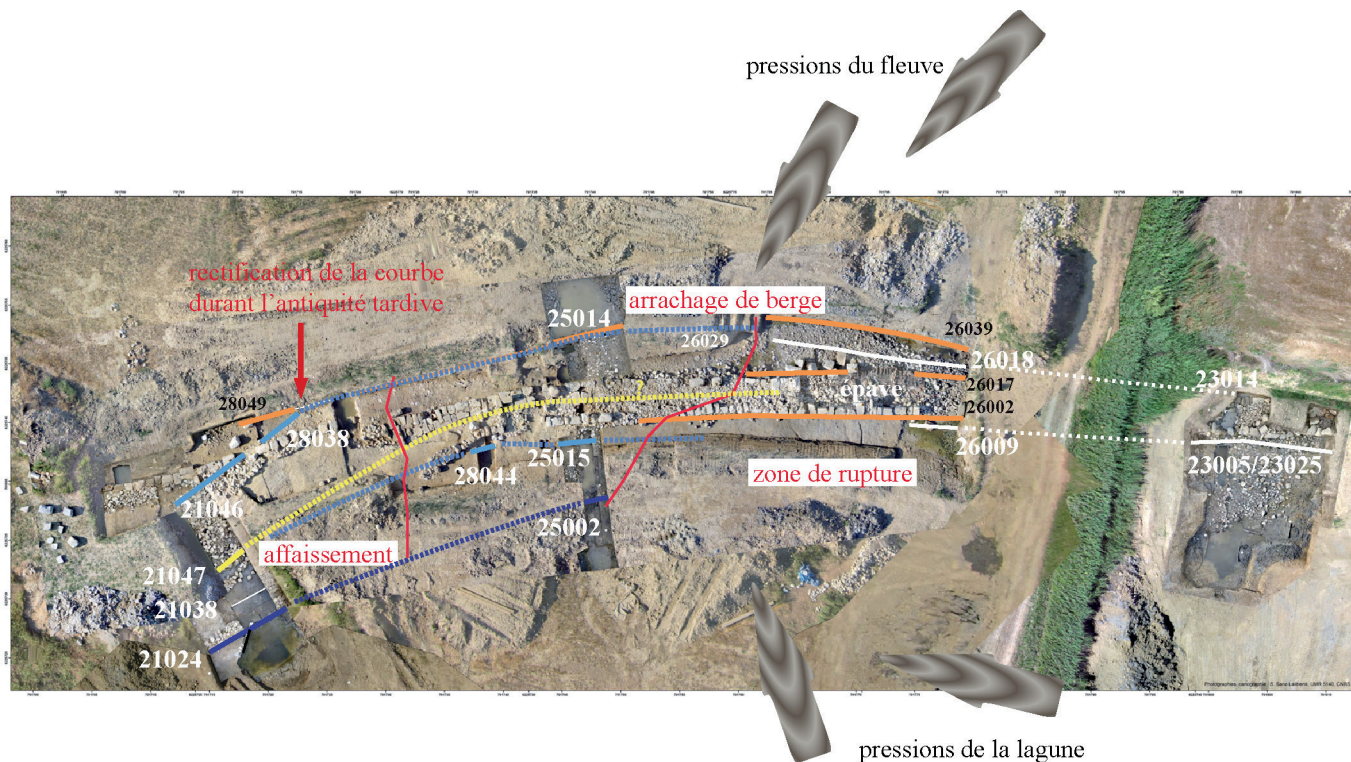


Fig. 8 – Narbonne, Mandirac. Les différentes phases de construction de la rive gauche de Mandirac :

- 21047 : une seule palée (en jaune) avec un enrochement au nord ;
 - Palées 26009 et 26018 (en blanc) ;
 - Pose des premiers grands blocs qui s'affaissent dans la zone 28 ;
 - Mise en place des palées sud 28044/25015 dans le prolongement de la palée 21047 (en bleu) ;
 - Idem pour 21046/28038/25014. Premiers niveaux de circulation ;
 - Extension vers le sud avec les palées 21024/25002 pour mettre en place une voie (en bleu foncé) ;
 - Les chaussées disparaissent au niveau de la zone de rupture (en rouge) ;
 - La zone 23, à l'est, témoigne d'une lagune plus profonde ? (affaissement ?). Création de caissons au sud du sondage 23 dans la phase tardive et rehaussement de la digue (en orange) ;
 - Aménagements tardifs : rehaussement général, recouvrement de la voie à l'ouest et rectification de la courbe des premiers états
- (© S. Sanz, C. Sanchez).

3. L'APPORT DE LA XYOLOGIE AUX QUESTIONS PALÉOENVIRONNEMENTALES ET PALÉOÉCONOMIQUES

Les sites du Castérou et de Mandirac ont révélé l'importance du bois comme matériau de construction dans les aménagements de berges, chaussées et digues (pieux, planches). Il est également utilisé pour le façonnage d'objets domestiques (peignes, bobines...), et découvert sous forme de rejets de construction ou de culture. Cette collection de bois s'avère majeure pour notre connaissance sur l'exploitation des bois d'œuvre à l'époque antique, pour la région narbonnaise. Si dans cet article nous développerons essentiellement les résultats xylologique et dendrochronologique, nous aborderons aussi les questions paléo-environnementales et paléo-économiques. En effet, la détermination des essences de bois de ces vestiges ligneux permet de mieux appréhender les choix techniques des constructeurs par la mise en évidence d'une relation essence/type et/ou

fonction de l'objet. Il s'agit aussi d'appréhender les contingences budgétaires (plus ou moins limitantes) qui déterminent leurs choix, ou encore d'estimer l'impact de telles constructions sur le milieu proche ou plus ou moins éloigné.

L'analyse dendrochronologique, au-delà de la datation des pièces de bois et ainsi des phases de constructions, contribue elle aussi à améliorer nos connaissances sur les arbres utilisés, leur âge, leur provenance... Elle pose la question de l'exploitation des sites limitrophes et de ceux plus éloignés, qui peuvent être les résultats d'une quête de bois particulière en vue d'une construction fortement lignivore, ou bien encore le reflet d'un déboisement progressif qui oblige à aller chercher le bois de plus en plus loin du site. Enfin, la datation des pièces de bois par la dendrochronologie participe à la construction de référentiels pour la période antique dans la région Languedoc-Roussillon. Pour l'ensemble des sites, les archéologues ont veillé à sélectionner un nombre significatif d'échantillons de bois pour obtenir

une image représentative de la diversité et de la fréquence des essences utilisées, mais aussi pour favoriser la construction d'une moyenne dendrochronologique solide.

3.1. Résultats xylogiques

On remarque des différences entre les palées, certaines sont construites avec une grande variété d'essence de bois (pin, orme, aulne (*Alnus glutinosa* L.Gaertn), chêne, sapin...)¹⁵ et d'autres sont en revanche très homogènes, en général deux essences, des pieux en chêne et des planches en sapin.

3.1.1. Des secteurs aux taxons diversifiés

Les différents secteurs étudiés, montrent une relation entre la variété des taxons, le diamètre des billes, la présence ou non d'écorce et certaines caractéristiques de mise en

œuvre. Pour illustrer ce propos, nous allons présenter deux secteurs, Mandirac (zone 25) et le Castélou (zone 12). L'exemple des structures mises au jour dans la zone 12 est représentatif de ce qu'on trouve sur Castélou-Mandirac. En effet, les pieux qui participent à la construction de la plage tardive de la chaussée occidentale (fig. 9) sont de faible diamètre (en moyenne 10 cm) et façonnés dans cinq essences différentes : chêne vert (*Quercus ilex* L.) et caducifolié, pin pignon, orme et aulne. Ils sont associés à des déchets de tailles découverts dans les sédiments, qui correspondent à leur appointage. Des bois découverts en vrac dans les sédiments ont fait également l'objet d'une analyse xylogique qui a révélé la présence de buis (*Buxus sempervirens* L.), de cornouiller (*Cornus mas* L.), de chêne caducifolié, de ceps de vigne (*Vitis vinifera* L.) et de sapin.

À Mandirac, le secteur 25 est aussi intéressant : cette zone se compose de trois alignements de pieux distincts (sud, central et nord). La rangée sud, la plus récente, correspond à un ensemble de rondin d'un diamètre moyen de 9 cm qui d'un point de vue xylogique est peu homogène. En effet, chaque élément correspond à un taxon différent sapin, pin, hêtre ou chêne caducifolié. La rangée centrale (PL25015) est comparable, également peu homogène avec des pieux en chêne caducifolié, orme et sapin, de 10 cm de diamètre. Enfin, la berge nord (PL 25014) côté fleuve, est composée de trois rangs de pieux aux profils variés dont certains ont conservé leur écorce (fig. 10). Parfois accompagnés de planches, ils constituent une véritable forêt de pieux (essentiellement de chêne caducifolié) servant à maintenir la berge dans le dernier état. Le nombre de poteaux dégagés sur les 5,40 m de longueur explorés s'élève à trente-huit.



Fig. 9 – Narbonne, Castélou, rive droite. Les pieux 12388 qui se trouvent l'extension vers l'étang (plage) (© J. Labussière).



Fig. 10 – Narbonne, Mandirac, rive gauche, zone 25 : pieux de la berge (25014) (© B. Favennec).

15. Les identifications xylogiques ont été réalisées sous microscope optique Olympus CX41.

3.1.2. Des secteurs taxonomiquement homogènes, mais qui diffèrent par leur mise en œuvre

Au Castélou, les premières palées sont comparables sur plusieurs points. La qualité des bois employés et leur agencement démarquent ces constructions de l'ensemble des autres structures découvertes à ce jour sur le site du Castélou-Mandirac. Ces palées sont homogènes d'un point de vue taxonomique, avec du chêne caducifolié pour les pieux et du sapin pour les planches. Elles présentent une mise en œuvre soignée et des pièces aux dimensions relativement conséquentes. En effet, la palée la plus au sud (19009) est faite d'imposants pieux rectangulaires équarris (section XXIV x 14 cm) et de planches doublées parfaitement jointes entre elles pour former une paroi de 7 cm d'épaisseur¹⁶. Les pieux de la palée 12400, observée à 200 m au sud de la précédente, correspondent à des quarts de brins équarris (20 x 13 cm) sur lesquels sont plaquées des planches d'une épaisseur moyenne de 3 cm¹⁷. Ces deux palées se distinguent aussi par leur mise en œuvre, les planches de la première (19009) sont posées à franc-bord à l'exception de quelques planches des superstructures posées à clin, quant à la seconde (12400), elle est totalement construite à clin (fig. 4).

3.1.3. Synthèse

Pour les structures hétérogènes, les observations sur le terrain, les dimensions des pièces de faible diamètre, la variété des taxons (chêne, pin...) et la présence de l'écorce plaident en faveur d'un approvisionnement très local. On peut même observer l'utilisation de rejet de souche (fig. 11). La présence d'essences d'origine plus lointaine, comme le sapin et l'orme, s'explique par la mise en œuvre de pièce en remploi, soit des planches de bordée de bateau. Dans l'état de nos connaissances, il est difficile de savoir si ces structures répondent à des urgences (rupture de digue), des réparations comme à Mandirac, ou bien correspondent simplement à des œuvres de moindre importance (économique ou structurelle). Pour les structures homogènes, on note l'utilisation de pièces en chêne ou en sapin aux diamètres réguliers et relativement importants. Les pieux sont standardisés, débités en rectangle régulier dans des quarts de troncs ou demi-troncs et ils sont tous écorcés. Ces constructions apparaissent donc plus raisonnées que celles évoquées avant. On peut, pour ce type de construction, imaginer un plan global qui comprend l'importation de bois d'œuvre. Le point de vue que nous donnons ici est lié à deux aspects technique et économique. Mais, si nous opposons ici construction opportuniste à construction raisonnée, on peut aussi imaginer un type intermédiaire, avec des aménagements qui sont structurés sans être majeurs,



Fig. 11 – Narbonne, Mandirac, rive droite, zone 10. Ces pieux correspondent à des rejets de souche, ils sont a priori les témoins de l'utilisation d'un tout-venant (© C. Sanchez).

construits avec les bois disponibles localement. Enfin, il est aussi possible que cette évolution dans l'utilisation des bois soit liée à l'évolution du paysage.

4. DISCUSSIONS ET CONCLUSION

Si les premières palées du Castélou sont contemporaines et présentent une homogénéité taxonomique, se pose la question des différences dans leur mise en œuvre, avec des planches posées à franc-bord pour l'une et à clin pour l'autre. Ces caractéristiques sont-elles liées à des contraintes de terrain, ou résultent-elles d'un savoir-faire différent ? La question reste en suspens, mais, dans tous les cas, la datation 42 ap. J.-C. peut être proposée pour ces bois. Ils sont donc légèrement plus anciens que ceux observés en rive gauche à Mandirac, dont le terminus (Ter) se situe vers 59 ap. J.-C. L'analyse dendrochronologique nous permet de voir une nouvelle phase en 71 ap. J.-C. ou 78 ap. J.-C. qui correspond à la mise en place d'un niveau de circulation. Il est ensuite difficile de préciser les différentes phases jusqu'au IV^e s. ap. J.-C. ou des reconstructions importantes ont lieu avec des bois en réemploi. Malgré le caractère massif des réfections tardives avec l'utilisation de blocs de monuments démantelés, le bois utilisé provient de récupérations ou de rejets de souches. En revanche, la

¹⁶. Sanchez *et al.* 2010, 166.

¹⁷. Sanchez *et al.* 2012.

présence d'une épave du V^e s. ap. J.-C., qui pourrait être une construction locale, devrait affiner nos connaissances pour cette période.

Les aménagements portuaires de Narbonne offrent un panorama des bois utilisés durant plus de quatre siècles avec des choix spécifiques. Ainsi, seul le premier état de construction a fait l'objet d'un aménagement en bois soigné (taxon, dimension, débitage et mise en œuvre). L'objectif était la stabilisation des berges pour fonder des espaces de circulation. Les bois sélectionnés montrent un choix raisonné et la construction a demandé l'intervention d'ouvriers spécialisés avec une quête de bois spécifique et *a fortiori* dans des forêts relativement éloignées du site. Il n'en est pas de même pour la phase tardive qui reflète l'utilisation de bois de proximité utilisés brut. Ces dernières réfections participent également à la connaissance des bois mise en œuvre même si leur faible diamètre et leur jeune âge ne permettent pas de datation dendrochronologique. Leur concentration sert d'assise à un ultime enrochement des berges et offre des quantités statistiquement exploitables.

Bibliographie

- Belingard 2012 :** C. Belingard, *Étude des bois du chantier de fouilles archéologiques du Cours Maréchal Juin, à Bordeaux (33). Dendrochronologie, identifications taxonomiques et dendrologie*, Rapport d'analyses réalisé pour Hadès, bureau d'investigations archéologiques, 2012.
- Durost, Lambert 2005 :** S. Durost, G.-N. Lambert, Révision dendrochronologique du nord de la France à l'âge du Fer et au début de l'époque romaine, *in* : P. Barral, A. Daubigny,

C. Dunning, *L'âge du Fer dans l'arc jurassien et ses marges. Dépôts, lieux sacrés et territorialité à l'âge du Fer. Actes du XXIX^e colloque international de l'AFEAF, Bienne, 5-8 mai 2005*, 2005, 13-30.

Fletcher 1978 : J. Fletcher (dir.), *Dendrochronology in Europe: principles, interpretations and applications to archaeology and history: based on the symposium held at the National Maritime Museum, Greenwich, July 1977*, British Archaeological Reports, 1978, 356 p.

Lambert 2006 a : G.-N. Lambert, A Century of Dendrochronology and Archaeology. Quiet activities, *in* : *Construire le temps. Histoire et méthodes des chronologies et calendriers des derniers millénaires avant notre ère en Europe occidentale. Actes du XXX^e colloque international de Halma-Ipel, Lille*, 2006, 113-122.

Lambert 2006 b : G.-N. Lambert, *Dendrochronologie, histoire et archéologie, modélisation du temps: le logiciel Dendron II et le projet Historic Oaks*, 2006, Habilitation à diriger les recherches, Besançon, 2006, 2 Vol., 152 p. et 206 p.

Sanchez et al. 2010 : C. Sanchez (dir.), *Recherches archéologiques au grand Castélou (Narbonne, Aude), Les ports antiques de Narbonne*, Rapport de fouilles, 2010, 335 p.

Sanchez et al. 2012 : C. Sanchez (dir.), *Les fouilles au grand Castélou et à Mandirac (Narbonne, Aude), Les ports antiques de Narbonne*, Rapport de fouilles, 2012, 503 p.

Sanchez et al. 2014 : C. Sanchez, C. Faisse, M.-P. Jézégou, V. Mathé, Le système portuaire de Narbonne antique: approche géoarchéologique. *Implantations humaines en milieu littoral Méditerranéen: facteurs d'installation et processus d'appropriation de l'espace, de la Préhistoire au Moyen Âge*, Actes des XXXIV^e Rencontres internationales d'archéologie et d'histoire d'Antibes, 2014, 125-136.

Schweingruber 1988 : F. H. Schweingruber, *Tree rings-basics and applications of dendrochronology*, D. Reidel Publishing Company, 1988, 276 p.

Schweingruber 1996 : F. H. Schweingruber, *Tree rings and environment: dendroecology*, Paul Haupt AG Bern, 1996, 609 p.

Les bois de construction du chaland gallo-romain Arles-Rhône 3 (Bouches-du-Rhône). Datation, exploitation et mise en œuvre

Sandra Greck, Frédéric Guibal** et Sabrina Marlier****

Résumé

L'étude réalisée sur le bois du chaland Arles-Rhône 3 s'inscrit dans le cadre des recherches sur l'histoire des techniques de la batellerie gallo-romaine en général et des chalands construits «sur sole» du groupe Rhône-Saône en particulier. Grâce à la qualité et la quantité des structures, les résultats sont représentatifs de la grande majorité des vestiges conservés et analysés à l'aide de quatre disciplines: la xylogie, la dendromorphologie, la tracéologie et la dendrochronologie. Ils portent à la fois sur l'origine géographique et chronologique des arbres ainsi que sur la mise en œuvre du matériau au sein du bateau. Ainsi, les bois sont constitués majoritairement de chênes caducifoliés, provenant très probablement du val de Saône, et de sapins âgés et abattus après l'année 50 de notre ère. Les caractéristiques de charpenterie appliquées au chaland qui se définissent par une recherche de performance technologique liée à des contraintes techniques et environnementales, sont profondément empreintes de la charpenterie navale antique de tradition européenne.

Mots clés: bois, batellerie gallo-romaine, datation, charpenterie navale, Rhône, xylogie, dendromorphologie, tracéologie, dendrochronologie.

Abstract

The study carried out on the timber of the barge Arles-Rhone 3 is part of the research about the technical history of Gallo-Roman inland water transport and particularly to the flatbottom barges of Rhône-Saône group. Thanks to the quality and quantity of the structures, the results are representative of the great majority of remains preserved and analyzed by means of four disciplines: xylogy, dendromorphology, traceology and dendrochronology. They concern both the geographical and chronological origin of the trees as well as the woodcraft within the boat. Thus, wooden pieces are mainly made of old deciduous oaks, which come probably from Val de Saône, and old firs felled down after 50 AD. Carpentry characteristics applied to the barge which are defined by a technological performance research related to technical and environmental constraints, are deeply marked of antique naval carpentry European tradition.

Key words: wood, barge, Gallo-Roman inland water transport, xylogy, dendromorphology, traceology, dendrochronology, dating, shipbuilding carpentry, Rhone, antiquity.

1. INTRODUCTION

Découverte en 2004, l'épave Arles-Rhône 3 (AR3) a fait l'objet d'expertises et de sondages avant qu'une opération de fouille programmée ne se mette en place à partir de 2008. Après trois campagnes archéologiques qui en ont révélé tout l'intérêt scientifique et le potentiel muséo-

graphique¹, elle a été fouillée intégralement et renflouée pour être exposée au public au sein du Musée départemental Arles antique, spécialement agrandi pour l'occasion (fig. 1). L'opération de fouille et de relevage, d'une grande complexité, a été réalisée en 2011 par les équipes du Musée départemental Arles antique associées aux scaphandriers, aux archéologues et aux restaurateurs du groupement

1. Djaoui, Greck, Marlier (dir.) 2011.

* Ipso Facto ScopARL, 10 rue Guy Fabre, 13001 Marseille, France. Aix Marseille Univ, CNRS, CCJ, Aix-en-Provence, France.

** Aix Marseille Univ, Avignon Université, CNRS, IRD, IMBE, Marseille, France.

*** Musée départemental Arles antique, Conseil départemental des Bouches-du-Rhône, Presqu'île du cirque romain, BP205, 13635 Arles cedex, France. Aix Marseille Univ, CNRS, CCJ, Aix-en-Provence, France.



Fig. 1 – Le chaland Arles-Rhône 3 au sein des collections dédiées aux activités du port d’Arles à l’époque romaine, Musée départemental Arles antique (R. Bénali/Studio Atlantis, Mdaa/CG13).

O’Can-Ipso Facto ainsi que des ateliers ARC-Nucléart et A-Corros, en collaboration avec le DRASSM. Après deux années de traitement et de restauration, ce chaland gallo-romain de 31 m de longueur a rejoint les collections du musée en 2013. En parallèle, une vingtaine de chercheurs ont travaillé sur tous les aspects de cette épave, exceptionnelle par son état de conservation (une coque complète à 93 %), la présence de son dernier chargement (une cargaison de pierres disposée dans un caisson central constitué de cent quarante planches amovibles) et du mobilier de bord des bateliers (vaisselle, brasero et outils) ainsi que celle d’un corpus d’inscriptions imprimées au fer dans le bois, des équipements de navigation (pelle de gouverne, perches de sonde et mât de halage) et de la monnaie votive du bateau. Cette étude exhaustive a permis de révéler que ce chaland, à vocation commerciale, s’inscrivait dans un espace de navigation circonscrit à la section inférieure du Rhône. Possiblement construit dans les chantiers navals d’Arles, il a fait naufrage dans ce port, sans doute au cours d’une crue, entre 66 et le début des années 70 de notre ère².

C’est dans le cadre des recherches en histoire des techniques sur la construction navale appliquées à la batellerie gallo-romaine que s’inscrit l’étude réalisée sur le bois des structures d’AR3. En ce sens, elle est intimement liée à l’étude de l’architecture du chaland dont elle se nourrit et qu’elle alimente en retour. L’état exceptionnel de conservation et le potentiel scientifique de ces vestiges ont justifié la mise en place d’un protocole d’étude dendrologique des plus exhaustifs dès la première campagne d’expertise et, en particulier, lors de l’opération de fouille et de relevage. Cette étude met en œuvre plusieurs types d’analyses et vise divers objectifs. Tout d’abord, il s’agit de caractériser l’exploitation de la ressource ligneuse afin de définir

l’économie de la matière première menée par les charpentiers antiques, depuis la localisation de zones probables d’approvisionnement en bois jusqu’à la mise en œuvre des essences forestières sélectionnées au sein de la charpente. Elle a aussi pour objet la

recherche d’indices capables de préciser l’évolution de l’aménagement des différentes pièces au sein de la structure (usure, détérioration, réparation). Enfin, l’étude du bois permet de rechercher l’âge absolu des vestiges en datant l’année d’abattage des arbres utilisés afin d’approcher la date de construction du bateau.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES D’ANALYSE

Afin d’analyser finement les deux cent soixante-quatre éléments structurels du chaland, quatre disciplines ont été mises en œuvre : la xylogie, la dendromorphologie, la tracéologie et la dendrochronologie. Chacune d’elles a bénéficié d’un protocole d’acquisition des données mis en place très tôt dès la phase de terrain, en milieu immergé, mais surtout à terre lors du découpage en tronçons et du démontage de l’épave³. Les échantillons nécessaires à l’analyse xylogique ont été prélevés au cutter sous forme de fragments de bois de quelques centimètres cubes, encore plus discrets en 2011 pour ne pas nuire à l’exposition du chaland. Avant le projet d’exposition, les analyses dendromorphologique, tracéologique et dendrochronologique ont été menées à partir d’un échantillonnage de toutes les structures de la moitié arrière du chaland, à raison de une à trois sections transversales d’au moins 5 cm d’épaisseur couvrant la largeur des pièces, prélevées à la scie égoïne.

Ainsi, l’identification des essences ligneuses, propre à l’analyse xylogique, a été réalisée lors d’une première phase d’observation à l’œil nu, sous l’eau ou à terre suite au relevage des pièces, qui a permis de réduire l’étape suivante d’échantillonnage réalisée seulement sur les bois non caractérisés. Chaque échantillon a fait l’objet en laboratoire d’un examen microscopique de coupes minces réalisées à la lame

2. Marlier (dir.) 2014.

3. Marlier (dir.) 2014, 50-54.

de rasoir puis montées entre lame et lamelle⁴ selon les trois plans traditionnels d'observation (transversal, tangentiel et radial). L'identification des taxons a été menée à l'aide d'atlas d'anatomie des bois européens⁵. Les résultats de cette analyse couvrent la quasi-totalité de l'embarcation avec deux cent cinquante-six pièces architecturales identifiées, soit près de 98 %.

Les analyses dendromorphologique et tracéologique ont nécessité un examen macroscopique rigoureux, illustré par des croquis et des photos de détails, de la morphologie des arbres au sein des pièces. Des relevés graphiques, sur film plastique transparent à l'échelle 1/1, ou photographiques des sections transversales ont conduit à définir les modes de débitage des pièces au sein des arbres, tels que définis par M. Rival (1991) et B. Arnold (1992, 1999). Cet examen a permis par ailleurs le recueil des traces d'origine anthropique ou biologique laissées à la surface du bois. L'interprétation des traces d'outils, en particulier, observées à l'aide d'une loupe en lumière rasante, s'est inspirée de B. Grenouiller (1993) et B. Arnold (1992, 1999). L'analyse dendromorphologique et tracéologique a porté sur une grande majorité des pièces architecturales du chaland avec deux cent sept pièces analysées, soit plus de 78 %, et le façonnage de chaque type de structure a pu être renseigné.⁶

L'analyse dendrochronologique a été menée dans le but de préciser la date d'abattage et l'origine des arbres choisis pour la construction du chaland. Les pièces offrant un grand nombre de cernes et celles susceptibles d'offrir le dernier cerne formé avant l'abattage de l'arbre ont été préférentiellement sélectionnées. Sur le terrain, des photographies haute définition des sections transversales prises en 2011 par des photographes professionnels⁷ à l'occasion de l'opération de relevage du chaland en vue de sa restauration ont remplacé les prélèvements effectués auparavant. Avant la prise du cliché, les faces transversales des pièces ont été rafraîchies à la lame de rasoir pour rendre les cernes bien visibles. Au laboratoire, les séries élémentaires d'épaisseurs de cernes ont ensuite été mesurées avec une précision de 1/100 mm ou de 1/1 000 mm sur une table à mesurer LINTAB6 (Frank Rinn®) soit sur la pièce-même soit sur tirage-papier. Afin d'amoindrir l'effet d'éventuelles variations dues à l'orientation sur le tronc, deux séries de

mesures ont été effectuées sur les deux rayons opposés par rapport à la moelle, lorsque le débitage de la pièce (ex. bois de brin ou demi-tronc) le permettait. Toutes ces opérations ont été effectuées en conservant l'échantillon de bois humide afin d'éviter une distorsion des alignements radiaux de cellules qui aurait ruiné les données recueillies. Au total, cinquante-six pièces ont été analysées, soit près de 21 % de l'ensemble des structures du chaland. Les données obtenues à l'issue des mesures ont fait l'objet des traitements numériques couramment pratiqués en dendrochronologie pour détecter les synchronismes inter-sériels⁸. Après transformation des données brutes en données indicées⁹, les séries ont été comparées deux à deux à l'aide du test de Student *t* appliqué au coefficient de corrélation intersériel; les résultats statistiques ont ensuite été vérifiés par l'examen visuel des graphiques de la variation interannuelle des données annuelles indicées. Les séries synchrones d'une même essence ont permis de calculer une chronologie moyenne représentative de l'essence qui a ensuite été comparée aux chronologies de référence disponibles¹⁰.

3. RÉSULTATS

Les résultats des analyses menées sur les bois du chaland AR3 nous permettent de qualifier les arbres utilisés pour sa construction par la définition des essences ligneuses, de leur date d'abattage et de leur origine géographique. Ils nous conduisent à présenter aussi la répartition spatiale et fonctionnelle des essences au sein de la structure et, pour chacune des pièces architecturales (fig. 2), l'âge des arbres abattus, les dimensions des grumes mises en œuvre, la qualité des bois et des types de débitage sélectionnés ainsi que les outils utilisés pour leur façonnage. Ce texte offre une synthèse de l'essentiel de ces résultats¹¹.

3.1. Essences sélectionnées, âge et état des arbres

L'analyse anatomique du bois a conduit à l'identification de cinq types anatomiques composés d'essences résineuses et feuillues qui sont, par ordre d'occurrence, le chêne caducifolié (*Quercus* sp.), le sapin (*Abies* sp.), l'épicéa (*Picea abies* (L.) Karsten), le pin de type sylvestre (*Pinus cf. sylvestris*)¹², et le frêne commun (*Fraxinus excelsior* L.) (fig. 3).

4. Appareils utilisés : loupe binoculaire Wild Makroskop M420 (6,3x à 32x), microscopes optiques en transmission Olympus BH-2 et Olympus CX41 (40x à 1000x) couplé à un appareil photo numérique Olympus PEN Lite E-PL3.

5. Jacquot 1955, Jacquot, Trénard, Dirol 1973, Schweingruber 1982, 1990, Vernet *et al.* 2001.

6. Une soixantaine de pièces n'était pas accessible pour des raisons muséographiques.

7. Lionel Roux et Teddy Seguin, groupement O'Can-Ipso Facto.

8. Baillie 1982.

9. Lambert, Lavier 1992.

10. Lambert 1998.

11. Pour une synthèse plus détaillée : Marlier (dir.) 2014, 171-202, 260-263.

12. L'appellation « pin de type sylvestre » regroupe le pin sylvestre (*Pinus sylvestris* L.), le pin à crochets (*Pinus uncinata* Mill. ex Mirb.) et les pins noirs (*Pinus nigra*) qu'il n'est pas possible de différencier par l'étude de leur anatomie (Schweingruber 1982, 1990).

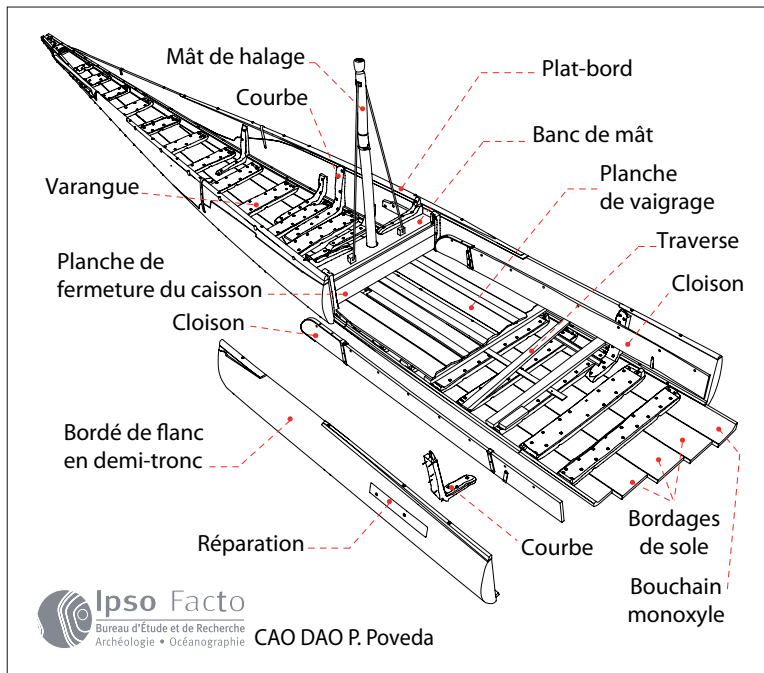


Fig. 2 – Axonométrie de l’avant du chaland avec les principaux termes d’architecture employés pour sa description (CAO-DAO : P. Poveda, Ipso Facto).

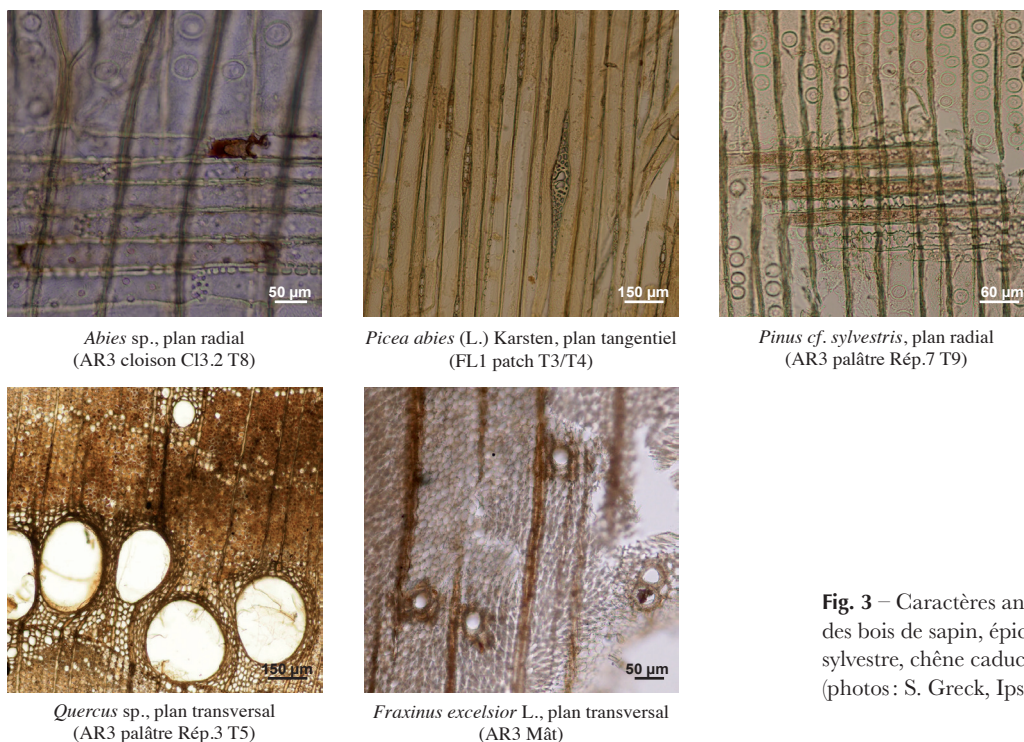


Fig. 3 – Caractères anatomiques discriminants des bois de sapin, épicéa, pin de type sylvestre, chêne caducifolié et frêne commun (photos : S. Greck, Ipso Facto/IMBE).

Compte tenu de la correction liée au mode de débitage des billes, le nombre de cernes présents sur chaque pièce nécessite un ajustement pour pouvoir restituer l’âge des arbres. Malgré les difficultés liées à cet exercice, les estimations mènent aux résultats suivants : pour ce qui est des chênes, ceux employés à la confection de la sole sont âgés de quarante-huit à, au moins, cent douze années ; ceux utilisés pour les bouchains sont âgés d’au moins soixante-dix-neuf ans ; ceux dans lesquels les varangues ont été désignées sont âgés de trente-deux à, au moins, cent cinquante-huit ans ;

ceux d’où proviennent les courbes sont âgés d’au moins soixante ans. Pour ce qui est des sapins, les arbres employés à la confection des bordages de flanc sont âgés d’au moins deux cent trente-quatre ans et ceux d’où ont été tirées les planches d’aménagement interne ont des âges très variés, l’un d’eux étant âgé de plus de cent soixante ans.

Au final, qu’il s’agisse de chênes ou de résineux, les arbres employés à la réalisation du chaland sont des individus majoritairement âgés, pour la plupart matures, très

vraisemblablement issus de futaies elles-mêmes matures et, comme l'attestent les séries de cernes, n'ayant pas été victimes de perturbations majeures au point d'altérer les signaux enregistrés dans leurs séries de cernes.

3.2. Datation des pièces en chêne et en sapin

Les séries de cernes représentatives de quatorze varangues et une courbe en chêne synchronisées permettent de construire une chronologie moyenne longue de cent cinquante-neuf années qui a été confrontée à d'autres chronologies de chêne, soit établies sur des sites localisés en région méditerranéenne française, soit ayant valeur de références et issues de régions autres que la région méditerranéenne. Parmi les références utilisées, figurent des chronologies mises à notre disposition par G.-N. Lambert et O. Girardclos (Laboratoire Chrono-environnement, Besançon), C. Perrault (Cèdre S.a.r.l., Besançon) et W. Tegel (DendroNet G.m.b.H., Bolingen), les unes représentatives de sites, majoritairement localisés dans le réseau hydrographique rhodanien, les autres ayant valeur de références régionales. Une datation a été obtenue par corrélation avec plusieurs références sur les années 109 av. J.-C./50 ap. J.-C. La date terminale 50 ap. J.-C. ne garantit pas l'année d'abattage car aucun vestige d'écorce n'est demeuré en place sur la varangue M111 qui termine la chronologie moyenne (fig. 4) et aucun indicateur ne permet de garantir que la pièce offre le dernier cerne formé avant l'abattage de l'arbre. Compte tenu du nombre de cernes d'aubier présents sur les pièces synchronisées et du nombre moyen de cernes qui constituent l'aubier chez les chênes adultes dans le quart nord-est de la France (Lambert 1998), l'hypothèse de l'homogénéité chronologique de l'abattage des chênes employés à la confection des varangues est valide. Il en résulte que les varangues M111 et M98 qui offrent respectivement quatorze et douze cernes d'aubier

permettent d'avancer un intervalle d'abattage au cours des deux premières décennies de la deuxième moitié du I^{er} siècle de notre ère si l'on respecte rigoureusement les valeurs d'aubier publiées par G.-N. Lambert, avec toutefois une probabilité plus élevée au cours de la première décennie de la deuxième moitié du I^{er} siècle de notre ère, au vu de la distribution chronologique des années terminales des chronologies individuelles.

Un ensemble en sapin composé de deux bordages de flanc principaux, d'une cloison interne du caisson et de huit planches de vaigrage synchronisés a permis de bâtir une chronologie moyenne longue de deux cent trente-quatre années dont la comparaison avec des sites aussi divers que Herculanium, le nord de la Suisse, la Bavière, l'Autriche et les Pays-Bas (W. Tegel, communication personnelle, non publié) a livré une datation sur la période 188 av. J.-C./46 ap. J.-C. L'année de formation du dernier cerne mesuré (46 ap. J.-C.) ne garantit pas, là encore, l'année d'abattage car rien n'assure que la pièce offre le dernier cerne formé avant l'abattage de l'arbre. L'année terminale concorde néanmoins avec l'année terminale de la chronologie moyenne bâtie pour les pièces en chêne.

3.3. Origine géographique et approvisionnement en bois d'œuvre

Les essences feuillues identifiées sont communes en plaine, jusqu'à 1 400 m d'altitude¹³. Le sapin est l'essence typique de l'étage de végétation montagnard moyen et supérieur des Alpes, du Jura, des Vosges, des Pyrénées et du Massif Central¹⁴. L'épicéa trouve ses conditions de croissance préférées dans la zone inférieure de l'étage subalpin mais peut descendre jusqu'à 600-700 m; en France, il est spontané dans les Vosges, le Jura et les Alpes où il est commun dans le nord et moins dans le sud¹⁵. Les difficultés à distinguer,

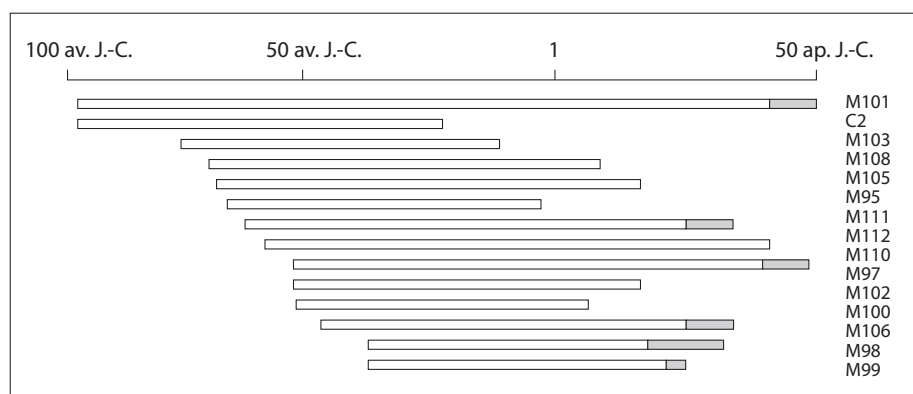


Fig. 4 – Bloc-diagramme des quinze chronologies représentatives des pièces de membrure en chêne synchronisées (blanc : cernes de duramen ; gris : cernes d'aubier) (graphique F. Guibal, IMBE/CNRS).

¹³. Rameau, Mansion, Dumé 1993, 563.

¹⁴. Rameau, Mansion, Dumé 1993, 375.

¹⁵. Rameau, Mansion, Dumé 1993, 391.

sur des critères anatomiques, le bois du pin sylvestre de celui du pin à crochets et des pins noirs nous amènent à considérer l'aire de ces espèces, de l'étage collinéen à l'étage subalpin pour la première, de 1 500 m jusqu'à la limite supérieure des arbres pour la deuxième. Le pin noir, dont la seule sous-espèce *salzmannii* est attestée sur le territoire français à l'époque antique, ne se rencontre que dans quelques peuplements de la région Languedoc-Roussillon. Le pin sylvestre est répandu dans les Vosges, le Jura, les Alpes, le Massif Central et les Pyrénées¹⁶; le pin à crochets est commun dans les Alpes et les Pyrénées, plus rare dans le Jura et le Massif Central, très rare dans les Vosges¹⁷.

En résumé, toutes les essences identifiées se rencontrent dans le réseau hydrographique rhodanien et aucune essence étrangère à ce réseau n'a été identifiée.

L'analyse dendrochronologique nous renseigne aussi sur la localisation de zones probables d'approvisionnement des bois acheminés par flottage ou par attelage vers les chantiers navals (selon Platon et Diodore de Sicile¹⁸). La chronologie moyenne de chêne corrèle très bien avec plusieurs sites francs-comtois et bourguignons, et remarquablement avec le Pont Saint-Laurent à Chalon-sur-Saône ($t = 10.12$)¹⁹. Même si l'emploi majoritaire de référentiels élaborés dans la moitié est de la France peut biaiser notre inter-comparaison, une telle valeur, aussi élevée et peu commune pour le chêne, nous amène à envisager une origine des chênes dans la région de Chalon-sur-Saône, au plus dans un rayon d'une trentaine de kilomètres. Du fait de l'absence d'un gradient géographique dans les valeurs t obtenues et d'une valeur remarquablement élevée, il est impossible d'avancer une quelconque origine géographique relative aux sapins employés.

3.4. Répartition spatiale et fonctionnelle des essences au sein de la construction

La répartition spatiale des essences ligneuses identifiées au sein des structures du chaland (fig. 2) illustre la spécialisation manifeste des bois, leurs propriétés mécaniques et leurs qualités technologiques étant adaptées à la fonction des pièces pour lesquelles elles ont été sélectionnées. Un fort contraste se dégage entre la base, taxinomiquement homogène, et les parties supérieures formées par le bordé et les aménagements internes constitués d'une plus grande diversité d'essences.

Ainsi, la base entière de l'embarcation de même que toutes les pièces destinées à supporter des forces et des frottements importants liés aux manœuvres de navigation (banc de mât, pelle de gouverne, plat-bord, taquet) sont exclusivement confectionnées en chêne caducifolié, essence feuillue la plus majoritairement utilisée pour la charpente des bateaux d'époque romaine²⁰ pour son caractère imputrescible et ses qualités de résistance, de dureté et de durabilité en milieu humide, déjà connus des Grecs et des Romains²¹. Ce choix, perpétué pour les bateaux médiévaux du Rhône²², est caractéristique de la tradition de confection du fond de ce type de bateau construit «sur sole» intégralement réalisé en bois de chêne, comme le sont tous les chalands gallo-romains d'Europe et ceux du groupe Rhône-Saône auquel AR3 appartient²³.

En revanche, les parties hautes sont plutôt réalisées en bois d'essences résineuses. Les bordés de flanc en demi-tronc qui forment une autre caractéristique de construction de cette famille de chaland²⁴, sont façonnés en bois de sapin, deuxième essence abondamment représentée, ponctuellement réparés de planches en épicéa. Les aménagements internes sont de même réalisés en bois de sapin et d'épicéa, rarement en bois de pin de type sylvestre. De résistance et de durabilité moindre que le chêne, ces essences résineuses, plus légères, étaient pourtant couramment employées en architecture navale antique et médiévale pour la confection du bordé et l'aménagement du pont des bateaux²⁵. Plus facilement disponibles, elles ont aussi été délibérément choisies dans la réalisation du caisson pour contenir et protéger la structure principale de la cargaison.

Le reste des aménagements internes suit davantage une sélection opportuniste du bois avec un mélange de résineux ou de chêne constaté au sein des pièces qui n'ont pas de fonction capitale au sein de l'architecture du chaland. Le mât est la seule pièce façonnée en bois de frêne.

3.5. Mise en œuvre des bois : qualité, modes de débitage et de façonnage

3.5.1. La sole

Les bordages de sole sont définis par huit planches équarries et épaisses de chêne caducifolié dont la section montre des types de débitage réalisés en majorité sur quartier à cœur ou sur faux quartier, donc assez proche du centre de

16. Rameau, Mansion, Dumé 1993, 409.

17. Rameau, Mansion, Dumé 1993, 411.

18. Cf. Rival 1991, 108.

19. C. Perrault, communication personnelle.

20. Guibal, Pomey 2002, 95-96; Rival 1991, 54.

21. Selon Théophraste et Pline, cf. Rival 1991, 52-54.

22. Rossiaud 2007, 205.

23. Arnold 1992, 56-61; Guyon 2010, 56-89; Lonchambon 2000; Rieth 2011, 66.

24. *Ibid.*

25. Arnold 1992; Ballu 2000, 87; Rieth 1998; Rival 1991, 54.

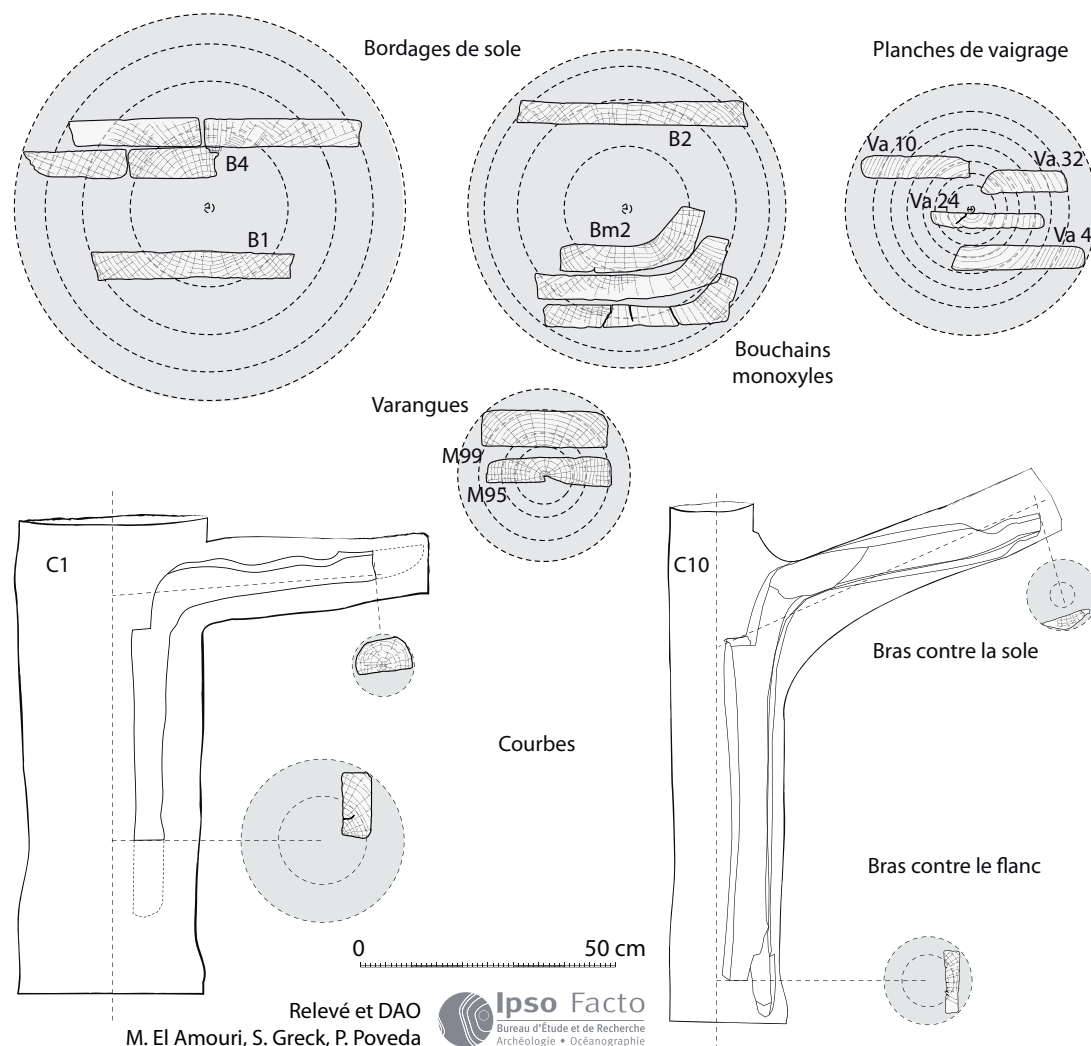


Fig. 5 – Restitution du mode de débitage des principales pièces d'architecture du chaland (relevés et DAO: M. El Amouri, S. Greck, P. Poveda, Ipsos Facto).

la bille (B1, B2, B4, fig. 5). Leur étude nous renseigne sur le mode de façonnage des levées de poupe et de proue dont les bordages, débités dans des pièces de bois de manières presque similaires d'un bout à l'autre, ont probablement été cintrés à chaud. Ces deux premières caractéristiques suivent un même mode de débitage et de mise en forme que pour les bordages du chaland de Bevaix (canton de Neuchâtel, Suisse) qui offre le plus d'éléments de comparaison pour ce type de chaland²⁶. L'analyse dendrochronologique conduite sur quatre pièces permet de déduire qu'elles ont été débitées dans des billes de 64 à 89 cm de diamètres minimum, issues de trois arbres distincts au moins âgés de quarante-huit à cent douze ans, dont la hauteur minimum du fût varie de 17 m à 22 m. Ainsi, trois arbres au moins et sept au plus ont été nécessaires pour réaliser l'ensemble de la sole.

Concernant la mise en œuvre de ces bordages, les bois de chêne subissant un fort retrait en séchant, les débits sur quartier ou faux quartier, recommandés en charpenterie traditionnelle, ont pour principal avantage de conserver toutes leurs caractéristiques mécaniques²⁷. La présence fréquente d'aubier nous permet de déterminer que le débitage des grumes a été réalisé sur plot ayant la particularité d'offrir un rendement maximum du bois en produisant des planches de qualités différentes et de largeurs inégales²⁸, au détriment de la qualité de façonnage des cans, l'endroit le plus exposé à d'éventuelles entrées d'eau²⁹. Bien qu'un des principes de charpenterie traditionnelle³⁰ soit de l'extraire afin d'éviter une dégradation précoce de l'ouvrage, la présence d'aubier et même d'écorce est pourtant un trait

27. Rival 1991, 55, 84.

28. Arnold 1999, 161.

29. Arnold 1999, 159.

30. Rossiaud 2007, 205.

26. Arnold 1992, 34, 56-60.

caractéristique de la charpenterie navale antique³¹. Sur le chaland AR3, des planchettes de bois identifiées comme des palâtres, technique d'étanchéité des coutures par l'intérieur³², placées au-dessus de l'aubier au niveau du joint de certains bordages, semblent avoir été utilisées pour boucher ou anticiper une crevasse et prévenir ainsi une perforation de la sole. Les planches de sole présentent par ailleurs de nombreuses fentes longitudinales, particulièrement au niveau des levées et des flancs soumis au séchage du bois³³ et qui sont à l'origine du colmatage à l'aide de poix et de tissus poissés relevé sur certains bordages.

Du point de vue de leur façonnage, les bordages de sole se définissent par des faces régulièrement planes où des traces de scie ont pu être relevées. Ces traces irrégulières avec des changements de direction et d'intensité variables sont caractéristiques du sciage manuel³⁴. Assez régulièrement parallèles et transversales au fil du bois, comme déjà observées sur la sole d'autres chalands³⁵, elles ont certainement été produites par une scie de long qui, bien attestée à l'époque antique pour débiter longitudinalement les grumes de fort gabarit³⁶, était actionnée perpendiculairement aux fibres du bois avec l'aide d'un puits ou d'une fosse creusés sous la grume³⁷. Les cans des bordages ont été taillés à la hache à large tranchant, comme nous l'indiquent les traces visibles « sous la forme de lignes obliques » ou perpendiculaires au fil du bois³⁸, rares et peu distinctes, par ailleurs observées sur la sole d'une épave de Lyon Saint-Georges³⁹.

3.5.2. Les bouchains monoxyles

Les quatre bouchains ont été sculptés dans le bois de cœur de demi-billes de bois de chêne caducifolié. Identiques à ceux de Bevaix⁴⁰ et de Lyon Tolozan⁴¹, leurs sections en L, taillées dans la masse, relativement proches de la moelle, montrent tout le soin accordé à leur façonnage. Les deux plus longs ont été débités dans des billes de 55 cm et de 64 cm de diamètres minimum, longues d'au moins 16 m et 29 m, issues d'arbres au moins âgés de quatre-vingt-quatre et soixante-dix-neuf ans. D'après leur analyse dendrochronologique, l'un d'eux a été façonné dans un même arbre qu'un des bordages de sole (B2 et Bm2, fig. 5). Comme cette pratique a été mise en évidence pour la réalisation du

chaland de Bevaix⁴², il est fort possible que chacun ait été sculpté dans un tronc de chêne entier, ce qui porte à quatre le nombre probable d'arbres nécessaires à leur réalisation. Les trois bordages verticaux des bouchains composés identifiés à la proue et à la poupe se définissent par des planches de bois de chêne caducifolié de dimensions plus réduites sculptées à cœur, probablement taillées dans les chutes des pièces de sole de dimensions plus importantes.

Les traces conservées sur les faces supérieures des bouchains se présentent sous la forme de stries irrégulièrement espacées, plus ou moins profondes, parallèles et transversales au fil du bois, avec des changements de direction, attribuables à la lame d'une scie actionnée de manière verticale et perpendiculaire aux faces internes et horizontales des bouchains. L'évidage de ces pièces a probablement été conduit, par commodité, par la taille d'une série de profondes entailles à la hache dans la masse de bois à enlever, le fond étant façonné à l'aide d'herminettes⁴³, qui, pour AR3, ont pu être remplacées localement par une scie égoïne dont les traces plus profondément empreintes dans le bois ont été conservées. Comme pour les bouchains du chaland de Bevaix et de sa réplique Altaripa⁴⁴, une herminette à tranchant concave semble avoir été utilisée pour former l'angle interne. Les cans ont été débités à la hache à large tranchant. Plus localement, des traces indiquent l'utilisation d'une scie égoïne, sans doute utile pour ajuster les bouchains contre le bordé où elle pouvait être glissée pour effectuer un travail de finition, comme observé pour l'ajustage des bordages du chaland de Bevaix⁴⁵.

3.5.3. La charpente transversale: les varangues plates

Selon vingt pièces analysées sur quarante-sept⁴⁶, les varangues plates se présentent sous la forme de planches épaisses équarries dans le bois de cœur de chênes caducifoliés, la moitié sur quartier à cœur, l'autre sur faux-quartier ou sur fausse dosse. La varangue-emplanture, de section plus importante, est aussi équarrie à cœur. Issues de billes de bois d'au moins 22 à 38 cm de diamètre et de 2,3 m de hauteur minimum, elles ont été réalisées à partir de troncs d'arbres entiers ou fendus de diamètres moins importants que ceux sélectionnés pour la sole et les bouchains, mais où des portions d'aubier demeurent présentes. D'après l'analyse dendrochronologique de dix-sept pièces, les arbres dans lesquels les varangues ont été délinés étaient âgés

31. Rival 1991, 105.

32. Marlier (dir.) 2014, 150 et 154-155.

33. Arnold 1999, 159.

34. Grenouiller 1993, 54.

35. Arnold 1992, 41-42; Guyon 2010, 70, 72.

36. Rival 1991, 136.

37. Arnold 1999, 91-97, 101-102.

38. Arnold 1999, 88.

39. Guyon 2010, 70, 72.

40. Arnold 1992, 57.

41. Rieth 2011, 66.

42. Arnold 1992, 35, 56.

43. Arnold 1999, 88-89.

44. Arnold 1992, 37, 47, 53; 1999, 88-89.

45. Arnold 1992, 37, 53, 1999, 118.

46. L'analyse dendromorphologique n'a pas pu être menée sur une moitié du chaland où les pièces n'ont pas été démontées ni découpées ni échantillonnées, leurs sections transversales n'étant, de fait, pas visibles.

d'au moins trente-deux à cent cinquante-huit ans et six d'entre elles ont été confectionnées à partir de trois arbres distincts. Parmi elles, les deux varangues de la figure 5 (M95, M99), débitées en plein cœur et en périphérie d'un même tronc de 34 cm de diamètre minimum, ont pu être délinées côte à côte. Les quatre autres, débitées à cœur, ont été extraites, bout à bout, de deux tronçons de grumes distinctes de 4 m et de 4,5 m de longueur minimum. Il aura fallu un maximum de quarante-quatre chênes pour réaliser l'ensemble des varangues, que l'on peut réduire à vingt-quatre selon le résultat de cette analyse qui suggère un rendement d'au moins deux pièces de bois par tronc. Si le chêne souligne le soin accordé à la confection de ces pièces de renfort transversal de la coque, le mode de débitage démontre une volonté de rendement économique au détriment de la qualité de façonnage.

L'équarrissage des varangues a été réalisé à la hache à large tranchant comme le montrent les traces couvrant toutes les faces, à l'égal de l'épave Ep. 3 de Lyon Saint-Georges⁴⁷. Les ressauts des extrémités des varangues ont été sculptés à l'herminette ou au ciseau à tranchant droit et le petit canal transversal a été creusé à l'herminette à tranchant concave. Enfin, comme pour le chalard de Bevaix⁴⁸, les mortaises de la varangue-emplature ont été creusées avec un ciseau droit dont les traces sont visibles sur les abouts⁴⁹ et le fond.

3.5.4. La charpente transversale: les courbes

Selon l'analyse dendromorphologique et tracéologique de onze pièces et l'analyse dendrochronologique de deux pièces sur dix-neuf⁵⁰, les courbes sont des pièces monoxyles en forme de L taillées dans des embranchements de chênes caducifoliés, semblables à celles des épaves de Bevaix et de Lyon Saint-Georges⁵¹, âgés d'au moins soixante et soixante-treize ans. Elles étaient prélevées en forêt par les charpentiers antiques qui évaluaient le meilleur parti à tirer d'un arbre en fonction des pièces qu'il était possible d'extraire⁵². Ainsi, la courbure naturelle des fibres du bois au niveau de l'angle devait être mise à profit afin de renforcer cette zone fragilisée par les tensions mécaniques exercées sur ces pièces de liaison entre la sole et le bordé. Comme pour le chalard de Bevaix⁵³, les courbes d'AR3 présentent des types de débitage distincts (C1 et C10, fig. 5)

mais, contrairement à lui⁵⁴, les sections de troncs, les parties les plus longues, viennent s'adosser verticalement au bordé alors que les sections de branches, les plus courtes, sont posées horizontalement sur la sole. En effet, la plus grande longueur est plus commode à façonner dans le tronc qui permet d'obtenir la matière utile pour confectionner des pièces aussi hautes que le bordé. Les parties verticales, de sections rectangulaires, sont équarrées suivant le fil du bois, sur brin, dans des demi-troncs ou des quarts de troncs dont les diamètres varient de 12,5 cm à 20 cm minimum (C1, C10, fig. 5). Les parties horizontales sont grossièrement équarrées dans une branche dont le galbe et l'écorce sont conservés, le plus souvent sur brin, à cœur (C1, fig. 5), parfois plus en périphérie (C 10, fig. 5). Le procédé de débitage, réalisé tantôt selon le fil du bois (C1, fig. 5) tantôt à contre-fil (C 10, fig. 5), ajouté à l'agencement des courbes traduit la difficulté de trouver les bons embranchements formant non seulement des angles droits naturels mais avec, en plus, une longueur de branche adaptée⁵⁵. Pour cela, même si, théoriquement, un tronc d'arbre pourrait servir au façonnage de plusieurs courbes, le faible rendement des arbres dont témoigne la construction expérimentale du chalard Altaripa⁵⁶ induit que chaque courbe a pu nécessiter le débitage d'un d'arbre et que dix-neuf arbres maximum ont été nécessaires à la réalisation des courbes d'AR3.

Selon l'étude des traces conservées sur les faces externes, non soumises à l'érosion, les courbes ont été façonnées à la hache à large tranchant et à l'herminette à tranchant plat et les anguilliers ont été creusés à la hache à large tranchant et à l'herminette à tranchant concave. Les mêmes outils ont été identifiés pour le façonnage des courbes et des anguilliers des chalands de Bevaix⁵⁷ et de Lyon Saint-Georges, épaves Ep. 2 et Ep. 3⁵⁸.

3.5.5. Les bordés

Les deux bordages de flanc principaux sont composés de pièces monoxyles débitées sur fausse dosse dans des demi-troncs de sapin, à l'image des épaves de Lyon Saint-Georges⁵⁹, issus d'un seul et même arbre de 26 m de longueur minimum pour un diamètre de 94 cm minimum, au moins âgé de deux cent trente-quatre ans. Ils sont prolongés à l'avant par des bordages de flanc secondaires de dimensions moins importantes issus du bois de cœur de billes de sapin et d'épicéa d'au moins 46 et 62 cm de diamètres. Ainsi, un à deux sapins et un épicéa ont été nécessaires pour confectionner les bordés. Si le débit des bordages de

47. Guyon 2010, 60-61.

48. Arnold 1992, 54.

49. Les abouts entaillés en bois de travers délimitent la longueur de la mortaise. Ils s'opposent aux joues de la mortaise qui en délimitent la largeur (Grenouiller 1993, 157).

50. Les courbes n'ayant pas subi de découpe lors de l'opération en 2011, l'analyse dendrochronologique n'a pu être menée qu'à partir d'échantillons prélevés en 2005.

51. Arnold 1992, 61 ; Guyon 2010, 59, 68, 78, 89.

52. Rival 1991, 113.

53. Arnold 1992, 61.

54. Arnold 1992, 61.

55. Arnold 1999, 159.

56. Arnold 1999, 41-42.

57. Arnold 1992, 48-51.

58. Guyon 2010, 60-61, 70, 72.

59. Guyon 2010, 63, 76, 85, 89.

flancs principaux, situé entre la moelle et la périphérie du tronc, varie peu d'un bout à l'autre, leur forme définitive, en place contre les bouchains, nous montre, en revanche, un profil arqué qui induit leur cintrage pour atteindre la forme fuselée caractéristique du chaland.

La découverte de traces de pourriture a révélé la présence d'un champignon (*Cadophora fastigiata* Lagerb. & Melin) développé avant ou pendant la période de construction ou de navigation du chaland⁶⁰ et responsable de fissures profondes et de perforations relevées en diverses parties du bordé. Certaines ont été colmatées par de la poix et des tissus poissés ou réparées à l'aide de planches de bois similaires, auxquelles les planches en sapin placées sur le bordé de l'épave Ep. 4 de Lyon Saint-Georges⁶¹ pourraient s'apparenter. Mais les autres, non colmatées, ont dû fortement fragiliser le bateau et participer peut-être à son naufrage.

De nombreuses traces de hache à large tranchant, très bien conservées, couvrent entièrement les faces internes et externes des bordés en formant trois à cinq rangées chevauchantes, à l'égal des épaves Ep. 4 et Ep. 7 de Lyon Saint-Georges⁶², ainsi que les cans des bordages de flanc et de leurs planches de réparation. A la base de la face interne des bordages de flanc, le biseau pratiqué pour l'insertion du matériau d'étanchéité entre le bordé et le bouchain est grossièrement taillé de profondes entailles en lignes obliques vraisemblablement par une herminette à tranchant plat, le bordage posé à plat comme le suggèrent les traces similaires observées sur un bordage de bouchain de l'épave Ep. 3 de Lyon Saint-Georges⁶³ et attribuées au maniement d'une herminette à tranchant concave qui travaille dans le même plan horizontal.

3.5.6. Le mât de halage

Le mât de halage est façonné dans une grume de frêne commun de 14,5 cm de diamètre maximal pour une longueur de plus de 3,70 m, issue d'un arbre âgé de cinquante ans environ lors de son abattage. Cette essence semble avoir été choisie pour la fonction de ce mât destiné à recevoir les forces de traction du bateau depuis la berge. En construction traditionnelle, la légèreté et l'élasticité sont recherchées pour éviter les ruptures de mât⁶⁴, deux qualités que possède le frêne en plus de produire des fûts hauts et bien droits⁶⁵.

Cependant, assez peu durable en milieu humide⁶⁶, il est rejeté en charpenterie navale⁶⁷, ce qui semble conforter l'hypothèse d'une protection, peut-être de cuir, fixée par les clous encore fichés au sommet du mât⁶⁸. Ayant conservé son écorce, la grume est simplement épannelée aux deux extrémités et le tenon à sa base est sculpté à l'aide d'une herminette à tranchant plat. Des traces d'usure, notamment au niveau de la gorge creusée au sommet de la pièce, trahissent le frottement des cordages utiles au halage du chaland⁶⁹.

3.5.7. Les aménagements internes

Les cloisons et les planches de vaigrage et de protection de la sole résultent du sciage de grumes de sapin et d'épicéa en majorité, mais aussi de pin de type sylvestre et de chêne caducifolié, débitées dans toutes les parties du bois de la moelle à la périphérie (Va4, Va10, Va24, Va32, fig. 5). D'après l'analyse dendrochronologique de trente-six pièces, certaines sont issues d'un même arbre, comme le montre, par exemple, le débitage en planches d'un sapin au moins âgé de cent soixante-deux ans pour un diamètre minimum de 48 cm (planches de vaigrage, fig. 5) ou d'un épicéa âgé de deux cent quinze ans au moins pour un diamètre minimum de 33 cm. Ce mode de débitage montre que les charpentiers ont cherché à exploiter au maximum le rendement des grumes au détriment de la qualité de façonnage des planches qui, pour celles débitées à la périphérie, ont tendance, au séchage, à se cintrer⁷⁰. Une grande partie du plancher du fond du caisson est constituée de planches remployées, comme le montrent, sur certaines, la présence d'un clou rabattu, d'une ferrure endommagée, de chanfreins, de chevilles ou d'orifices non fonctionnels. Ces observations, confortées par l'hétérogénéité des taxons, nous montrent que l'ensemble du plancher semble constitué de pièces de qualité plus ou moins bonne sélectionnées de manière opportuniste selon leur disponibilité sur les lieux de halte du chaland, constituant à bord une réserve de bois d'œuvre disponible et remployé au gré des besoins. Le choix d'essences résineuses de moindre qualité et la variabilité des débits observés au sein de l'ensemble des aménagements internes indiquent un souci d'économie du bois d'œuvre accordé à ces planches, souvent renouvelées en fonction de leur usure car vouées à protéger l'embarcation de la cargaison ou des activités à bord. Concernant leur façonnage, deux types de traces se distinguent et coexistent parfois sur une même pièce, une partie des planches étant sciée de long, une autre étant façonnée, comme pour les cans, à la hache à large tranchant. Concernant les planches

60. Marlier (dir.) 2014, 155-157.

61. Guyon 2010, 76.

62. Guyon 2010, 80-81, 92, 94.

63. Guyon 2010, 60-61, 92, 94.

64. Ballu 2000, 87.

65. Lieutaghi 2004, 610, 617-624; Rameau, Mansion, Dumé 1989, 461; Venet 1986.

66. *Ibid.*

67. Rival 1991, 60, 67.

68. Marlier (dir.) 2014, 210.

69. Marlier (dir.) 2014, 209.

70. Rival 1991, 188.

de cloison, les orifices destinés au passage de cordages ont été taillés au ciseau droit et à la gouge qui forment des facettes lisses, planes et concaves, bordées de petites saillies de fibres arrachées aux angles.

Les traverses, poutres de section carrée, proviennent du débitage à la hache à large tranchant de bois de sapin, essentiellement, et d'épicéa. Elles sont, en majorité, équarries sur brin dans des billes de bois de bout extraites de troncs d'arbres jeunes, âgés au minimum de vingt-trois à soixante-sept ans, pour les dix pièces soumises à l'analyse dendrochronologique, et dont le diamètre approchait la largeur des poutres de 16 cm maximum, le chanfrein non écorcé de certaines pièces correspondant à la périphérie de la grume. Certaines traverses sont équarries à une extrémité la plus large correspondant à la base du tronc, l'autre extrémité vers la cime, plus fine, étant simplement écorcée. Si la sélection d'essences résineuses pour la confection de ces pièces suit la même idée d'économie du bois que le vaigrage, en revanche, le choix de ce type de débit, qui améliore la flexibilité et la résistance des pièces, est lié à leur fonction de soutien du plancher de cale et de protection de la coque.

4. CONCLUSION

À l'issue de cette étude, la quantité de bois nécessaire à la construction de la structure primaire du chaland AR3, hors caisson et aménagement interne, est évaluée à un total de cinquante à soixante-dix-sept arbres abattus, parmi lesquels quarante-sept à soixante-treize chênes caducifoliés, un à deux sapins et un épicéa, majoritairement âgés, pour la plupart matures. L'application de la dendrochronologie à des pièces confectionnées dans des essences différentes (chêne et sapin) conduit à des dates convergentes d'abattage des arbres, toutes deux distribuées sur les premières années de la deuxième moitié du I^{er} siècle de notre ère. Les chênes employés à la réalisation du chaland ont probablement poussé dans les environs de Chalon-sur-Saône, soit 400 km au nord d'Arles ; la provenance géographique des sapins demeure inconnue.

Les caractéristiques de la charpenterie mise en œuvre sur le chaland montrent une recherche de performance dans la sélection des essences et le débitage des pièces architecturales adaptés à la fonction des pièces choisies. Ainsi, la structure de base entièrement réalisée en chêne caducifolié s'oppose au bordé et aux aménagements internes où se mêlent diverses essences majoritairement de type résineux, le mât étant la seule pièce en frêne. Si la mise en œuvre des bois répond essentiellement à des exigences techniques, les contraintes environnementales ne sont pas négligeables. Malgré une riche panoplie d'outils de charpentier identi-

fiée, l'usage de la hache et de l'herminette reste très important, au détriment de la scie, plus efficace mais seulement réservée au débitage des grumes de grandes dimensions ou à l'ajustage de certaines petites pièces. D'une manière générale, les charpentiers ont délibérément choisi d'exploiter le bois d'œuvre selon son plus haut rendement en taillant les planches au plus large possible, au détriment de la qualité et malgré le surcroît de temps de travail occasionné. Les procédés de mise en œuvre des bois d'AR3, profondément empreints de l'héritage du passé, sont ainsi caractéristiques de la charpenterie navale antique et, en particulier, des chalands gallo-romains d'origine européenne.

Bibliographie

- Arnold 1992** : B. Arnold, *Batellerie gallo-romaine sur le lac de Neuchâtel, tome 1*, Saint-Blaise, Éditions du Ruau, Archéologie neuchâteloise, 12, 1992, 99 p.
- Arnold 1999** : B. Arnold, *Altaripa : archéologie expérimentale et architecture navale gallo romaine*, Neuchâtel, Musée cantonal d'archéologie, Archéologie neuchâteloise, 25, 1999, 181 p.
- Baillie 1982** : M. G. L. Baillie, *Tree-Ring Dating and Archaeology*, London, Croom Helm, 1982, 274 p.
- Ballu 2000** : J.-M. Ballu, *Bois de marine, Les bateaux naissent en forêt*, Paris, Éditions du Gerfaut, 2000, 153 p.
- Djaoui, Greck, Marlier (dir.) 2011** : D. Djaoui, S. Greck, S. Marlier (dir.), *Arles-Rhône 3, le naufrage d'un chaland antique dans le Rhône, enquête pluridisciplinaire*, Arles, Musée départemental Arles antique et Actes Sud, 2011, 224 p.
- Grenouiller 1993** : B. Grenouiller, *Les traces d'outils à bois, de l'Antiquité à nos jours*, Mémoire de D.E.A., Paris, Université de Paris I Panthéon-Sorbonne, 1993, 255 p.
- Guibal, Pomey 2002** : F. Guibal, Pomey, Essences et qualité des bois utilisés dans la construction navale antique, L'apport de l'étude anatomique et dendrochronologique, *Forêt Méditerranéenne*, XXIII, 2, 2002, 91-104.
- Guyon 2010** : M. Guyon, Les épaves, in : E. Rieth (dir.), *Les épaves de Saint-George, Lyon, I^{er}-XVIII^e siècles, Analyse architecturale et études complémentaires*, Paris, CNRS Éditions, 2010, 48-97 (Archaeonautica, 16).
- Jacquot 1955** : C. Jacquot, *Atlas d'anatomie des bois des conifères*, 2 tomes, Paris, Centre technique du bois, 1955, 134 p., 64 pl.
- Jacquot, Trénard, Dirol, 1973** : C. Jacquot, Y. Trénard, D. Dirol, *Atlas d'anatomie des bois d'angiospermes (Essences feuillues)*, 2 tomes, Paris, Centre technique du bois, 1973, 176 p., 72 pl.
- Lambert 1998** : G.-N. Lambert, La dendrochronologie, mémoire de l'arbre, in : A. Ferdière (dir.), *Les méthodes de datation en laboratoire*, Paris, Éditions Errance, Collection «archéologiques», 1998, 13-69.
- Lambert, Lavier 1992** : G.-N. Lambert, C. Lavier, L'étalon dendrochronologique Bourgogne 29, in : B. Maurice, G.-N. Lambert (dir.), *Les veines du temps. Lectures de bois en Bourgogne*, Catalogue d'exposition, Autun, Musée Rolin, 1992, 123-156.

- Lieutaghi 2004 :** P. Lieutaghi, *Le livre des arbres, arbustes et arbrisseaux*, Arles, Acte Sud, 2004 (1^{re} édition : Robert Morel, 1969), 2004, 1322 p.
- Lonchambon 2000 :** C. Lonchambon, Un bateau monoxyle-assemblé à Chalon-sur-Saône (1^{er} siècle apr. J.-C.), in : *Archéologie des fleuves et des rivières*, Paris, Éd. Errance et Ville de Chalon-sur-Saône, 2000, 174-178.
- Marlier dir. 2014 :** S. Marlier (dir.), *Arles-Rhône 3, Un chaland gallo-romain du I^{er} siècle après Jésus-Christ*, Paris, CNRS Éditions et Musée départemental Arles antique, 2014, 330 p. (Archaeonautica, 18).
- Rameau, Mansion, Dume 1989 :** J.-C. Rameau, D. Mansion, G. Dume, *Flore forestière française, Guide écologique illustré*, t. 1 : *Plaines et collines*, Paris, Institut pour le Développement Forestier, 1989, 1786 p.
- Rameau, Mansion, Dume 1993 :** J.-C. Rameau, D. Mansion, G. Dume, *Flore forestière française, Guide écologique illustré*, t. 2 : *Montagnes*, Paris, Institut pour le Développement Forestier, 1993, 2421 p.
- Rieth 1998 :** E. Rieth, *Des bateaux et des fleuves. Archéologie de la batellerie du Néolithique aux Temps modernes en France*, Paris, Éd. Errance, 1998, 159 p.
- Rieth 2011 :** E. Rieth, L'épave du chaland gallo-romain de la place Tolozan à Lyon : approche d'une tradition régionale de construction « sur sole » en relation avec l'architecture navale maritime méditerranéenne, in : G. Boetto, P. Pomey, A. Tchernia (dir.), *Batellerie gallo-romaine, Pratiques régionales et influences maritimes méditerranéennes*, Paris, Édition Errance, 2011, 63-72 (Bibliothèque d'Archéologie Méditerranéenne et Africaine, 9).
- Rossiaud 2007 :** J. Rossiaud, *Le Rhône au Moyen Âge*, Paris, Aubier Flammarion, Collection historique, 2007, 648 p.
- Rival 1991 :** M. Rival, *La charpenterie navale romaine, Matériaux, méthodes, moyens*, Paris, Éditions du CNRS, Travaux du Centre Camille Jullian, 4, 1991, 333 p.
- Schweingruber 1982 :** F. H. Schweingruber, *Mikroskopische Holz-anatomie, Anatomie microscopique des bois, Microscopic wood anatomy*, Teufen, F. Flück-Wirth, Internationale Buchhandlung für Botanik und Naturwissenschaften, 1982 (1^{re} édition : Zug, Institut Fédéral de Recherches Forestières, Éd. Zürcher AG, 1978), 226 p.
- Schweingruber 1990 :** F. H. Schweingruber, *Anatomie europäischer Hölzer, Anatomy of European woods*, Bern und Stuttgart, Haupt, 1990, 800 p.
- Venet 1986 :** J. Venet, *Identification et classement des bois français*, Nancy, E.N.G.R.E.F., 1986 (2^e édition revue par R. Keller), 312 p.
- Vernet et al. 2001 :** J.-L. Vernet, P. Ogereau, I. Figueiral, C. Machado Yanes, P. Uzquiano, *Guide d'identification des charbons de bois préhistoriques et récents, Sud-ouest de l'Europe : France, Péninsule ibérique et îles Canaries*, Paris, éd. du CNRS, 2001, 396 p.

Venise, de sa fondation à son apogée comme puissance maritime : approche archéologique et dendrochronologique

Olivia Pignatelli*

Résumé

Les analyses dendrochronologiques menées sur des échantillons en bois prélevés sur des structures archéologiques et des bâtiments historiques de Venise, conduites à partir des années 1990 par le laboratoire Dendrodata s.a.s., ont permis de dater différentes phases d'édification qui couvrent une période de plus de mille ans. Les structures les plus anciennes sont des endiguements en bois découverts lors de fouilles archéologiques, qui remontent à la deuxième moitié du VII^e siècle cal AD ; les plus récentes sont les charpentes du XIX^e siècle étudiées dans le complexe de l'Arsenal.

Mots-clés : dendrochronologie, *Quercus* sp., *Larix decidua* Mill., chronologie de référence, Haut Moyen Âge, structure d'endiguement.

Abstract

Dendrochronological analysis carried out by the laboratory Dendrodata s.a.s. from the '90 of the last century on a conspicuous number of samples coming from some wooden structures excavated in archeological sites and from some historical buildings of Venice allowed to date different building phases over more than 1000 years. The most ancient structures are represented by the wooden waterfronts onto the lagoon, dated to the second half of the 7th century AD ; the most recent are the wooden structures of the 19th century of the Arsenal compound.

Keywords: dendrochronology, *Quercus* sp., *Larix decidua* Mill., reference chronology, early medieval age, waterfront.

1. INTRODUCTION

L'histoire de la ville de Venise est intimement liée au bois, matériau dont sont faites les fameuses structures de fondation, les charpentes des anciens palais, les structures d'endiguement du Haut Moyen Âge, créées pour gagner du terrain sur la lagune, mais aussi les navires, qui ont fait de Venise une puissance maritime. Le patrimoine considérable en bois dont Venise est riche constitue une importante source de données pour la création de chronologie de référence et, ainsi, la dendrochronologie contribue à la reconstruction de l'histoire de la ville et de ses bâtiments historiques. En effet si l'histoire de Venise est connue pour ce qui concerne la période de la Serenissima (mi VIII^e siècle-1797), rares sont les documents écrits mentionnant les premiers sites fondés sur les îles de la lagune, qui d'après les

sources historiques sont occupés de manière intensive aux V^e et VI^e siècles, suite à la chute de l'autorité romaine sur le territoire. La présence de structures de fondation en bois dans la ville de Venise est attestée par les vestiges archéologiques datés des VI^e-VII^e siècles cal AD retrouvés dans les carottages effectués à San Lorenzo, près de la place de San Marco¹, et par les restes des structures de fondation (pieux et « zatteroni », ou plateformes) retrouvés dans les carottages effectués dans différentes parties de la Basilique San Marco et qui ont été datés entre le V^e et le XII^e siècle cal AD. Il faut souligner que l'absence des cernes près de la périphérie du tronc suggère que les datations les plus anciennes sont impactées par l'*old-wood effect*².

1. Ammermann, De Min, Housley 1992.

2. Martinelli 2003.

* Laboratorio Dendrodata, via Pigna 14, I-37121, Verona, Italia.



Fig. 1 – Localisation des sites archéologiques du Haut Moyen Âge : 1) Ca' Foscari, 2) Teatro Malibran, 3) ex-Cinema San Marco; dans le cadre en bas à gauche, la surface fouillée de 22 m de longueur; nouvelle élaboration par Meadows *et al.* 2012, dessin de J. Meadows d'après une figure de Fozzati et Cester (2005).

À partir des années 1990, une intense collaboration a été entreprise entre le laboratoire de dendrochronologie de la société Dendrodata s.a.s. de Vérone et la *Soprintendenza per Beni archeologici di Venezia e Laguna* et la *Soprintendenza per i Beni Architettonici di Venezia* pour l'étude systématique des structures en bois découvertes dans les fouilles archéologiques ou devenues accessibles au cours des travaux de restauration.

Les analyses ont été conduites sur des sections de bois gorgé d'eau, prélevées dans les structures des sites archéologiques et par des carottes prélevées dans les poutres des charpentes des bâtiments historiques, ou plus rarement, par des sections prélevées sur les poutres déposées au cours des travaux de restauration.

L'acquisition et l'élaboration des séries de cernes ont été effectuées en suivant les méthodologies classiques de l'analyse dendrochronologique³, la mesure des largeurs des cernes a été réalisée avec une précision au centième de mm au moyen de la table de mesure LINTABTM de RINNTECHTM, les données obtenues ont été élaborées avec les programmes TSAP[®] et CATRAS[®]⁴.

Dans cet article sont présentées quelques études déjà publiées sur les structures des sites archéologiques et les charpentes des bâtiments historiques.

2. LES SITES ARCHÉOLOGIQUES

Les plus anciens échantillons étudiés sont ceux qui proviennent des fouilles archéologiques conduites entre 1999 et 2004, dans les sites du Teatro Malibran (situé près du Ponte di Rialto et fouillé en 1999), de l'ex-Cinéma S. Marco (fouillé en 2000, près de la Place de San Marco) et de Ca' Foscari (fouillé en 2004) (fig. 1). Les séquences stratigraphiques des trois sites couvrent une période de près de 1000 ans. Les échantillons proviennent des structures d'endiguement en bois construites pour gagner du terrain sur la lagune et sont datés de la deuxième moitié du VII^e siècle cal AD. Ces structures sont constituées par des pieux et des planches, pour la plupart en bois de chêne et d'orme. Des structures *a volparoni* (sortes de clôtures en clayonnage) constituées d'un entrelacement de petits pieux et de petites branches ont été aussi retrouvées, mais elles n'ont pas fourni d'échantillons adaptés à l'étude dendrochronologique. À cause de l'absence de chronologies de référence locales pour les deux essences examinées (le chêne et l'orme), nous avons dû recourir à la méthode du *Wiggle-matching*, associant dendrochronologie

3. Baillie 1982, Fritts 1976.

4. Aniol 1983, Rinn 2003.



Fig. 2 – Les fouilles de l'ex-Teatro Malibran (photo: Archeoassociati Bettinardi Cester, autorisation du Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo; reproduction interdite).

et radiocarbone et permettant d'obtenir des datations de haute précision. La bonne synchronisation mise en évidence entre les séquences en chêne des deux premiers sites analysés, le Teatro Malibran et l'ex-Cinéma San Marco, a permis d'établir une chronologie pour le Veneto oriental, longue de 250 ans, qui comprend les 42 séries de ces deux sites vénitiens et les séries de deux artefacts du Veneto. Le dernier cerne de cette chronologie du chêne est daté de l'an 699 ± 21 cal AD. Les échantillons en bois d'orme de l'ex-Cinéma San Marco ont été datés sur cette chronologie du Haut Moyen Âge⁵.

Dans le cas du Teatro Malibran et de l'ex-Cinéma San Marco la présence sur quelques pieux du dernier cerne formé sous l'écorce a permis de déterminer avec précision la date d'abattage des arbres utilisés. Les structures les plus anciennes sont celles étudiées dans le site du Teatro Malibran, où l'abattage des troncs utilisés remonte à l'automne-hiver 661/662 cal AD (fig. 2).

5. Martinelli, Kromer 2002.



Fig. 3 – Détail des structures en bois de Ca' Foscari (photo: Archeoassociati Bettinardi Cester, autorisation du Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo; reproduction interdite).

Plus récentes de vingt-neuf ans, les structures en bois du site de l'ex-Cinéma San Marco (fouillé en 2000) sont réalisées avec des arbres abattus durant l'automne-hiver 691/692 cal AD.

Du site de Ca' Foscari (fouillé en 2004) (fig. 3), proviennent seulement quelques échantillons, trois en chêne et trois en orme. Deux d'entre eux ont été datés sur la chronologie du chêne du Haut Moyen Âge, déjà mentionnée. Ces derniers, un pieu en chêne et une planche en orme, tous les deux sans leurs cernes périphériques, remontent à la deuxième moitié du VII^e siècle cal AD. Le dernier cerne du pieu est daté en l'an 654 cal AD, tandis que le dernier cerne de la planche est daté en l'an 672 cal AD⁶.

Les structures d'endiguement (murs palissadés) composées par des pieux en chêne et des planches en bois de résineux du site de S. Alvisè, à Cannaregio fouillé en 1996-1997 sont plus récentes, datées du XIV^e siècle. La présence d'éléments

6. Martinelli, Kromer 2002.

en bois de mélèze, épicéa et sapin, qui dans quelque cas conservaient les cernes les plus proches de l'écorce, a permis, outre la datation absolue par la dendrochronologie, d'identifier avec précision les phases d'abattage des arbres utilisés pour les structures d'endiguement nommées Y et X. La structure Y a été édifiée en premier avec des troncs dont l'abattage remonte à 1342 AD ou quelques années après. La structure X, plus récente de quelques dizaines d'années, est composée de deux cloisons verticales en planches, l'une côté terre, l'autre côté lagune. Les abattages des troncs utilisés pour les deux cloisons se placent respectivement autour de 1368 AD et entre 1367 AD et 1379 AD. L'application d'un modèle bayésien comprenant soit les datations obtenues par la dendrochronologie et le radiocarbone, soit les données archéologiques et stratigraphiques, a permis de dater avec une grande précision la structure en bois de chêne, qui couvre une période d'une dizaine d'années autour du 1400 cal AD⁷.

3. LES BÂTIMENTS HISTORIQUES

À Venise, les bâtiments historiques étudiés, soit civils, soit religieux, comme le complexe de l'Arsenal, sont nombreux. Les bâtiments privés sont plus rares, principalement à cause de problèmes liés au financement de leur étude.

3.1. Santa Maria Gloriosa dei Frari

Parmi les bâtiments religieux étudiés nous voulons mentionner l'église de Santa Maria Gloriosa dei Frari, dont nous avons analysé la charpente de la toiture en bois de mélèze. En tout 36 poutres des différentes parties de la charpente ont été examinées. La présence de l'aubier sur quelques-unes des poutres échantillonnées a permis de déterminer une étroite période d'abattage des mélèzes utilisés⁸ et de mettre en évidence les phases de construction du bâtiment (fig. 4) Ainsi, les mélèzes utilisés pour les fermes de l'abside ont été les premiers à être abattus pour l'approvisionnement du chantier. Leur date d'abattage a été fixée dans la deuxième moitié du XIV^e siècle, plus précisément entre 1364 et 1376 AD. Les mélèzes dont proviennent les poutres de la nef ont été abattus dans la première moitié du XV^e siècle. Dans l'abside, une poutre qui conserve des traces d'écorce, a été obtenue d'un arbre abattu à l'automne-hiver 1869-1870 AD : elle témoigne d'une restauration du XIX^e siècle⁹.

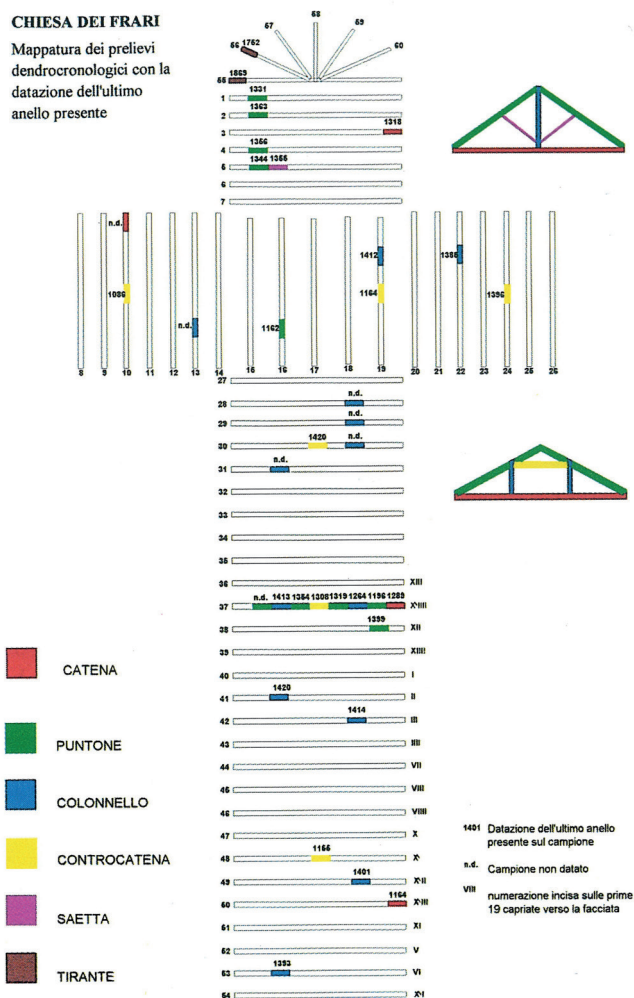


Fig. 4 – Plan de la charpente de la toiture de l'Église de Santa Maria Gloriosa dei Frari avec l'indication de datations obtenues (dessin Claudio Menichelli in Menichelli, Piana, Pignatelli 2002).

3.2. Palais gothique de la Merceria San Salvador

Des résultats intéressants ont été obtenus lors de l'analyse dendrochronologique d'un bâtiment civil, le petit palais gothique de la Merceria San Salvador, où à la suite de la démolition d'un plafond sans valeur, a été découvert un plafond à caissons en bois soigneusement ouvragé et, sur les murs entre les poutres, des vestiges de décoration à fresque (fig. 5). À certains endroits, le plâtre peint à fresque était en relation avec les poutres, révélant la contemporanéité de la réalisation du plâtre et du plafond. Il a donc été décidé de faire des analyses dendrochronologiques sur les poutres et sur les planches pour obtenir des informations sur la datation du plafond, et aussi sur la datation des décorations du bâtiment originel. Sept éléments rigoureusement sélectionnés ont été examinés : quatre poutres, toutes en épicéa et trois planches en épicéa et sapin. Les épaisseurs des cernes étaient bien lisibles sur le plan radial des planches du plafond : après nettoyage, elles ont été enregistrées par

7. Martinelli *et al.* 2014.

8. Corona 1984.

9. Menichelli, Piana, Pignatelli 2000; Menichelli, Pignatelli 2002.



Fig. 5 – Détail de la décoration à fresque sur le mur entre les poutres (photo : C. Menichelli).

photographie. Même si un nombre limité d'éléments a été examiné, nous avons réussi à les dater. Le dernier cerne des échantillons datés (dont la moyenne est composée de trois poutres et une planche, toutes en épicéa), est situé entre les années 1446 AD et 1452 AD. L'absence du cambium et l'appartenance à une essence sans aubier visible ont limité la précision des résultats : 1452 AD est le *terminus ante quem* de la construction (cela signifie que dans ce cas, plusieurs années ont pu s'écouler entre cette date de 1452 et la construction). Il faut souligner que la grande convergence des dates et le fait que plusieurs échantillons ont leur dernier cerne daté de la même année suggèrent une hypothèse de datation pour la réalisation du plafond qui ne devrait pas être postérieure à 1480 AD. Cette datation du plafond en bois est particulièrement intéressante car elle a permis de situer dans le temps la phase de construction principale, du bâtiment, et du plâtre décoré à fresque, qui est certainement contemporains du plafond en bois¹⁰.

3.3. L'Arsenal

L'Arsenal, symbole de la puissance maritime de Venise, a une superficie de 48 hectares environ, et est actuellement constitué de plus de 100 bâtiments, datés du XIV^e au XIX^e siècles (fig. 6). Aucun des bâtiments de la phase la plus ancienne, datée d'après la documentation historique du XIII^e siècle, n'a été préservé. Les charpentes de toitures étudiées représentent un exemple de plusieurs siècles de technologie constructive, strictement liée à l'activité du chantier naval. Les analyses présentées ici se sont déroulées au cours des travaux de restauration du complexe durant presque quinze ans, à partir des années 1990. Elles ont porté sur 228 éléments en bois provenant

de 16 bâtiments. Récemment, d'autres analyses sur d'autres bâtiments ont été effectuées. Les éléments examinés, tous en bois de résineux, appartiennent presque exclusivement aux charpentes des toitures, sauf dans le cas des bâtiments nommés *Tese al carbone delle Vergini*, où quelques échantillons proviennent des soupentes. La plupart des poutres sont en bois de mélèze (222), quelques-unes seulement sont en épicéa et en sapin. Nous avons réussi à dater 168 poutres, c'est-à-dire 74,12% des poutres examinées. Ce nombre élevé de bois datés est lié au grand nombre d'échantillons examinés dans les différents bâtiments et au fait que dans la plupart des cas, ils sont en mélèze, essence pour laquelle l'on dispose de nombreuses chronologies de référence pour le secteur oriental des Alpes

et pour la ville de Venise¹¹. La présence même incomplète de l'aubier des mélèzes a permis de calculer une période étroite pour l'abattage ; le dernier cerne sous l'écorce est conservé sur une des poutres de la Corderie et il est daté de l'automne hiver 1579-1580. La précision des datations dendrochronologiques obtenues a permis de suivre les différentes phases d'édification dans le complexe de l'Arsenal et d'identifier les bâtiments qui conservaient des structures originelles. Des bois de remploi et des restaurations ont aussi été mis en évidence. De même la présence sur des poutres de marques commerciales typiques de la région du Cadore (à la frontière autrichienne) a été signalée.

Les charpentes de toitures les plus anciennes sont celles en mélèze des bâtiments nommés *Tese all'Isolotto*, qui remontent au milieu du XIV^e siècle (fig. 7). Les *Tese all'Isolotto* sont constitués de deux bâtiments, dont l'un est le seul vestige d'une série de 17 « squeri » (chantiers de construction navals) qui occupaient l'extension septentrionale de l'Arsenal nouveau. Aucun des bâtiments étudiés n'a de charpentes en bois du XV^e siècle. Les bâtiments du XVI^e siècle sont les *Tese Cinquecentesche*, les *Corderie* e les *Tese 111, 112 et 113*, à l'extrémité orientale de la *Novissima*. Des poutres obtenues avec des mélèzes abattus au cours du XVI^e siècle ont été trouvées dans les *Galeazze* et dans l'édifice 229. Des bois datés des XIII^e et XVI^e siècles ont été identifiés dans les *Gaggiandre* (fig. 8) et dans les *Artigherie*. Ces dernières constituent, avec les *Tese del carbone alle Vergini*, les bâtiments qui présentent les éléments en bois les plus récents, datés du XIX^e siècle. Les bois des *Tese delle Vergini* sont contemporains ou très légèrement postérieurs à ceux des *Artigherie* : les poutres en mélèze des *Tese delle Vergini* sont

10. Menichelli, Pignatelli 2002.

11. Bebbler 1990; Bebbler *et al.* 1992, Huesken, Schirmer 1993; Levanic, Pignatelli, Cufar 2002, Nola, Motta 1996.



Fig. 6 – Les bâtiments de l’Arsenal de Venise : datations des fermes des toitures d’après les sources historiques (dessin Giulia Bettioli, in Menichelli, 2009).

datées entre 1866 et 1884 pour ce qui concerne les fermes Polonceau du bâtiment A et entre 1869 et 1894 pour ce qui concerne les structures du bâtiment B. Les poutres en sapin de la soupenne du même édifice sont postérieures à 1950. Les bois des *Tese alle Vergini* sont parfaitement contemporains de la date de la construction du bâtiment, placée entre 1873 et 1888, contrairement à ceux des *Artiglierie* qui témoignent d’une reprise des charpentes au XIX^e siècle (la construction originelle remonte au XVI^e siècle). La présence, déjà mentionnée, dans les charpentes du XIX^e siècle d’éléments plus anciens, témoigne de l’utilisation de poutres de remploi, provenant probablement d’édifices démolis à l’intérieur du complexe de l’Arsenal ou récupérées des structures des *Artiglierie* même¹².

4. CONCLUSIONS

Ainsi, les analyses dendrochronologiques appliquées de façon systématique aux structures en bois de Venise ont permis de dater des vestiges qui couvrent une période de plus de mille ans.

Les fouilles conduites dans les sites archéologiques du Teatro Malibran, de l’ex-Cinéma San Marco et de Ca’ Foscari ont mis au jour d’anciennes structures d’endiguement dont la datation dendrochronologique a permis de mettre en évi-

dence les phases les plus anciennes de construction dans la ville de Venise, qui remontent à la deuxième moitié du VII^e siècle cal AD. Dans le cas du Teatro Malibran et de l’ex Cinéma San Marco, grâce à la dendrochronologie, des phases d’abatage qui se situent à 29 ans de distance l’une de l’autre ont été identifiées. Les essences utilisées dans ces structures mettent en évidence l’usage exclusif de bois de feuillu, pour la plupart du chêne et de l’orme. Dans les structures d’endiguement datées du XIV^e siècle, fouillées dans le site de S. Alvise, outre le chêne, l’usage de planches en bois de résineux est avéré. Sa provenance est à rechercher dans la région alpine au nord de Venise. Dans les constructions historiques les bois utilisés sont exclusivement des bois de résineux, majoritairement du mélèze, bois doué de bonnes caractéristiques mécaniques, présent dans les bâtiments les plus importants.

Les bois dans les structures du Haut Moyen Âge, exclusivement en feuillu, documentent l’usage d’essences qui se trouvent facilement dans les forêts de la plaine, proches de la lagune. Les bois les plus adaptés du point de vue technologique pour l’emploi en milieu submergé, tels que le chêne et l’orme, ont été sélectionnés. Plus tard, les charpentiers vénitiens ont aussi utilisé des bois originaires de la région alpine, lesquels ont été transportés par voie fluviale jusqu’à Venise ; à ce propos il faut rappeler que les chênes étaient employés par la Serenissima principalement pour la construction et l’entretien de la flotte navale, à tel point

12. Menichelli *et al.* 2009.



Fig. 7 – Arsenale – Isolotto: prélèvement avec la tarière de Pressler (photo: Dendrodata s.a.s.).



Fig. 8 – Arsenale – Gaggiandre (photo: C. Menichelli).

qu'à partir de 1470 l'usage du chêne du domaine vénitien, fut exclusivement réservé par la loi aux chantiers navals¹³.

Remerciements

Je tiens à exprimer mes plus vifs remerciements à Jean-Louis Edouard et Lisa Shindo, qui ont vérifié et corrigé mon texte français et au Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo, qui a donné son autorisation à la publication des photos des fouilles archéologiques de l'ex-Teatro Malibran et de Ca' Foscari.

Bibliographie

- Ammermann, De Min, Housley 1992**: A. J. Ammermann, M. De Min, R. Housley, New evidence on the origins of Venice, *Antiquity* 66, 253, 1992, 913-916.
- Aniol 1983**: R. W. Aniol, Tree-ring analysis using CATRAS, *Dendrochronologia*, 1, 1983, 45-53.
- Baillie 1982**: M. G. L. Baillie, *Tree-ring dating and archaeology*, London – Canberra, 1982, 274 p.
- Bebber 1990**: A. E. Bebbler, Una cronologia del larice (*Larix decidua* Mill.) delle Alpi orientali italiane, *Dendrochronologia*, 8, 1990, 119-139.
- Bebber et al. 1992**: A. Bebbler, M. Burro, N. Martinelli, O. Pignatelli, M. Stroppa, Coniferous tree-ring chronologies for Northern Italy, *Lundqua report*, 34, 1992, 14-16.
- Casti Moreschi, Zolli 1998**: E. Casti Moreschi, E. Zolli, *Boschi della Serenissima. Storia di un rapporto uomo-ambiente*, 1998, 132 p.
- Corona 1984**: P. Corona, Anelli d'alburno in larice cisalpino, *Dendrochronologia*, 2, 1984, 91-97.
- Fritts 1976**: H. C. Fritts, *Tree ring and climate*, Academic press, London-New York-San Francisco, 1976, 576 p.
- Hüschen, Schirmer 1993**: W. Huesken, W. Schirmer, Drei Jahrringchronologien aus den Prager Dolomiten/Südtirol, *Dendrochronologia*, 11, 1993, 123-137.
- Levanic, Pignatelli, Cufar 2002**: T. Levanic, O. Pignatelli, K. Cufar, A regional larch chronology of trees and historic buildings from Slovenia and Northern Italy, *Dendrochronologia*, 2002, 221-229.
- Martinelli, Kromer 2002**: N. Martinelli, B. Kromer, *A new oak chronology for early medieval times in the Veneto region*, Atti del 2° Congresso Nazionale di Archeometria, 2002, 293-304.
- Martinelli 2003**: N. Martinelli, Le datazioni radiometriche col ¹⁴C sui resti lignei strutturali. Appendice B, in: R. Cecchi (dir.), *La Basilica di San Marco. La costruzione bizantina del IX secolo. Permanenze e trasformazioni*, Marsilio Editori, Venezia, 2003, 157-166.
- Martinelli et al. 2014**: N. Martinelli, J. Meadows, E. Valzolgher, O. Pignatelli, L. Anglani B. Kromer, Combining dendrochronology and radiocarbon dating at the Late Medieval site of Sant'Alvise, Venice, Italy, in: R. H. Tykot (dir.), *Proceedings of the 38th International Symposium on Archaeometry – May 10th-14th 2010, Tampa, Florida*, *Open Journal of Archaeometry*, 2, 2014, 52 -63.
- Meadows et al. 2012**: J. Meadows, N. Martinelli, O. Pignatelli, R. Cester, L. Fozzati, B. Kromer, Keeping the sea out: early medieval structures at Ca' Foscari University, Venice, Italy, in: E. Boaretto, N. R. Rebollo Franco (dir.), *Proceedings of the 6th International Radiocarbon and Archaeology Symposium, Pafos, Cyprus, April 10-15, 2011*, *Radiocarbon*, 54, 3, 4, 2012, 567-579.
- Menichelli, Piana, Pignatelli 2000**: C. Menichelli, M. Piana, O. Pignatelli, La dendrocronologia e l'edilizia storica: primi risultati di una ricerca sugli edifici gotici veneziani, in: *L'Architettura gotica veneziana, Atti del Convegno internazionale di studio*, Venezia, 27-29 novembre 1996, 2000, 83-92.
- Menichelli, Pignatelli 2002**: C. Menichelli, O. Pignatelli, Dendrocronologia e architettura, *Kermes*, 45, anno XV, Firenze, 2002, 33-43.
- Menichelli et al. 2009**: A. Adami, C. Balletti, C. Bertolini Cestari, G. Bettiol, G. Biglione, C. Brito De Carvalho, E. Egarbin, F. Gerbaudi, F. Guerra, S. Mander, C. Menichelli, G. Pagliarino, F. Pasteris, M. Piana, O. Pignatelli, L. Pilot, M. R. Valluzzi, P. Vernier, Le strutture lignee dell'Arsenale di Venezia. Studi e restauri, in: C. Menichelli (dir.) *In Atti del XXV Convegno Scienza e Beni Culturali "Conservare e Restaurare il Legno. Prospettive, esperienze, prospettive"*, Bressanone, 23-26 giugno 2009, 1163-1216
- Nola, Motta 1996**: P. Nola, R. Motta, Una cronologia plurisecolare di larice (*Larix decidua* Mill.) per l'Alta Val Malenco (Sondrio, Italia), *Dendrochronologia*, 14, 1996, 31-42.
- Rinn 2003**: F. Rinn, TSAP-Win™. Time series analysis and presentation for dendrochronology and related application. Version 0.59 for Microsoft Windows 98, 2000, XP. User reference, Rinntech ed., Heidelberg, 2003.
- Schweingruber 1988**: F. H. Schweingruber, *Tree Rings. Basic and applications of dendrochronology*, Reidel, Dordrecht, 1988, 276 p.

13. Casti-Moreschi, Zolli 1998.

Archéologie du bâti et dendrochronologie

*Andreas Hartmann-Virnich**

Résumé

La thématique du présent colloque serait incomplète sans un regard sur le vaste sujet de la relation interdisciplinaire entre dendrochronologie et étude archéologique de la construction. Toutefois, notre brève contribution ne saurait qu'esquisser un rappel succinct de l'apport de la dendrochronologie à l'archéologie du bâti, à partir d'un choix d'exemples qui ont jalonné la recherche archéologique, et accompagné son développement. Notre résumé retrace dans ses grandes lignes les points abordés, sans prendre la forme d'un article à part entière, qui ne viendrait que s'ajouter aux synthèses déjà accessibles, bien que la place marginale voire l'absence de l'archéologie du bâti dans les manuels invite à militer pour une plus grande visibilité de ses méthodes, interdisciplinarités et perspectives.

Mots-clés : Archéologie du bâti, dendrochronologie, datation, archéométrie, construction médiévale et moderne, techniques de construction, échafaudage médiéval, charpente de toit, plafond, tirant.

Abstract

This article attempts briefly to highlight the chief aspects of the constructive interdisciplinary relationships between dendrochronology and building archaeology, which have been developed during the past decades. Since it would be impossible to do justice to this vast research field to its full extent in an article, a short account with a choice of case studies and published overviews is preferred.

Keywords: Building archaeology, dendrochronology, dating, archaeometry, mediaeval and modern construction, building techniques, mediaeval scaffolding, timber roofs, ceiling, tie-beam.

La thématique du présent colloque serait incomplète sans un regard sur l'intime relation interdisciplinaire entre dendrochronologie et étude archéologique de la construction, pleinement intégrée depuis longtemps dans les protocoles de recherche en vigueur¹. Toutefois, l'étendue et l'importance du sujet exigeraient la tenue d'un colloque spécifique. De ce fait, notre brève contribution ne saurait qu'esquisser un rappel succinct de l'apport de la

dendrochronologie à l'archéologie du bâti² à partir d'un choix d'exemples qui ont jalonné la recherche archéologique, et accompagné son développement. Conformément à ce choix déontologique et formel assumé, le résumé ci-après retrace dans ses grandes lignes les points abordés, sans prendre la forme d'un article à part entière, qui ne viendrait que s'ajouter aux synthèses déjà disponibles³, bien que la place marginale voire l'absence de l'archéologie du bâti

1. Busen *et al.* 2015, 93-95, Brogiolo, Cagnana 2017 (2012), chap. 2.3.7, 68; Perrault 2011; Schuller 2002, 22, 29; Cagnana 2000, 215-231; Bessac *et al.* 1999, 125-126; Bessac *et al.* 2004, 141-144; Doucerain, Girardclos 1998; Ferrando Cabona 1998; Castelletti 1998; Lambert, Lavier, Perrier, Vincenot 1988, 292, 303; Mannoni 1984, Schwabedissen 1983.

2. Pour des résumés et mises en perspectives générales voir, à titre d'exemple, Büttner, Prigent 2010, 188-189.

3. À titre d'exemple : Bernardi 2011, 137-142, 180-187, 191-192, 197-201, 222-241; Bernard, Le Digol 2008; Burnouf 2009, 181-191, 228-230; Hoffsummer 2003a, Hoffsummer 2003b; Houbrechts, Eeckhout 2003.

dans les manuels⁴ invite à militer pour une plus grande visibilité de ses méthodes, interdisciplinarités et perspectives⁵.

L'approche conjointe des bois de construction par l'archéologie et la dendrochronologie peut être considérée de manière générale selon plusieurs axes étroitement interdépendants, en distinguant au premier chef les matériaux structurels qui font, au sens large, partie intégrante et permanente de l'ouvrage, ceux du second œuvre⁶ et ceux qui appartiennent aux installations provisoires du chantier dont les restes, parfois même la seule empreinte laissée dans le mortier⁷, permettent une datation dendrochronologique⁸. La possibilité de dater ces éléments dépend au premier chef de l'essence et de la qualité des bois utilisés, du nombre de cernes, de l'état de conservation, des conditions climatiques de l'époque et de l'origine géographique et micro-géographique des ressources forestières⁹, comme le démontrent, à titre d'exemple, les difficultés de l'étude de la charpente de grange cistercienne de Ter Doest en Belgique (1370-1385d), construite avec des chênes locaux très jeunes qui présentaient des schémas de croissance très variables, et pour lesquels la datation avait échoué dans un premier temps en l'absence d'une courbe de référence régionale¹⁰.

Dans tous les cas il se pose la question fondamentale de la relation entre la date de la mort de l'arbre et celle de l'emploi du bois transformé ou non transformé dans la construction en question. Les sources écrites¹¹ et les études archéologiques relatives aux constructions charpentées mettent régulièrement en évidence la réutilisation de pièces dont la forme conserve les traces de l'emploi initial : emboîtements, tenons, mortaises, trous de cheville, marques d'assemblage. L'identification de tels éléments est donc essentielle pour, d'une part, garantir la pertinence d'un prélèvement à des fins de datation de la structure initiale, et d'autre part pour la restitution d'un état antérieur, comme l'ont démontré les recherches de Frédéric Épaul sur les charpentes normandes (fig. 1).¹² Face au risque d'une prise en compte accidentelle de bois résiduels réemployés pour la datation d'une construction, une analyse archéologique et dendrochronologique sérielle de plusieurs bois dans un même contexte constructif est susceptible de consolider l'argumentaire en faveur d'un rapprochement de la date

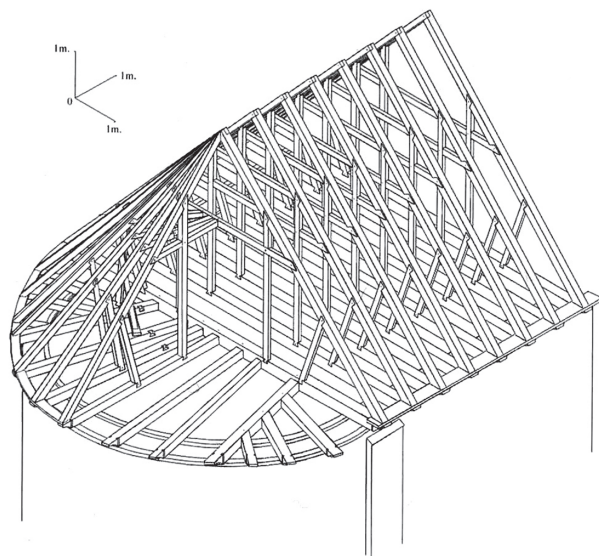


Fig. 1 – Restitution axonométrique de la charpente de Neufmarché-en-Lyons (1127-1133d) d'après Frédéric Épaul (Épaul 2007, 258, fig. 9).

d'abattage et de celle de la mise en œuvre. Il en va ainsi, à titre d'exemple, pour les pieux de fondation de la porterie du palais impérial de Gelnhausen, datés de 1169/1170d¹³, et pour le gril de fondation du pont de Weidenhausen à Marbourg (Allemagne), une structure soignée réalisée avec des bois coupés en 1552¹⁴. Outre l'intérêt de la sériation d'études de constructions charpentées à l'échelle régionale pour la consolidation des courbes de référence¹⁵, l'étude sérielle s'impose en particulier pour l'étude constructive, architecturale et chronotypologique des grandes constructions charpentées : plafonds, charpentes de toit et pans de bois, pour lesquels le croisement des données confirme d'ailleurs non rarement la pratique habituelle d'un abattage au cours de l'automne-hiver précédant l'année de la mise en œuvre¹⁶. Lorsque les ressources forestières sont éloignées du lieu du chantier, le délai imposé par l'organisation du transport par voie fluviale et par le commerce des bois de charpente¹⁷ peut être pris en compte, bien qu'il dépasse rarement la durée de quelques mois, le bois étant généralement transformé «vert» ou chargé de l'humidité du flottage, ne séchant qu'après l'assemblage¹⁸. L'emploi d'anciens stocks inutilisés à côté du bois neuf semble exceptionnel, comme à la cathédrale de Bayeux où la charpente du bras nord du transept construite en 1250d comprend une dizaine de bois abattus en 1218d¹⁹.

4. À titre d'exemple: Demoule, Giligny, Lehoërf, Schnapp 2009, 78-79; Cattedu 2009; Renfrew, Bahn 2007.

5. Voir notre bilan historiographique dans Hartmann-Virnich 2010.

6. Fraiture 2014.

7. Cf. Hollstein 1980, 122 sq.

8. Cf. Hoffsummer 2003a.

9. Cf. Lambert 2011.

10. Nuytten 2016, 278.

11. Bouticourt 2016, 55.

12. Épaul 2007, 41-43 et *passim*.

13. Klein 2004, 67, Fig. 3-4.

14. Klein 2004, 67, Fig. 5.

15. Cf. Doucerain, Girardclos 1998, 275-282.

16. Épaul 2007, 43-46.

17. Cf. Houbrechts 2002.

18. Bouticourt 2016, 50-85, spécialement 70.

19. Épaul 2007, 39.

L'étude sérielle des bois de construction peut fournir de précieuses informations sur la relation du chantier de construction avec les sources d'approvisionnement. Grâce au croisement des prélèvements multiples, de l'analyse archéologique des élévations et des recherches archivistiques, les excellentes recherches sur des maisons à pans de bois de la ville de Limburg an der Lahn en Allemagne, reconstruites au cours des vingt années suivant le grand incendie de 1289 (fig. 2), ont mis en évidence la pression immédiate sur les ressources forestières générée par le besoin soudain de matériaux à une large échelle, ne laissant, au terme des deux premières années après la catastrophe, que les chênes de mauvaise qualité et de faible calibre aux moins fortunés et aux retardataires²⁰.

Quant aux bois utilisés pour les installations temporaires du chantier, dont des restes pris dans la maçonnerie d'un mur ou d'une voûte permettent une datation dendrochronologique (fig. 3), la nature accidentelle des données pose la question fondamentale de la circulation des pièces démontables d'un échafaudage²¹, d'un cintre ou d'un coffrage sur le chantier, et d'un chantier à l'autre. Les cas où la perte des boulins incorporés dans la maçonnerie au cours de la mise en œuvre était prévue d'emblée semblent en effet être très rares, comme à l'enceinte du château de Felsberg en Allemagne (XIII^e-XIV^e siècles), où les boulins de très faible section furent coincés dans les interstices entre les blocs de basalte laissés à l'état brut, et sciés après usage²². À l'inverse de ce procédé insolite qui s'explique par la difficulté de gagner les trous de boulins dans une maçonnerie d'une facture très sommaire effectuée avec des blocs basaltiques bruts d'extraction, l'emploi d'échafaudages démontables et réutilisables, tel qu'il est suggéré par l'iconographie²³, n'est confirmé par l'archéologie qu'à titre exceptionnel : à l'abbaye de Saint-Jean-du-Cerlier en Suisse, de longues perches pourvues d'encoches pour l'installation de traverses à des hauteurs modulables, réutilisées dans les fondations d'un mur du XII^e siècle, ont été interprétées tantôt comme les montants d'un échafaudage de pied ou d'une sapine mobile²⁴, tantôt comme beffroi de suspension pour une sonnette destinée à l'enfoncement des pieux de fondation²⁵ : aussi, l'identification de la fonction de l'outil change-t-elle considérablement la relation chronologique de ce dernier avec le déroulement du chantier.

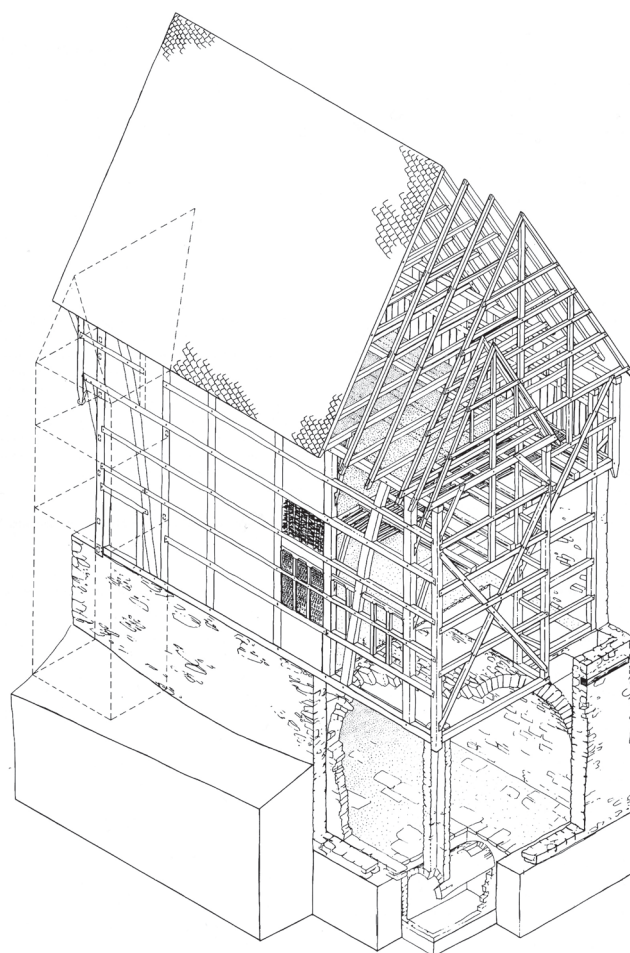


Fig. 2 – Limburg-an-der-Lahn, Maison Römer 2-4-6, restitution de la structure dans l'état de 1289 d'après Altwasser, Ebel, Klein, Lippert 1992, 234.



Fig. 3 – Trèves, cathédrale, d'escalier d'angle sud, planchette résiduelle du coffrage de la voûte hélicoïdale (vers 1042-1044) (cl. A. Hartmann-Virnich).

20. Altwasser, Ebel, Klein, Lippert 1992, 240-243; Ebel, Klein 1997, 114, 130, 158, 186-192.

21. Baud, Bernardi, Hartmann-Virnich, Huson, Le Barrier, Parron, Reveyron, Tardieu 1996.

22. Klein 2004, 69, Fig. 10.

23. Hartmann-Virnich 1996.

24. Mojon 1986.

25. Binding 1993, 525, note 1850, d'après Matthias Untermann.

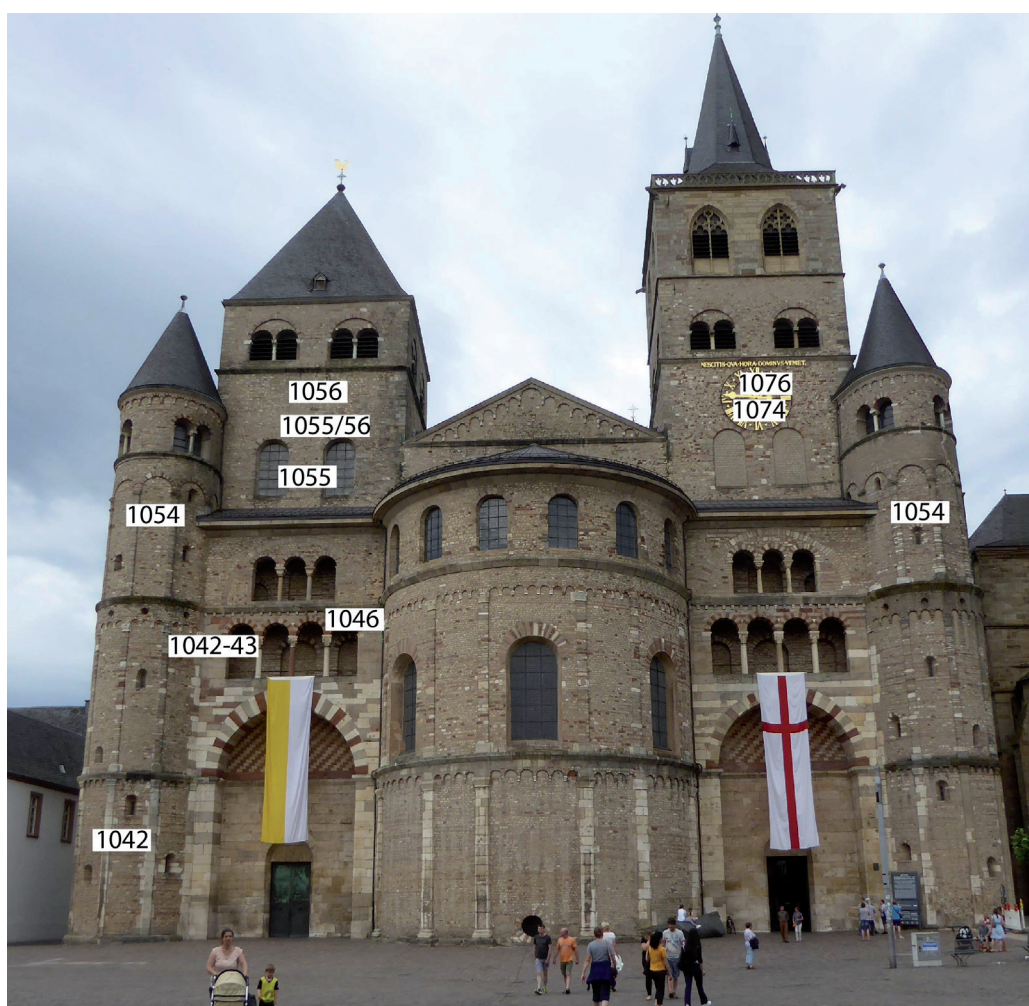


Fig. 4 – Trèves, cathédrale, massif occidental : position des bois de cintrage et des tirants prélevés d’après Hollstein 1980, fig. 19, et la révision des échantillons par l’étude de Dominik Jelschewski (2016-2017) (cl. A. Hartmann-Virnich).

La pertinence de la datation d’un chantier par celle des boulins résiduels dépend, entre autres, du nombre de cernes et de l’état de conservation des boulins d’échafaudage qui peuvent s’avérer inappropriés pour une analyse dendrochronologique²⁶. À l’inverse, la relation entre la date d’abattage des bois ayant servi à la confection des échafaudages, cintres ou engins de levage encastres et celle du chantier peut être évaluée lorsque des sources comptables livrent des repères chronologiques suffisamment exacts, comme à la tour Saint-Laurent du palais des papes d’Avignon, dont les quatre premiers niveaux furent élevés en une seule année entre 1353 et 1354²⁷. Une date historique peut être confortée par la datation dendrochronologique des bois d’échafaudage, de cintrage et de chaînage : ainsi, la datation sérielle les boulins résiduels du donjon de

Loches (Indre-et-Loire) a-t-elle permis de situer les phases de la mise en œuvre au premier tiers du XI^e siècle, et de confirmer le caractère précoce de son architecture élaborée, conçue au temps du comte d’Anjou Foulque Nerra, conformément au témoignage des sources historiques²⁸. Au massif occidental de la cathédrale de Trèves, la célèbre étude des bois de cintrage des voûtes, réalisée par Ernst Hollstein, a permis de confirmer la marche du chantier attestée par les sources historiques, et de jalonner à l’année près, grâce à la présence de l’aubier voire de l’écorce sur les planches restées prisonnières dans le mortier du blocage des voûtes, l’avancement de l’ouvrage au cours des épiscopats successifs depuis celui de son initiateur, l’archevêque Poppon (fig. 4) : à la mort de ce dernier, en 1047, l’édifice aurait atteint la hauteur d’une lance (*hasta*), une mesure de référence énigmatique car inférieure à la hauteur réelle de

26. Dormoy, Reveyron, Tardieu 1996.

27. Bernardi, Hartmann-Virnich 2005 ; Bernardi, Hartmann-Virnich, Vingtain 2006.

28. Dormoy 1997 ; Impey, Lorans, Mesqui 1998.

l'ouvrage²⁹. À l'église d'Ottmarsheim en Alsace, la datation dendrochronologique des chaînages engagés dans la maçonnerie de la coupole a établi que les bois furent coupés probablement en l'année de la consécration de l'édifice mentionnée par les sources écrites (automne/hiver 1049d)³⁰. À la chapelle haute Saint-Michel de la Galilée de l'abbatiale de Tournus (Saône-et-Loire), l'étude dendrochronologique permit de confirmer l'appartenance

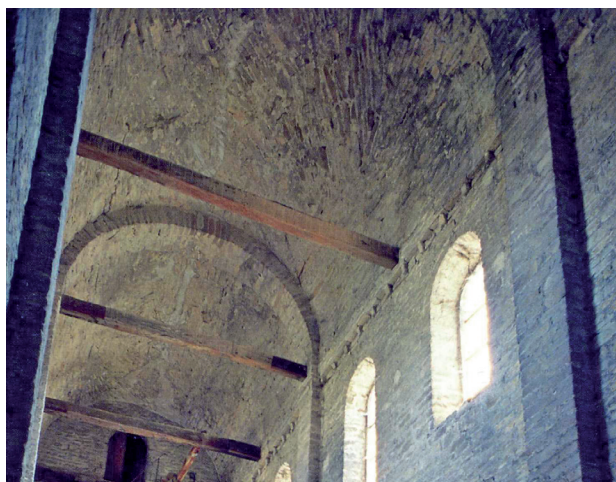


Fig. 5 – Tournus, abbatale, galilée, chapelle Saint-Michel : tirants en bois (1020-1030d) (cl. A. Hartmann-Virnich).

des entrants en chêne encastrés à la naissance de la voûte en berceau du vaisseau central à la construction d'origine (fig. 5), sans toutefois être en mesure de préciser la date des poutres équarries et dépourvues d'aubier au-delà d'une estimation approximative autour de 1020-1030³¹. Au massif occidental de Trèves, l'usage contemporain de tirants pour la consolidation d'une voûte en berceau est attesté pour l'année 1046d : date obtenue, à une époque précoce du développement des méthodes de prélèvement, par sciage et enlèvement de la moitié du bois jusqu'alors conservé *in situ* (fig. 6).

C'est tout particulièrement dans le domaine de la typochronologie des formes architecturales et des modes de construction, tout à fait évidente pour l'étude monographique et comparative des grandes constructions charpentées³², que le partenariat de la recherche archéologique et archéométrique, dans le cadre élargi d'une pluridisciplinarité ouverte, est indispensable pour innover par la vérification, la mise en question et la refonte des hypothèses³³. La possibilité d'obtenir des dates dont la précision favorise, entre autres, la corrélation exacte avec les sources historiques confère à la dendrochronologie une place de choix dans cette dynamique.



Fig. 6 – Trèves, cathédrale, galerie inférieure sud du massif occidental : tirant en bois (1046d) scié lors des prélèvements opérés dans les années 1970 (cl. A. Hartmann-Virnich).

29. Hollstein 1980, 126.

30. Guild, Braun 1998, 31 ; Hartmann-Virnich 2004, 158. Une monographie sur les recherches archéologiques conduites à Ottmarsheim sous la direction de Rollins Guild est en cours de rédaction.

31. Krüger 2003, 19 ; Sapin 1995, 224.

32. À titre d'exemple : Épaud 2017 ; Bouticourt 2016 ; Delehouzée 2016 ; Eissing 2016 ; Hoffsummer 2016 ; Hoffsummer 2014 ; Hoffsummer 2011.

33. Cf. Guild, Braun 1998.

Bibliographie

- Altwasser, Ebel, Klein, Lippert 1992** : E. Altwasser, J. Ebel, U. Klein, H.-G. Lippert, *Das gotische Haus Römer 2-4-6*, Limburg/Lahn (Limburg an der Lahn. Forschungen zur Altstadt, Heft 1), 1992, 250 p.
- Baud, Bernardi, Hartmann-Virnich, Husson, Le Barrier, Parron, Reveyron, Tardieu 1996** : A. Baud, P. Bernardi, A. Hartmann-Virnich, É. Husson, C. Le Barrier, I. Parron, N. Reveyron, J. Tardieu, *L'échafaudage dans le chantier médiéval*, Lyon, *Documents d'Archéologie en Rhône-Alpes*, 13, 1996, 144 p.
- Bella 2012** : T. Bella, À propos des armatures en bois dans les églises romanes de l'Italie du Nord. Saint-Ambroise et Saint-Celse de Milan, Saint-Michel de Pavie, *Bulletin monumental*, 170, 4, 2012, 291-308.
- Bernard, Le Digol, 2008** : V. Bernard, Y. Le Digol, L'archéologie du bois, in : Burnouf 2008, 32-33
- Bernardi 2011** : P. Bernardi, *Bâtir au Moyen Âge*, Paris, 2011, 336 p.
- Bernardi, Hartmann-Virnich 2005** : P. Bernardi, A. Hartmann-Virnich, Fourniture et mise en œuvre de la pierre au Palais des Papes d'Avignon : le quotidien d'un chantier, in : P. Bernardi, A. Hartmann-Virnich, D. Vingtain (dir.), *Texte et archéologie monumentale : approches de l'architecture médiévale*, Actes du colloque international tenu à Avignon, 30 novembre - 2 décembre 2000, Montagnac, 2005, 110-141.
- Bernardi, Hartmann-Virnich, Vingtain 2006** : P. Bernardi, A. Hartmann-Virnich, D. Vingtain, La construction de la tour Saint-Laurent du Palais des Papes (1353-1357) : nouveaux regards sur un chantier, *Archéologie médiévale*, 36, 2006, 159-212
- Bessac et al. 1999** : J.-C. Bessac, J. Burnouf, F. Journot, *La construction en pierre*, Collection «Archéologiques», Errance, Paris, 1999, 174 p.
- Bessac et al. 2004** : J.-C. Bessac, O. Chapelot, R. De Filippo, A. Ferdière, F. Journot, D. Prigent, C. Sapin, J. Seigne, *La construction. Les matériaux durs : pierre et terre cuite*, Collection «Archéologiques», Errance, Paris, 2004 (2^e édition revue du précédent).
- Bolle, Coura, Léotard 2014** : C. Bolle, G. Coura, J.-M. Léotard (Dir.), *L'archéologie des bâtiments en question. Un outil pour les connaître, les conserver et les restaurer. The Archaeology of Buildings in Perspective. How to Better Understand, Preserve and Restore Buildings. Actes du colloque international ICOMOS de Liège, 9-10 novembre 2010*, Namur, Institut du patrimoine Wallon, Études et Documents Archéologie, 35, 2014, 390 p.
- Bouticourt 2016** : E. Bouticourt, *Charpentes méridionales. Construire autrement : le Midi rhodanien à la fin du Moyen Âge*, Arles, 2016, 343 p.
- Brogiolo, Cagnana 2017** : G. P. Brogiolo, A. Cagnana, *Archeologia dell'architettura. Metodi e interpretazioni*, 3, SAMI - Metodi e temi dell'Archeologia Medievale, Florence (1^{ère} éd. 2012), 196 p.
- Burnouf 2008** : J. Burnouf (dir.), *Archéologie médiévale en France. Le second Moyen Âge (XII^e-XVI^e siècle)*, Paris, 2008, 175 p.
- Burnouf et al. 2009** : J. Burnouf, D. Arribet-Deroin, B. Desachy, F. Journot, A. Nissen-Jaubert, *Manuel d'archéologie médiévale et moderne*, Paris, 2009, 352 p.
- Busen et al. 2015** : T. Busen, M. Knechtel, C. Knobling, E. Nagel, M. Schuller, B. Todt, *Bauaufnahme*, Munich/Munster, 2015, 106 p.
- Büttner, Prigent 2010** : S. Büttner, D. Prigent, Les matériaux de construction dans le bâtiment médiéval», in : J. Chapelot, *Trente ans d'archéologie médiévale en France. Un bilan pour un avenir*, Caen, Actes du IX^e Congrès international de la Société d'archéologie médiévale, Vincennes 16-18 juin 2006, 179-194.
- Cagnana 2000** : A. Cagnana, *Archeologia dei materiali da costruzione*, Manuali par l'archeologia, 1, Mantoue, Societa Archeologica Padana s. R. l., Editrice S.A.P., 2000, 248 p.
- Castelletti 1998** : L. Castelletti, Dendrocronologia, in : R. Francovich, R. Parenti (eds.), *Archeologia e restauro dei monumenti*, Florence, 421-454
- Cattedu 2009** : I. Cattedu, *Archéologie médiévale en France. Le premier Moyen Âge (V^e-XI^e siècle)*, Paris, 2009, 177 p.
- Delehouzée 2015** : L. Delehouzée, Apport de l'archéologie à la connaissance des couvertures médiévales de la cathédrale Notre-Dame de Tournai, in : Duperroy, Desmet 2015, 93-155.
- Demoule et al. 2009** : J.-P. Demoule, F. Giligny, A. Lehoërf, A. Schnapp, *Guide des méthodes de l'archéologie* (3^e éd.), Paris, (2002, 2005), 2009, 330 p.
- Dormoy, Reveyron, Tardieu 1996** : C. Dormoy, N. Reveyron, J. Tardieu, À propos de quelques boulins conservés, in : Baud, Bernardi, Hartmann-Virnich, Husson, Le Barrier, Parron, Reveyron, Tardieu, 1996, 33.
- Dormoy 1997** : C. Dormoy, L'expertise dendrochronologique du Donjon de Loches (Indre-et-Loire) : des données fondamentales pour sa datation», *Archéologie médiévale*, XXVII, 1997, 73-89.
- Doucerain, Girardclos 1998** : C. Doucerain, O. Girardclos, Études dendrochronologiques sur les bâtiments de l'ouest de la France, in : D. Prigent, N.-Y. Tonnerre (dir.), *La construction en Anjou au Moyen Âge*, Actes de la table ronde d'Angers des 29 et 30 mars 1996, Angers, 1998, 267-293.
- Duperroy, Desmet 2015** : F. Duperroy, Y. Desmet (dir.), *Les portails romans de la Cathédrale Notre-Dame de Tournai : contextualisation et restauration*, Actes du colloque organisé les 31 janvier et 1^{er} février au Séminaire de Tournai par la DG04/Département du patrimoine, avec la participation scientifique de l'IRPA, 2015, 198 p.
- Ebel, Klein 1997** : J. Ebel, U. Klein, *Die Limburger Fachwerkbauten des 13. Jahrhunderts*, Limburg/Lahn, (Limburg an der Lahn. Forschungen zur Altstadt, Heft 2), 1997, 193 p.
- Eissing 2016** : T. Eissing, Zur Entstehung der Holztonnengesparre und Holztonnengewölbe im mittleren und nördlichen Frankreich und ihre Vermittlung nach Mitteldeutschland, in : Klein 2016, 89-124.
- Épaul 2007** : F. Épaul, *De la charpente romane à la charpente gothique en Normandie. Evolution des techniques et des structures de la charpenterie aux XII^e-XIII^e siècles*, Caen, 2007, 613 p.
- Ferrando Cabona 1998** : I. Ferrando Cabona, Problemi di datazione in archeologia dell'architettura, *Archeologia dell'architettura*, III, 1998, 75-79.
- Fraiture 2014** : P. Fraiture, Études dendro-archéologiques de structures de second œuvre : prémices d'un domaine promet-

- teur pour l'archéologie du bâti, in: Bolle, Coura, Léotard 2014, 141-161.
- Guibert 2014**: P. Guibert, L'apport des méthodes de datation physique à la caractérisation et la datation des matériaux de construction et de structures architecturales : un bilan et des perspectives, in: Bolle, Coura, Léotard 2014, 115-125.
- Guild, Braun 1998**: S. R. Guild, S. Braun, La datation de l'abbatiale d'Ottmarsheim, *Revue d'Alsace*, 124-602, 1998, 23-34.
- Hartmann-Virnich 1996**: A. Hartmann-Virnich, Échafaudage et iconographie médiévale du chantier, in: Baud, Bernardi, Hartmann-Virnich, Huson, Le Barrier, Parron, Reveyron, Tardieu 1996, 71-101.
- Hartmann-Virnich 2004**: A. Hartmann-Virnich, *Was ist Romanik? Geschichte, Formen und Technik desromanischen Kirchenbaus*, Darmstadt, 2004, 288 p.
- Hartmann-Virnich 2010**: A. Hartmann-Virnich, Archéologie monumentale, archéologie du bâti et patrimoine architectural médiéval: de la recherche parallèle à l'étude préalable concertée, in: X. Delestre, *Archéologie des rivages méditerranéens : 50 ans de recherche. Actes du colloque d'Arles, 28-30 octobre 2009*, Paris, 2010, 509-519.
- Hoffsummer 2003a**: P. Hoffsummer, Quelques réflexions à propos des possibilités d'analyses dendrochronologiques de châteaux de pierre du sud-est de la Belgique, in: Poisson, Schwien 2003, 277-293.
- Hoffsummer 2003b**: P. Hoffsummer, La dendrochronologie de l'architecture. Au-delà de l'écrit avec la précision de l'écrit, in: R. Noël, I. Paquay, J.-P. Sosson, (dir.), *Au-delà de l'écrit. Les hommes et leurs vécus matériels au Moyen Âge à la lumière des sciences et des techniques. Actes du colloque de Marches-en-Famenne, 16-20 octobre 2002*, Louvain-la-Neuve, (*Typologie des sources du Moyen Âge occidental, n° hors-série*), 2003, 295-337.
- Hoffsummer 2011**: P. Hoffsummer, *Les charpentes du XI^e au XIX^e siècle, grand Ouest de la France – typologie et évolution, analyse de la documentation de la Médiathèque de l'architecture et du patrimoine*, Turnhout, 2011, 385 p.
- Hoffsummer 2014**: P. Hoffsummer, Une approche typo-chronologique des charpentes en Europe : de Friedrich Ostendorf à la dendrochronologie», in: Bolle, Coura, Léotard 2014, 126-140.
- Hoffsummer 2016**: P. Hoffsummer, Les toitures médiévales en Belgique, in: Duperron, Desmet 2016, 29-41.
- Hollstein 1980**: E. Hollstein, Dendrochronologische Untersuchungen an Bauhölzern des Domes», in: F. Ronig, *Der Trierer Dom*, Neuss, 1980, *Rheinischer Verein für Denkmalpflege und Landschaftsschutz, Jahrbuch 1978-1979*, 1980, 122-141.
- Houbrechts 2002**: D. Houbrechts, Dendrochronologie et commerce du bois en Belgique, in: *Medieval Basel Europe, Proceeding of the 3rd International Conference of medieval and later Archaeology*, Bâle, vol.1, 2002, 307-311.
- Houbrechts, Eeckhout 2003**: D. Houbrechts, J. Eeckhout, *Dendrochronologie*, Gand, Gentse Vereniging voor Stadsarcheologie, 2003, nombre de pages inconnu.
- Impey, Lorans, Mesqui 1998**: E. Impey, E. Lorans, J. Mesqui, Deux donjons construits autour de l'an mil en Touraine, *Bulletin monumental*, 156, 1998, 9-125.
- Klein 2004**: U. Klein, Holz im Burgenbau – ein Überblick, in: B. Schock-Werner, *Holz in der Burgenarchitektur. Wissenschaftliches Kolloquium des wissenschaftlichen Beirats der deutschen Burgenvereinigung, Schloss Sayn, 2003*, Braubach, 2004, 65-88.
- Krüger 2003**: K. Krüger, *Die romanischen Westbauten in Burgund und Cluny. Untersuchungen zur Funktion einer Bauform*, Berlin, Gebrüder Mann, 2003, 324 p.
- Lambert, Lavier, Perrier, Vincenot 1988**: G.-N. Lambert, C. Lavier, P. Perrier, S. Vincenot, Pratique de la dendrochronologie, in: *Histoire et mesure*, 3, 1988, 279-308.
- Lambert 2011**: G.-N. Lambert, Datation précise des charpentes par la dendrochronologie - nouveau cadre méthodologique, in: P. Hoffsummer (dir.), *Les charpentes du XI^e au XIX^e siècle, typologie et évolution dans le grand ouest de la France*, Turnhout, Brepols, *Architectura Medii Aevi*, Vol. 5, 2011, 3-18.
- Mannoni 1984**: T. Mannoni, Metodi di datazione nell'edilizia storica, in: *Archeologia medievale*, XI p. 396-403; réédité dans T. Mannoni (éd.), *Caratteri costruttivi dell'edilizia storica*, Gênes, 1994, 37-42
- Mojon 1986**: L. Mojon, *Rekonstruktion eines romanischen Gerüstturms, St. Johannes, Saint-Jean de Cerlier*, Berne, Beiträge zum Bauwesen des Mittelalters aus den Bauforschungen in der ehemaligen Benediktinerabtei 1961-1984, 1986, 75-86.
- Monumental 2016**: *Charpentes et couvertures*, Monumental, 2016-1, 128 p.
- Nuytten 2016**: D. A. Nuytten, Aus Holz und Backstein : Bauforschung, Archäologie und Dendrochronologie an der ehemaligen Scheune der Zisterzienserabtei von Ter Doest, in: Klein 2016, 267-284.
- Pérot 2011**: C. Perrault, *Datation par dendrochronologie : cathédrale Notre-Dame de Montauban (82)*, Besançon, 17 p. (dossier publié en ligne : http://patrimoines.midipyrenees.fr/fileadmin/DOC_LIE/IVR73/IA82ANEX/IA82100033_01.PDF)
- Poisson, Schwien 2003**: J.-M. Poisson, J.-J. Schwien, (dir.), *Le bois dans le château de pierre au Moyen Âge. Actes du colloque de Lons-le-Saunier, 23-25 octobre 1997*, Besançon, 2003, 448 p.
- Renfrew, Bahn 2007**: C. Renfrew, P. Bahn, *Archaeology essentials. Theories, Methods and Practice*, Londres, 2007, 352 p.
- Schuller 2002**: M. Schuller, *Building Archaeology*, Paris, Icomos, *Monuments and sites*, VII, 2002, 91 p.
- Schwabedissen 1983**: H. Schwabedissen, Ur- und Frühgeschichte und Dendrochronologie, *Archäologisches Korrespondenzblatt*, 13, 1983, 275-286.
- Sapin 1995**: C. Sapin, Saint-Philibert et les débuts de l'architecture romane en Bourgogne, in: *Saint-Philibert de Tournus. Histoire, archéologie, art. Actes du colloque du Centre international d'études romanes, Tournus, 15-19 juin 1994*, Tournus, 1995, 215-230.

Aperçu des résultats de l'étude dendroarchéologique de cercueils en bois du XII^e siècle provenant de l'Abbaye de Nivelles (Belgique, Brabant wallon)

Pascale Fraiture et Armelle Weitz***

avec la collaboration de

*Marie-Laure Van Hove** et Didier Willems***

Résumé

Les fouilles archéologiques menées entre mars 2009 et janvier 2011 sur la grand-place de Nivelles, par le service de l'archéologie de l'AWaP, ont mis au jour plusieurs zones d'inhumation autour de l'abbaye. L'état de conservation exceptionnel des matériaux organiques dans deux secteurs en particulier (01 et 03) a permis une étude approfondie et multidisciplinaire du site (anthropologie, carpologie, parasitologie, archéobiologie, dendrologie, etc.) sous la houlette des archéologues. Les résultats de ces investigations seront publiés dans une monographie sous la direction de M.-L. Van Hove et D. Willems.

Le corpus soumis à l'IRPA pour examen dendrochronologique se compose d'une centaine de planches de bois provenant de différents types de dispositifs funéraires: contenants (cercueils ou coffrages) et/ou supports (lits), leur fonction n'étant pas toujours bien définie. Le grand nombre de pièces échantillonnées et la qualité du matériau ligneux ont nourri plusieurs problématiques dont la datation, la détermination de la provenance des arbres, une caractérisation de leur(s) milieu(x) de croissance et une analyse technique des artefacts. Les informations acquises durant cette recherche ouvrent de stimulantes perspectives pour une meilleure compréhension de l'organisation et des savoir-faire des artisans. De plus, le matériel mis au jour à Nivelles confère à notre travail un caractère inédit puisqu'il a conduit au montage d'une chronologie de site qui constitue un avancement considérable pour la dendrochronologie du hêtre (*Fagus sylvatica* L.) en Belgique et dans les pays limitrophes, une essence réputée difficile du point de vue dendrochronologique et encore peu étudiée en Europe.

Mots-clés: *Quercus* sp., *Fagus sylvatica* L., datation dendrochronologique, dendroprovenance, chronologie de référence, planches, Moyen Âge, archéologie du bois, dendrologie, milieu de croissance.

Abstract

Archaeological excavations carried out between March 2009 and January 2011 on the grand-place in Nivelles, by the service of AWaP, have identified several burial zones around the abbey. The exceptional state of preservation of organic materials for sectors 01 and 03 allowed a multidisciplinary study of the site (anthropology, carpology, parasitology, bioarchaeology, dendrology, etc.) under the supervision of the archaeologists. The results of this research will be published in a monograph edited by M.-L. Van Hove and D. Willems.

The dendrochronological analysis was carried out on a hundred wooden planks from different types of funerary devices: containers (coffins, boxes) and/or supports (funerary beds), their function being not clear in all cases. The amount of samples and the quality of the preserved wood provided data for several issues including dating, dendroprovenancing, description of the trees' growth environment(s) and a technical examination of the artefacts. Results of this investigation offer stimulating perspectives for understanding the organisation and skills of the craftsmen. In addition, the excavated artefacts from Nivelles gave our work a novelty since they led to the construction of a site chronology which represents a considerable step for the dendrochronology of beech (*Fagus sylvatica* L.) in Belgium and neighbouring countries, this species being known to be difficult for dendrochronology and still little studied in Europe.

Keywords: *Quercus* sp., *Fagus sylvatica* L., dendrochronological dating, dendroprovenancing, master chronology, planks/boards, Middle Ages, wood archaeology, dendrology, growth environment.

* Institut royal du Patrimoine artistique (IRPA), Parc du Cinquantenaire 1, 1000 Bruxelles, Belgique.

** Agence wallonne du Patrimoine (AWaP). Depuis le 1^{er} janvier 2018, le SPW-DGO4-Département du Patrimoine et l'Institut du Patrimoine wallon (IPW) ont été fusionnés pour former une seule institution, à savoir l'Agence wallonne du Patrimoine (AWaP).

CONTEXTE DE L'ÉTUDE

Les fouilles archéologiques menées par le service de l'archéologie de l'AWaP entre mars 2009 et janvier 2011 sur la grand-place de Nivelles ont mis au jour plusieurs secteurs d'inhumations autour de l'abbaye Sainte-Gertrude. Dans les zones funéraires 01 et 03 (fig. 1), le contexte géo-pédologique s'est avéré propice à la conservation des matériaux organiques, en particulier par la présence de poches anaérobies dans le sous-sol liées à l'humidité des sédiments¹.

Le bois est présent en grande quantité sur le site puisqu'il constitue bon nombre de ces inhumations. Précisons que le type de dispositif n'a pas toujours été aisé à déterminer, entre cercueils proprement dits, lits funéraires ou coffrages (fig. 2)². Ainsi, une centaine de planches a été soumise à une analyse dendroarchéologique, destinée à nourrir plusieurs problématiques dont la datation, la détermination de la provenance des arbres, une caractérisation de leur(s) milieu(x) de croissance et un examen technique des artefacts³. Parallèlement, une étude xylologique menée par l'INRAP a abouti à la constitution d'une typologie des cercueils définie à partir des ensembles les mieux conservés⁴. Ces deux axes de recherche, menés *in situ* et en laboratoire, avaient pour principaux objectifs une meilleure compréhension de la chaîne opératoire de la réalisation des cercueils, depuis la sélection du bois en forêt jusqu'à l'inhumation, ainsi que des savoir-faire des artisans et de l'organisation de leur travail.

UN CORPUS RICHE, AVEC SES FAIBLESSES

Le nombre de prélèvements étudiés dépasse la centaine, et l'état de conservation des matériaux organiques est globalement exceptionnel dans un contexte tel que celui du cimetière médiéval de la grand-place de Nivelles.

Toutefois, la nature même de l'échantillonnage induit des limitations dans les réponses que son analyse pourrait apporter aux problématiques du cahier des charges. D'abord, il s'agit de planches, et non de pieux, c'est-à-dire un produit

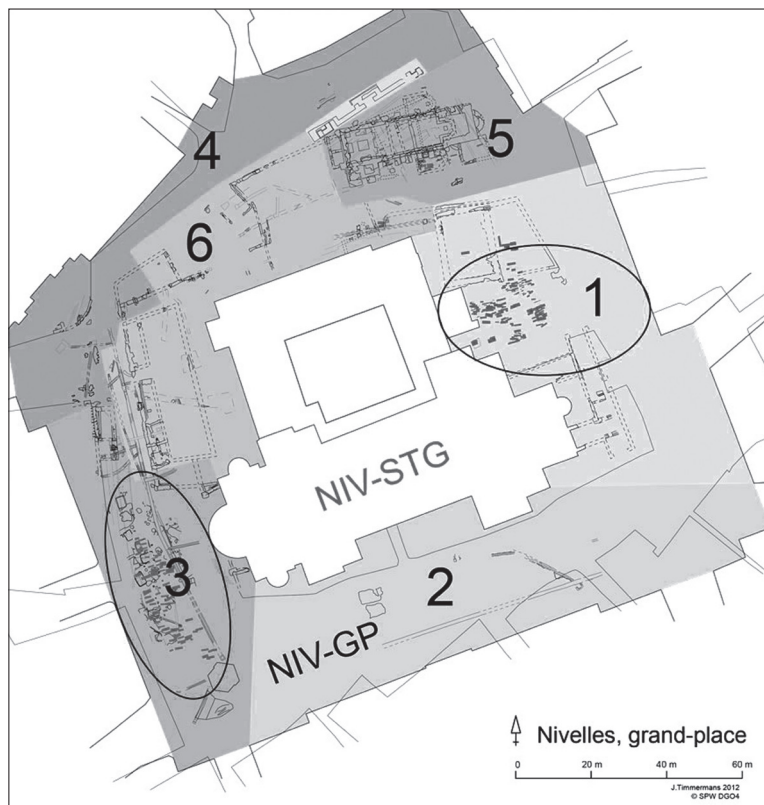


Fig. 1 – Plan de localisation des secteurs de fouilles du site de la grand-place de Nivelles : en rouge, les deux secteurs concernés par l'étude dendrochronologique, à l'est le secteur 1 et au sud-ouest le secteur 3 (© AWAaP).

travaillé par l'homme (fig. 3a). Cette mise en œuvre nous prive de parties de bois pourtant essentielles dans l'interprétation de la datation (perte du cambium, de l'aubier, etc.) et dans la caractérisation des milieux de croissance (absence de la moelle). Ensuite, la nature archéologique des pièces – leur enfouissement durant plusieurs siècles – a malgré tout entraîné des dégradations des artefacts et certaines déformations de la structure anatomique du bois qui limiteront la précision des observations techniques et, parfois, celle des données dendrochronologiques (fig. 3b). Enfin, le chêne, essence la plus étudiée en dendrochronologie en Europe occidentale et l'une des plus adéquates en la matière, ne représente que 6 % du corpus, rendant la recherche de dendroprovenance plus ardue (fig. 3c).

Malgré ces contraintes, le site de Nivelles offre un fort potentiel dendrochronologique, vu le nombre important d'échantillons de hêtre, leurs qualités dendrochronologiques (fig. 3d) et le fait qu'ils sont associés à quelques pièces de chêne. Ces avantages, combinés au fait que les vestiges résultent d'une occupation assez longue, ont ainsi mené à l'assemblage d'une chronologie de site robuste pour le hêtre, longue de deux siècles et demi, et qui constitue un jalon de première importance pour la dendrochronologie du hêtre en Belgique.

1. Chantinne, Van Hove 2011, Collette *et al.* 2011 ; Chantinne *et al.* 2012.
2. Les recherches en cours visent, entre autres, à déterminer les différents types d'inhumation mis en œuvre (voir, par exemple, Dietrich 2014).
3. Weitz, Fraiture 2013, Fraiture *et al.* 2014a, Fraiture *et al.* 2014b.
4. Dietrich 2014.



Fig. 2 – Exemples d'inhumations mises au jour à Nivelles (© AWaP).



ESSENCES

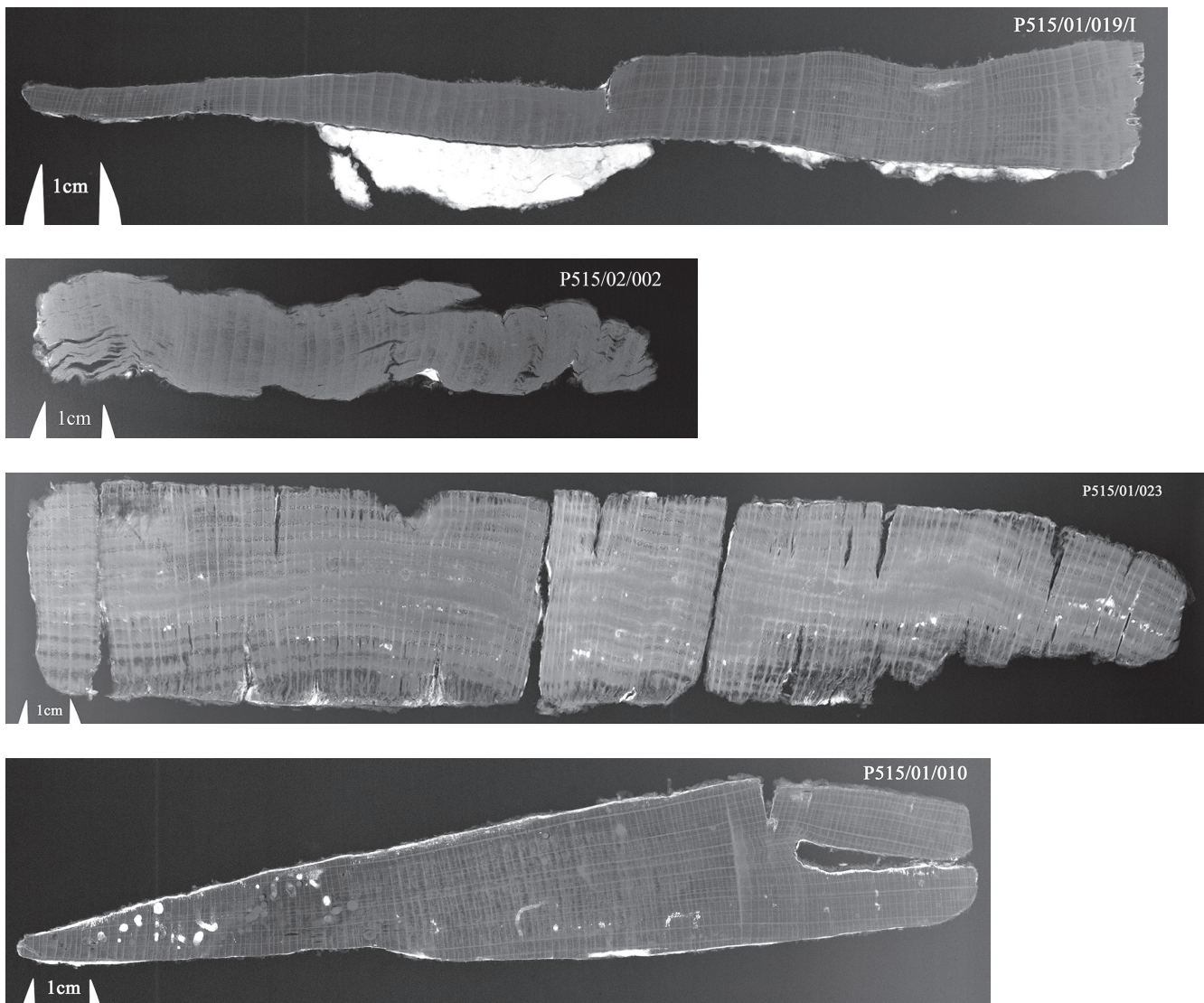
Quatre essences ont été identifiées pour les planches analysées : le hêtre (*Fagus sylvatica* L.), le chêne (*Quercus robur* ou *Q. petraea*), l'aulne (*Alnus* sp.) et le peuplier (*Populus* sp.), avec une majorité de hêtre qui représente 81 % des pièces⁵ (fig. 4). Quant aux traverses (pièces perpendiculaires aux longues planches de côté) et aux baguettes (parallèles aux longs côtés) des fonds des cercueils, elles sont en chêne, hêtre, peuplier, aulne ou noisetier (*Corylus* L.) (Dietrich 2014). L'utilisation de ces essences n'est pas surprenante dans ce contexte. D'une part car il s'agit d'essences indigènes communes en Europe occidentale, en particulier dans les plaines, et d'autre part parce que, en dehors des symboliques traditionnellement associées à ces arbres, l'imputrescibilité et la robustesse des trois essences les plus

représentées (hêtre, chêne et aulne), sont des spécificités techniques appropriées à cet usage (comme l'est la souplesse pour le noisetier). Il n'est dès lors pas surprenant que d'autres sites funéraires contemporains les recensent également⁶. Cette sélection pourrait même indiquer une intention de durabilité des contenants. Par contre, il n'a pas été possible de repérer de sélection d'une essence particulière selon la fonction des pièces dans les sépultures (planches de tête, fonds, couvercles, etc.).

L'éventail des essences mises en œuvre et leurs proportions ont engendré des difficultés dès l'aube du projet dendrochronologique, puisqu'aucune chronologie historique datée n'était disponible ni pour l'aulne, ni pour le peuplier;

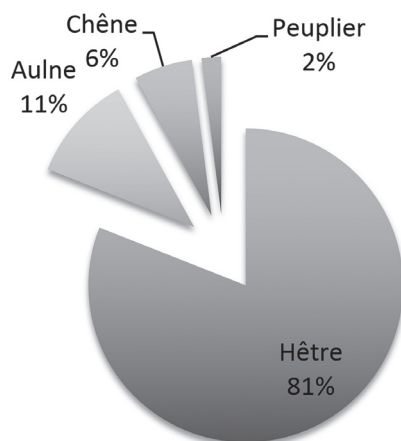
5. Fraiture *et al.* 2014a, Dietrich 2014.

6. Citons par exemple le site de Vlaardingen (NL, Hollande-Méridionale), dont les inhumations sont constituées de planches de chêne, de hêtre et de frêne (Vredenburg, De Ridder 2004, 52).



▲ **Fig. 3** – Sections transversales (radiographies) de planches des cercueils: a) hêtre, croissance irrégulière; b) hêtre, déformations du bois dues aux phénomènes taphonomiques du site; c) chêne, planche tangentielle comportant très peu de cernes; d) hêtre, croissance lente et régulière, profil rainuré. Radiographies: C. Fondaire (Imagerie Scientifique) pour le Laboratoire de Dendrochronologie (© IRPA, Bruxelles, 2013).

Fig. 4 – Proportions des essences qui constituent les planches des cercueils étudiées par dendrochronologie. ▶



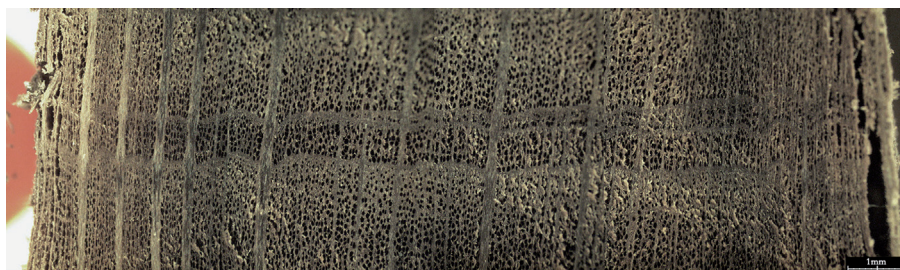


Fig. 5 – Exemple (en rouge) d'un cerne formé de manière discontinue sur la section d'une planche de cercueil. La quantité de bois formé diminue, de droite à gauche sur le cliché, jusqu'à être indécélable. Photo: Laboratoire de Dendrochronologie (© IRPA, Bruxelles, 2013).

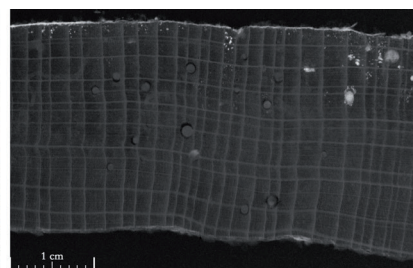
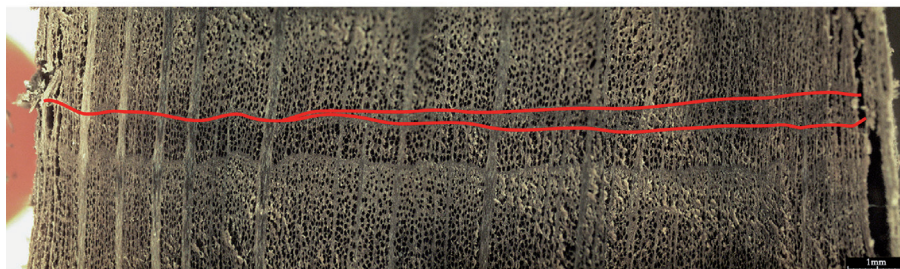
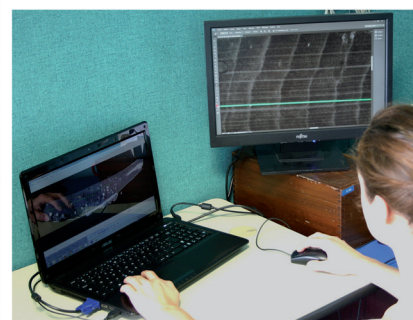


Fig. 6 – Radiographie de fines sections de planches, et mesure des épaisseurs de cerne sur écran. Photos: Laboratoire de Dendrochronologie (© IRPA, Bruxelles, 2014).



ni pour le hêtre en Belgique⁷. Quelques-unes existent bien pour le hêtre en Europe occidentale mais très peu sont publiées⁸. Un second challenge a été de produire un enregistrement fiable des séries de cerne, pour une essence – le hêtre – qui peut former des cerne partiels (fig. 5)⁹, le défi étant d'autant plus grand qu'il s'agit de planches dont

l'épaisseur est majoritairement comprise entre 1 et 3,5 cm. Les complications pratiques découlant de ce dernier paramètre ont pu être surmontées, entre autres, par le recours à la radiographie pour la mesure dendrochronologique (fig. 6)¹⁰.

7. Voir par exemple les travaux de K. Haneca (Flanders Heritage Agency, Bruxelles), sur le site de Oudenburg, Riethove (25/08/2014).
8. Plusieurs laboratoires ont investigué le hêtre et ont construit des chronologies régionales, par exemple pour l'ouest de l'Allemagne (Rheinischer Landesmuseum Trier), la région de Berlin (German Archaeological Institute DAI, Berlin) et celle de Londres (Dendrochronological Consultancy Limited, Retford), mais ces recherches sont inédites. Quelques études de sites ont par contre été publiées (par exemple Girardclos, Perrault 2005; Bourquin-Mignot 1994; Vredendregt, De Ridder 2004).
9. C'est-à-dire des cerne qui ne sont pas visibles sur toute la circonférence du tronc (cette difficulté de mesure du hêtre à croissance lente avait déjà été mise en évidence par von Jazewitsch 1953).

10. Les radiographies ont été effectuées à l'IRPA par C. Fondaire (générateur à rayons X Philips, Practix, 50kV, 20mA, distance : 1 m; temps d'exposition : 3 secondes, film Agfa Structurix D7), sur une idée de K. Haneca (Flanders Heritage Agency, Bruxelles, comm. pers. 11/10/2012); les épaisseurs de cerne ont été mesurées sur écran, sur les scans des radios en résolution à 50 microns (AdobeTM PhotoshopTM, conversion en format dendrochronologique Besançon par TakeMeasuresFromAdobePhotoshop 2012/01/13, Lambert G.-N. – ex-CNRS-UMR 6249, collaborateur IRPA). Plusieurs séries de mesures ont également été enregistrées sur échantillons congelés au microscope binoculaire, sur table de mesure LINTABTM 6 RINNTECH e.K, logiciel TSAP-Win Professional (format dendrochronologique Heidelberg). L'équipe de l'IRPA tient à remercier C. Perrault pour son aide et ses conseils concernant l'anatomie du hêtre (CEDRE, Besançon, comm. pers., 01-02/03/2013).

DATATION

Les quatre essences qui composent les planches des cercueils sont potentiellement compatibles avec la dendrochronologie, bien que le peuplier et l’aulne, sensibles aux conditions édaphiques, soient réputés mauvais enregistreurs du climat¹¹. Pour cette raison, la suite de notre exposé se focalisera sur le chêne et le hêtre.

Les échantillons de chêne analysés sont issus de sept arbres différents; trois de leurs chronologies ont pu être groupées en une moyenne qui compte 129 cernes. Sa datation

absolue a été obtenue par comparaison à notre référentiel de chêne, et principalement à des chronologies des régions limitrophes de Nivelles (tabl. 1a)¹². Quant au hêtre, ce sont les séries de cernes tirées de 57 individus qui ont pu être assemblées en une chronologie de site. Longue de 248 cernes, elle a été datée, d’une part, par hétéroconnexion avec la chronologie de chêne de Nivelles (fig. 7) ainsi qu’avec quelques autres des régions alentour (tabl. 1b) et, d’autre part, par des chronologies de hêtre de pays voisins (tabl. 1c), distantes de Nivelles de 150 à 700 km (point développé plus bas).

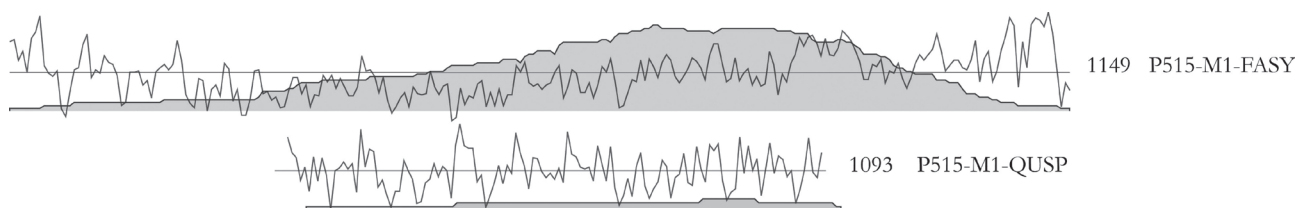


Fig. 7 – Synchronisation entre la chronologie de hêtre et celle de chêne du site de Nivelles (avec représentation de la couverture des chronologies, c’est-à-dire le nombre de bois qui la composent pour chaque année, en gris clair).

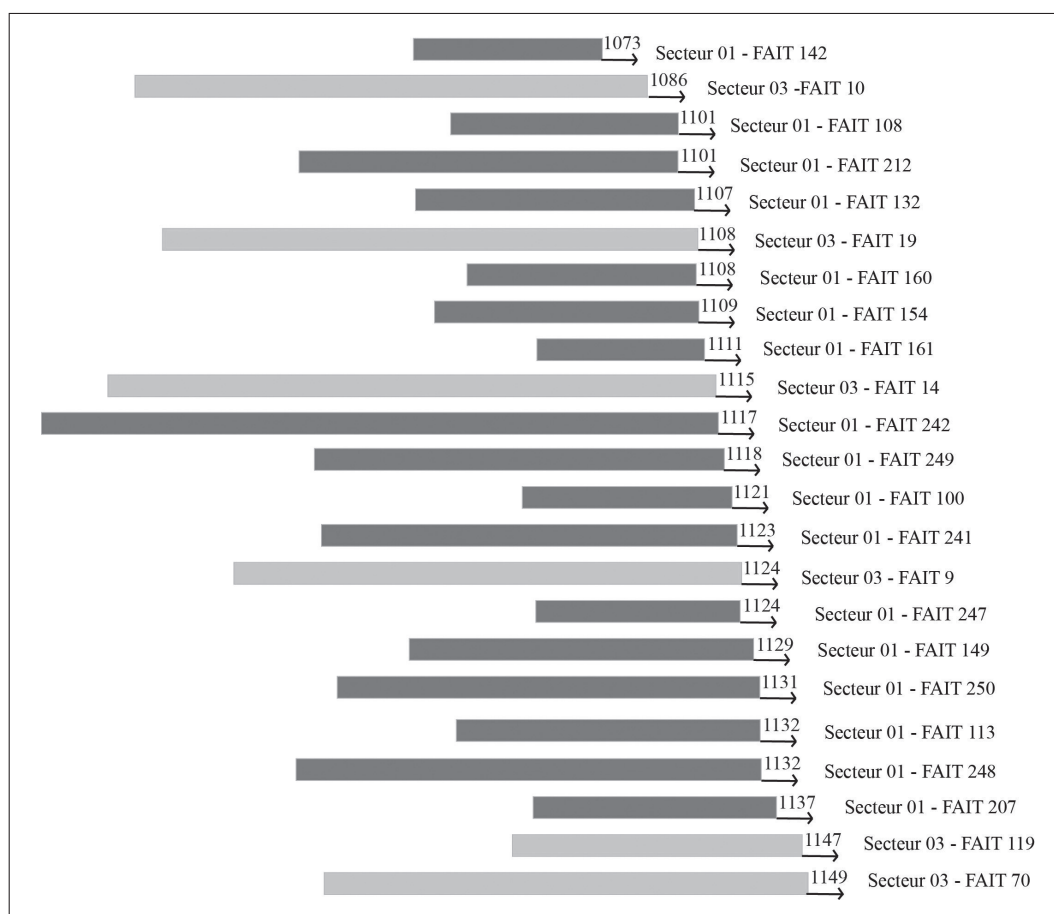


Fig. 8a – Blocs-diagrammes des séries dendrochronologiques obtenues par faits (cercueils), pour les deux secteurs, rangés par date de fin (*termini post quem*)

11. Guibal, Pomey 1998, 428.

12. Pour la méthodologie de datation du laboratoire de l’IRPA, nous renverrons à Fraiture 2013.

La datation de ces deux chronologies de site concerne 23 contenants (ou faits archéologiques) et révèle une utilisation contemporaine des zones funéraires 01 et 03 (fig. 8a). Aucune trace de cambium, ni d'aubier, n'ayant été identifiée sur les échantillons, les datations absolues doivent être considérées comme des *termini post quem* pour l'abattage des arbres. Ceux-ci s'échelonnent entre le dernier quart du XI^e siècle (après 1073 AD) et le milieu du XII^e siècle (après 1149 AD ; fig. 8b).

Les confrontations qui ont pu être menées, pour une même inhumation, entre *termini post quem* dendrochronologique des bois du cercueil et datation C14 sur ossements¹³ révèlent, dans un cas, un écart maximal de 30 ans entre le *terminus post quem* dendrochronologique et le décès, et de 45 ans dans l'autre cas. Si cet ordre de grandeur est applicable à l'ensemble des faits datés du cimetière – ce qui n'est dendrochronologiquement pas vérifiable –, la majorité des inhumations auraient eu lieu durant les trois premiers quarts du XII^e siècle, voire un peu au-delà.

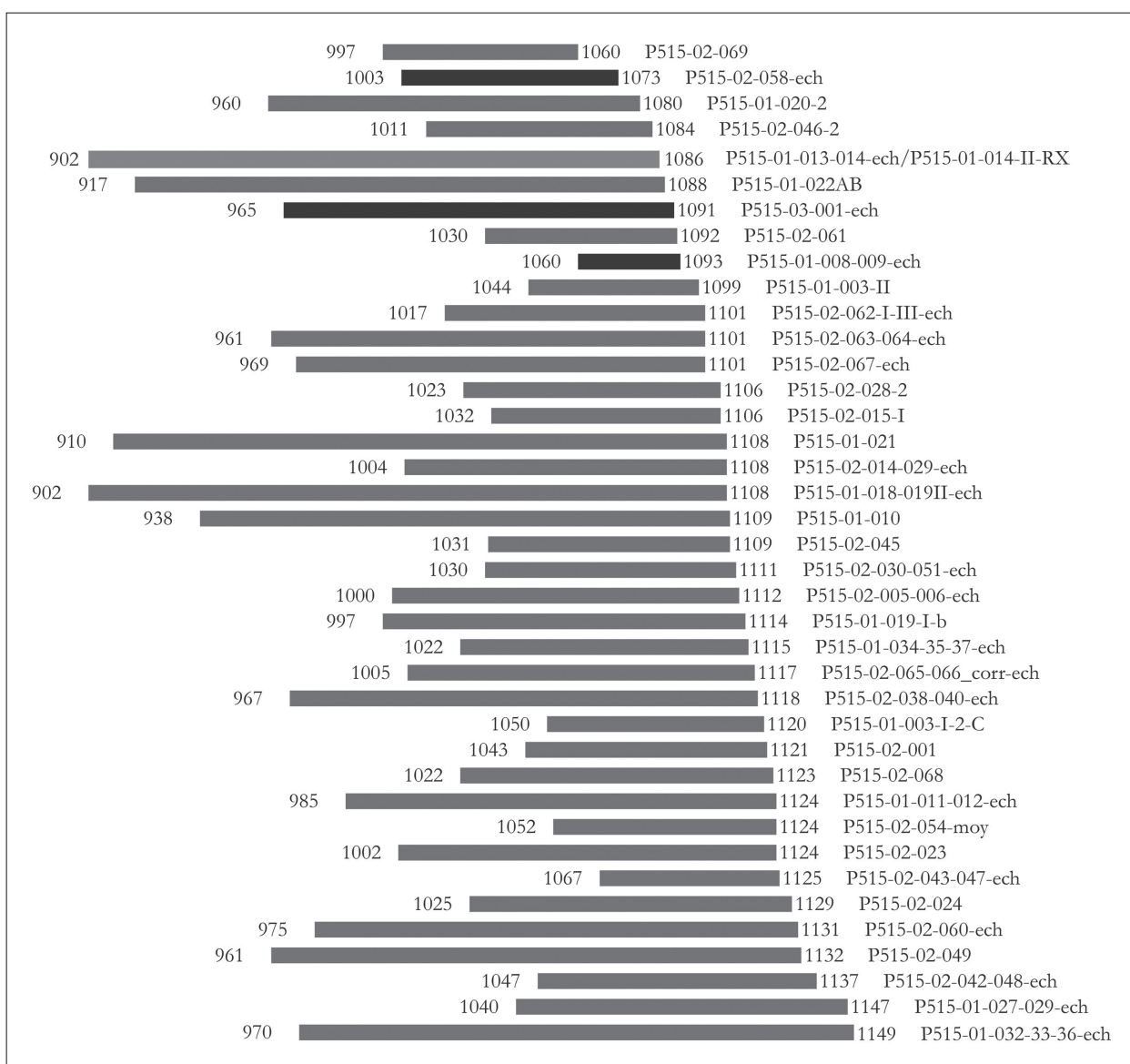


Fig. 8b – Blocs-diagrammes des séries dendrochronologiques obtenues pour tous les bois datés du site (hêtre en gris et chêne en noir), rangées par date de fin (*termini post quem*).

13. Beta 273529 NIVGPF070S3 et Beta 273536 NIVGPF100S1 ; mise à jour en 09/2013 avec CALIB RADIOCARBON CALIBRATION PROGRAM (©1986-2011 Stuiver and Reimer). Beta Analytic, rapport d'analyse radiocarbone, 03/03/2010.

a. Datation de la moyenne P515-M1-QUSP sur les chronologies de chêne

Résultats pour P515-M1-QUSP: 965 AD – 1093 AD						
t de Student	Probabilité / sécurité	Corr. 1	Corr. 2	Chronologie du référentiel	Localisation (région)	© Référence
7.19	0.999992	0.36	0.56	B-FLmed_KH_1.0_2014	Flandres, Belgique	HANCEA K. (Flanders Heritage, 2014, inédit)
5.44	0.999967	0.31	0.46	D-wd2holls.ref-HOLLSTEIN_1980	Ouest Allemagne (de part et d'autre du Rhin)	HOLLSTEIN E., 1980
4.75	0.999944	0.34	0.38	B-NAMUR2.REF_ULiège2004	région de Namur, Belgique	HOFFSUMMER P. <i>et al.</i> (ULiège/CEA, 2004, inédit)
4.39	0.999921	0.3	0.37	NL-ZUIDMM.REF-RING	Ouest Allemagne/Est Belgique	JANSMAN E. (Stichting RING, 1995, inédit)
4.36	0.999919	0.27	0.38	F-NEF_Tegel2012	Nord-est France	TEGEL W. (DendroNet, 2012, inédit)
4.33	0.999916	0.33	0.39	F-ROUEN115.NMQ	Rouen et alentours, nord-ouest de la France	LCE, inédit
4.03	0.999879	0.22	0.38	KOELN04	Cologne et alentours, ouest Allemagne	SCHMIDT B. (Köln Universität, inédit)

b. Datation de la moyenne P515-M1-FASY sur les chronologies de chêne des régions alentours

Résultats pour P515-M1-FASY: 902 AD – 1149 AD						
t de Student	Probabilité / sécurité	Corr. 1	Corr. 2	Chronologie du référentiel	Localisation (commune, province ou région)	© Référence
6.02	0.999984	0.56	0.37	F-LAON1.REF-1992	Laon, Picardie, France	HOFFSUMMER P. <i>et al.</i> , ULiège/CEA (B)
4.38	0.999919	0.4	0.37	F-picarde1.ref-1995	Picardie, France	HOFFSUMMER P. <i>et al.</i> , ULiège/CEA (B)
3.97	0.999897	0.22	0.29	B-NAMUR2.REF-ULiège2004	Namur, Belgique	HOFFSUMMER P. <i>et al.</i> , ULiège/CEA (B)

c. Datation de la moyenne P515-M1-FASY sur les chronologies de hêtre de pays voisins

Résultats pour P515-M1-FASY: 902 AD – 1149 AD						
t de Student	Probabilité / sécurité	Corr. 1	Corr. 2	Chronologie du référentiel	Localisation (commune, prov.-dép.-district, pays)	© Référence
16.3	0.999995	0.7	0.7	vlg5x00	Vlaardingen (Hollande méridionale, Pays-Bas)	HANRAETS E., RING (NL)
14.06	0.999995	0.62	0.64	Evergem	Evergem (Flandre orientale, Belgique)	FRAITURE & WEITZ(IRPA)_VANDAALLEN
8.43	0.999995	0.56	0.56	ttgh59	Téteghem (Nord, France)	GIRARDCLOS O., BOURQUIN-MIGNOT C., CNRS (F)
8.28	0.999995	0.44	0.44	LONDB241	Londres (Grand Londres, UK)	TYERS I., formerly University of Sheffield (UK)

Tabl. 1 – Résultats des calculs de datation : a) de la moyenne du site de Nivelles pour le hêtre (P515-M1-FASY) sur le référentiel de chronologies du chêne (hétéroconnexion) ; b) de la moyenne du site de Nivelles pour le hêtre (P515-M1-FASY) sur le référentiel de chronologies du hêtre ; c) de la moyenne du site de Nivelles pour le chêne (P515-M1-QUSP) sur le référentiel de chronologies du chêne. Logiciel de production des données : *Dendron IV*, version 20150222.

MISE EN ŒUVRE DU BOIS

En dépit d'un biais lié à la sélection des prélèvements visant à optimiser l'obtention de résultats dendrochronologiques, plusieurs caractéristiques techniques du matériau et de sa mise en œuvre peuvent être soulignées.

Du point de vue dendrologique, les pièces de chêne du corpus présentent une croissance plutôt rapide. Une telle caractéristique pour cette essence produit un bois dense, résistant¹⁴, donc approprié à la fonction de couvercle qui doit retenir les terres. De fait, à Nivelles, bien que l'échantillonnage soit limité, trois des quatre planches de chêne

dont la position dans le contenant est identifiée sont des couvercles. Quant au hêtre, sa résistance se mesure à la porosité du bois qui dépend elle-même du nombre de rayons médullaires et de la taille des vaisseaux¹⁵. À Nivelles, l'anatomie du hêtre indique davantage l'emploi de bois à forte porosité, donc plutôt tendre (fig. 9), ce qui favorise la stabilité dimensionnelle. Le hêtre mis en œuvre ici s'adaptait donc au mieux à son usage de destination, sous la forme de longues planches.

Quant à la mise en œuvre du bois, l'examen des sections prélevées pour la dendrochronologie a révélé l'emploi de deux modes de débitages des grumes (fig. 10) : sur quartier

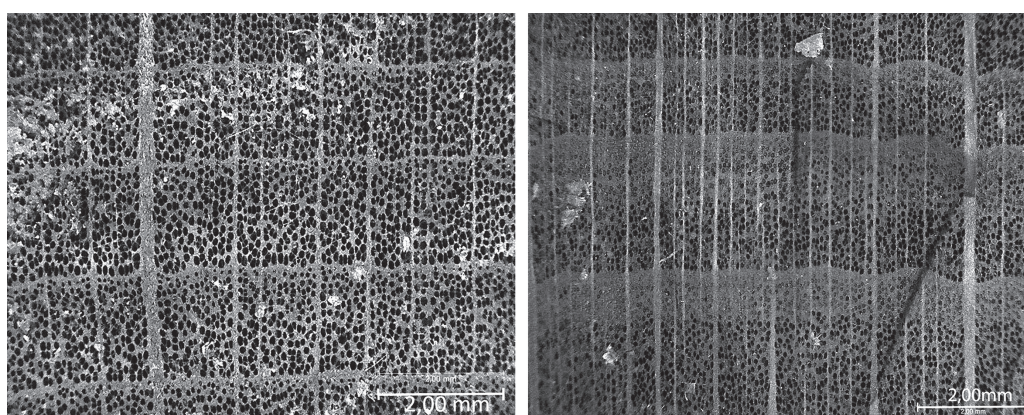


Fig. 9 – Détails de deux échantillons de hêtre dont l'anatomie est représentative de l'ensemble des bois étudiés pour le site de Nivelles : vaisseaux nombreux, jointifs et de forts diamètres. Photos: Laboratoire de Dendrochronologie (© IRPA, Bruxelles, 2013).

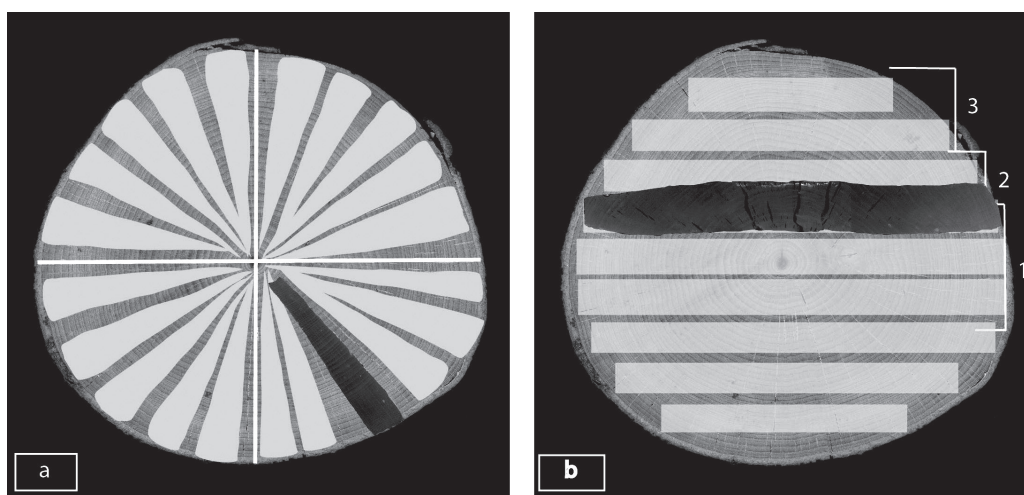


Fig. 10 – Deux modes principaux de débitage en planches : a) sur maille, les planches produites sont sur quartier; b) sur boule, les planches produites sont sur quartier (1); sur faux quartier (2); sur dosse (3). Fond : scan d'une rondelle de hêtre, N. Latte, GABT-ULg, 2013; schémas : Laboratoire de Dendrochronologie (© IRPA, Bruxelles, 2013).

14. À Nivelles, le cerne moyen pour le chêne varie de 1,624 à 3,605 mm, avec une moyenne de 2,542 mm (précisons que ni les premiers ni les derniers cerne de croissance ne sont préservés sur les planches analysées).

15. Teissier du Cros 1981, 408.

et sur boule, avec une utilisation des deux techniques dans la zone 01, dans la zone 03, et parfois aussi au sein d'un même cercueil. Le débitage sur quartier est obtenu par fendage, une technique qui requiert l'emploi de grumes au fil rectiligne. C'est en effet le cas pour la majorité des bois mis en œuvre à Nivelles, qui présente une croissance régulière et comporte peu de nœuds. Quant aux planches débitées sur boule, elles auraient été obtenues par sciage plutôt que par fendage, ce dernier s'appliquant difficilement à une coupe non radiale¹⁶. Malgré le bon état de conservation du bois, les faces des planches n'auraient pas permis ces observations étant donné l'érosion qu'elles ont subie. Quoi qu'il en soit, le choix de la technique de coupe semble directement lié à l'essence, à savoir sur quartier pour la majorité des éléments en hêtre et sur boule pour ceux en chêne. Il a également une implication directe sur les qualités du produit obtenu. La coupe sur quartier produit des planches radiales, de section triangulaire, qui ont de bonnes propriétés mécaniques (peu sensibles au retrait du bois), et qui n'incluent pas la moelle au comportement très instable ; leur largeur est toutefois limitée au rayon de l'arbre (entre 10 et 23 cm dans le corpus). Le débitage sur boule, quant à lui, produit des pièces de section rectangulaire dont l'orientation est soit sur quartier, soit sur faux quartier, soit sur dosse, selon leur éloignement par rapport au cœur de l'arbre. Ce mode de débitage permet de disposer de planches dont la largeur peut mesurer autant que le diamètre de la grume (soit nettement plus de 40 cm ici), mais elles sont bien plus enclines aux déformations et fissurations du bois, car elles comportent soit la moelle, soit du bois tangentiel.

Enfin, les synchronisations entre les séries dendrochronologiques, par calculs et visuelles, ont mis en évidence, à plusieurs reprises, l'emploi de planches tirées du même arbre au sein d'un même cercueil. Ces parentés identifiées par dendrochronologie sont confirmées par les similitudes de dimensions des planches et leur mode de débitage. Par contre, aucun cas de pièces issues d'une même grume qui seraient réparties dans des cercueils différents n'a été repéré. Cette observation ne plaide pas pour une production « préfabriquée » ou groupée des contenants : on peut en effet postuler qu'une production centralisée induirait l'emploi de planches d'une même grume à différents endroits sur le site¹⁷.

16. Il serait quand même néanmoins possible de débiter des grumes sur boule par fendage (Hunot, Henrion 2012, 35).

17. Cette observation rejoint en quelque sorte les résultats des datations des contenants, puisque les *termini post quem* font état d'une production échelonnée sur trois quart de siècles, voire davantage.

PROVENANCE, PEUPEMENT ET MILIEU(X) DE CROISSANCE

La dendroprovenance est une approche pertinente pour aider à restituer les réseaux d'approvisionnement en matière première. Localiser la provenance d'un bois requiert que sa série dendrochronologique soit comparée à des chronologies référentielles composées de bois dont l'origine géographique est connue ; les chronologies qui offrent les plus fortes ressemblances avec la série étudiée sont considérées comme étant celles qui reflètent la/les zone(s) de provenance la/les plus proches de celle(s) du bois concerné¹⁸.

Cette recherche de l'origine géographique des arbres appliquée au cas de Nivelles révèle une provenance vraisemblablement régionale des chênes (fig. 11). Cet exercice est plus délicat pour le hêtre (fig. 12). En cause, d'une part, le faible nombre de chronologies référentielles pour cette essence, à cette période en Europe occidentale et, d'autre part, l'excellente réponse dendrochronologique du hêtre sur de longues distances, par opposition à des essences comme le chêne¹⁹. Ainsi, les bois de hêtre donnent ici des taux de synchronisation extrêmement élevés tant par comparaison à une chronologie de Hollande Méridionale ($t > 6$)²⁰ qu'à une autre du Nord-Pas-de-Calais ($t > 8$)²¹, qui correspondent aux chronologies de site les plus proches dont nous disposons au moment de notre intervention, et qui sont pourtant situées toutes deux à environ 150 km de Nivelles.

Pour la fabrication d'objets courants comme ces cercueils, le bon sens plaiderait pour un approvisionnement régional du bois, mais la prudence reste de mise²². Dans le cas de Nivelles, cette hypothèse d'une origine régionale du hêtre peut être soutenue par les sources historiques. D'une part, celles-ci mentionnent l'abbaye de Nivelles comme détenteur d'un domaine forestier important à partir du XII^e siècle²³. D'autre part, elles attestent la présence de hêtres et de chênes dans les forêts proches de Nivelles pour

18. Voir par exemple, Schweingruber 1988, Jansma 1995, Bonde *et al.* 1997, Fraiture 2009.

19. V. Bernard, comm. pers., 24/01/2012 ; W. Tegel, comm. pers., 12/02/2013 ; I. Tyers, comm. pers., 12/02/2013.

20. Vlaardingen, NL (Vredenburg, De Ridder 2004).

21. Tétéghem, F (Girardclos, Perrault 2005).

22. Il existe bien des sites funéraires médiévaux (par exemple à Hull au XIV^e siècle) pour lesquels le chêne – pourtant présent de manière native – était importé sur de très longues distances (Tyers 2002).

23. Information aimablement communiquée par P. Charruadas (31/07/2014), recueillie dans le cadre de recherches historiques menées à l'ULB qui portent sur les forêts du haut Moyen Âge à 1300 (Willems J.F., Codex diplomaticus, in : de Klerk J., De Brabantsche yeesten of Rymkronyk van Brabant. Les gestes des ducs de Brabant, Willems J.F. & Bormans J.H. (eds.), Bruxelles, CRH, 1839-1869, vol. I, 673).

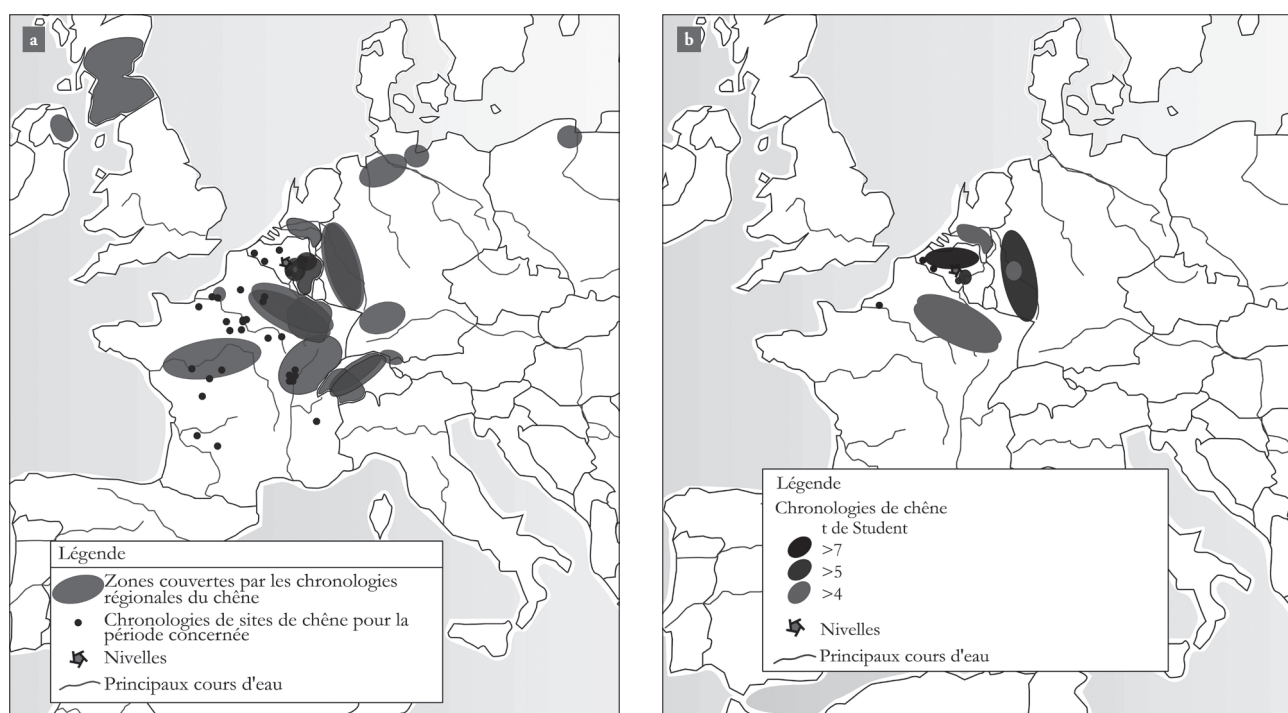


Fig. 11. a. Couverture géographique du référentiel de chronologies régionales et de sites pour le chêne, disponibles au laboratoire pour la période concernée. **b.** Cartographie (selon la provenance des artefacts) des taux de corrélation lors de la comparaison de la moyenne du site de Nivelles pour le chêne (P515-M1-QUSP) avec le référentiel illustré en 11a.

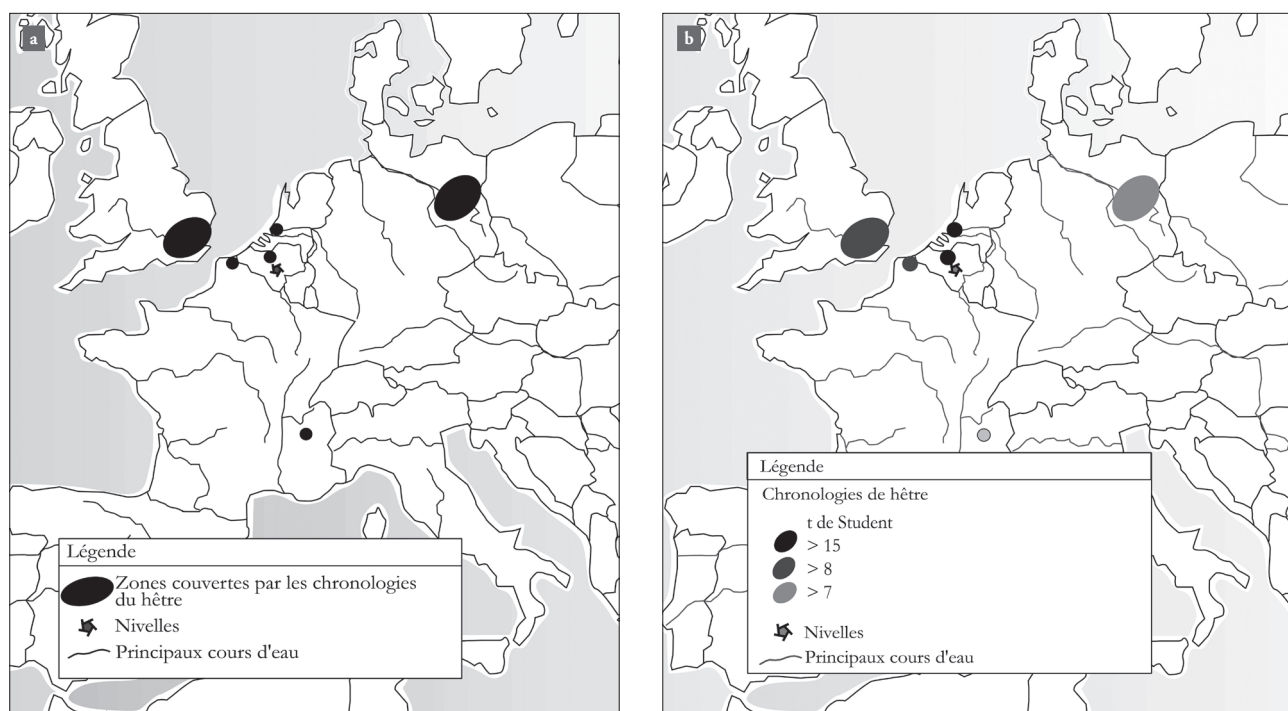


Fig. 12. a. Couverture géographique du référentiel de chronologies régionales et de sites pour le hêtre, disponibles au laboratoire pour la période concernée. **b.** Cartographie (selon la provenance des artefacts) des taux de corrélation lors de la comparaison de la moyenne du site de Nivelles pour le hêtre (P515-M1-FASY) avec le référentiel illustré en 12a.

la seconde moitié du XIII^e siècle, qui devaient au moins en partie relever du domaine foncier de l'abbaye²⁴. Il est donc plausible que l'abbaye ait pu s'approvisionner localement déjà quelques décennies plus tôt²⁵.

Quant à la caractérisation de la/des population(s) dont sont issus les arbres échantillonnés, les paramètres pris en compte (diamètre des troncs, âge des arbres et rythme de croissance moyen des individus) révèlent une très forte variabilité pour les individus d'une même essence²⁶, difficile à interpréter au sein d'un peuplement. Des troncs de diamètres (a minima)²⁷ variant de 20 cm à plus d'un mètre, des arbres de 30 à 250 ans, produisant par année des quantités moyennes de bois variant, selon les individus, de 0,6 à 7 cm en épaisseur reflètent vraisemblablement la mise à profit de plusieurs populations pour fournir en planches le cimetière abbatial.

Par ailleurs, l'examen des schémas de croissance peut contribuer à spécifier le milieu forestier d'où sont issus les arbres. Dans nos régions, des modèles sont disponibles pour le chêne²⁸, mais peu d'études ont été entreprises pour le hêtre (par exemple, Badeau 1995). À ce premier écueil, s'ajoute l'absence des premiers cernes de croissance de la vie des arbres sur la majorité des prélèvements (la moelle n'est que très rarement présente; voir plus haut). Les modèles prenant en compte le rythme de croissance des végétaux dès les premiers cernes formés, l'interprétation des graphiques obtenus pour Nivelles en devient plutôt subjective. Il est vraisemblable que les chênes et les hêtres proviennent des mêmes forêts, puisque ces deux essences cohabitent fréquemment, par exemple en futaie (Liettaghi 2004). Et de fait, les profils des quelques échantillons de chêne pourraient refléter la futaie et le taillis, et l'hypothèse de la futaie est également possible pour les hêtres matures à croissance lente. Mais l'échantillonnage comprend également un groupe de hêtres juvéniles à croissance très vigoureuse. Ceux-ci seraient plutôt issus de lisières ou d'un milieu ouvert, à moins qu'ils ne reflètent les prémices d'une gestion en taillis, laquelle est avérée au XIII^e siècle dans les archives²⁹.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les informations dendro-archéologiques recueillies sur les planches des contenants mises au jour dans deux zones funéraires de la grand-place de Nivelles contribuent à une meilleure connaissance du contexte archéologique du site, bien que la nature de l'échantillonnage (type de pièces, choix des essences, état de conservation, etc.) limite la précision de certains résultats.

Les datations rendent compte d'une occupation contemporaine des deux secteurs, qui s'échelonne vraisemblablement sur les trois premiers quarts du XII^e siècle au moins. Des quatre essences identifiées pour les planches, le hêtre domine largement puisqu'il représente plus de 80 % du corpus. La coexistence de deux modes de débitage des grumes a pu être démontrée, le débit sur quartier et celui sur boule, qui confèrent aux pièces de bois produites des caractéristiques différentes, tant en dimensions qu'en qualités mécaniques. En parallèle, les propriétés anatomiques observées sur les éléments de hêtre comme sur ceux de chêne ont semblé adaptées aux usages comme aux modes de production. En outre, l'emploi d'essences que l'on sait disponibles de manière indigène, les comparaisons dendro-chronologiques avec les chronologies existantes et les informations disponibles dans les sources historiques convergent vers un approvisionnement en bois par les ressources régionales. Dans ce contexte, on peut se demander si la fonction des pièces a orienté le choix de la matière première, si les propriétés mécaniques du matériau disponible ont guidé les modes de mise en œuvre, ou si ce sont les compétences techniques des artisans qui sont à l'origine des choix opérés.

Au terme de ce travail, plusieurs autres questions restent ouvertes; elles concernent par exemple les stratégies d'approvisionnement, une éventuelle gestion de stocks... Celles-ci pourront sans doute guider de futures investigations en archives et, d'autre part, s'enrichir des résultats des autres études menées sur le site: xylologiques, anthropologiques, palynologiques, etc. Le recours à l'archéologie expérimentale³⁰, devrait en outre aider à comprendre certains choix techniques observés, permettre de valider les étapes de la chaîne opératoire et l'identification des modes d'assemblage, et estimer la résistance des différents types de contenants, en particulier de leurs fonds³¹.

24. Voir n. 16: P. Charruadas, comm. pers., 31/07/2014.

25. Voir n. 16: P. Charruadas, comm. pers., 31/07/2014.

26. Tant séparément qu'en corrélations deux par deux (diamètre/âge; âge/rythme).

27. Les planches examinées ne correspondent jamais au rayon du tronc (dans le cas du débitage sur quartier) ou à son diamètre complet (pour celui sur boule) puisqu'elles ne comportent pour ainsi dire jamais le début de croissance ni, dans aucun cas, les derniers cernes.

28. Billamboz 2006, Girardclos, Petit 2011, Haneca *et al.* 2005.

29. Voir n. 16: P. Charruadas, comm. pers., 31/07/2014.

30. Ces reconstitutions ont été menées sous la direction de M.-L. Van Hove, en octobre 2014, en partenariat avec le Centre des Métiers du Patrimoine de la Paix-Dieu à Amay (IPW) et l'Institut Provincial des Arts et Métiers de Nivelles (IPAM) lors d'un stage d'une semaine en octobre 2014.

31. Fraiture *et al.* 2015.

Enfin, la recherche dendrochronologique menée sur le site de Nivelles a abouti à la constitution de la première chronologie datée pour le hêtre en Belgique, robuste puisqu'elle rassemble près d'une soixantaine d'individus et couvre deux siècles et demi (902 – 1149 AD)³². Celle-ci constitue une étape majeure pour la dendrochronologie du hêtre, non seulement en Belgique mais également pour l'Europe de l'ouest, puisque son hétéroconnexion avec les chronologies du chêne et du hêtre existantes, pour la période couverte, a mis en évidence un problème de décalage chronologique entre le chêne et le hêtre depuis l'extrême ouest de l'Europe (Londres) jusqu'à la région de Berlin³³.

Remerciements

Cette étude a été financée par l'AWaP, dans le cadre d'une convention avec l'IRPA (n° visa 11/42988). Les auteurs remercient vivement les collègues qui nous ont conseillées tout au long de notre travail, et ceux qui ont mis à notre disposition leurs chronologies : Vincent BERNARD, CNRS, Dendro-archéologie, UMR 6566 CReAAH, Université de Rennes, F ; Paulo CHARRUADAS, CReA-Patrimoine, Université libre de Bruxelles, B ; Olivier GIRARDCLOS, Laboratoire Chrono-Environnement, UMR 6249 CNRS-Université de Franche-Comté, Besançon, F ; Kristof HANECA, Flanders Heritage Agency, Bruxelles, B ; Karl-Uwe HEUSSNER, German Archaeological Institute DAI, Berlin, D ; Esther JANSMA, Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap, Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed, Amersfoort, NL ; Nicolas LATTE, Gembloux Agro Bio-Tech, Université de Liège, B ; Christophe PERRAULT, CEDRE, Besançon, F ; Willy TEGEL, *DendroNet*, Bohlingen, D ; Ian TYERS, Dendrochronological Consultancy Limited, Retford, UK ; Sjoerd VAN DAALEN, Van Daalen Dendrochronologie, Deventer, NL.

Bibliographie

- Badeau 1995** : V. Badeau, *Étude dendroécologique du hêtre* (*Fagus sylvatica* L.) sur les plateaux calcaires de Lorraine. Influence de la gestion sylvoicole, Thèse de doctorat en Sciences et Techniques biologiques, Biologie Forestière, Université de Nancy I, 1995, 224 p.
- Billamboz 2006** : A. Billamboz, Dendroarchäologische Untersuchungen in den neolithischen Ufersiedlungen von Hornstaad-Hörnle, Siedlungsarchäologie im Alpenvorland IX. *Forsch. U. Ber. Vor u. Frühgesch. Baden-Württemberg*, 98, 2006, 297–359.
- Bonde et al. 1997** : N. Bonde, I. Tyers, T. Wążny, Where does the timber come from? Dendrochronological evidence of the timber trade in Northern Europe, in : A. Sinclair, E. Slater, J. Gowlett

(eds.), *Proceedings of a conference on the application of scientific techniques to the study of archaeology*, Liverpool, 1995, Oxford, Archaeological Sciences, Oxbow Monograph, 64, 1997, 201-204.

- Bourquin-Mignot 1994** : C. Bourquin-Mignot, Dendrochronologie du hêtre sur un site médiéval des Préalpes Françaises, *Dendrochronologia*, 12, 1994, 103-115.
- Chantinne, Van Hove 2011** : F. Chantinne, M.-L. Van Hove, Les fouilles préventives de l'église Saint-Paul sur la Grand-Place, *Archaeologia Mediaevalis*, 34, 2011, 30-31.
- Chantinne, Van Hove, Willems 2012** : F. Chantinne, M.-L. Van Hove, D. Willems, Nivelles/Nivelles : clôture des interventions archéologiques menées sur la Grand-Place. *Chronique de l'Archéologie wallonne*, 19, 2012, 30-34.
- Colette et al. 2011** : O. Collette, F. Heller, A. Malevez-Schmitz, M.-H. Schumacher, M.-L. Van Hove, D. Willems, G. Yernaux, Nivelles/Nivelles : apports des premières interventions archéologiques menées sur la Grand-Place, *Chronique de l'Archéologie wallonne*, 18, 2011, 37-39.
- Dietrich 2014** : A. Dietrich, Rapport xylogologique complet : Bois des sépultures médiévales Fouilles archéologiques de la grand-place de nivelles (Belgique), INRAP, version 19, octobre 2014.
- Fraiture 2009** : P. Fraiture, Contribution of dendrochronology to understanding of wood procurement sources for panel paintings in the former Southern Netherlands from 1450 to 1650, *Dendrochronologia*, 27, 2009, 95-111.
- Fraiture 2013** : P. Fraiture, *Report of Dendrochronological Analysis, panel paintings. Hubert and Jan van Eyck. Ghent Altarpiece: Adam and Eve (Ghent, St Bavo Cathedral)*, Royal Institute for Cultural Heritage, 2013, <http://closertovaneyck.kikirpa.be/#home/sub=documents>, 42 p.
- Fraiture 2015** : P. Fraiture, Le second œuvre étudié par dendrochronologie : prémices d'un domaine prometteur, in : C. Bolle, G. Coura, J.-M. Leotard (eds.), *L'archéologie des bâtiments en question. Un outil pour les connaître, les conserver et les restaurer*, Actes du colloque international (2010) (Liège), Études et Documents, 35, 2015, 141-161.
- Fraiture et al. 2015** : P. Fraiture, M.-L. Van Hove, A. Weitz, D. Willems, Les cercueils de la grand-place de Nivelles : étude technique et archéologie expérimentale (Brabant wallon), *Archaeologia Mediaevalis*, 38, 2015, 117-121.
- Girardclos, Petit 2011** : O. Girardclos, C. Petit, Dendroarchaeological contribution to the history of forest exploitation. The case of the Gallo-Roman settlement of Oedenburg (Alsace, France) between 10 and 180AD, in : P. Fraiture (dir.), *Tree Rings, Art, Archaeology*, Proceedings of an international Conference (2010) (Brussels), Bruxelles, *Scientia Artis*, 7, 2011, 77-95.
- Guibal, Pomey 1998** : F. Guibal, P. Pomey, Dendrochronologie et dendromorphologie, in : G. Volpe (ed.), *Archeologia subacquea - Come opera l'archeologo sott'acqua. Storie dalle acque*, VIII Ciclo di Lezioni sulla Ricerca applicata in Archeologia, 1996, Siena, Firenze, Edizioni all'insegna del Giglio, 1998, 425-446.
- Haneca et al. 2005** : K. Haneca, J. Van Acker, H. Beeckman, Growth trends reveal the forest structure 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, 2005, 767-805.

32. Précisons qu'à ce jour, de nouveaux vestiges en hêtre ont déjà permis de rallonger la chronologie jusqu'au début du IX^e siècle (811-1149 AD) (Fraiture et al. 2014b).

33. Fraiture et al. 2014b, recherche en cours (collaboration IRPA et Van Daalen Dendrochronologie).

- Hunot, Henrion 2012:** J.-Y. Hunot, F. Henrion (coll), Techniques de mise en œuvre : entre la logique menuisère et la réalité archéologique, in : F. Carre, F. Henrion (dir.), *Le bois dans l'architecture et l'aménagement de la tombe: quelles approches?* Actes de la table ronde d'Auxerre, 2009, Mémoires de l'Association française d'archéologie mérovingienne, 23, 2012, 33-40.
- Jansma 1995:** E. Jansma, *Remember Rings. The Development and Application of Local and Regional Tree-ring Chronologies of Oak for the Purposes of Archaeological and Historical Research in the Netherlands*, Nederlandse archeologische rapporten, 19, 1995, 114 p.
- Lieutaghi 2004:** P. Lieutaghi, *Le livre des arbres, arbustes et arbrisseaux*, Actes Sud, Arles, 2004, 1322 p.
- Schweingruber 1988:** F. H. Schweingruber, *Tree-ring Basics and Applications of Dendrochronology*, Dordrecht, D. Reidel Publishing Company, 1988, 276 p.
- Teissier Du Cros 1981:** E. Teissier Du Cros (dir.), *Le Hêtre*, Institut National de la Recherche Agronomique Département des recherches forestières, Paris, 1981, 614 p.
- Tyers 2002:** I. Tyers, État actuel des recherches dendrochronologiques concernant les changements de production du bois d'œuvre et de son approvisionnement en Angleterre du XII^e au XVII^e siècle, in : D. Allart, P. Hoffsummer (dir.), *L'archéométrie au service des monuments et des œuvres d'art*, Actes du premier colloque interdisciplinaire d'Archéométrie de l'Université de Liège, 2000, Vertbois, Liège, Dossier de la Commission royale des monuments, sites et fouilles, 10, 2002, 73-79.
- Vredenbregt, De Ridder 2004:** A. H. L. Vredenbregt, T. De Ridder (eds.), *VLAK-verslag 15.2 – Gat in de Markt 1.101, Houtgebruik in 11^e-eeuwse graven*, Vlaarginds Archeologisch Kantoor, 2004, 108 p.
- von Jazewitsch 1953:** W. Von Jazewitsch, Jahringchronologie der Spessart-Buchen. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 72, 1953, 234-247.
- Weitz, Fraiture 2013:** A. Weitz, P. Fraiture, Abbaye de Nivelles: apports de l'étude dendrochronologique des planches provenant d'inhumations de la Grand Place, in : *Journées de l'archéologie en Wallonie* 21-22, 2013, Bouge, 2013, 43-47.
- (non publiés)
- Fraiture et al. 2014a:** P. Fraiture, S. Cremer, A. Weitz, *Rapport d'analyse dendrochronologique. Planches de sépultures, Grand Place, Nivelles (Brabant wallon)*, Bruxelles, Institut royal du Patrimoine artistique, 2014, 147 p. (vol. 1, texte), 67 p. (vol.2, annexes).
- Fraiture et al. 2014b:** P. Fraiture, A. Weitz, S. Van Daalen, Dendrochronological research on beech in Belgium: the case of 12th c. graves from the Nivelles Abbey (Walloon Brabant) and future archaeological prospects, in : I. García-González, M. Souto-Herrero (ed.), *Book of Abstracts for Eurodendro*, 2014, Lugo, 2014, 19.
- Girardclos, Perrault 2005:** O. Girardclos, C. Perrault, *Rapport d'analyse dendrochronologique. Site de Tèteghem (59)*, Besançon, C.E.D.R.E., 2005, 22 p.

Constructions en bois et habitat rural rupestre en Basse-Provence au Moyen Âge. Dendrologie, anthracologie et archéologie

Claire Venot-Tisserand* et Frédéric Guibal**

Résumé

L'histoire de la forêt au haut Moyen Âge en Basse Provence est une question difficile à étudier en raison du manque de matériaux ligneux à disposition sur les sites archéologiques et du manque de textes traitant de la question. Une thèse a été réalisée sur le sujet dans le but de mieux connaître l'emploi du bois dans l'architecture rupestre. Cette thèse utilise la pluridisciplinarité comme support d'étude en croisant l'étude architecturale des traces d'encastrement, l'anthracologie et la dendrochronologie. Le croisement des résultats obtenus dans le cadre de ce travail permet d'identifier les espèces ligneuses utilisées sur les sites archéologiques, de déterminer les dimensions des arbres utilisés dans la construction et d'identifier les formations ligneuses d'où ces arbres pourraient provenir.

Mots-clés : Moyen Âge, habitat rupestre, traces d'encastrement, Pin d'Alep, bois, modélisation.

Abstract

Lower Provence high Middle Ages forest history is a difficult issue to address due to a lack of wood on archaeological sites and a lack of texts on the issue. A PhD has been carried out on the subject to learn more about the use of wood in rupestrian architecture. This thesis uses multidisciplinary as study support associating the architectural study of wall digging traces, anthracology and dendrochronology. The matching of the results obtained in the course of this work makes it possible to identify tree species used in archaeological sites, to determine the size of the trees used in the construction and to identify wood stands from which trees could be issued.

Keywords: Middle Ages, Rupestrian architecture, beam imprints, Aleppo Pine, wood, modelling.

INTRODUCTION

L'histoire de la forêt en basse Provence médiévale est peu connue pour la période du Haut Moyen Âge. Peu de textes sont recensés pour cette aire chronologique et géographique et peu d'archives ligneuses de terrain sont disponibles dans les contextes archéologiques de la période¹. Les archives sédimentaires et leurs témoignages fossiles, notamment les pollens, ont permis aux palynologues et géomorphologues de dresser un tableau général de la végétation et de son évolution dans le delta du Rhône et dans

le marais des Baux² jusque dans l'Antiquité et pour partie au début du Moyen Âge. Ailleurs, et notamment dans le sud de la France, les vestiges de charbons de bois conservés dans les sols permettent de livrer une image de la végétation ligneuse incendiée³.

C'est dans ce contexte historiographique général que se place une étude sur la forêt médiévale en Provence et sur son utilisation dans l'habitat. Le parti pris de l'étude est d'aborder la question du bois dans l'habitat et la gestion de la forêt qui découle de son utilisation à partir de l'habitat

1. Durand 1998, Bernardi 1995, Bouticourt 2005, Boyer 1990, Bravard, Burnouf, Chouquer 1997, Burri 2007, Cenzon-Salvayre, Durand 2010, Parodi 1992, Pesez 1983, Poisson, Schwien 2003.

2. Acherki 1997, Andrieu-Ponel *et al.* 2000 a, Andrieu-Ponel *et al.* 2000 b, Andrieu-Ponel *et al.* 2000 c, Arnaud-Fassetta, Heijmans, Valentin 1999.

3. Vernet 2001, Chabal 1994, Durand 1998, Thiébaud 1997.

* Aix Marseille Univ, Avignon Université, CNRS, IRD, IMBE, Marseille, France. Aix Marseille Univ, CNRS, LA3M, Aix-en-Provence, France.

** Aix Marseille Univ, Avignon Université, CNRS, IRD, IMBE, Marseille, France.



Fig. 1 – Cirque de Calès, Vue du haut du cirque (C. Venot-Tisserand).



Fig. 2 – Paroi rupestre et traces d'encastements, Les Baux-de-Provence (C. Venot-Tisserand).

rupestre (fig. 1), des vestiges de bois carbonisés conservés dans les sols et des traces d'encastements d'éléments de bois qui sont visibles sur les parois.

Les traces d'encastements d'éléments de bois (fig. 2) sont le point de départ de la modélisation de croissance radiale de deux espèces choisies pour leur représentativité environnementale en basse Provence occidentale : le Pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) et le Chêne pubescent (*Quercus pubescens* Willd.).

L'enjeu de la modélisation de ces deux espèces est double. Le premier enjeu est d'établir une relation entre le diamètre des arbres étudiés et un âge moyen pour caractériser les arbres utilisés dans la construction rupestre. Ce travail est effectué à partir de tiges sur pied échantillonnées

sur plusieurs stations de fertilités différentes. Le deuxième enjeu est de restituer les peuplements d'origine des tiges utilisées dans l'habitat rupestre médiéval. Ce travail est basé sur la comparaison des peuplements ligneux restitués par les traces d'encastement analysées sur des sites rupestres médiévaux et les peuplements modélisés à partir de données d'inventaire enregistrées par l'équipe EMAX de l'IRSTEA d'Aix-en-Provence.

1. MODÉLISATION DE LA CROISSANCE RADIALE DES TIGES : L'EXEMPLE DU PIN D'ALEP

1.1. Problématiques et enjeux

La modélisation de la croissance radiale du Pin d'Alep repose sur les caractéristiques écologiques des stations échantillonnées. La croissance radiale est un trait⁴ dont l'étude est souvent délaissée par les écologues⁵ car elle dépend de très nombreux facteurs écologiques et s'avère difficilement prévisible. Les modèles sont construits à partir de tiges échantillonnées sur trois stations de fertilité différentes situées dans les environs du site archéologique médiéval du Montpaon⁶ en forêt de Fontvieille (Bouches-du-Rhône). Les trois stations représentent des conditions de bonne fertilité, de fertilité moyenne et de mauvaise fertilité définies par la profondeur du sol.

Pour chaque tige échantillonnée sur le terrain, les épaisseurs de cernes ont été mesurées et les épaisseurs moyennes

4. Cornelissen *et al.* 2003.

5. Vennetier *et al.* 2001.

6. Laharie *et al.* 2009, 2010, 2011, 2012, Venot 2010.

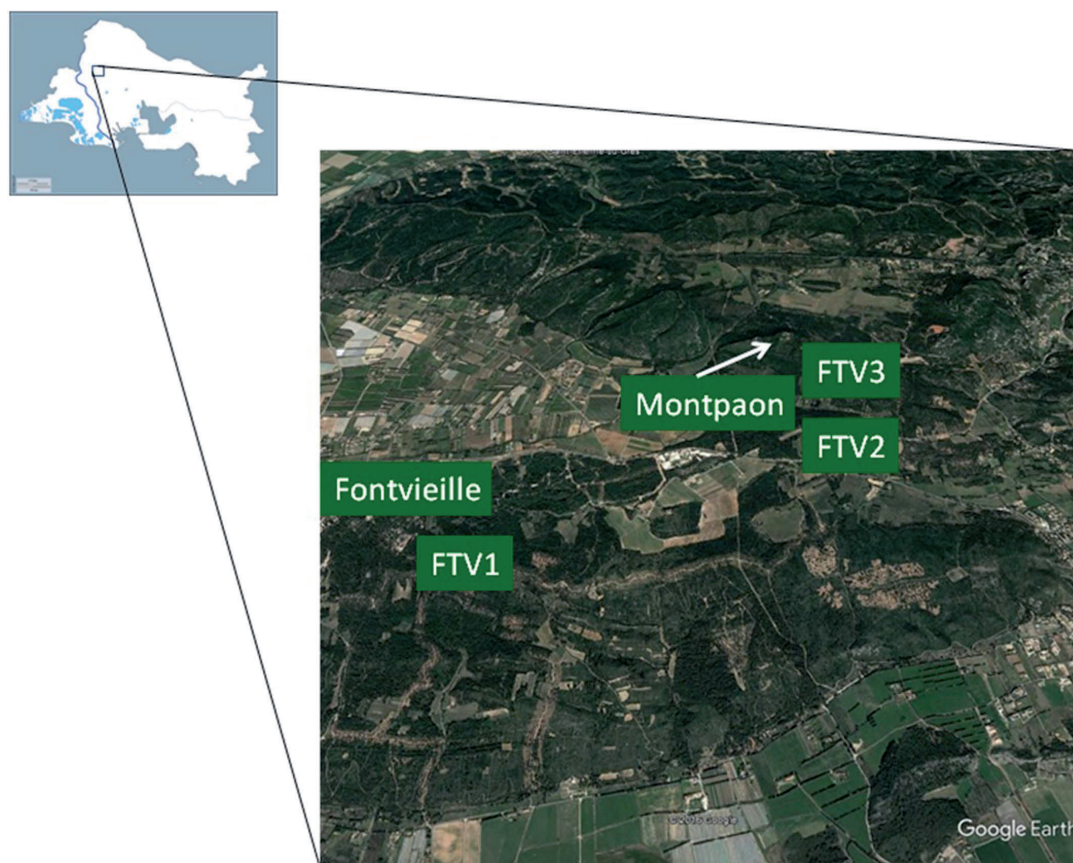


Fig. 3 – Carte des stations voisines du site du Montpaon (© Google Earth).

cumulées ont été reliées à l'âge de la tige. Pour chaque station, la moyenne des épaisseurs de cerne cumulées a été reliée au nombre de cernes comptabilisés pour proposer un âge moyen par diamètre de tige. Les données ainsi obtenues permettent d'attribuer un âge à chaque tige utilisée dans l'habitat rupestre et dont l'encastrement demeure visible sur les sites archéologiques. L'âge restitué de ces tiges dépend de l'espèce utilisée et de la fertilité de la station d'origine. Ces âges sont des estimations qui ne tiennent pas compte d'un éventuel emploi de bois dans la trace d'encastrement. La synthèse des résultats fournis par la mesure des dimensions des traces et les modèles de croissance radiale permet de proposer un âge et un modèle de peuplement utilisé dans la construction rupestre à un temps t .

1.2. Résultats par station

Pour le Pin d'Alep, trois stations ont été échantillonnées en forêt de Fontvieille. Les densités de peuplement d'une station à l'autre sont similaires.

La première station a été choisie en condition de bonne fertilité, la deuxième en condition de fertilité moyenne et la dernière en condition de fertilité mauvaise (fig. 3). Un minimum de trente individus a été carotté à cœur ou

prélevé sous forme de section transversale recueillie sur souche pour bâtir un modèle âge-diamètre pour chaque station.

L'âge maximal des pins de la station 1 est quatre-vingt-dix ans ; ceux des stations 2 et 3 sont respectivement de soixante-quatorze et cinquante-huit ans (fig. 4, 5, 6). Les peuplements actuels sont très vraisemblablement nés à la suite du dernier incendie, d'où la différence d'âge d'un peuplement à l'autre.

1.3. Discussion

Les résultats de la modélisation effectuée sur trois stations de fertilité différentes confirment que la croissance radiale du Pin d'Alep varie en fonction de la fertilité du sol. Les stations 1 et 2 ont un taux de croissance différent. Les stations 2 et 3 ont un taux de croissance assez proche. À partir d'un âge cambial égal à quarante ans, la croissance radiale des arbres de la station 2 devient supérieure à celle des arbres de la station 3 alors qu'auparavant, les arbres de la station 3 ont une croissance radiale supérieure (tabl. I). La modélisation permet de proposer un âge moyen en fonction des dimensions des traces d'encastrement relevées et en fonction du type de fertilité stationnelle.

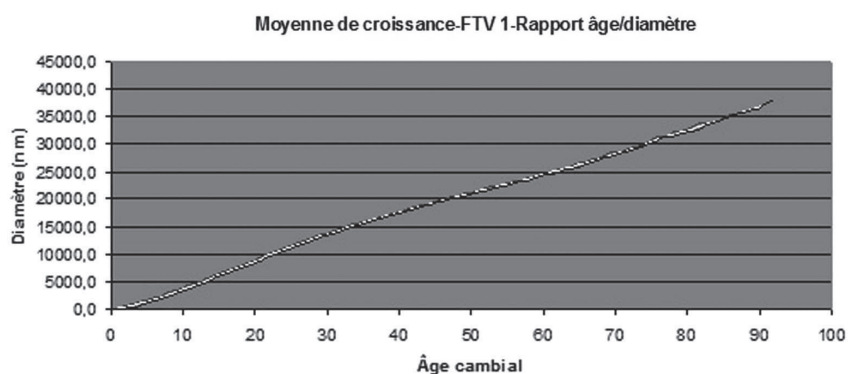


Fig. 4 – Épaisseurs moyennes cumulées en fonction de l'âge cambial pour la station FTV 01 (Fontvieille, 13).

— Diamètre
+ écart type
— Diamètre arbre
— Diamètre
- écart type

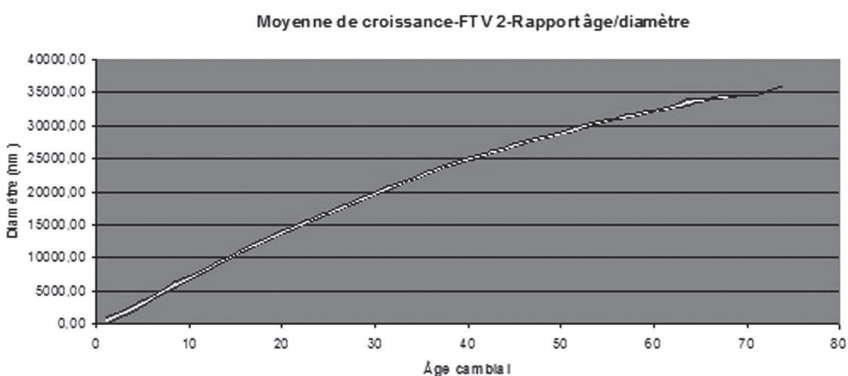


Fig. 5 – Épaisseurs moyennes cumulées en fonction de l'âge cambial pour la station FTV 02 (Fontvieille, 13).

— Diamètre
- écart type
— Diamètre arbres
— Diamètre
+ écart type

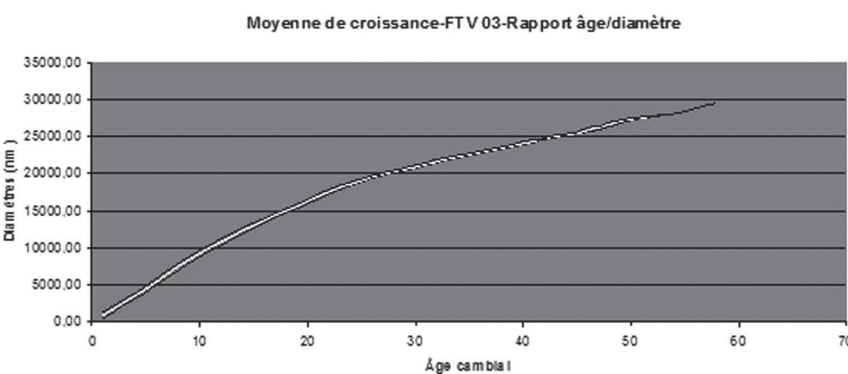


Fig. 6 – Épaisseurs moyennes cumulées en fonction de l'âge cambial pour la station FTV 03 (Fontvieille, 13).

— Diamètre
- écart type
— Diamètre arbres
— Diamètre
+ écart type

	Station 1	Station 2	Station 3
Age cambial	Diamètre (cm)	Diamètre (cm)	Diamètre (cm)
10	3,6	6,9	9,2
20	8,7	13,8	16,2
30	13,6	19,7	20,9
40	17,9	24,8	24,1
50	21,1	28,8	27,3
60	24,8	32,1	...
70	28,2	34,5	...
90	32,4
100	36,7

Tabl. I – Restitution des diamètres moyens en fonction de l'âge des tiges pour chaque station.

L'application de ces données à l'ensemble des traces d'encastremets fossiles relevées sur un site archéologique (cent quatre-vingt-sept traces sur le Montpaon (Fontvieille, 13), deux cent une traces sur le Verdelet 1, mille sept cent quatre-vingt-dix-huit traces sur le site de Calès (Lamanon, 13), cent cinquante-trois traces à Avalon (Vernègues 13), et deux mille deux cent vingt-quatre traces au château des Baux-de-Provence) permet une restitution des diamètres de tiges et de l'âge des arbres utilisés dans la construction. À ce stade, bien qu'un éventuel diachronisme des traces d'encastrement ne soit pas à écarter, l'image des diamètres restitués constitue un point de départ pour travailler sur les âges des peuplements de pins d'Alep environnant les sites ainsi que sur les usages dont ils ont fait l'objet.

2. MODÉLISATION DES PEUPEMENTS : LE CAS DU PIN D'ALEP

2.1. Problématiques et enjeux

La disponibilité d'une base de données à l'IRSTEA-EMAX d'Aix-en-Provence constitue une aide particulièrement précieuse pour élargir notre modélisation à l'ensemble des milieux et des formations forestières dans lesquels cette essence se rencontre aujourd'hui en Provence. Les modèles de peuplement de Pin d'Alep sont ainsi établis à partir d'une base de plus de mille sept cent individus échantillonnés en

Provence par l'IRSTEA et doivent permettre de mieux caractériser les relations diamètre-âge en fonction de données dendrologiques. De tels modèles délivrent une distribution des âges en fonction de critères tels que la fertilité de la station, la mixité ou la densité des peuplements. Cette approche permet d'interpréter les données relatives aux traces d'encastremets d'éléments en bois relevées dans les habitats rupestres à l'aide des modèles établis sur des données issues d'inventaires sur le terrain. L'archéologue paléo-environnementaliste sera ainsi en mesure de tester des hypothèses sur les formations forestières d'où proviennent les bois archéologiques, sur la provenance de ces formations en termes de fertilité et de densité, et sur le type de gestion dont elles ont pu faire l'objet.

2.2. Constitution des modèles de peuplement

La modélisation a été effectuée à partir de données enregistrées sur plus de cinq cents placettes réparties dans toute la région Provence-Alpes-Côte d'Azur ; un à six arbres par placette ont été recensés, pour un total de mille sept cent trente individus. Les modèles de peuplement résultent d'une classification arborescente fondée sur trois classes de fertilité, quatre types de mixités par classe de fertilité et quatre types de densité par classe de mixité. Un total de seize fois trois modèles délivre quarante-huit modèles théoriques de peuplement (fig. 7).

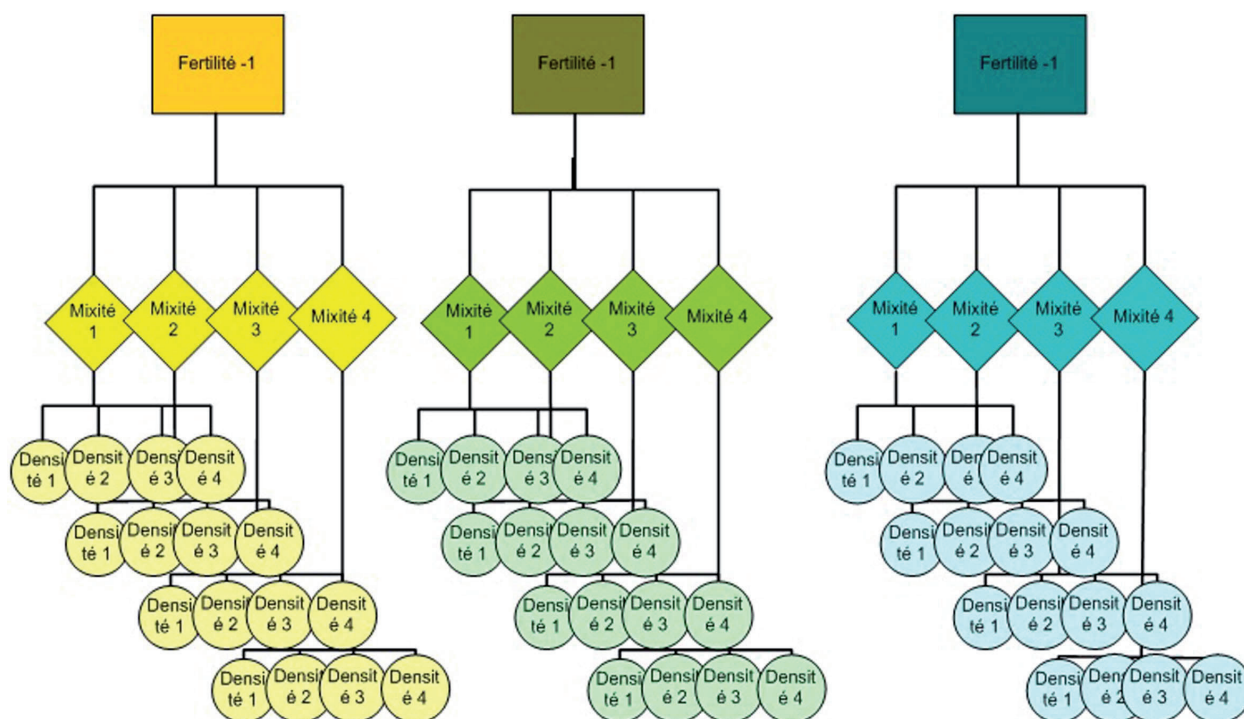


Fig. 7 – Arborescence théorique de la modélisation des peuplements de Pin d'Alep.

Stations, indices de fertilité et densité

Les indices de fertilité (H70) de la base de données IRSTEA correspondent à la hauteur moyenne des arbres d'une placette donnée à l'âge de référence de soixante-dix ans⁷; ils sont corrigés de «l'effet génération», et, vu que le pin d'Alep est une essence dotée d'une plasticité élevée, ne correspondent pas systématiquement aux indices de fertilité des stations.

Trois classes de fertilité des stations sont créées à partir du tableau de Vennetier *et al.* 2001. F1 correspond à des valeurs de H70 comprises entre 6,7 et 13,4; F2 à des valeurs de H70 comprises entre 13,5 et 17,5; F3 à des valeurs de H70 comprises entre 17,6 et 23,4.

Quatre classes de mixité de peuplements traduisent le pourcentage de tiges de pin d'Alep dans l'effectif total d'un peuplement mixte, quelles que soient leurs dimensions et la densité du peuplement. Dans la classe M1, les pins d'Alep représentent moins de 25% de l'ensemble des tiges; dans la classe M2, ils représentent entre 25 et 50% de l'ensemble des tiges; dans la classe M3, ils représentent entre 50 et 75% des tiges; dans la classe M4, les pins d'Alep représentent entre 75 et 100% des tiges.

La densité reflète le taux de recouvrement de pins d'Alep d'une hauteur supérieure à 10 m. Le premier type de densité est une densité très claire, où les pins d'Alep supérieurs à 10 m de hauteur sont inférieurs à 20% du total des arbres. Le deuxième type est une densité claire où le nombre des arbres est compris entre 20 et 50%. Le troisième type de peuplement de Pin d'Alep est un peuplement dense, compris entre 50 et 75%. Enfin, la dernière classe de cette catégorie est très dense, supérieure à 75%.

2.3. Exploitation des modèles

Sur quarante-huit modèles de peuplement théoriques, le traitement des données de la base IRSTEA ne délivre que dix-huit modèles. Cette différence peut être expliquée d'une part par l'échantillonnage effectué par les opérateurs, et d'autre part par le fait que les modèles extrêmes ne sont pas ou peu représentés dans le milieu naturel.

Sur dix-huit modèles délivrés, seuls douze sont exploitables car ils mettent en jeu plus de vingt placettes. Les autres modèles ont été éliminés car ils ne sont représentés que par un trop faible nombre de placettes, ce qui limite leur représentativité statistique.

Les modèles qui ne sont pas représentés sont les modèles 1 (F1, M2, D1 : 5 placettes), 6 (F1, M4, D3 : 1 placette), 7 (F1, M1, D1 : 5 placettes), 8 (F1, M1, D2 : 3 placettes), 15 (F3, M3, D3 : 1 placette), 18 (F3, M4, D2 : 1 placette).

3. RÉSULTATS ATTENDUS ET PERSPECTIVES

3.1. Résultats

Les résultats de la modélisation de la croissance radiale sont présentés par des graphiques qui matérialisent les épaisseurs moyennes cumulées en fonction de l'âge cambial sur les différents types de fertilité stationnelle (fig. 4, 5, 6). Les résultats sont enrichis par l'exploitation des modèles de peuplement qui permettent d'introduire les composantes liées à la mixité et à la densité des peuplements (fig. 8). Les résultats obtenus à partir des modèles de croissance radiale et des modèles de peuplement peuvent ensuite être comparés.

Les résultats peuvent aussi être représentés par un histogramme qui montre le nombre de tiges enregistrées par classe de diamètre (amplitude d'une classe = 5 cm). Le modèle 2 révèle, par exemple, que 79% des tiges ont un diamètre compris entre 15 et 45 cm (fig. 9) et 12% ont un diamètre supérieur à 45 cm.

3.2. Perspectives archéologiques

L'inventaire et la modélisation des peuplements forestiers actuels, notamment les peuplements de pin d'Alep très répandus en Provence occidentale, constituent un outil précieux pour l'archéologue paléo-environnementaliste du Moyen Âge. En effet, dans la mesure où les textes ne traitent que rarement, pour les périodes hautes du Moyen Âge, de la gestion ou de l'entretien de la forêt, et que les bois non carbonisés sont soit absents soit non exploitables sur les sites archéologiques, l'une des rares approches qui s'offrent au chercheur réside dans la comparaison à des analogues actuels. Dans le contexte de l'archéologie de l'habitat rupestre, plusieurs sites offrent les traces d'encastres fossiles des éléments en bois. Ces traces fossiles classées en fonction de leurs dimensions peuvent être comparées aux modèles de croissance de peuplements de Pin d'Alep et faire l'objet d'un traitement statistique en vue d'en dégager des similitudes.

La présence ou l'absence de similitudes entre modèles de peuplement et modèles de croissance d'une part, et données archéologiques d'autre part, devrait permettre de mener une réflexion sur les peuplements forestiers ayant servi à la construction de sites d'habitat rupestre. Notre étude vise à tester des hypothèses sur l'impact des usages par l'homme de la forêt au Moyen Âge et sur une éventuelle gestion.

7. Vennetier *et al.* 1999.

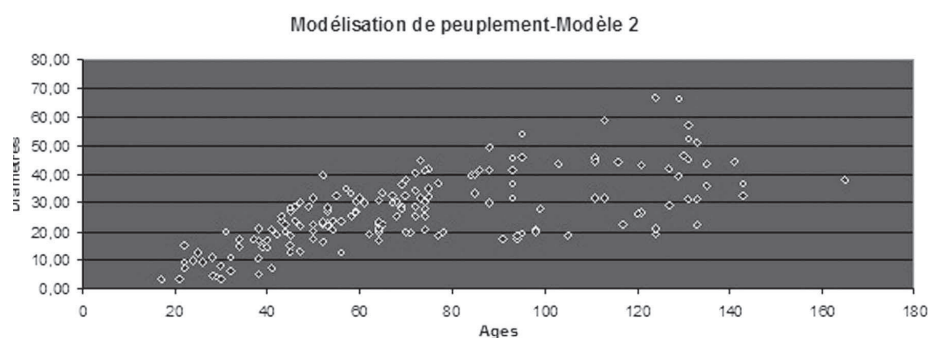


Fig. 8 – Diamètre des pins du modèle de peuplement 2 (F1, M3, D1) en fonction de l'âge.

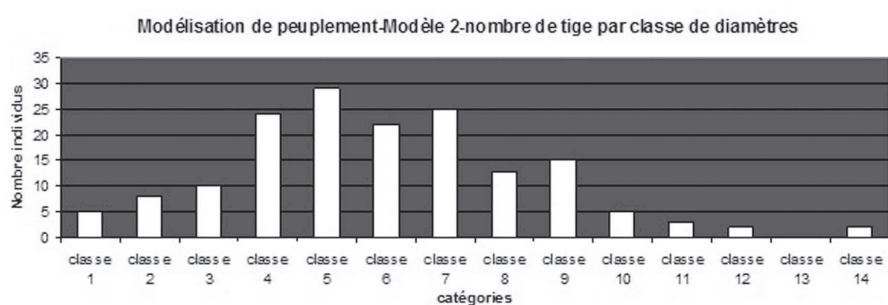


Fig. 9 – Graphique présentant le nombre de tiges par classe de diamètre (amplitude 5 cm) pour un modèle théorique.

DISCUSSION

L'étude de la croissance radiale et des peuplements de Pin d'Alep en basse Provence est fondée sur des données archéologiques (traces d'encastres de bois visibles sur les parois, charbons de bois conservés dans les sols) et un ensemble d'analyses et de données issues d'inventaires menés sur des peuplements actuels pour en dégager des modèles. Ces situations modélisées sont le prisme choisi pour aborder la question des usages et de la gestion de la forêt au Moyen Âge en l'absence de données textuelles ou archéologiques sur le sujet. Ce travail axé sur la reconstitution d'une forêt passée à travers l'étude de traces d'encastrement et sur l'étude des forêts provençales actuelles doit cependant faire face à quelques incertitudes.

La première incertitude est liée à l'acquisition des données archéologiques dans la comptabilisation des tiges de bois utilisées dans l'habitat à partir du nombre des traces d'encastres observables sur un site et à l'éventuel diachronisme de leur mise en place dans les structures. La deuxième incertitude est liée à la reconstitution d'un environnement ligneux à partir des seuls charbons prélevés sur un site archéologique. La troisième incertitude a trait à la comparaison entre un environnement médiéval et un envi-

ronnement contemporain qui ne sont pas soumis à la même pression anthropique et qui diffèrent aussi par d'autres facteurs environnementaux. De fait, l'accélération de la croissance de 40% enregistrée au cours du XX^e siècle⁸ sous l'effet des changements globaux (augmentation des températures et augmentation de la teneur atmosphérique en CO₂) doit être prise en compte dans la modélisation de la croissance radiale du pin d'Alep. Enfin, nous sommes bien conscients que la modélisation conduit toujours à une description simplifiée de la réalité. Les modélisations de croissance radiale et les modélisations de peuplement de Pin d'Alep interprétées au prisme de l'archéologie rupestre médiévale doivent être considérées comme autant de nouveaux outils permettant de pallier une lacune documentaire. Si l'application de ces méthodes en cours d'élaboration peut être discutée et si de nombreuses précautions doivent être prises, il n'en demeure pas moins que cette méthode donne la possibilité d'explorer tout un pan de l'architecture médiévale encore très peu étudié en Provence et le contexte environnemental dans lequel elle s'inscrit.

Remerciements

Les auteurs remercient J.-C. Tréglià, M.-L. Laharie, V. Rinalducci, A. Constant (LA3M), A. Durand (CREaAH) et M. Vennetier (IRSTEA-EMAX) pour l'aide apportée.

8. Vennetier *et al.* 1999, Vila *et al.* 2008.

Bibliographie

- Acherki 1997** : N. Acherki, *Analyse palynologique de quatre carottes du Golfe du Lion. Application à la restitution de la végétation et du climat de Midi de la France pendant le dernier cycle climatique et à la stratigraphie marine*, thèse de Doctorat (Dir. SUC (J.-P.), Montpellier II, 1997, 157 p.
- Andrieu-Ponel et al. 2000 a** : A. Andrieu-Ponel, P. Ponel, A. J. T. Jull, J.-L. de Beaulieu, H. Bruneton, P. Leveau, Towards the reconstitution of The Holocene vegetation history of Lower Provence : two new pollen profiles from Marais des Baux, *Végétatio, History and Archaeobotan*, T. 9, 2000, 71-84.
- Andrieu-Ponel et al. 2000 b** : A. Andrieu-Ponel, Ponel, J. L. de Beaulieu, H. Bruneton, P. Leveau, Palaeoenvironments and cultural landscape of the last 2000 years reconstructed from pollen and Coleopteran records in the Lower Rhône Valley, Southern France, *The Holocene*, T. 10, fasc. 3, 2000, 341-355.
- Andrieu-Ponel et al. 2000 c** : A. Andrieu-Ponel, P. Ponel, J.-L. de Beaulieu, H. Bruneton, P. Leveau, C. Goeury, R.-L. Huttunen, Dix mille ans d'histoire de la végétation de Basse-Provence révélés par l'analyse pollinique de deux nouveaux profils sédimentaires du marais des Baux, in : P. Leveau, J.-P. Saquet, (dir.), *Milieu et société dans la Vallée des Baux, Actes du colloque de Mouriers, Revue Archéologique de Narbonnaise*, Supplément 31, Montpellier, 2000, 39-61.
- Arnaud-Fassetta, Heijmans, Valentin 1999** : G. Arnaud-Fassetta, M. Heijmans, F. Valentin, Le Rhône à Arles. Données archéologiques et sédimentologiques, *Gallia*, 56, 1999, 121-129.
- Bernardi 1995** : P. BERNARDI, *Métiers du bâtiment et techniques de constructions à Aix-en-Provence à la fin de l'époque Gothique (1400-1550)*, Aix-en-Provence, Université de Provence, 1995, 501 p.
- Bouticourt 2005** : E. Bouticourt, *Les techniques de charpente et de toit de plafond en Provence Rhodanienne à la fin du Moyen Âge, amorce d'une étude des charpentes par l'archéologie du bâti*, master 2, Université de Provence, Aix-en-Provence, 2005, 2 volumes, 170 p.
- Boyer 1990** : J.-P. Boyer, Pour une histoire des forêts de haute Provence (XIII^e-XV^e), *Provence historique*, T. XL, 161, 1990, 267-290.
- Bravard, Burnouf, Chouquer 1997** : J.-P. Bravard, J. Burnouf, G. Chouquer (dir.), *La dynamique des paysages protohistoriques, antiques médiévaux et modernes*, Actes des XVI^e rencontres internationales d'archéologie et d'histoire d'Antibes (1996), Sophia Antipolis, APDCA, 1997, 624 p.
- Burri 2007** : S. Burri, *Exploitation forestière et habitat : l'habitat artisanal et temporaire de la filière bois dans l'Ouest Varois au Moyen Âge*, Master 1 A. Durand, A. Hartmann-Virnich (dir.), Université de Provence, Aix-en-Provence, 2007, 221 p.
- Cenzon-Salvayre, Durand 2010** : C. Cenzon-Salvayre, A. Durand, Analyse anthracologique d'Ulmet 2010, in : C. Landura, C. Vella (dir.), *La montille d'Ulmet (Camargue, commune d'Arles) : un avant-port d'Arles à l'antiquité tardive ? Études archéologiques et paléo-environnementale*, 2010, 103 p.
- Chabal 1994** : L. Chabal, Apports récents de l'anthracologie à la connaissance des paysages passés : performances et limites, *Histoire et Mesure*, T. 9, fasc. 4-4, 1994, 317-338.
- Cornelissen et al. 2003** : J.-H. C. Cornelissen, S. Lavorel, E. Garnier, S. Díaz, N. Buchmann, D.-E. Gurvich, P.-B. Reich, H. Ter Steege, H.-D. Morgan, M.-G.-A. Van Der Heijden, J.-G. Pausas, H. Poorter, A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide, *Australian Journal of Botany* 51, 2003, 335 – 380.
- Durand 1998** : A. Durand, Les paysages médiévaux du Languedoc (XI^e-XII^e siècles), Toulouse, Presses universitaires du Mirail, collection Tempus médiéval, 1998, 491 p.
- Laharie et al. 2009** : M.-L. Laharie, V. Rinalducci, J.-C. Trégliat, M. Brion, O. Thuaudet, avec la collaboration de P. Groscaux, P. Maritiaux, G. Tessier, *Castrum du Montpaon, (Fontvieille, Bouches-du-Rhône)*, Rapport intermédiaire d'opération, 2009, 2 vol.
- Laharie et al. 2010** : M.-L. Laharie, V. Rinalducci, J.-C. Trégliat, M. Chabrier, A. Durand, O. Thuaudet, C. Venot, avec la collaboration de P. Groscaux, C. Larchey, P. Maritiaux, G. Tessier, *Castrum du Montpaon, (Fontvieille, Bouches-du-Rhône)*, Rapport final d'opération, 2010.
- Laharie et al. 2011** : M.-L. Laharie, V. Rinalducci, J.-C. Trégliat avec la collaboration de E. Bailly, M. Chabrier, M.-A. Chazottes, O. Thuaudet, C. Venot, *Castrum du Montpaon, (Fontvieille, Bouches-du-Rhône)*, Rapport de fouilles programmées, 2011, 2 vol.
- Laharie et al. 2012** : M.-L. Laharie, V. Rinalducci, J.-C. Trégliat (dir.), M. Chabrier, C. Venot, *Castrum du Montpaon, (Fontvieille, Bouches-du-Rhône)*, Rapport de fouilles programmées, 2012, 1 vol.
- Parodi 1992** : A. Parodi, *La plaine du Languedoc oriental du haut Moyen Âge (IX-XI^e siècle) : textes et archéologie de l'espace rural*, Thèse de l'université de Paris I Panthéon-Sorbonne, 1992, 860 p.
- Pesez 1983** : J.-M. Pesez, La terre et le bois dans la construction médiévale. In : 2^e congrès archéologique de Gaule Méridionale : Architecture de terre et de bois. L'habitat privé dans les provinces occidentales du monde romain. Antécédents et prolongements : protohistoire, Moyen Âge et quelques expériences contemporaines. Lyon, 1983, in : J. Lasfargues (dir.), *Documents d'archéologie française*, T. 2, 1983, 159-167.
- Poisson, Schwien 2003** : J.-M. Poisson, J.-J. Schwien (dir.), *Le bois dans le château de pierre au Moyen-Âge*. Besançon, Actes de Colloque, 2003, 448 p.
- Thiebault 1997** : S. Thiebault, Holocene vegetation and human relationships in central Provence area : charcoal analysis of Baume de Fontbrégoua (Var, France), *The Holocene*, 7, 3, 1997, 341-347.
- Vennetier et al. 1999** : M. Vennetier, C. Ripert, F. Brochiero, O. Chandioix, Evolution à court et long terme de la croissance du pin d'Alep en Provence. Conséquences sur la production de bois, *Forêt Méditerranéenne*, XX, 4, 1999, 147-156.
- Vennetier et al. 2001** : M. Vennetier, R. Esteve, M.-R. Garcin, S. Griot, C. Ripert, B. Vila, *Dynamique spatiale de la régénération des forêts après incendie en basse Provence calcaire. Cas particulier du Pin d'Alep*, Cemagref-Imep, Département de la gestion des territoires, novembre 2001, 41 p.
- Vernet 2001** : J.-L. Vernet, *Guide d'identification des charbons de bois préhistoriques et récents. Sud Ouest de l'Europe : France, Péninsule Ibérique, et îles Canaries*, Paris, CNRS, 2001, 395 p.
- Vila et al. 2008** : B. Vila, M. Vennetier, C. Ripert, O. Chandioix, E. Liang, F. Guibal, F. Torre, Has global change induced divergent trends in radial growth of *Pinus sylvestris* and *Pinus halepensis* at their bioclimatic limit? The sample of Sainte-Baume forest (south-east France), *Annals of Forest Science*, 65, 7, 2008, 709-719.

Archéologie du bâti et rénovation urbaine. La place de la dendrochronologie. L'exemple de Grasse (Alpes-Maritimes)

Fabien Blanc-Garidel et Stéphanie Wicha***

Résumé

La ville de Grasse (Alpes-Maritimes) a fait l'objet d'une évolution urbaine particulière, pour laquelle il semblait que le plan conservé était initialement médiéval. L'archéologie du bâti réalisée sur cinq îlots du centre ancien, menée conjointement avec l'analyse dendrochronologique et l'étude historique, devait permettre de suivre cette évolution architecturale complexe de l'époque médiévale à l'époque moderne. En l'absence de référentiel dendrochronologique pour la région, notre étude s'est concentrée sur la datation des séries de chênes issues de l'échantillonnage. Le chêne est l'essence la plus représentée dans ce bâti et il est probablement d'origine locale. Les résultats de cette étude pluridisciplinaire sont multiples : la construction d'un référentiel régional de chêne, la mise en évidence d'une densification de l'habitat à la fin du Moyen Âge, ainsi que la pratique courante du remploi des pièces de bois. Cependant, à l'issue de cette étude, des questions restent ouvertes : les poutres datées ne concernent que les XV^e et XVI^e siècles, aucun témoignage de construction avant ou après n'a pu être mis en évidence. Est-ce le biais de l'étude qui repose exclusivement sur le chêne ? La nature des approvisionnements varierait-elle alors au cours du temps ?

Mots-clés : archéologie du bâti, dendrochronologie, référentiel dendrochronologique, exploitation forestière, chêne, poutres, planchers.

Abstract

Grasse city (South-East France) has been largely modified over the time, but it seems to have preserved its medieval plan. In order to reconstruct the city architectural evolution, from medieval to modern period, a multiproxy approach was developed, including archeological study, dendrochronological analysis and historical study. Oak, probably from local origin, is the most represented species in the old Grasse buildings. Without any oak regional master chronology, dendrochronological analysis focused on oaks series dating. Main results from this multidisciplinary study are the construction of the first oak regional master chronology, the evidence of habitat densification at the end of the medieval period, and the highlight of important timber reuse.

However, many questions raised from this study. Dated beams are attributed only to the 15th and 16th centuries and no construction evidence, before or after this period, could be highlighted. Is it because this study was exclusively based on oak species? Or, is it linked with supplies variation in time?

Keywords: building archeology, dendrochronology, master chronology, lumbering, oak, beam, floor.

1. DU PROJET DE SAUVEGARDE À L'ÉTUDE ARCHÉOLOGIQUE DE LA VILLE

Les travaux d'archéologie préventive réalisés ces cinq dernières années à Grasse dans les Alpes-Maritimes (fig. 1) ont permis de construire et d'affiner différentes problématiques liées à la construction de la ville entre le Moyen Âge et l'Époque moderne. Ces travaux ont d'abord été lancés par le ministère de la Culture et de la

Communication¹ dans le cadre de l'élaboration du Plan de Sauvegarde et Mise en Valeur (PSMV) de la ville de Grasse². Il s'agissait alors de recenser les édifices et éléments architecturaux remarquables susceptibles de fournir

-
1. Service régional de l'Archéologie, Direction régionale des affaires culturelles de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur à Aix-en-Provence.
 2. A l'initiative de Franck Suméra et dans le cadre spécifique d'une mission au sein du PSVM réalisée par B. Belotti et F. Blanc.

* Chef du service d'Archéologie Nice Côte d'Azur et chercheur associé au LA3M.

** Société Archéobois. Aix Marseille Univ, Avignon Universités, IRD, IMBE, Marseille, France.



Fig. 1 – Vue aérienne du centre ancien de Grasse avec localisation des opérations d’archéologie du bâti. En bleu, les îlots étudiés dans le présent article ; en jaune, les îlots en cours d’étude (Google Earth, 2014, DAO : F. Blanc).

des données relatives à la compréhension de l’évolution urbaine. En effet, l’aménagement de la ville de Grasse s’organisait autour de la problématique de la conservation de la trame urbaine médiévale. Le plan de sauvegarde, s’appuyant alors sur des prospections anciennes³ et plusieurs travaux d’historiens⁴, postulait que le réseau viaire actuel était en grande partie hérité de la période médiévale. À l’appui de cette thèse, les protagonistes du projet ont mis en exergue le caractère sinueux et étroit de plusieurs ruelles et rues de la ville, en s’appropriant ainsi une bonne partie des clichés contemporains qui font de la ville médiévale un lieu par définition propice à l’exiguïté et à l’insalubrité sous toutes ses formes. C’est à partir de cette vision parfois cinématographique que le travail de collecte de l’information archéologique a été organisé, dans la perspective de confirmer ou d’infirmer cette théorie dont les conséquences en termes de conservation du patrimoine et de réaménagement de la ville étaient importantes.

À l’issue de ce travail de prospection et de première relecture des sources⁵, il est apparu que la forme et les spécificités de l’urbanisme grassois résultaient d’un long processus d’accumulations et de transformations qui ne pouvait

réellement être compris qu’à partir d’une étude archéologique approfondie.

Conscient que le patrimoine médiéval ne se trouverait que peu au niveau des façades actuelles – mais bien en cœur d’îlots – le service régional de l’Archéologie a décidé de prescrire des études archéologiques du bâti systématiques parallèlement à la réhabilitation de chaque îlot du centre ancien⁶. Parmi les objectifs, outre la réflexion sur l’évolution de la trame urbaine, le service régional de l’Archéologie avait pressenti l’importance de la problématique de l’approvisionnement et des usages du bois de construction étant donné d’une part le contexte géographique particulier des Alpes-Maritimes⁷ et ses potentialités en termes d’approvisionnement et d’autre part l’importante stratification urbaine qui ouvrait un vaste champ d’études, au-delà de la compréhension architecturale et urbanistique, pour ouvrir sur l’économie du bois, c’est-à-dire la recherche des sources d’approvisionnement-forêt, le transport-commerce, les techniques de construction-métiers liés au bois.

Cet article a ainsi pour objet de présenter les premiers résultats des apports respectifs des différentes approches

3. Un premier PSVM, non validé, avait été entrepris en 1991.
4. Voir en particulier : Gauthier-Ziegler 1935, Grasse 2005, Malausséna 1969.
5. Voir Belotti, Blanc 2008.

6. Dans le cadre de la loi du 17 janvier 2001 sur l’archéologie préventive, voir Livre V du Code du Patrimoine.
7. Comme son nom l’indique, les Alpes tombent littéralement dans la mer en présentant un dénivelé de 3 200 m en un peu plus 50 km.

scientifiques mises en œuvre depuis quelques années pour alimenter la problématique de l'approvisionnement et des usages du bois de construction à Grasse. Les données proviennent de plusieurs sources constituées sur le terrain (archéologie préventive du bâti), complétées par des analyses en laboratoire (dendrochronologie) et les dépouillements en centres d'archives (sources écrites). Il vise à donner une première réponse sur la caractéristique de l'urbanisme médiéval et à présenter un état de la recherche qui sera discuté.

2. L'APPORT DE L'ARCHÉOLOGIE PRÉVENTIVE DU BÂTI

2.1. Présentation des contextes d'étude

Cinq opérations archéologiques, correspondant à cinq îlots prévus pour être réhabilités, ont été réalisées pendant cinq ans (2008-2013) dans la ville à la suite de prescriptions de fouilles établies sur le même modèle. Aux prescriptions de fouilles, ont été associées des prescriptions dendrochronologiques qui ciblent avant tout l'enregistrement des données relatives à la position des bois dans la construction et la datation. Il s'agit ainsi de localiser sur plan les coordonnées (x, y, z) de chaque poutre visible et d'en situer le contexte stratigraphique (en position primaire ou en remploi). À l'issue de chaque étude archéologique du bâti établissant la position stratigraphique des poutres, une série de carottages ou de prélèvements par section a été réalisée afin de déterminer les essences utilisées et de dater les bois par dendrochronologie (voir § 3). La sélection de l'emplacement précis des prélèvements s'est d'abord faite en privilégiant les éléments structuraux majeurs avant d'être adaptée à la réalité du terrain (problèmes techniques de prélèvement) et à la possibilité offerte par l'abondance des déposes. Le mode opératoire a bénéficié de la dépose des poutres effectuée lors de la phase de réhabilitation, facilitant ainsi les prélèvements par section et l'acquisition d'échantillons de qualité, ce qui n'était initialement pas prévu ni prévisible. L'inconvénient était d'être en partie dépendants de la stratégie même de la réhabilitation et des déposes de bois, sachant qu'une grande partie des poutres est réemployée directement dans les chantiers en cours. L'objectif de l'échantillonnage était d'obtenir une bonne représentativité de l'ensemble de la structure bois et de la chronologie relative de sa mise en place. Aujourd'hui, les prescriptions de fouilles ont intégré ce paramètre.

2.2. L'îlot Sainte-Marthe

L'étude archéologique du bâti a été concentrée autour des niveaux de caves et du rez-de-chaussée pour des raisons

liées à un équilibre entre l'économie du projet et les données archéologiques primordiales à acquérir. L'îlot se trouve dans un quartier qui n'était jusqu'alors documenté que par les sources écrites. Sa vocation première commerciale était supposée d'après le nom de la rue principale qui le borde (rue de la Vieille-Boucherie). Le travail de terrain a été conduit dans une cinquantaine de pièces réparties entre les niveaux de sous-sol et le rez-de-chaussée. L'enregistrement de près de 280 murs a permis de déterminer une chronologie relative précise qui montre non seulement d'importantes restructurations successives, mais également de nombreux changements de fonctions de l'îlot.

On observe ainsi dans un premier temps que le site n'était pas loti. Le seul mur présent constituait une partie de l'enceinte de la ville. Ce n'est que dans un second temps, après l'arasement partiel du rempart, que l'îlot est bâti. Une tour d'habitation a d'abord été implantée en partie sur les vestiges de l'enceinte avant que l'ensemble ne se densifie progressivement. Ces deux phases ont été datées d'abord en chronologie relative et confirmées d'après nos propres connaissances sur l'évolution urbaine, obtenues lors de plusieurs autres opérations⁸. La première tour d'habitation a ainsi été datée entre la fin du XII^e siècle et le début du XIII^e siècle. Dans le courant du XIII^e siècle, l'îlot se structure progressivement par l'ajout de nouvelles constructions, sans modifications majeures de l'environnement proche. Ce n'est qu'au cours des XIV^e et XV^e siècles que d'importantes modifications sont observées. Un vaste bâtiment à colonnes est alors implanté au milieu de l'îlot. D'après les observations réalisées, il s'agit d'une grande halle (celle de la boucherie probablement). Des travaux d'excavation du substrat sont entrepris concomitamment pour créer un réseau de caves sous et autour de la halle. À cette phase d'excavations sur l'emprise du bâti existant correspond un remblaiement des sols de rue de la ville. Tous les niveaux de plancher sont affectés et l'ensemble est remonté d'environ un mètre. On observe ensuite plusieurs phases de réaménagement de l'îlot, notamment les cloisonnements intérieurs régulièrement modifiés jusqu'à nos jours. La distribution des étages est également modifiée à plusieurs reprises. Dans le courant du XVII^e siècle, l'activité liée à la grande halle de la boucherie est définitivement déplacée à l'extérieur de la ville. La halle est alors partitionnée en deux et une partie des planchers est de nouveau modifiée. L'impact de ce transfert touche aussi l'affectation des lieux et la gestion des rez-de-chaussée qui sont de plus en plus partitionnés en petites cellules commerciales. Parallèlement, c'est à ce moment et dans le courant du XVIII^e siècle que les étages sont définitivement aménagés en habitations dont certaines sont parfois accompagnées de plafonds à la française.

8. Voir Blanc 2016 et Blanc-Garidel 2018.



Fig. 2 – Îlot Sainte-Marthe: suivi de démontage d'un plancher dont une poutre sciée sur colonne était encore en place (clichés: F. Blanc).

Sur l'ensemble de l'îlot, près de 160 poutres ont été enregistrées sur cinq niveaux (R0 à R+4). Les prélèvements par section ont été réalisés au fur et à mesure de l'avancement du chantier et des déposes qui ont été effectuées (fig. 2). Au total, nous avons recueilli à peu près la moitié des poutraisons.

2.3. L'îlot des Moulinets

L'étude archéologique du bâti a été concentrée autour des niveaux de caves, du rez-de-chaussée et des deux premiers étages. L'îlot se trouve dans un quartier stratégique du centre historique, à cheval entre la place aux Aires, l'ancienne rue Droite (actuelle rue Marcel Journet), la rue des Moulinets et la rue de l'Oratoire. L'approche de cet îlot était d'emblée difficile du fait de la topographie très contraignante⁹ et de la multiplicité des espaces bâtis stratifiés. Les premiers écroulements réalisés dans l'îlot ont confirmé la complexité de l'ensemble. Nous avons en effet rapidement compris que la quasi-totalité des maçonneries,

et par conséquent des planchers, était issue d'une série de reconstructions manifestement postmédiévales, voire contemporaines pour certaines.

L'état des bâtiments n'a pas permis de retracer toute l'histoire de l'îlot à partir des maçonneries, mais seulement d'une moitié. L'autre moitié était trop dangereuse pour une intervention directe, elle a été transformée en suivi de travaux avec prélèvements des poutraisons lors des déposes. Une centaine de poutres a été enregistrée lors de cette phase de travaux et 37 prélèvements par section ont été réalisés. De ce que nous avons pu établir pour le moment (le travail de reconstruction de la chronologie relative étant encore en cours), il apparaît que toute la phase médiévale a disparu et que seule une partie du parcellaire a été conservée, le reste étant aujourd'hui sous les niveaux de caves. La reconstruction générale de l'îlot peut être scindée en trois grandes phases. La première pourrait dater de la fin du Moyen Âge et mise en lien avec le relèvement général des sols qui a été observé ailleurs dans la ville (cf. ci-dessus, îlot Sainte-Marthe), probablement dans le courant du XV^e siècle. La seconde s'est manifestement produite dans le courant du siècle suivant si l'on s'en tient

9. Le dénivelé entre la place aux Aires et l'ancienne rue Droite est d'un peu plus de 12 m.



Fig. 3 – Îlot des Moulins. Travaux de réhabilitation et suivi de dépose des poutres et planchers (clichés : F. Blanc).

aux remplois et aux techniques que nous avons observées sur place. Une troisième phase correspond à la densification progressive de l'ensemble qui s'est produite plus tardivement, notamment en partie au niveau du cœur d'îlot comme pour l'îlot Sainte-Marthe (fig. 3). Cette phase (3^e) n'a pour le moment pas pu être recalée dans le temps, mais s'établit entre les XVII^e et XVIII^e siècles. La vocation commerciale et artisanale de l'îlot ne fait aucun doute entre le moment de la première reconstruction et les périodes plus récentes. Les installations liées à la circulation des eaux¹⁰ et l'état des rez-de-chaussée vont également dans ce sens. Toutefois, l'étude des archives, qui ont été à peine effleurées par le service municipal des archives, aurait permis de retravailler les grandes phases de réaménagement.

3. L'APPORT DE LA DENDROCHRONOLOGIE

L'étude dendrochronologique des deux îlots d'habitation Moulins et Sainte-Marthe avait pour objectif la datation à l'année près des bois de construction mis en œuvre dans ces bâtiments. La chronologie établie par l'étude archéologique a montré la complexité de ce bâti ancien et pose des questions quant à son évolution dans le temps. Bien que la datation des poutres et planchers corresponde aux dates d'abattage des arbres et non pas à la mise en œuvre des pièces de charpentes, elle permet toutefois, quand il y

a de l'aubier, de mettre en évidence les différentes phases d'aménagement, réaménagement et extension, en fonction des nécessités diverses.

De plus, cette étude s'avérait fondamentale dans la construction d'un référentiel dendrochronologique pour la région sud-est. Ces éléments du bâti principalement en chêne caducifolié, constituent un ensemble majeur, à la fois par la quantité de bois disponible, mais également par l'âge des individus, pluri-centenaires.

Au préalable de l'analyse dendrochronologique, une analyse xylogologique¹¹ a révélé qu'à côté du chêne caducifolié, on pouvait trouver de façon anecdotique des essences résineuses (11 individus) : du sapin (*Abies alba* Mill.), du pin type sylvestre (*Pinus* type *sylvestris*), de l'épicéa (*Picea abies* L.) du mélèze (*Larix decidua* Mill.) et d'autres essences de feuillus (10 individus), dont le peuplier (*Populus* sp.) et l'orme (*Ulmus* sp.)¹². Dans le cadre de cette étude, nous nous sommes limités à l'analyse des pièces de chêne pour deux raisons. Tout d'abord, d'un point de vue technique, cette essence est dominante dans le bâti grassois, elle est donc plus favorable à une datation, malgré la difficulté liée à l'absence de référentiels dendrochronologiques régionaux.

11. Réalisée par Carine Cenon-Salvayre, LA3M Aix-en-Provence. Nous la remercions vivement pour sa contribution à l'identification des essences.

12. Schweingruber 1990.

10. Pour cet aspect voir Blanc-Garidel, Benalloul 2016.

Ensuite, d'un point de vue historique, la présence du chêne dans des charpentes en Méditerranée n'est qu'exceptionnellement identifiée, alors qu'elle est d'usage courant partout ailleurs¹³. C'est probablement une image qui ne correspond pas à la réalité, mais qui est la conséquence des choix ou des opportunités d'études. Effectivement, jusqu'à présent, les bâtiments étudiés en région méditerranéenne, pour le Moyen Âge, sont plutôt des constructions de prestige de type château et église¹⁴, dans lesquelles les essences principalement utilisées sont le sapin et le mélèze. Pour Grasse, les pièces qui ne sont pas en chêne sont conservées pour une étude ultérieure.

3.1. Méthodologie

La méthodologie a été largement présentée¹⁵, elle est ici brièvement rappelée. Les échantillons de bois sont poncés soigneusement pour faciliter la lecture des cernes de croissance. Chaque prélèvement fait ensuite l'objet d'observations : absence ou présence de l'aubier, identification et comptage du nombre de cernes, observation diverses comme la présence de perturbations (départ de branches, cicatrices, émondage, etc.), de cassures. Dès cette première étape nous éliminons les échantillons présentant trop d'anomalies susceptibles de brouiller le signal climatique commun¹⁶. Les échantillons conservés sont scannés à haute résolution (1200 dpi) puis mesurés avec le logiciel Lignovision (RINNTECH, Inc.) qui est un système d'analyse d'images permettant une première lecture des rayons avec une détection automatique des cernes. Pour l'ensemble des sections, nous avons mesuré deux à trois rayons afin d'éviter les erreurs de comptage et de vérifier la qualité et le synchronisme des séries de cernes mesurées pour un même arbre. Ces séries temporelles élémentaires sont comparées statistiquement et visuellement puis sont confrontées aux observations réalisées sur la rondelle. Lorsque le bon synchronisme des séries issues d'un même arbre (similitude des variations interannuelles des largeurs de cernes) est vérifié, une moyenne de toutes ces séries est réalisée. Celle-ci constitue la série individuelle qui est la seule utilisée dans la suite de l'analyse dendrochronologique.

Les recherches de synchronisation entre les séries individuelles sont faites avec les logiciels Tsapwin (RINNTECH, Inc.) et Dendron IV¹⁷ qui intègrent des routines mathématiques spécifiques et des tests statistiques de synchronisation. Ces tests statistiques, pourcentage de coïncidence, coefficient de corrélation, assortis du test de Student (t), réalisés sur des données standardisées (transformées en indices) proposent des positions relatives entre chacune des séries ainsi que le degré de signification statistique associé à ces positions (probabilité du t de Student, dite PROBA t). Ces positions relatives doivent être, impérativement, validées par un examen visuel de la synchronisation entre les séries. Lorsque les courbes ne présentent pas de similitudes, la proposition est rejetée. Quand les positions sont validées, les séries individuelles synchronisées constituent un groupe représenté par leur moyenne. Afin d'être datée cette dernière est ensuite confrontée à des chronologies de référence déjà datées de façon absolue.

3.2. Résultats

Pour l'îlot Sainte-Marthe nous avons sélectionné 39 échantillons de chêne. Et après l'interdatation entre les chronologies individuelles, nous avons rejeté les 14 séries pour lesquelles les coefficients de corrélation et les t de Student n'étaient pas significatifs et le nombre de cernes insuffisant (50 ans et moins). Nous avons *in fine* conservé 25 séries, qui forment une chronologie moyenne longue de 217 années. En l'absence de chronologie de référence locale, nous avons daté ces moyennes sur des référentiels éloignés géographiquement. Nous avons utilisé le référentiel «HistoricOaks» qui comprend des chronologies françaises et étrangères (Bourgogne classic 5, Franche Comté, Auvergne Holstein-Allemagne). Cet ensemble de référentiels a été mis à notre disposition par G.-N. Lambert du Laboratoire de Chrono-Écologie de Besançon¹⁸. Notre moyenne «Sainte Marthe» présentait des seuils statistiques fiables avec les régions Bourgogne et Auvergne. Toutefois, en l'absence de référentiel local, la datation est plus périlleuse, nous avons donc choisi de vérifier la validité de nos dates dendrochronologiques par le radiocarbone. Cette moyenne «Sainte-Marthe» a été datée de façon absolue, en années calendaires de 1338 à 1555, couvrant ainsi une période de 217 ans. La fiabilité de cette date est très bonne, avec indice calculé en corridor, et une PROBA t à 0,99900. Sur les 25 séries qui composent cette moyenne, 8 ont des résultats égaux ou supérieurs à ce seuil et 17 ont des réponses correctes.

13. Bernardi, Bouticourt 2007, Hoffsummer 2002.

14. Bouticourt, Guibal 2010.

15. Schweingruber 1998, Lambert 1998, Delwaide, Filion 2010.

16. Lambert 2010.

17. Lambert 2006.

18. *Ibid.*

Quand on regarde les positions des séries individuelles les unes par rapport aux autres, on peut s'interroger sur les phases d'abattage des arbres. Cette tentative s'est avérée délicate car un grand nombre de grumes ont été équarries. Pour «Sainte-Marthe» seuls six arbres ont conservé partiellement leur aubier (bois vivant de l'arbre) et seules deux pièces avec leur aubier font partie de la moyenne «Sainte Marthe». En l'absence d'aubier, nous n'avons donc pas le dernier cerne formé par l'arbre avant l'abattage. On considère que l'aubier du chêne comprend dans 95% des cas 34 cernes au maximum¹⁹. C'est donc sur cette base que nous avons estimé cinq phases d'abattages probables, exprimées ici en intervalles tenant compte du dernier cerne mesuré et des cernes d'aubier manquants. Ainsi, 1403 et 1452/1470 (date du dernier cerne mesuré/date de l'aubier maximum) marquent des phases d'abattages correspondant seulement à un et deux individus, faut-il y voir un premier état de construction très ténu ou bien des remplois? Deux groupes plus conséquents ont des terminus en 1470/1504 et en 1490/1524 (pas d'aubier conservé et duramen complet, donc + 34 cernes). Enfin, un dernier état de construction plus tardif, est daté du XVI^e siècle, avec un terminus en 1555, sur les trois individus de ce groupe, un seul a conservé son aubier, mais celui-ci semble complet à +/- 2 cernes.

Dans l'îlot des Moulinets, sur 37 échantillons prélevés, 32 pièces de chêne ont été analysées, dont dix arbres seulement ont conservé partiellement leur aubier. Nous avons abouti *in fine*, à la construction de 24 séries individuelles. Ces dernières forment une moyenne longue de 262 ans et datée de 1273 à 1535. Dans cet îlot, on retrouve les mêmes phases d'abattages que pour Sainte-Marthe (à l'exception de 1403). Ainsi, on peut envisager pour cet îlot, l'existence de quatre phases d'abattages qui peuvent correspondre à quatre types d'événements identifiés par les archéologues, un remploi (1450), des extensions accompagnées de la modification du plancher (entre 1431 et 1483) et la reconstruction de l'îlot (1519). La dernière phase non vérifiée par l'analyse archéologique est datée aux alentours de 1554, elle correspond à la dernière phase déjà mise en évidence sur l'îlot Sainte Marthe. L'indice calculé est en corridor, on a une PROBA *t.* à 0,99950, avec 4 séries individuelles dont les résultats sont égaux ou supérieurs et 13 réponses correctes. Les 7 autres séries ont un résultat inférieur au seuil de fiabilité qui est ici lié à un recouvrement inter-séries très faible. Mais ces dernières se synchronisent très bien sur les séries de Sainte Marthe, avec lesquelles elles ont un bon recouvrement.

3.3. Synthèse chronologique

Les deux chronologies Sainte Marthe et Moulinets ont été construites de façon indépendante. Elles synchronisent entre elles avec un *t.* de Student de 9,74, très élevé, et une probabilité à 0,999995 pour un recouvrement de 197 ans. L'analyse dendrochronologique des deux sites Sainte-Marthe et Moulinets a donc abouti à la construction d'une moyenne longue de 283 ans et datée de 1273 à 1555. Entre 1400 et 1490, sa couverture (nombre de cernes par an) est la plus forte, car composée d'un nombre important de séries individuelles (fig. 4). La comparaison des deux îlots à travers la matrice de corrélation montre des affinités statistiques (corrélations-synchronismes élevés) entre les chronologies individuelles issues de Sainte Marthe et celles de Moulinets (fig. 5). Cela suggère une provenance des bois commune aux deux sites, soit un même lieu d'approvisionnements ou un lieu géographiquement-écologiquement semblable et/ou proche. Toutefois, il y a une variabilité dans le temps et il semble qu'à chaque phase d'abattage corresponde un approvisionnement différent ou une gestion forestière différente des arbres entrant dans la construction des deux îlots.

Dans l'état, l'analyse dendrochronologique met en évidence des activités de construction qui ont eu lieu aux XV^e et XVI^e siècles. Bien que les connaissances historiques de cet ensemble urbain grassois témoignent d'un aménagement dès le XI^e siècle, nous n'avons pas trouvé d'attestation dendrochronologique de ce premier état.

La contribution des analyses dendrochronologiques permet, au-delà de la datation, de décrypter la mise en œuvre du bâti à Grasse, l'apport des éléments de structure en bois (poutraison) dans la compréhension de l'histoire de la construction locale et la mise en évidence de l'utilisation prépondérante du chêne dans cette région.

4. L'APPORT DES SOURCES ÉCRITES

La question des sources écrites n'a pas fait l'objet dans un premier temps d'une attention particulière, considérant que l'urgence se trouvait au niveau de l'enregistrement et du traitement des données de terrain. La bibliographie existante²⁰ a tendance à montrer que le chêne est absent des constructions alors que les analyses xylogiques en montrent au contraire sa prédominance. Aussi, au fur et à mesure de l'avancement des résultats conjoints de l'archéologie et de la dendrochronologie, des sondages

19. *Ibid.*

20. Voir Grasse 2005, Malausséna 1969, Grasse 2003, Lacroix 2006a, 2006b, 2007.

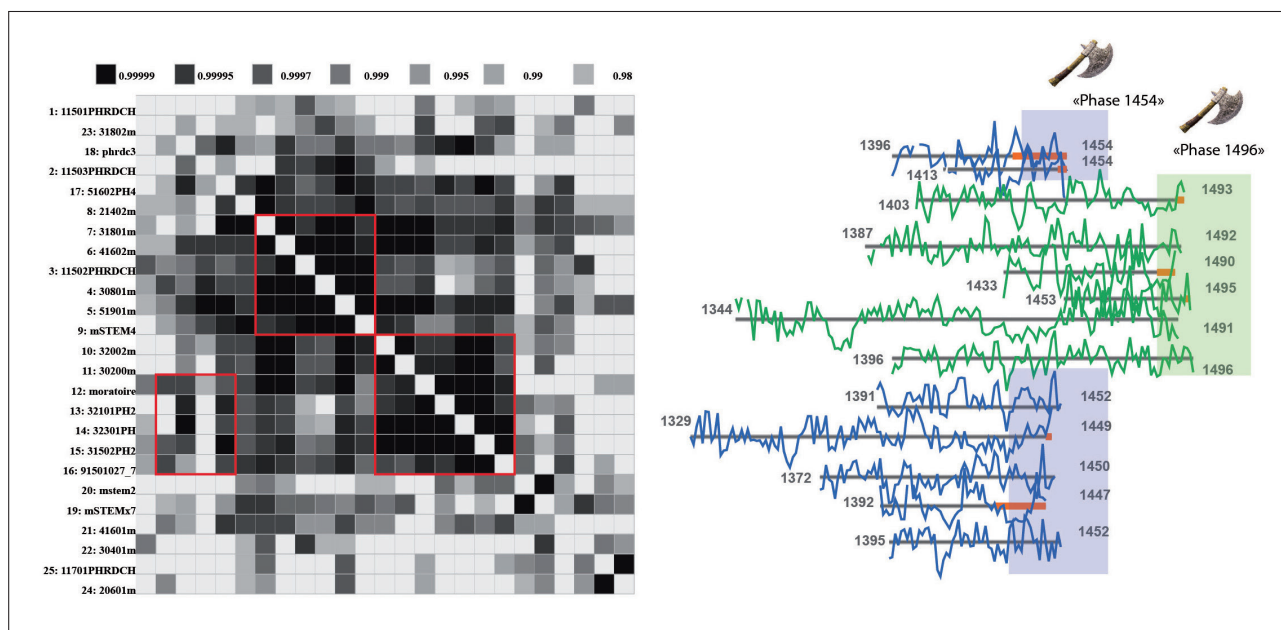


Fig. 4 – Exemple de l’ilot Sainte-Marthe. À gauche, la matrice de corrélation qui représente les relations statistiques inter-séries, la couleur noire correspond à une très forte probabilité t . Ces affinités correspondent à des conditions stationnelles semblables et suggèrent ainsi un même lieu d’approvisionnement ou des milieux similaires proches. Les groupes distingués correspondent à des phases d’abattage différentes. À droite, des séries synchronisées avec la mise en évidence de deux phases d’abattage (DAO: S. Wicha).

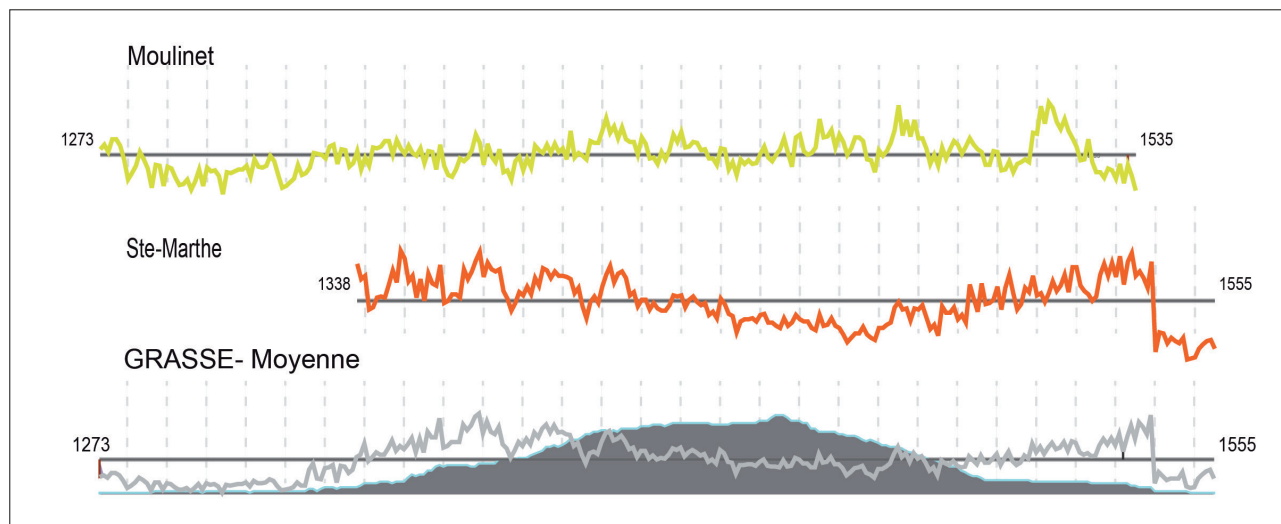


Fig. 5 – Synchronisation des moyennes Sainte Marthe et Moulinet qui composent un référentiel local «Grasse» daté de 1273 à 1555 (DAO: S. Wicha).

ont été réalisés dans les archives notariales du Moyen Âge afin de vérifier la présence/absence d’actes susceptibles de renseigner l’approvisionnement et l’usage du bois de construction à Grasse. Le dépouillement a donc été repris et les actes mentionnés dans les différentes publications ont été recherchés.

Le premier constat est que les différents prix-faits, accords et achats sont pauvres en renseignements et ne précisent

pas toujours l’origine, ni la nature des matériaux²¹. On note toutefois quelques exceptions et notamment pour l’achat de planches en sapin en quantités dans l’arrière-pays²². Nous avons relevé un acte qui mentionne l’approvisse-

21. C’est le cas pour le bois, mais également pour les autres matériaux de construction.

22. AD.06. 03E 079/061, non folioté, 4 avril 1436: *Emptio tabularum pro magistro Andrea Philipini fusterio civitatis Grasse.*

ment de 6 poutres en chêne lors de la réhabilitation d'une toiture²³. Parfois, l'origine géographique est suggérée par celle du fournisseur comme c'est le cas pour la réparation en bardeaux de la toiture de l'église des Frères mineurs²⁴. Mais d'une manière générale, les actes consultés, relatifs à la construction, aux réparations et aux extensions de maisons, restent souvent muets quant à l'essence employée, son origine et ses caractéristiques. L'appréciation qualitative n'est pas plus détaillée.

Le nombre d'actes repérés et transcrits (40) n'est pas encore suffisant pour conclure trop rapidement sur l'apport des sources écrites. Cependant, ce premier sondage dans la documentation montre qu'il existe probablement d'autres actes susceptibles de renseigner l'approvisionnement en bois de construction de la ville. La recherche a été par ailleurs étendue à d'autres villes et villages des Alpes-Maritimes actuelles afin de vérifier si la qualité de l'information variait ou si au contraire elle dépendait d'une période, d'un lieu ou même d'un notaire²⁵. Il apparaît que les actes consultés présentent un degré d'information semblable, principalement en ce qui concerne les poutraisons. Les planchers sont quant à eux parfois mieux documentés (mention de l'essence et des dimensions). Il est encore difficile de préciser les raisons de l'indigence de cette documentation²⁶, mais les informations recueillies permettent tout de même d'apporter quelques éléments sur l'histoire des constructions et il serait important de poursuivre cette recherche en fonction des résultats du croisement des données archéologiques et dendrochronologiques.

5. DISCUSSION-INTERPRÉTATION

L'analyse conjointe du bâti et des bois de construction a permis dans un premier temps de mettre en place une chronologie relative qui a montré plusieurs grandes phases d'aménagement et de réaménagement du bâti. Le schéma actuel indique qu'au début du Moyen Âge, le bâti est strictement lié à de l'habitat d'élite par le biais de maisons-tours dont la typologie est en cours de construction²⁷. Vers la fin du Moyen Âge, on constate une première phase de densification de l'habitat au détriment des rues qui sont de plus en plus annexées ou réduites. Ces dernières font par ailleurs l'objet d'un remblaiement général

qui implique une réorganisation des niveaux de circulations tant à l'extérieur qu'à l'intérieur du bâti. Tous les niveaux de plancher sont ainsi affectés en même temps que des caves sont creusées. Enfin, au cours de l'époque moderne, des réaménagements intérieurs sont opérés à diverses reprises suivant les changements de fonction des différentes parcelles bâties. La chronologie et les phases de grands réaménagements ont été constatées sur les deux îlots étudiés. Les analyses dendrochronologiques enregistrent également ce phénomène en fournissant dans le même temps des éléments de chronologie absolue et en apportant de plus des informations relatives à l'approvisionnement en bois de construction.

Les datations dendrochronologiques montrent ainsi que le XV^e siècle est particulièrement représenté avec une série de trois grandes phases d'abattage : 1403-1431 ; 1452-1454 ; 1470-1490. La première moitié du XVI^e siècle a également été mise en évidence : 1523-1555. Malheureusement, les poutres qui ont fait l'objet d'une datation précise se trouvent en situation de remploi. Or, on sait que lors de la phase de relèvement général des sols de rue, les niveaux de planchers ont été substantiellement modifiés, fixant presque définitivement leur position altimétrique actuelle. Les trois phases d'abattage du XV^e siècle mises en évidence par la dendrochronologie auraient ainsi tendance à montrer que cette modification a eu lieu au cours de ce même siècle. On notera de plus qu'aucune poutre datée n'est antérieure à 1403, ce qui indiquerait qu'il serait peu probable que des bois antérieurs aient été réemployés ou conservés en poutraisons. Le prélèvement systématique des planchers pourrait au contraire en montrer la présence résiduelle (poutres recoupées en solives ou lambourdes par exemple comme on a pu le constater pour des périodes plus récentes). En tout état de cause, il apparaît étonnant qu'aucun bois antérieur au XV^e siècle ne puisse être conservé, à moins qu'avant cette date il s'agisse d'autres essences qui ne se prêteraient pas vraiment à une bonne conservation ou une réutilisation. Mais l'hypothèse d'une véritable phase de reconstruction sans conservation de bois antérieurs ne peut pas être rejetée même si le remploi de maçonneries et d'éléments de maçonneries antérieures a été constaté partout. On notera par ailleurs que l'essentiel des bois datés se concentre durant la seconde moitié du XV^e siècle et la première moitié du suivant. Même s'il est encore tôt pour conclure, la problématique d'une importante restructuration urbaine entre 1450 et 1550 devra être privilégiée à l'avenir afin de vérifier s'il ne s'agit pas seulement d'un effet de conservation des bois « durs » qui auraient pu être privilégiés durant un temps et par opportunité d'approvisionnement ou d'environnement forestier favorable. Dans cette perspective, il sera essentiel de se concentrer sur les bois plus tendres, tels que les résineux,

23. AD.06. 03E 079/122, non folioté, 4 mars 1456 : *Pro Jacobo Tardini et me Susfredo Bernardi fusterio*.

24. AD.06. 03E 079/060, non folioté, 25 février 1435 : *Emptio pro nobili viro Johanne Achardi. (magistro Johanne Bosqui de Barcinonam in Sabaudia)*.

25. Voir Blanc 2013.

26. Plusieurs hypothèses peuvent être mises en évidence : échantillonnage trop restreint, effet de source, disponibilité de la matière première, contrats passés avec d'autres notaires que ceux de Grasse, etc.

27. Voir Blanc-Garidel 2018.

pour voir dans quelle mesure les datations renverraient à des phases plus récentes, voire peut-être plus anciennes. Il s'agirait finalement d'établir une carte chronologique des essences pour voir dans quelle mesure la surreprésentation du chêne entre les XV^e et XVI^e siècles ne renvoie pas simplement à une opportunité ou une stratégie d'approvisionnement et ensuite de conservation étant données la dureté et la durabilité de cette essence.

Dans le prolongement de cette réflexion, la dendrochronologie reste étonnamment muette pour les siècles postérieurs. À ce constat, on peut poser plusieurs questions qui sont autant de pistes de recherches : la structure des poutraisons n'a-t-elle pas été modifiée depuis le XVI^e siècle ? L'absence d'analyses dendrochronologiques pour les résineux peut expliquer en partie cette aberration. A-t-on systématiquement remployé les poutraisons en bois durs par opportunité et/ou par absence de ressources immédiatement disponibles et/ou plus économiques ?

S'agissant des sources écrites, l'absence remarquée du chêne par les historiens grasseois est très probablement due à un effet de source étant donné que le sondage que nous avons réalisé montre que cette essence est mentionnée et notamment en poutraisons. La piste de la mention des remplois dans les actes de travaux doit également être suivie étant donné l'importance de cette pratique que nous avons constatée sur le terrain.

Parallèlement, un long travail de récolement des données relatives à l'état des forêts alentour s'impose comme une évidence. Le débat autour des difficultés de l'approvisionnement en bois au Moyen Âge et à l'Époque moderne est en effet toujours aussi présent et n'est finalement que peu documenté dans les Alpes-Maritimes. Cette problématique est d'autant plus importante qu'elle recoupe en partie les résultats des analyses dendrochronologiques. En effet, outre les datations, la dendrochronologie a mis en évidence des sources d'approvisionnement différentes dans le temps, mais très semblables entre les îlots au cours d'une même phase. Il y a donc une réelle dynamique et stratégie d'approvisionnement qui restent aujourd'hui à documenter.

Plus largement, les sources écrites doivent être réinterrogées à la lumière de ces premiers résultats et notamment pour ce qui concerne l'importante phase de réaménagement urbain des XV^e et XVI^e siècles. Le travail a déjà débuté par l'analyse des cadastres contemporains de cette période qui permettra sans doute d'apporter de nouveaux éléments. Enfin, les fonds notariés du XVI^e siècle devront

être testés pour vérifier si la documentation ne serait plus prolixe que celle du XV^e siècle.

6. CONCLUSION

Le présent travail met donc en question le schéma classique de l'urbanisme médiéval (plan étriqué, rues étroites et sinueuses), et met en évidence un processus de développement en trois phases principales. La dendrochronologie fournit des dates d'abattage ou des phases d'abattage, et donc des dates de mise en œuvre des structures en bois des îlots, plafonds notamment, qui calent et précisent la chronologie relative. Le développement urbain traduit donc un processus de construction complexe dans le temps et l'espace. Les résultats obtenus à ce jour, l'utilisation massive du chêne, l'importance du remploi, l'absence de bois datés des XVII^e et XVIII^e siècles posent de nouvelles questions sur les usages du bois, les approvisionnements, c'est-à-dire, l'état des forêts à ces époques et leur rôle de ressource dans un contexte d'activité économique qui connaît des fluctuations dans le temps. Il s'agira donc de vérifier la permanence de l'usage du chêne dans la construction et du mouvement du bois au niveau local (depuis les forêts jusqu'au sein de la ville) en étendant de façon systématique les études conjointes archéologiques, dendrochronologiques et historiques aux autres îlots du centre ancien de la ville de Grasse.

Bibliographie

- Belotti, Blanc 2008** : F. Blanc, B. Belotti, Archéologie dans la ville : l'exemple du PSMV de Grasse, in : D. Binder, X. Delestre, P. Pergola (dir.), *Archéologies Transfrontalières : bilan & perspectives. Alpes du Sud, Côte d'Azur, Piémont et Ligurie*, Actes du colloque international de Nice (2007), *Bulletin du Musée d'Anthropologie Préhistorique de Monaco*, Supplément n° 1, 2008, 243-246.
- Bernardi, Bouticourt 2007** : P. Bernardi, E. Bouticourt, Les charpentes de toit, in : P. Bernardi (dir.), *Forêts alpines et charpentes de Méditerranées*, éditions du Fournel, 2007, 190-201.
- Blanc 2013** : F. Blanc, *Alpi Marittime. Constructions et dynamiques transfrontalières des Alpes méditerranéennes du Moyen Âge à l'époque moderne. Archéologie du bâti et des usages du bois*, Rapport final de projet collectif de recherche, Hadès, 2013, 1 vol., 101 p.
- Blanc 2015** : F. Blanc, *Îlot Sainte-Marthe, Grasse, Alpes-Maritimes*, Rapport final d'opération d'archéologie préventive, Hadès, 2015, 2 vol., 898 p.
- Blanc 2016** : F. Blanc, *Îlots Rêve-Vieille et Pontet-Boucherie, Grasse, Alpes-Maritimes*, Rapport final d'opération d'archéologie préventive, Hadès, 2016, 2 vol., 479 p.
- Blanc-Garidel 2018** : F. Blanc, Les mutations d'une cité marchande marine-alpine à la fin du Moyen Âge et au début de

l'époque moderne. Grasse, Alpes-Maritimes, in: E. Malamut, M. Ouerfelli, G. Buti, P. Odorico (dir.), *Entre deux rives. Villes en Méditerranée au Moyen Âge et à l'époque moderne, Actes du colloque international Aix-Marseille (MMSH-MUCEM), 24-27 septembre 2014*, Presses Universitaires de Provence, 2018, 241-259.

Blanc-Garidel, Benalloul 2016: F. Blanc-Garidel, G. Benalloul, Ville de Grasse (06). Le plan distributif des eaux de la source de la Foux dit «de Quine» et sa description. Intérêts et limites pour l'étude urbaine des réseaux d'adduction d'eau, *Revue d'Archéologie des Alpes-Maritimes*, n° 22, Nice, 2016, 214-264.

Bouticourt, Guibal 2010: E. Bouticourt, F. Guibal, Approches dendrochronologique et archéologique des charpentes et plafonds peints médiévaux en Provence, in: P. Bernardi, J.-B. Mathon (dir.), *Aux sources des plafonds peints médiévaux: Provence, Languedoc, Catalogne*, Capestang, RCPPM, 2010, 7-92.

Delwaide, Filion 2010: A. Delwaide, L. Filion, Echantillonnage et datation dendrochronologique, in: S. Payette, L. Filion (dir.), *La dendroécologie, principes, méthodes et applications*, Québec, Presse de l'Université de Laval, 2010, 167-197.

Gauthier-Ziegler 1935: G. Gauthier-Ziegler, *Histoire de Grasse au Moyen Âge, 1155-1482*, Paris, Éd. Auguste Picard, 1935, 375 p.

Grasse 2003: M.-C. Grasse, Le bois au Moyen Âge dans la région grassoise: architecture et mobilier, in: *La forêt et le bois en Provence*, Actes des 11^{èmes} journées d'études de l'espace provençal, Mouans-Sartoux, 13 & 14 mai 2000, Publication du Centre Régional de Documentation Occitane, Nice, 2003, 167-176.

Grasse 2005: M.-C. Grasse, *Vivre en Provence à la fin du Moyen-Âge. L'habitat urbain médiéval en Provence orientale (1250-1525)*, Nice, ASPEAM, 2005, 256 p.

Hoffsummer 2002: P. Hoffsummer, *Les charpentes du XI^e au XIX^e siècle. Typologie et évolution en France du Nord et en Belgique*, Paris, Éditions du Patrimoine, Médiathèque de l'Architecture et du Patrimoine, Ministère de la Culture et de la Communication, 2002, 375 p.

Lacroix 2006a: J.-B. Lacroix, Les archives médiévales des notaires des Alpes-Maritimes, 1^{re} partie, le XIV^e siècle, *Recherches Régionales*, Nice, Archives départementales des Alpes-Maritimes, juillet-septembre 2006, 101-130.

Lacroix 2006b: J.-B. Lacroix, Les archives médiévales des notaires des Alpes-Maritimes, 2^e partie, la première moitié du XV^e siècle, *Recherches Régionales*, Nice, Archives départementales des Alpes-Maritimes, octobre-décembre 2006, 1-31.

Lacroix 2007: J.-B. Lacroix, Les archives médiévales des notaires des Alpes-Maritimes, 3^e partie, la deuxième moitié du XV^e siècle, *Recherches Régionales*, Nice, Archives départementales des Alpes-Maritimes, avril-juin 2007, 1-37.

Lambert 1998: G.-N. Lambert, La dendrochronologie, mémoire de l'arbre, in: A. Ferdière (dir.), *La datation en laboratoire*, Paris, éd. Errance, Coll. Archéologiques, 1998, 13-69.

Lambert 2006: G.-N. Lambert, *Dendrochronologie, histoire et archéologie, modélisation du temps. Le logiciel Dendron II et le projet Historik Oaks*, Habilitation à diriger les recherches (2 volumes), Besançon, 2006, 152 p. et 206 p.

Lambert 2010: G.-N. Lambert, *Dendrochronology, archeology and science*, Actes du colloques Tree Ring, Art and Archeology, Bruxelles, Birmensdorf, 2010, 226 p.

Lambert 2014: G.-N. Lambert, *Dendrochronologie, histoire et archéologie, modélisation du temps: le logiciel Dendron II et le projet Historic Oaks*, Habilitation à diriger des recherches, Besançon, Université de Franche-Comté, 2006, 2 vol., 151 p., 205 p.

Malausséna 1969: P.-L. Malausséna, *La vie en Provence orientale aux XIV^e et XV^e siècles. Un exemple: Grasse à travers les actes notariés*, Paris, Pichon et Durand-Augias, Bibliothèque d'histoire du droit et droit romain, t. XIV, 1969, 409 p.

Schweingruber 1990: F. H. Schweingruber, *Anatomie europäischer hölzer: anatomie of European woods*, Stuttgart, Haupt, 1990, 800 p.

Schweingruber 1998: F. H. Schweingruber, *Tree-rings. Basics and applications of dendrochronology*, Kluwer, Dordrecht, 1998, 277 p.

L'église des Prêcheurs d'Aix-en-Provence : lecture archéologique et datations dendrochronologiques (La Madeleine, Aix-en-Provence)

*Sandrine Claude**, *Lisa Shindo*** et *Jean-Louis Edouard***

Résumé

Dans le cadre d'une campagne de restauration menée entre 2012 et 2014, l'église des Prêcheurs d'Aix-en-Provence (actuelle église de la Madeleine) a fait l'objet d'une étude architecturale et dendrochronologique, et d'une recherche documentaire. Édifiée à la fin du XIII^e siècle, cette église connaît, jusqu'à la Révolution plusieurs grandes campagnes de travaux et de multiples interventions d'entretien et de réaménagements difficiles à saisir aujourd'hui. L'un des principaux apports de l'exploitation conjointe des différentes sources documentaires a été de restituer la complexité architecturale de cet édifice largement restauré à la fin du XVII^e siècle et d'en proposer un phasage.

Mots-clés : archéologie du bâti, dendrochronologie, église, ordre mendiant, restauration.

Abstract

As part of a restoration campaign between 2012 and 2014, archaeological, textual and dendrochronological studies are carrying out in the Prêcheurs church (current Madeleine church) in Aix-en-Provence. Built at the end of 14th c., several work campaigns and maintenance interventions were done over time. Nowadays, it is complicated to understand them. The apparent uniformity of the church (largely restored at the end of the 17th c.) was taken to pieces thanks to this interdisciplinary study. Moreover, archaeological history complexity and chronology of the church were re-established.

Keywords: building archaeology, dendrochronology, church, mendicant order, restoration.

1. LES CADRES DE L'INTERVENTION

1.1. Cadres administratif et technique, et protocole d'étude

Les recherches historiques et archéologiques conduites, depuis 2012, par la Direction Archéologie et Muséum de la Ville d'Aix-en-Provence sur l'église de la Madeleine s'inscrivent dans les programmes de consolidation et de restauration du bâtiment fermé au public depuis mai 2006.

Dévolue en 1791 à la paroisse de la Madeleine, cette ancienne église conventuelle des frères Prêcheurs d'Aix, qui se dresse au nord-est de la place du même nom, a ainsi fait l'objet en 2012 de consolidations par injections de ciment et de mortier pratiquées dans les sols, sur plus

de 10 m de profondeur, et dans les maçonneries des fondations des quatre piliers du bras sud du transept. Ces travaux, qui ont redonné à l'édifice ses appuis et sa stabilité compromise par un substrat argileux très sensible au retrait, ont permis une restauration d'envergure de ses parties sommitales incluant, au-dessus de l'entablement, le niveau des fenêtres hautes, les voûtes et l'ensemble de la toiture des bas-côtés. Commandés par la Direction du Patrimoine de la Ville d'Aix-en-Provence et placés sous la maîtrise d'œuvre de François Botton, architecte en chef, et le contrôle de la Conservation Régionale des Monuments Historiques, ces travaux ont été l'occasion de reprendre l'étude de l'église des Prêcheurs dans le cadre d'une fouille préventive prescrite par le Service Régional de l'Archéologie. Ces recherches, conduites sur le terrain près de deux ans durant, ont d'abord consisté en la fouille des secteurs

* Direction Archéologie et Muséum de la ville d'Aix-en-Provence, CS 30715, 13616 Aix-en-Provence Cedex 1. Aix Marseille Univ, CNRS, LA3M, Aix-en-Provence, France.

** Aix Marseille Univ, CNRS, CCI, Aix-en-Provence, France.

du transept touchés par les injections au sol, puis, bénéficiant de l'accessibilité donnée aux élévations par les échafaudages, en un suivi archéologique des travaux de restauration.

Compte tenu de l'importance des interventions envisagées sur les charpentes de l'église – les travaux entraînaient notamment une reprise des appentis sur voûte des bas-côtés, la dépose, dans la chapelle des Matheron, d'un plancher et de ses escaliers donnant accès à la tribune d'orgue et le démontage de la voûte d'arêtes en plâtre sur armature de bois de la première travée du vaisseau central –, une expertise dendrochronologique a été d'emblée intégrée au programme d'étude du bâti. Elle a bénéficié du partenariat existant entre la Direction Archéologie et le Centre Camille Jullian (UMR 7299 du CNRS), et a donné lieu à la mise en place d'un protocole d'étude et de prélèvement, en vue d'une intervention diligente, la moins impactante possible pour le chantier de restauration aux délais contraints. Les bois de charpente déposés ou rendus accessibles par les installations de chantier ont ainsi fait l'objet de prélèvements systématiques en vue d'analyses xylogiques et/ou dendrochronologiques. Ces investigations ont été complétées par des carottages sur les entrants armés des trois premières travées de la nef, sur les longrines qui les soutiennent et sur la charpente du chevet ainsi que sur les pannes de la charpente actuelle, identifiées comme réemplois. Par ailleurs, les reprises de maçonneries réalisées dans le cadre des restaurations ont livré un certain nombre de bois intégrés aux murs, liés à la mise en œuvre des matériaux (boulins, éléments de couchis, chaînages muraux), qui ont fait l'objet, *a minima*, d'une identification xylogique et, quand cela était possible, d'une expertise dendrochronologique.

Les prélèvements de bois ont donc été réalisés sur plusieurs mois, en fonction de l'avancée des travaux de restauration et de l'accessibilité des charpentes. Lorsque les pièces étaient déposées, une section a été prélevée à la tronçonneuse, tandis qu'un carottage a été effectué sur les pièces laissées en place (tarière de Pressler manuelle et tarière Rinntech actionnée par une perceuse électrique). Deux cent trente pièces de bois ont ainsi été échantillonnées, parmi lesquelles quatre-vingt-dix-neuf ont été, à ce jour, analysées et soixante datées, dont cinquante-deux proviennent de l'église¹.

Ces analyses ont été effectuées en laboratoire. Après préparation des échantillons et détermination des essences utilisées², les cernes ont été mesurés sous loupe binoculaire avec une table de mesure Rinntech pilotée par le logiciel TSAP de Rinntech. Les données (séries de cernes) ont été traitées avec le logiciel Dendron IV (Lambert-CNRS Besançon), les datations dendrochronologiques étant recherchées sur la base des comparaisons avec les référentiels chronologiques régionaux et extra-régionaux.

Au terme de l'étude, les échantillons ont été déposés à la dendrothèque du dépôt archéologique du Service Régional de l'Archéologie (DRAC-PACA) des Milles, à Aix-en-Provence.

1.2. Contexte historique et urbain : Les frères Prêcheurs et les mendiants à Aix

Aujourd'hui paroissiale, la Madeleine a été, jusqu'à la Révolution, l'église conventuelle d'une communauté de frères Dominicains.

La date de 1226, avancée pour la fondation du couvent par Honoré Bouche dans sa *Chorographie* puis par Pierre-Joseph de Haitze³ et souvent reprise par la suite⁴, est erronée et a été rectifiée par Marie-Humbert Vicaire et Noël Coulet qui ont souligné le retard marqué dans l'implantation de cette communauté à Aix, par rapport aux autres grandes localités provençales⁵. Le premier date ainsi l'*inceptio* du couvent de 1272 et sa fondation de 1274⁶, tandis que le second, invoquant Bernard Gui, situe l'*inceptio* et la *receptio loci* des Prêcheurs d'Aix en 1273⁷. La capitale de la Provence, déjà investie depuis la fin du XII^e siècle par les ordres militaires, n'accueille alors qu'un seul ordre mendiant, les Franciscains, qui s'établissent avant 1245 aux pieds des remparts, dans le faubourg occidental de la ville. Avec l'arrivée des Carmes mentionnés en 1273 et celle des Augustins avant 1276, Aix devient à la veille du dernier tiers du XIII^e siècle «une ville à quatre couvents»⁸ (fig. 1). Ce maillage religieux est complété dans les décennies suivantes par deux fondations comtales : celle du couvent royal des Dominicaines de Notre-Dame de Nazareth par Charles II d'Anjou (1292) et celles des Clarisses par le roi Robert et la reine Sanche (1339).

2. Identifications anatomiques réalisées par C. Cenzon-Salvayre.

3. Bouche 1664, T.I, 207 ; Haitze 1679, 119.

4. J.-S. Pitton (1668, 138) et P.-J. de Haitze, qui situent la *receptio loci* des Prêcheurs à Aix en 1218 (1715, éd. 1880, 229 et 231) et la construction du couvent à partir de 1226, seront repris par M. Constantin et H. Gibert (Constantin 1890, 120 ; Gibert s.d., 199).

5. Marseille, Avignon, Arles, Nice (Coulet 2009, 392-393).

6. Vicaire 1973, 1024.

7. Coulet 2009, 392.

8. Coulet 2009, 392-393.

1. Une centaine de prélèvements, exclue de la présente étude, concerne les cartons des planchers de la première chapelle latérale nord dite des Matheron et d'un plancher établi dans les combles de la troisième travée du bas-côté sud. Six autres, réalisés sur le plancher du niveau de galetas d'une habitation adossées à l'église, ont également été laissés de côté puisqu'ils relèvent de la construction de cette demeure.

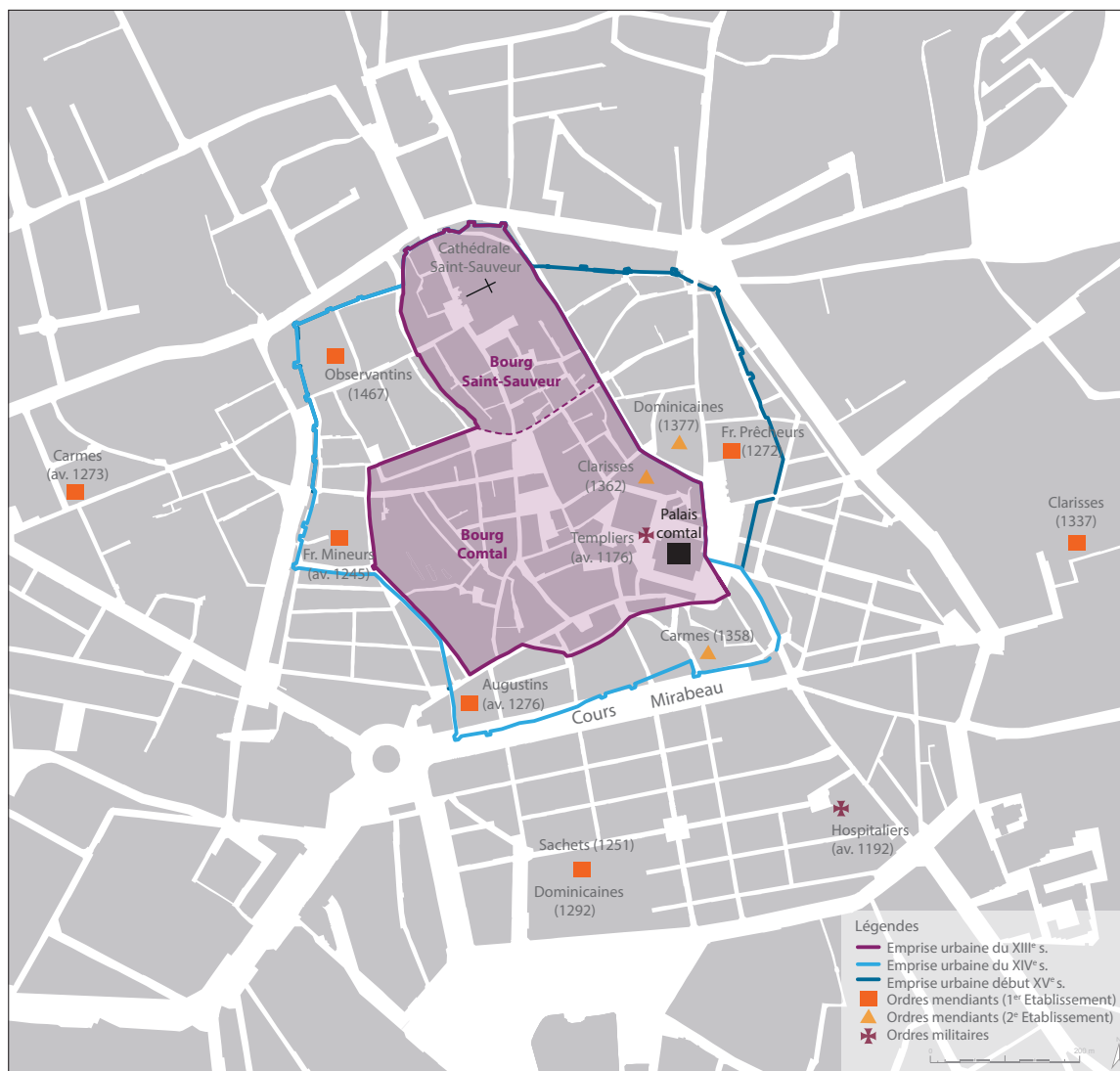


Fig. 1 – Les ordres mendiants et militaires à Aix-en-Provence aux XIII^e et XIV^e siècles
(DAO: M. Panneau, St. Ranchin, DAMVA).

Comme la plupart des établissements dominicains étroitement liés aux zones de croissance urbaine, le couvent des Prêcheurs d'Aix a été installé en marge des bourgs Saint-Sulpice, Rabet et d'En Cailla, en plein essor au XIII^e siècle; à moins de 40 m des remparts, il est ainsi situé à l'est de la ville comtale, dans un quartier diamétralement opposé à celui où se sont établis les frères Mineurs, c'est-à-dire loin de la concurrence franciscaine. Pour cet ordre qui a placé la ville au cœur de sa pastorale, cette situation péri-urbaine offrait un espace suffisant à l'emprise foncière de ses locaux et à leurs développements ultérieurs, tout en plaçant les religieux au contact des fidèles habitant les faubourgs peuplés et dynamiques constitués aux portes de la ville, auxquels ils adressent leurs prédications et dont ils peuvent capter les aumônes. La proximité du pouvoir comtal angevin, soutien solide de l'ordre, a sans doute

également été déterminante dans le choix de l'implantation des Prêcheurs à quelque 80 m du palais des souverains⁹.

À l'instar des frères Mineurs et des Augustins dont les couvents sont pareillement implantés dès le XIII^e siècle aux franges de l'aire remparée, les Prêcheurs n'ont pas été soustraits aux désordres du milieu du XIV^e siècle suite à un transfert intra-muros. C'est, en effet, une extension de la ceinture urbaine autour du vaste faubourg Bellegarde – celui-ci avait fini par englober les bourgs Rabet et d'En Cailla –, qui a ainsi intégré au corps de ville, vers la fin du siècle, l'établissement conventuel. À l'évidence, même, ce dernier a pu infléchir le tracé du nouveau rempart qui, restitué le long de la rive orientale de la rue Lisse-Saint-Louis, enserrait le chevet de l'église, avant d'obliquer vers le sud pour se raccorder au rempart sud-est de la

9. Montagnes 1979, 21.



Fig. 2 – Le quartier Bellegarde et la place des Prêcheurs au XVI^e siècle (extrait du plan d'Aix-en-Provence par François de Belleforest, 1573-1575). Q: église des Prêcheurs.

ville, au niveau de la rue Thiers¹⁰. À la fin du XVI^e siècle, l'emprise conventuelle apparaît encore confinée à une large partie occidentale de l'îlot actuel des Prêcheurs, en retrait de la rue Chastel créée avec le lotissement du quartier Villeneuve. Au sein de cette parcelle alors cernée, si l'on en croit le plan de François de Belleforest (1573-1575), par les cultures vivrières, l'église donne au couvent sa limite sud (fig. 2).

2. RÉSULTATS

Cet édifice de 63 m de long sur 27 m de large doit en grande partie ses dispositions actuelles aux maîtres maçons et architectes Jean et Laurent Vallon à qui les Prêcheurs confient, le 28 juillet 1691, l'entreprise de sa rénovation¹¹. Les travaux, dont Jean Boyer a minutieusement restitué le détail¹², se sont échelonnés jusqu'en 1703, gommant, sans pour autant totalement les effacer, les multiples campagnes de constructions qui les ont précédés depuis la fin du XIII^e siècle et ont servi de base à leur projet. Pressentis par les historiens et les archéologues qui se sont intéressés à

l'église des Prêcheurs¹³, les vestiges piégés dans les reconstructions des frères Vallon n'avaient pour autant jamais été relevés ni étudiés, et c'est là un des apports du suivi archéologique conduit entre 2012 et 2014 que d'avoir confirmé leur présence non seulement en fondation, mais aussi dans les parties les plus hautes des élévations, et de proposer une première restitution évolutive de l'édifice (fig. 3).

Dans cet ensemble composite, l'étude dendrochronologique a porté sur des bois mis en œuvre à des périodes relativement basses de l'histoire de l'église, soit à l'occasion de son réaménagement par les frères Vallon (charpentes des deux bas-côtés,

charpente du vaisseau central de la nef et bois inclus dans les maçonneries), soit dans des modifications ultérieures, tels le plancher de la première chapelle latérale nord (chapelle des Matheron) ou la voûte de la première travée du vaisseau central de la nef. Parmi ces pièces, un certain nombre documente directement les structures auxquelles elles appartiennent – c'est le cas de quelques poutres de la charpente de la nef moderne – ou une campagne de réfection (charpente de la première travée de la nef). D'autres, illustrant une pratique ancienne et extrêmement développée dont il est toutefois délicat de mesurer le poids dans l'économie des chantiers¹⁴, sont à l'évidence le résultat de réemplois (fig. 4).

Les cinquante-deux pièces en sapin provenant de l'église des Prêcheurs et datées par dendrochronologie constituent ainsi une collection peu homogène qui trahit les nombreux remaniements dont les charpentes ont été, à des moments divers, l'objet. Leur chronologie couvre la période 1303-1845, avec une interruption entre 1497 et 1522, au sein de laquelle trois groupes se distinguent (fig. 5): 1303-1461 (159 ans), 1413-1497 (85 ans) et 1522-1845 (324 ans). Les dates d'abattages dessinent quant à elles quatre grandes périodes de mise en œuvre: le XV^e siècle (1402-1497) auquel succède un hiatus de 141 ans, le XVII^e siècle (1638-1702) dont

10. Le segment sud-est du rempart urbain du XIV^e siècle est représenté en 1591 sur un projet de mise en défense du quartier Villeneuve, conservé aux archives de l'État de Turin, dans le troisième volume du recueil de relevés intitulé *Architettura militare*, f°15v°-16 (Faucherre 2014, 352; Claude, Auburtin collab. 2018, 105).

11. Archives départementales des Bouches-du-Rhône, 307E1262, f°761v° (Boyer 1972, 172-173).

12. Boyer 1972, 169-181.

13. Benoît 1933, 30; Montagnes 1979, 59.

14. Bernardi 1985, 197-198.

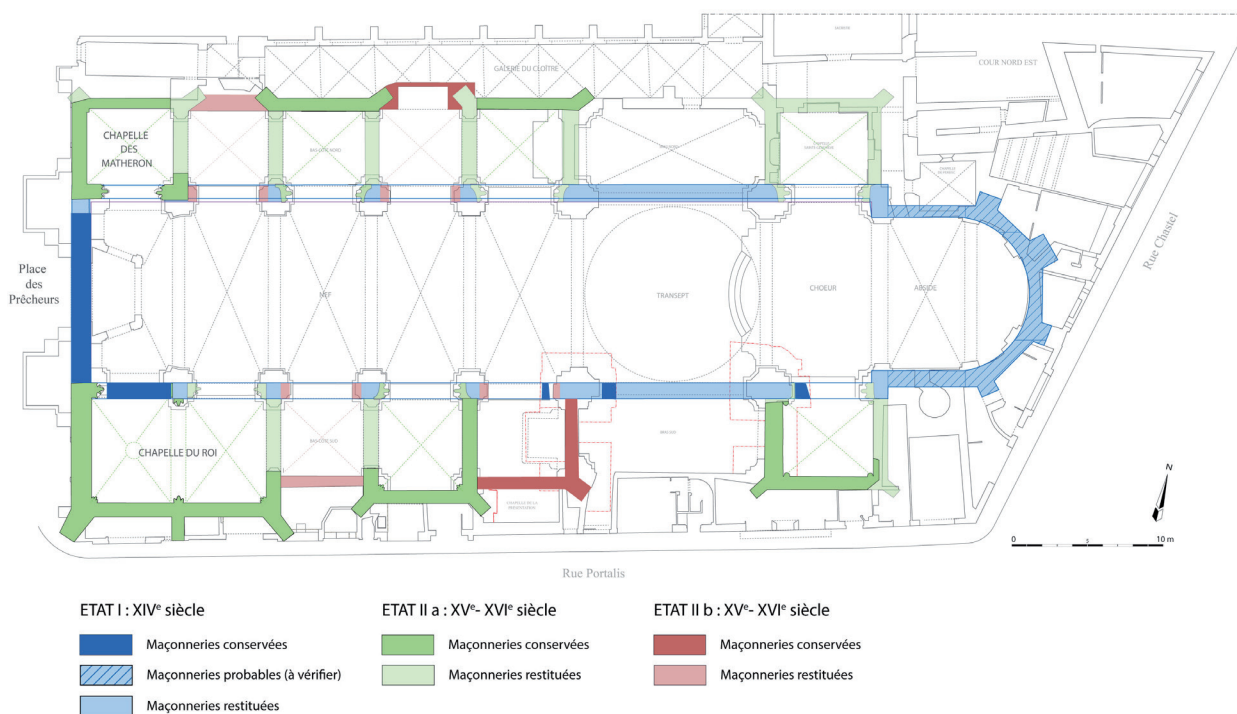


Fig. 3 – Église des Prêcheurs. Plan diachronique (DAO : M. Panneau, St. Ranchin, DAMVA).

la fin est marquée par la grande rénovation de l'église, les années 1735-1753 et le milieu du XIX^e siècle, période de réhabilitation de l'édifice après l'épisode révolutionnaire qui n'est documentée que par une seule occurrence (1845).

Compte tenu de cette diversité dans les dates et dans les conditions de mise en œuvre des bois échantillonnés (parfois en position secondaire), le recours à la dendrochronologie a, pour l'étude de l'église des Prêcheurs, non seulement permis d'apporter une réponse chronologique aux questionnements archéologiques concernant les charpentes encore en place sur le vaisseau central de la nef et sur les bas-côtés, et les maçonneries associées, mais aussi – et peut-être même surtout – de documenter indirectement des chantiers qui n'ont pas ou peu laissé de traces dans les élévations étudiées et échappent à l'analyse archéologique.

Le choix a été fait, dans le cadre de cet article, de présenter les résultats de manière chronologique en suivant les grandes phases de la construction de l'église corrélées, quand cela était possible, aux données issues des sources textuelles, dans le but de dresser un premier état des lieux sur cet édifice dont l'étude est toujours en cours et susceptible d'être amendée par les interventions à venir.

2.1. L'église de la fin du Moyen Âge (mi XIV^e-début XV^e siècle)

S'il est certain que les Prêcheurs se sont, dans les années qui ont suivi leur installation à Aix, rapidement dotés d'un lieu de culte, on ignore à peu près tout des dispositions de cette église primitive évoquée dans les textes au hasard des donations affectées à sa construction¹⁵. Parmi tous les bois prélevés et datés aucun ne ressortit à ce premier édifice, élevé à la fin du XIII^e siècle ou dans la première moitié du XIV^e siècle. L'évocation d'un incendie en 1383 par la littérature érudite du XVII^e siècle pourrait, si l'événement était confirmé par les textes, donner une explication à cette absence¹⁶.

Encore présent dans le paysage dans les années 1380, l'édifice alors en ruine aurait, selon Jean Pourrière dont l'analyse de la topographie aixoise fait référence mais qui, ici, ne cite

15. Le comte de Provence assigne ainsi, en septembre 1300, à la construction de l'église des frères Prêcheurs d'Aix, 200 livres reçues de la communauté de Moustiers (Archives départementales des Bouches-du-Rhône, B1979, f°287).

16. « Environ ce temps & l'an 1383, le feu prit au Convent des Freres Prêcheurs de la ville d'Aix, mais en telle façon qu'il brûla entièrement tout le Cloître & les anciens documens de la Maison, laquelle depuis cette incendie commença d'avoir une autre forme qu'elle n'avoit pas auparavant » (Bouche 1664, T.II, 399); « L'incendie de MCCCLXXXIII qui brûla entièrement l'Eglise & le Cloître, nous a privés de sçavoir plusieurs tres belles choses, qui se sont passées dans cet Ordre, & qui appartiennent à la Ville d'Aix » (Pitton 1668, 138); Montagnes 1979, 58.

Localisation	Code dendro	Date du 1er cerne	Date du dernier cerne	Longueur de la série	Période de mise en œuvre
Bas-côté sud, travée 1, mur gouttereau.	MAD073m	1303	1402	100	Fin XVII ^e -début XVIII ^e s. Modifiée au milieu du XIX ^e s.
Nef, travée 2. Longrine est-ouest reposant sur les arcs doubleaux de la travée	MAD015m1	1330	1418	89	Fin XVII ^e -début XVIII ^e s. Remaniée dans les années 1880.
Nef, travée 1, entrant armé n°1	MAD003m1	1305	1421	117	Fin XVII ^e -début XVIII ^e s.
Nef, travée 3, entrant armé n°5 (pièce inférieure principale)	MAD014m	1333	1424	92	Fin XVII ^e -début XVIII ^e s. Peut-être remaniée dans les années 1880.
Nef, travée 2, entrant n°2 (pièce supérieure sud)	MAD021_1	1325	1427	103	Fin XVII ^e -début XVIII ^e s. Peut-être remaniée dans les années 1880.
Nef, travée 2, entrant n°2 (pièce supérieure nord)	MAD020_1	1347	1432	86	Fin XVII ^e -début XVIII ^e s. Peut-être remaniée dans les années 1880.
Nef, travée 2 (sud). Longrine est-ouest perpendiculaire aux entrants 2 et 3	MAD016_4	1333	1433	101	Fin XVII ^e -début XVIII ^e s.
Nef, travée 1, entrant	MAD004ma	1304	1442	139	Fin XVII ^e -début XVIII ^e s.
Nef, travée 3, entrant n°4 (côté nord)	MAD013m	1303	1460	158	Fin XVII ^e -début XVIII ^e s.
Nef, travée 2, entrant n°3 (côté nord)	MAD017_2	1312	1461	150	Fin XVII ^e -début XVIII ^e s.
Chapelle des Matheron, solive moulurée du plancher	MAD132_1	1413	1484	72	Début XVIII ^e s. ou postérieur
Bas-côté sud, travée 1, combles. Pièce de bois fixée sur l'arbalétrier MAD073.	MAD072	1355	1489	34	Fin XVII ^e -début XVIII ^e s. Modifiée au milieu du XIX ^e s.
Chapelle des Matheron, solive moulurée du plancher	MAD133_1	1424	1492	69	Début XVIII ^e s. ou postérieur
Chapelle des Matheron, solive moulurée du plancher	MAD131_1	1420	1494	75	Début XVIII ^e s. ou postérieur
Chapelle des Matheron, solive moulurée du plancher	MAD130_1	1431	1497	67	Début XVIII ^e s. ou postérieur
Bras sud du transept au niveau de la coupole	MAD044_2	1606	1638	33	Fin XVII ^e -début XVIII ^e s.
Bas-côté sud, comble de la travée 3, solive nord du plancher	MAD029m	1591	1678	88	Fin XVII ^e -début XVIII ^e s.
Bras sud du transept au niveau de la coupole	MAD035_1	1609	1679	71	Fin XVII ^e -début XVIII ^e s.
Bras sud du transept, poutre d'angle joignant les murs sud et est	MAD036m	1522	1684	163	Fin XVII ^e -début XVIII ^e s.
Bas-côté sud, travée 4, combles, poutre sud du toit	MAD077m	1584	1686	103	Fin XVII ^e -début XVIII ^e s.
Coupole, panne côté nef	MAD035m	1616	1686	71	Fin XVII ^e -début XVIII ^e s.
Transept nord, poutre de chaînage intégrée au mur ouest	MAD126_1	1645	1687	43	Fin XVII ^e -début XVIII ^e s.
Chœur, travée droite, arbalétrier sud de la ferme	MAD033m	1588	1689	102	Fin XVII ^e -début XVIII ^e s.
Bras sud du transept, poutre montée entre la coupole et l'angle sud-ouest du transept	MAD041m	1584	1689	106	Fin XVII ^e -début XVIII ^e s.
Bras nord du transept, au niveau de la croisée	MAD124m	1634	1690	57	Fin XVII ^e -début XVIII ^e s.
Bas-côté sud, comble de la travée 3, solive centrale du plancher	MAD027m1	1624	1691	68	Fin XVII ^e -début XVIII ^e s.
Bras sud du transept, poutre montée entre la coupole et l'angle sud-est du transept	MAD037m	1580	1694	115	Fin XVII ^e -début XVIII ^e s.
Bas-côté sud, comble de la travée 3, solive nord du plancher	MAD074m	1637	1694	58	Fin XVII ^e -début XVIII ^e s.
Bas-côté sud, comble de la travée 3, solive centrale du plancher	MAD076m	1617	1695	79	Fin XVII ^e -début XVIII ^e s.
Bras sud du transept, poutre perpendiculaire à la coupole (côté est)	MAD045_1	1647	1699	53	Fin XVII ^e -début XVIII ^e s.
Nef, travée 1, sablière	MAD018_1	1659	1702	44	Fin XVII ^e -début XVIII ^e s.
Nef, travée 1	MAD082_1	1693	1735	43	1737 ou légèrement postérieur
Nef, travée 1	MAD095m	1635	1736	102	1737 ou légèrement postérieur
Nef, travée 1	MAD081m	1638	1736	99	1737 ou légèrement postérieur
Nef, travée 1	MAD089m	1622	1736	115	1737 ou légèrement postérieur
Nef, travée 1	MAD093_1	1648	1736	89	1737 ou légèrement postérieur
Nef, travée 1	MAD087m	1618	1736	119	1737 ou légèrement postérieur
Nef, travée 1	MAD107m	1591	1736	146	1737 ou légèrement postérieur
Nef, travée 1	MAD096m	1662	1736	75	1737 ou légèrement postérieur
Nef, travée 1	MAD098m	1658	1736	79	1737 ou légèrement postérieur
Nef, travée 1	MAD099_1	1649	1736	88	1737 ou légèrement postérieur
Nef, travée 1	MAD102_1	1648	1736	89	1737 ou légèrement postérieur
Nef, travée 1	MAD116m	1646	1736	91	1737 ou légèrement postérieur
Nef, travée 1	MAD097_1	1649	1736	88	1737 ou légèrement postérieur
Nef, travée 1	MAD118m	1638	1737	100	1737 ou légèrement postérieur
Nef, travée 1	MAD115m	1647	1737	91	1737 ou légèrement postérieur
Nef, travée 1	MAD101_1	1648	1737	90	1737 ou légèrement postérieur
Nef, travée 1	MAD094_1	1639	1737	99	1737 ou légèrement postérieur
Nef, travée 1	MAD092m	1636	1737	102	1737 ou légèrement postérieur
Nef, travée 1	MAD088m	1625	1737	113	1737 ou légèrement postérieur
Bas-côté sud, travée 3, arbalétrier	MAD075_1	1712	1744	33	Reprise du milieu du XVIII ^e s. ou postérieure
Bras sud du transept, poutre d'angle joignant les murs sud et ouest du transept	MAD042m	1672	1753	82	Reprise du milieu du XVIII ^e s. ou postérieure
Chœur, entrant ouest	MAD031m	1723	1845	123	Reprise du milieu du XIX ^e s. (H. Revoil ?) ou postérieure

Fig. 4 – Tableau de localisation des 52 bois datés issus de l'église des Prêcheurs (L. Shindo, J.-L. Édouard).

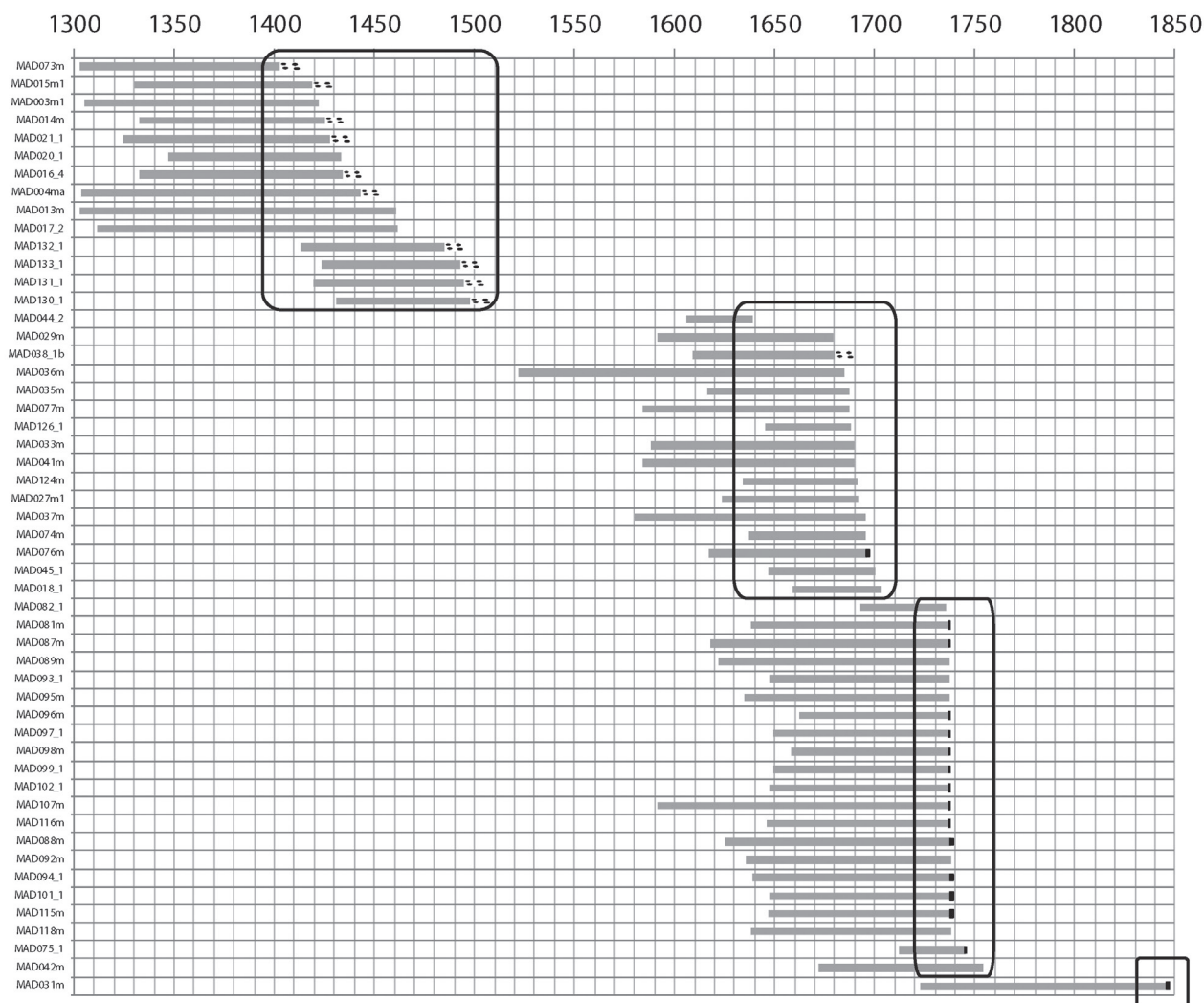


Fig. 5 – Diagramme chronologique des 52 pièces de bois datées provenant de l'église. Les derniers cerne sont conservés sur 16 échantillons (barres verticales noires) et l'érosion des périphéries de 11 échantillons (pointillés) peut repousser l'abattage des arbres plusieurs années après la date de leurs derniers cerne. Les quatre grandes périodes chronologiques de mises en œuvre sont entourées (L. Shindo, J.-L. Edouard).

cependant pas ses sources, coexisté un temps avec une nouvelle église élevée à l'emplacement de l'actuelle Madeleine¹⁷. Quoiqu'il en soit, la reconstruction de l'église des Prêcheurs, peu avant le milieu du XIV^e siècle, est bien avérée par la mention, en février 1344 (n. st. 1345), de la vente par les religieux assemblés dans la salle capitulaire de leur couvent, de deux volumes de saint Augustin, pour 25 florins d'or, au professeur de Droit Jacques Imberti, «*propter summam paupertatem in qua ipsum capitulum et fratres eiusdem capituli sunt et fuerunt diutius constituti et propter evidentem utilitatem et necessitatem operis nove ecclesie necnon ruinas dormitorii dictorum fratrum et conventus*»¹⁸. Avec Honoré Bouche,

Bernard Montagnes suppose une seconde reconstruction de l'église suite à l'incendie de 1383¹⁹, mais aucun texte contemporain de l'événement ne permet d'étayer cette assertion²⁰.

À l'une ou l'autre de ces églises doivent être attribués plusieurs pans de murs piégés dans les reconstructions du XVII^e siècle et recoupés par les chapelles latérales qui investissent les flancs de la nef à partir du milieu du XIV^e siècle. Fragmentaires et épars, ces vestiges, qui sont les plus anciens mis en évidence par l'étude de bâti et la fouille, présentent des mises en œuvre sensiblement différentes qui ne laissent pas de doute sur l'échelonnement dans le temps de leur construction. La cohérence du plan

17. Jean Pourrière signale la mention en 1377 de l'ancienne église qu'il retrouve, en 1387, ruinée et investie par les jardins des religieux (Pourrière 1952, 110-111).

18. Archives départementales des Bouches-du-Rhône, 308E15, f°4.

19. Cf. note 16.

20. Montagnes 1979, 58.



Fig. 6 – Vestiges du mur gouttereau médiéval, présents dans les combles de la cinquième travée du bas-côté sud (cl. S. Claude, DAMVA).



Fig. 7 – Vestiges du mur gouttereau médiéval et d'une ancienne fenêtre haute, présents dans les combles de la première travée du bas-côté sud (cl. S. Claude, DAMVA).

d'ensemble de l'édifice qu'ils dessinent et, surtout, la forte empreinte qu'ils ont laissée dans l'église actuelle, dont ils façonnent largement les dispositions, invitent cependant à réunir ces maçonneries dans un même état architectural qui pourrait être le résultat d'une exécution conduite sur plusieurs années, selon un programme pré-établi par les Prêcheurs, à l'image de ce qui a été démontré pour l'église des Observantins (fig. 3)²¹.

Ce sont en tout cinq segments de mur observés, en fondation ou en élévation, sur une longueur cumulée de quelque 18 m, qui, alignés d'ouest en est, permettent de restituer sur plus de 45 m de long le mur gouttereau sud de l'église médiévale. Leurs fondations bien saisies en deux points, dans les sondages du pilier sud-ouest de la croisée du transept moderne et à l'est de son pilier oriental, forment une semelle maçonnée, élargie sur son parement extérieur (parement sud) par un ressaut de quelques centimètres. Mis en évidence à la cote de 193,90 m NGF, ce ressaut

ainsi que les coulées de mortier qui s'en échappent dans le segment le plus oriental situent le niveau de circulation, à l'extérieur de l'église, autour de la cote de 194,00 m, soit plus d'un mètre sous le niveau actuel de la rue Portalis. Cette fondation grossièrement appareillée porte une élévation de moins d'1 m d'épaisseur, aux parements plus soignés, montés de moellons équarris, alignés en assises réglées et liés au mortier de chaux. Conservée, aux abords des piles du transept sur une hauteur maximale de 0,82 m et cinq assises, l'élévation a gardé, ici, des reliquats d'enduit qui témoignent d'un traitement particulier de sa paroi intérieure. Immédiatement à l'ouest du transept, à l'aplomb de la dernière arcade latérale de la nef moderne, subsiste un autre fragment du mur gouttereau sud de l'église médiévale (fig. 6). Son parement intérieur piégé dans les maçonneries de l'entablement de la nef n'est plus visible, mais son parement sud, que distingue une mise en œuvre soignée, a été partiellement épargné sous le niveau des fenêtres hautes venu rehausser, à la fin du XVII^e siècle, le vaisseau central. Ce segment de 2,40 m de long, ainsi observable dans les combles du bas-côté sud (cinquième travée) et sur lequel

21. Claude 2010.

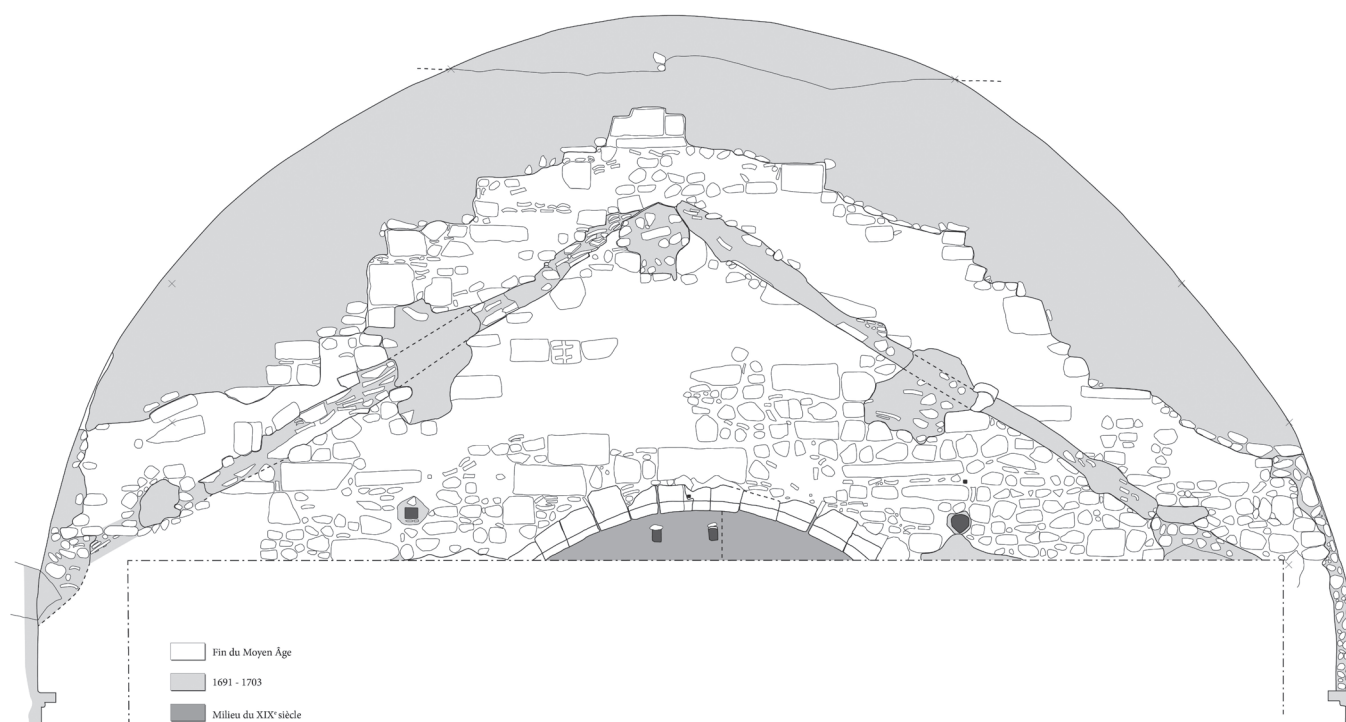


Fig. 8 – Relevé du revers de la façade occidentale de l'église (del. E. Rossetti o Roscetti; DAO: St. Ranchin, DAMVA)

s'ancrent les reprises modernes du mur gouttereau, monte jusqu'à la cote 208,90 m NGF ce qui permet de restituer au gouttereau médiéval une hauteur d'environ 15 m.

Plus à l'ouest, sous le niveau des fenêtres hautes de la fin du XVII^e siècle, le parement extérieur d'un dernier segment du mur gouttereau sud a été repéré dans les combles de la première travée du bas-côté sur vingt-deux assises, soit 3,80 m de haut, et une longueur de 3,30 m (fig. 7). Sa dernière assise observée – au-delà de laquelle les enduits de façade masquent l'élévation – s'aligne sur la cote altimétrique de 207,80 m soit 1 m sous celle du précédent tronçon. À cette construction soignée, appareillée de moellons, est lié l'encadrement harpé en pierre de taille d'une fenêtre haute en plein-cintre, extradossée et fortement ébrasée. Occultée vers la fin du XV^e siècle par la première chapelle latérale sud dite «chapelle du roi», cette baie montre que le rythme des travées ou des ouvertures du mur auquel elle appartient n'est pas celui du XV^e siècle, soit que l'insertion des chapelles latérales, dont le module régulier trahit un lotissement raisonné des abords de l'église, a introduit une nouvelle partition de l'espace déconnectée de celle mise en place au milieu du XIV^e siècle dans la reconstruction de l'église, soit que la fenêtre retrouvée et le mur auquel elle est liée appartiennent à un état de construction antérieur à celui de l'église du XIV^e siècle qui les a intégrés à sa structure. Aujourd'hui, si la perte des liaisons entre ce segment de mur gouttereau et les autres constructions attribuées à l'église du XIV^e siècle (segment de mur oriental et façade

occidentale) laisse la question ouverte, quelques maigres éléments viennent cependant étayer la seconde hypothèse. Tout d'abord, on imagine mal que les Dominicains aient conçu, peu avant le milieu du XIV^e siècle, le plan de leur église sans prendre en compte, d'emblée, l'emplacement des chapelles latérales dont les archives donnent mention dès 1362²². En outre, les dispositions simples de la fenêtre haute en plein-cintre, ébrasée, renvoient à des formes bien connues dans l'architecture des XII^e-XIII^e siècles, que l'on retrouve notamment au couvent des Dominicains de la Beaume près de Sisteron. Si l'on ne peut exclure, ici, le réemploi de son encadrement dans les élévations du XIV^e siècle, la nette différence de mise en œuvre entre cette portion du mur gouttereau soigneusement assisée et l'élévation occidentale de l'église, montée plus rapidement avec des matériaux non modulés, le plus souvent simplement dégrossis et agencés en assises irrégulières et discontinues, milite également pour l'antériorité du premier (fig. 8).

La purge des enduits au revers de la façade occidentale a, en effet, montré que le mur-pignon occidental de l'église médiévale a été conservé sur toute son élévation de plus de 18 m, piégé sous les remaniements et les enduits de la fin du XVII^e siècle, avec des dispositions qui ne sont pas sans rappeler la représentation qu'en donne François de Belleforest dans «*le vray pourtraict de la ville d'Aix en Provence*»

22. Archives départementales des Bouches-du-Rhône, Aix-en-Provence, 21H8 1^o7v^o (référence donnée par I. Castaldo, 2015).

en 1573-1575 (fig. 2). Partiellement observé, son parement intérieur a ainsi livré l'encadrement non extradossé d'un oculus de 4,20 m de diamètre sur près d'un cinquième de sa circonférence. La moulure qui parcourt cette ouverture, constituée d'un tore, suivi d'un large cavet puis d'un petit, crée un fort ébrasement intérieur dont on peut restituer la symétrie à l'extérieur ; aucun reste de remplage n'a été saisi à la rencontre des deux ébrasements. Le pignon découvert a également gardé les ancrages de quatre pannes et du faîtage d'une charpente de toit. Ces cavités très irrégulières, obturées lors des travaux de la fin du XVII^e siècle, pouvaient recevoir des pièces de bois d'environ 0,30 m de diamètre, allant même jusqu'à 0,50 m pour la poutre faîtière, dont l'entraxe oscillait entre 2,30 m et 2,50 m. Elles dessinent, avec les deux saignées obliques qui traversent le parement intérieur du pignon, une toiture à deux versants présentant une inclinaison de 33 degrés. La projection de la pente du toit place vers la cote de 208,40 m la retombée de son versant sud, qui ainsi pouvait être reçue par le segment du mur gouttereau médiéval retrouvé dans les combles de la première travée du bas-côté.

Les élévations nord de l'église moderne n'ont livré aucun reste du mur gouttereau médiéval que la retombée du pignon occidental permet de restituer, comme au sud, sous l'alignement des piliers de la nef moderne.

À l'est, le raccord entre les élévations de moellons de la nef médiévale et celles, situées dans le même axe, du chevet appareillé en pierre de taille, n'a pu être observé²³. Seules la cohérence du plan d'ensemble et les dispositions du chevet qui s'accordent bien avec une mise en place dans le courant du XIV^e siècle, invitent à les attribuer au même programme (fig. 9). Construit sur un plan à pans coupés, ce volume est épaulé sur toute sa hauteur par quatre contreforts d'angle et ajouré par des fenêtres, aujourd'hui murées, au profil en arc brisé proche du tiers-point. Ses élévations appareillées en pierre de taille recourent, à l'instar des extensions gothiques de la cathédrale Saint-Sauveur (transept, chevet et chapelle de l'archevêque Armand de Narçès) qui leur sont à peu près contemporaines, au calcaire coquillier de type pierre de Bibémus pour le chaînage des contreforts et l'encadrement des baies, et au calcaire beige lité pour



Fig. 9 – Chevet gothique de l'église des Prêcheurs (cl. S. Claude, DAMVA).

les parements. Si l'on exclut le rehaussement dont ces élévations ont fait l'objet à l'Époque moderne, le chevet se développe alors sur une hauteur supérieure à 16 m jusqu'à la cote de 211,50 m NGF, dominant ainsi de plus de 3 m la portion occidentale de la nef qui reçoit la retombée du toit à la cote de 208,40 m. La représentation que donne Belleforest de l'église, en 1573-1575, coiffe la partie absidée du chevet d'un clocher, qui pourrait expliquer ce décalage, mais en partie seulement. Sur son dessin de l'église, aucun décroché ne rompt, en effet, la continuité de la toiture depuis la nef jusqu'au clocher, or la conservation, au droit de la cinquième arcade sud de la nef, du mur gouttereau médiéval jusqu'à la cote de 208,90, trahit une rupture bien en avant du chevet, à peu près au milieu de la nef, avec : à l'ouest, le niveau de toiture bas donné par les vestiges du revers de la façade occidentale (alt. 208,90 m) et, à l'est, la toiture rehaussée qui s'aligne sur celle du chevet (alt. 211 m). Cette discontinuité est peut-être la matérialisation en élévation, par des couvertures différents, de la nef des fidèles (à l'ouest) et du chœur absidé des religieux (à l'est), selon des dispositions assez fréquemment relevées dans les églises des ordres mendiants masculins²⁴.

Différentes par leur mise en œuvre, ces constructions ont pu s'échelonner dans le temps ou pourraient également relever de programmes d'aménagement distincts. La question doit être posée notamment pour les restes du mur gouttereau sud, possibles vestiges de l'église du XIII^e siècle. Quoi qu'il en soit, elles s'inscrivent, à partir du milieu du XIV^e siècle, dans un programme cohérent et conforme aux prescriptions de l'ordre, qui dessine une église longue de

23. La présence d'un grand décor en trompe-l'œil moderne masque intégralement les élévations du chœur médiéval. À l'extérieur, en revanche, le chevet est encore partiellement visible. Non incluses dans la campagne de restauration de 2012-2014, ses élévations ont fait l'objet d'observations complémentaires, à distance, depuis la rue.

24. Ces dispositions sont présentes dans les églises des Dominicains d'Évreux et de Valenciennes, dans celle des Franciscains de Cambrai et celle des Augustins de Paris (Volvi 2003, 126).

62 m et large de 12 m, à un seul vaisseau de nef terminé par une abside à polygonale. La faiblesse des murs latéraux qui ne dépassent pas 1 m d'épaisseur en fondation, les ancrages de pannes de la façade occidentale et la documentation d'archive qui la mentionne dès 1410 imposent de restituer une couverture charpentée sur la nef²⁵, tandis que le chœur, distingué par un appareil de pierre de taille, pouvait avoir été voûté en cul-de-four dès l'origine, suivant ainsi les prescriptions des chapitres généraux de l'ordre²⁶.

Parmi les bois prélevés sur la charpente de la nef aucun ne peut être attribué à sa couverture originelle ou à la réfection du début du XV^e siècle. À signaler toutefois l'arbalétrier de la toiture en appentis qui couvre la première chapelle latérale sud pour lequel a été donnée une datation de 1402 ou légèrement postérieure (éch. 073)²⁷. Sa position actuelle, qui est liée aux réaménagements de l'église à la fin du XVII^e siècle, a pu être sensiblement modifiée par le rehaussement du mur riverain sud, consécutif à la création d'une nouvelle façade occidentale au milieu du XIX^e siècle par l'architecte Henri Revoil. La reprise de la charpente a pu alors soit réutiliser une pièce de bois de la nef qui fait parallèlement l'objet de travaux, soit directement récupérer un élément de la charpente primitive de la chapelle sud. Dans ce dernier cas, compte tenu de sa datation haute (vers 1402) par rapport à celle de la chapelle construite après 1486 (*cf. infra*), l'arbalétrier est déjà à la fin du XV^e siècle issu d'un réemploi et peut indirectement provenir de la nef. La question ne pourra sans doute jamais être tranchée mais elle trahit la circulation des matériaux au sein du bâtiment.

Les dispositions simples et amples qui caractérisent, à la fin du XIV^e siècle, l'église des Prêcheurs d'Aix avec une nef étirée en longueur, dévolue à la fois à l'accueil des fidèles et à la prédication (nef ouest), mais aussi aux offices des frères (chœur à l'est), sont classiques pour une église d'ordre mendiant masculin. Si les plans à trois ou deux vaisseaux de nef semblent avoir eu, dès le XIII^e siècle, la préférence en Provence, ceux, plus simples, à nef unique sont également présents dans la région. On les retrouve à Forcalquier, pour l'église des Cordeliers, dès avant la fin du XIII^e siècle, à Aix-en-Provence aux Augustins (début XIV^e s.) et aux Carmes (fin XIV^e s.-début XV^e s.), ainsi qu'aux Franciscains d'Avignon (fin XIV^e s.-début XV^e s.)²⁸.

Plus loin de nous, dans la partie sud-ouest du Midi, ce type de plan à nef unique apparaît encore plus généralisé. Il est adopté notamment dans les églises des Franciscains de Perpignan (fin XIII^e s.-début XIV^e s.), de Bayonne (2^e quart du XIV^e s.) et, avec un chevet plat, de Périgueux (av. 1274), ainsi qu'aux Carmes de Limoges (XIV^e s.)²⁹. À Aix-en-Provence comme ailleurs, ces dispositions ont guidé tous les développements ultérieurs de l'église des Prêcheurs qui, sous la pression des dévotions familiales, s'est progressivement agrandie.

2.2. L'église des XV^e-XVI^e siècles: multiplication des chapelles funéraires et travaux d'entretien

Dès le milieu du XIV^e siècle, les abords de la nef et du chœur sont ainsi investis par des chapelles privées, familiales ou de confrérie comme celle de saint Pierre martyr connue dès 1420³⁰. Indépendantes les unes des autres, ces chapelles communiquent avec la nef moyennant le percement d'arcades au travers des murs gouttereaux³¹. Au nord comme au sud, les contreforts, qui épaulent leurs angles extérieurs, trahissent leur mise en place à différentes périodes, souvent sans se soucier de laisser un vide entre deux constructions le temps qu'une troisième chapelle ne vienne s'y glisser. Si au nord la contrainte architecturale que représentait le cloître a imposé un alignement strict de leurs murs gouttereaux, le long de l'actuelle rue Portalis, en revanche, les chapelles sud se distinguent par des différences notables de profondeur. Sans atteindre le degré d'organisation des Augustins ou des Franciscains d'Avignon dans les restitutions qu'il est possible d'en faire³², l'implantation régulière des chapelles latérales des Prêcheurs d'Aix, dont la largeur est comprise entre 5,20 m et 5,40 m³³, n'en est pas moins bien réelle. Elle trahit clairement un découpage programmé en amont par les frères qui ont, en quelque sorte, loti les abords de leur église avant de concéder la construction de chaque parcelle aux familles bienfaitrices de leur communauté ou à une confrérie pour qu'elles y installent leur caveau et l'autel dédié à leurs dévotions. Témoin d'une économie basée sur l'encadrement des funérailles et le service divin rendu aux morts qui, de

25. *Cf. infra*: Prix-fait de la dépose et de la complète réfection de la charpente de la nef le 26 mai 1410 (Archives départementales des Bouches-du-Rhône, 309E92, f°66).

26. Volti 2004, 62.

27. Cette poutre présente une entaille dont le motif est une croix latine montée sur un trapèze, qui s'apparente, par ses dimensions (16 x 16 cm) et son incision grossière, à une marque de commerce ou de flottage (Bouticourt 2016, 68).

28. Bernardi 1982, 92 et svt., 181; Guyonnet 2009, 295-299.

29. Pousthomis-Dalle 2009, 249 et 253; Bergeret, Donat 2004, 202-204.

30. Coulet 1972, 211, n. 28.

31. Les premières chapelles attestées sont connues par un état général des titres et documents des Prêcheurs d'Aix, daté de 1651-1652 (Archives départementales des Bouches-du-Rhône, 21H8). Il s'agit de celle d'Isnard de Crota déjà en construction le 3 juillet 1362 (f°7v^o) et d'une autre dédiée à saint Étienne dont Douce Beraude commande la réalisation dans son testament le 30 septembre 1381 (f°3) (Castaldo 2015, 26).

32. Guyonnet 2009, 298-299.

33. Seules les chapelles précédant le chœur architectural ont une extension sensiblement plus grande se déployant en largeur sur 5,60 à 5,80 m.



Fig. 10 – Vue de la travée occidentale de la chapelle du roi (cl. G. Thomann).

leur vivant, s'assurent la pérennité des prières en dotant généreusement les communautés religieuses, cette multiplication des chapelles aux abords de l'église des Prêcheurs, documentée par de nombreuses mentions d'archives, s'échelonne jusqu'à la fin du XVI^e siècle. La dernière évocation relevée concerne la chapelle d'Étienne de Mantin, seigneur de Montbenaud, qui, le 25 mai 1578, lègue pour sa construction 200 écus d'or auxquels il ajoute 600 autres écus pour l'entretien annuel d'un chapelain. Cet ouvrage contigu à la chapelle Sainte-Catherine est mis en chantier dès avant le 20 mai 1583³⁴.

La plupart des chapelles latérales dont l'emprise se lit encore aisément dans le plan de l'église ont été réunies en bas-côtés à l'Époque moderne et ne sont plus apparentes en élévation. Si l'on en croit les nombreux réemplois moulurés et peints, piégés dans les maçonneries ultérieures, ces chapelles, plus basses que le vaisseau central de la nef, étaient voûtées sur nervures et richement décorées. Seules les deux premières d'entre elles, entièrement appareillées en pierre de taille et voûtées sur croisées d'ogives, ont été conservées presque intactes dans les reconstructions de la fin du XVII^e siècle.

34. Recueil de titres, actes et documents relatifs au couvent des Prêcheurs, dressé aux XVI^e et XVII^e siècles (Archives départementales des Bouches-du-Rhône, 21H7, f^o 4) et document intitulé Extraits d'actes et procédures, couvrant les XVI^e-XVIII^e siècles (21H1, p. 923). Références données par I. Castaldo (2015, 32-33).

Au sud-ouest, la chapelle occupée aujourd'hui par le baptistère est une commande de la reine Jeanne de Lorraine, épouse du dernier comte de Provence, Charles III du Maine, neveu du roi René par son père. À la veille de sa mort, le 22 janvier 1480 (n.st. 1481), la souveraine avait demandé dans son testament que soit édifiée, dans l'église des Prêcheurs d'Aix, une chapelle de l'Annonciation en l'honneur de la sainte Vierge Marie pour recevoir le caveau familial³⁵. Le 10 décembre 1481, son époux précise que l'ouvrage « doit être construit près de la place et de la porte de l'église des Prêcheurs » et lègue pour sa construction 2 500 écus plus 300 livres tournois pour la fondation d'une messe perpétuelle³⁶. Une requête déposée par les frères Prêcheurs auprès du roi en juillet 1486 signale que ces sommes n'ont toujours pas été versées et que la chapelle n'est pas encore réalisée³⁷. Adossée au flanc sud de l'église, dans la continuité de sa façade occidentale, cette chapelle dite « du roi » dans les textes modernes est une construction soignée, entièrement appareillée en pierre de taille, qui recourt exclusivement au calcaire coquillier du type

35. « *in dicta ecclesia ipsorum fratrum predicatorum unam capellam Nunciacionis ad honorem et laudem gloriose ac beate semperque virginis Marie ubi et prout eidem serenissimo domino nostro regi eius sponso ac heredi placuerit* » (Archives départementales des Bouches-du-Rhône, B21, f^o59, copie).

36. « *Item voluit, disposuit et ordinavit memoratus dominus noster rex testator fundari in dicta capella fabricanda et construenda in eo loco prope fores sive portas dicte ecclesie quem ipse dominus noster rex jam designari fecit unam missam perpetuam in eadem capella pro redemptione peccatorum dicte serenissime domine regine singulis diebus perpetuis temporibus celebrandam* » (Archives départementales des Bouches-du-Rhône, B21, f^o60, copie).

37. Archives départementales des Bouches-du-Rhône, B21, f^o58.



Fig. 11 – Représentation de la place et de l'église des Prêcheurs, entre 1835 et 1840, attribuée à Marius Reinaud (cl. B. Terlay, Musée Granet d'Aix-en-Provence).



Fig. 12 – Charpente des première et deuxième travées du bas-côté sud (cl. S. Claude, DAMVA).

pierre de Bibémus (fig. 10). Elle se déployait, à l'origine, sur deux travées séparées par un arc-doubleau appareillé richement mouluré dont les retombées sont reçues par des culots également travaillés. La première, qui a gardé ses dispositions tardo-médiévales jusqu'à son couverture voûté sur nervures, s'ouvre sur la nef par une arcade brisée moulurée. Elle était ajourée, à l'ouest et au sud, par deux grandes fenêtres ogivales à remplages, qu'ont obturés l'actuelle façade néoclassique et les rehaussements de l'habitation adossée, à la fin du XVI^e siècle, à son flanc sud (fig. 11). Agencée à l'identique de la travée occidentale, la travée suivante, à l'est, a en revanche été intégrée à la fin du XVII^e siècle au bas-côté sud de l'église. Leur charpente de

toit, qui s'ancre, au nord, dans les rehaussements modernes du mur gouttereau de la nef, a été mise en place à l'occasion des travaux de la fin du XVII^e siècle, avec une possible modification au XIX^e siècle de la retombée sud des arbalétriers (cf. *supra*). La pièce centrale de la première travée datée de 1402 ou d'une année légèrement postérieure est assurément un réemploi (éch. 073). Toutefois, avec un dernier cerne daté de 1489 (éch. 072), l'élément réhausseur qui se superpose à cet arbalétrier pour recevoir les chantignoles pourrait faire de ce montage un dispositif de la charpente primitive de la chapelle du roi (fig. 12).

À l'opposé de cette dernière, la chapelle des Matheron est également désignée sous le vocable de Notre-Dame du Saint-Rosaire. Elle tient ce nom de la confrérie installée en 1500 par René Matheron, seigneur de Peynier et filleul du roi René, dans la chapelle familiale où il demande à être inhumé le 11 mai 1512³⁸. Entièrement montée en pierre de taille et dallée du même matériau, la chapelle des Matheron se développe sur une seule travée de plan presque carré, couverte d'une voûte d'ogives dont les nervures moulurées en doucines et cavets reposent sur des culots armoriés. Elle s'ouvre sur le vaisseau central de la nef par une grande arcade brisée reçue au niveau du sol

38. Archives départementales des Bouches-du-Rhône, 21H3, f^o 935 (transaction du 11 janvier 1599, référence donnée par I. Castaldo 2015) ; 309E424 f^o430 (testament de René Matheron, référence donnée par le chanoine H. Requin).



Fig. 13 – Voûte de la chapelle des Matheron (cl. G. Thomann).

sur des bases prismatiques et parcourue par une moulure continue à la modénature accentuée, où s'enchaînent doucines et scoties (fig. 13). Les parois murales de la voûte comme celles des murs latéraux ont été uniformisées par un badigeon à la chaux ocre pour recevoir des faux-joints peints restituant un appareil factice régulier qui constitue le décor primitif de la chapelle, avant son réaménagement dans la première moitié du XVII^e siècle. Aucun bois n'a pu être rattaché à sa construction.

Outre l'édification des chapelles latérales qui, entre le XIV^e et le XVI^e siècles, affectent profondément son plan, l'église est également l'objet de campagnes de réfections documentées par les textes. Au XV^e siècle, la charpente du vaisseau central est ainsi, à trois reprises au moins, soit à peu près tous les 35-40 ans, mise en chantier. La première intervention est décrite dans un prix-fait du 26 mai 1410, par lequel les Prêcheurs confient au maître charpentier aixois, Pierre Grimaud, la dépose et la réfection complète de la couverture de leur église (charpente et revêtement de tuiles), depuis l'entrée où se trouve le bénitier jusqu'aux chapelles nouvellement construites à l'ouverture du chœur. La commande engage, entre autres, le charpentier à réutiliser au mieux les bois anciens et les tuiles³⁹. Le 16 février 1454, les Prêcheurs commandent au charpentier Pierre Correcti, pour soixante florins, la réalisation de deux poutres ou entrails pour la charpente de leur église,

le premier au niveau de la porte de l'édifice et le suivant à l'autre porte⁴⁰. Enfin, un troisième contrat, conclu le 5 novembre 1488 avec les fustiers aixois Pierre Michel et Pierre Dangres, mentionne une nouvelle intervention sur l'ensemble de la couverture de l'église des Prêcheurs⁴¹.

Moyennant des réfections régulières, au moins pour le XV^e siècle car les textes restent silencieux par la suite, les charpentes se maintiennent sur le vaisseau central de la nef jusqu'à la fin du XVII^e siècle⁴². Ce sont les frères Vallon qui rehaussent la nef d'un niveau de fenêtres hautes et la couvrent d'une voûte en pierre, emportant toutes les couvertures charpentées antérieures. De la charpente de toit alors posée sur la nouvelle nef demeurent deux longrines et surtout les cinq entrails armés, répartis sur les trois premières travées. Piégées en partie dans les maçonneries des voûtes d'arêtes modernes, ces poutres reposent sur l'extrados des arcs formerets.

Dans cet ensemble mis en œuvre à la fin du XVII^e siècle et sensiblement remanié dans la seconde moitié du XIX^e siècle, sont présentes neuf des quinze pièces de bois de sapin datées dont le dernier cerne mesuré est antérieur au XVI^e siècle, soit respectivement de 1418, 1421, 1424,

39. «*Primo namque fuit de pacto inter partes ipsas habito solemniter et valida stipulatione firmato que dictus magister Petrus Grimaudi suis propriis sumptibus et expensis teneatur et debeat decooperire ecclesiam prelibatam scilicet a janua ubi consistit aqua benedicta usque cappellas novas que constructe sunt in introitu cori dicto ecclesie et ad hoc ad minus damnum, maiusque comodum et maiorem utilitatem lignorum et tegulorum dicte ecclesie super eadem existente de presenti*» (Archives départementales des Bouches-du-Rhône, 309E92, f°66).

40. «*Et primo (* fuit de pacto solemniter etc.) inter dictos dominos fratres dicti conventus predicatorum et prefatum magistrum Petrum Correcti videlicet quod prefatus magister Petrus teneatur et debeat et sic sponte promisit construere seu fustigiare, bene et decenter ut convenit, duos tirannos coperti ecclesie dicti conventus incipiendo vero a porta dicte ecclesie, sequendo aliud opus usque ad aliam portam, precio et nomine precii in summa florenorum sexaginta de rege etc.*» (Archives départementales des Bouches-du-Rhône, 307E223, f°55v°).

41. L'acte a disparu mais il est bien enregistré dans le répertoire du protocole du notaire aixois, Antoine Sanchol (Archives départementales des Bouches-du-Rhône, 309E369, f°143).

42. En 1664 encore, Honoré Bouche évoque la charpente de la nef de l'église des Prêcheurs d'Aix (1664, 399)



Fig. 14 – Entrain armé n°5 conservé au niveau de la troisième travée de la nef, vu depuis le sud-est (cl. S. Claude, DAMVA).

1427, 1432, 1433, 1442, 1460, 1461⁴³. Ici, le croisement des données dendrochronologiques, architecturales et textuelles appelle plusieurs remarques. En premier lieu, le réemploi au XVII^e siècle de bois issus des charpentes anciennes était concrètement possible, car les portées sont restées inchangées : la largeur du vaisseau central de la nef du XVII^e siècle reprend, en effet, exactement celle la nef médiévale, soit 12 m, ce qui explique le recours à des poutres armées. Délicat à obtenir sur des bois anciens et secs, l'ajustement soigné des adents dans l'assemblage des différents éléments qui composent ces pièces (fig. 14) ainsi que leurs dates concordantes suggèrent la réutilisation en bloc des entrains. Aussi, même retrouvés en position secondaire, ces entrains sont à verser au dossier des poutres armées du XV^e siècle ouvert par É. Bouticourt et Fr. Guibal⁴⁴. En outre, bien qu'aucune des poutres analysées n'ait conservé son dernier cerne celui-ci apparaît proche dans la plupart des cas et l'on doit souligner l'absence de correspondance nette entre la datation des bois en place et les commandes de 1410, 1454 et 1488 connues par les archives⁴⁵. Partant, il nous faut envisager, ici, la possibilité d'un approvisionnement extérieur. Ce dernier a pu faire l'objet d'une commande qui aurait échappé à l'enquête d'archives ou, dans une région où le bois d'œuvre de grandes dimensions est un matériau d'importation difficile à trouver et onéreux⁴⁶, a pu se faire localement par récupération sur un bâtiment proche, comme l'ont été les neuf

poutres de la grande salle du palais du Parlement cédées, le 18 décembre 1585, aux capucins pour la toiture de leur église⁴⁷. Envisagés sous cet angle, les entrains de la nef des Prêcheurs peuvent apporter une explication au hiatus de près d'un siècle et demi, constaté entre la fin du XV^e siècle et les années 1630, dans les analyses dendrochronologiques (fig. 5). Pourtant, s'il peut s'agir d'un biais de la conservation des bois mis en œuvre durant cette période, ce vide, mis en perspective avec les sources d'archives qui ne font état d'aucuns travaux sur les charpentes de l'église, pourrait également refléter une réalité de la construction. Là encore, la documentation textuelle est partielle, mais les larges dépouillements réalisés par I. Castaldo dans les archives de la communauté et les registres notariaux ne signalent dans l'église, à cette période, outre la construction de deux chapelles, que de petits travaux d'entretien comme l'installation de châssis sur les fenêtres du chœur, le blanchiment des murs ou l'obturation d'une porte, et surtout l'achat et la réparation du mobilier de l'église⁴⁸. Les constructions plus importantes concernent alors les bâtiments conventuels et leurs annexes (infirmes) et surtout, à partir du milieu du XVI^e siècle et durant tout le XVII^e siècle, le lotissement des abords sud et est de l'église, investis par des habitations privées.

Les analyses dendrochronologiques ont livré un dernier lot comprenant quatre solives de sapin, prélevées sur le plancher établi, après le début du XVIII^e siècle, dans la chapelle des Matheron, pour donner un accès dans-œuvre à la tribune d'orgue⁴⁹. Leurs derniers cernes mesurés sont datés

43. Éch. 015, 003, 014, 021, 020, 016, 004, 013, 017.

44. Bouticourt, Guibal 2008.

45. L'usage répandu de bois vert étant admis pour les charpentes, ces décalages chronologiques ne peuvent être imputés au séchage des fustes après abattage, pas plus qu'au temps de trempage nécessaire à la conservation des bois qui ne dépasse pas quelques mois (Bouticourt 2016, 70).

46. Bernardi 1995, 139.

47. Archives départementales des Bouches-du-Rhône, B2686 (référence communiquée par E. Nectoux).

48. Castaldo 2015, 31-48.

49. Ce plancher monté sur poutres et cartons noyés dans du plâtre, qui oblitère le décor peint mis en place dans le courant du XVII^e siècle

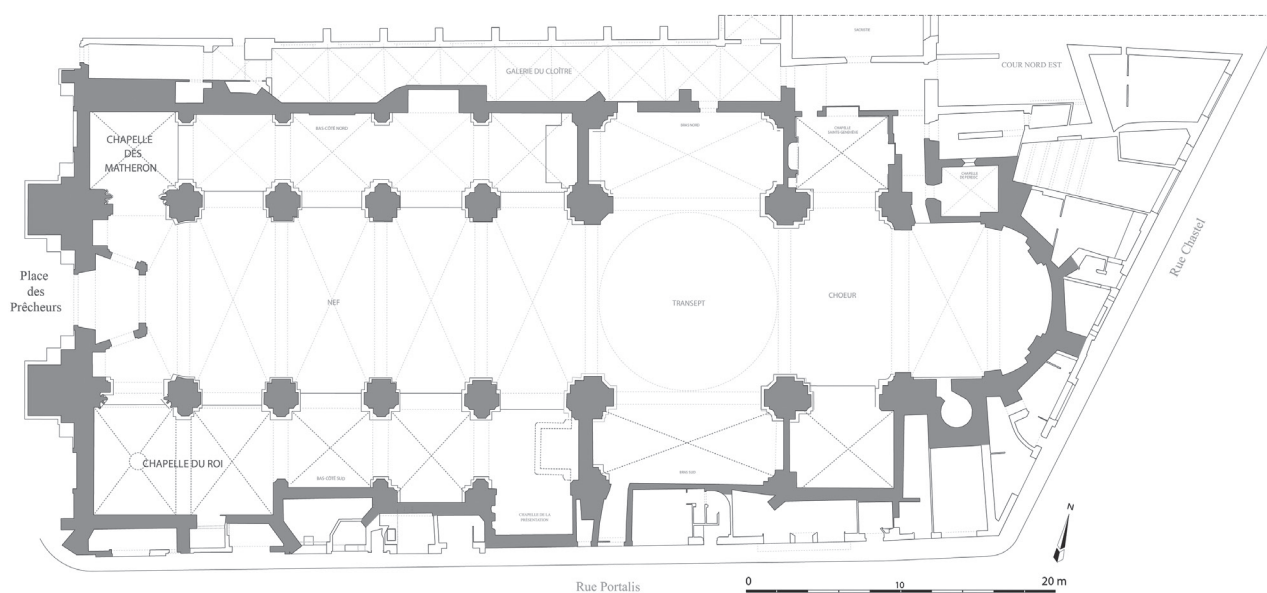


Fig. 15 – Plan actuel de l'église de Prêcheurs (DAO : M. Panneau).

entre 1484 et 1497⁵⁰. Étant donné leur débitage, peu de cernes ont disparu à la périphérie de ces solives, ce qui permet de placer l'abattage des arbres dont elles proviennent au plus tard au début du XVI^e siècle. Réemplois évidents, ces pièces de section rectangulaire (6,8 x 11,8 cm) aux arêtes moulurées proviennent très certainement d'un plancher à deux ou trois systèmes de poutres et solives apparentes, probablement prélevé dans un espace d'habitation.

2.3. Les travaux des frères Vallon (fin XVII^e–début XVIII^e siècle)

L'église des Prêcheurs d'Aix n'a-t-elle pas fait l'objet de travaux conséquents avant l'intervention des frères Vallon, à la fin du XVII^e siècle, du moins l'analyse architecturale n'a-t-elle pas permis de les distinguer et les textes restent-ils silencieux à ce sujet. Probables réemplois, les deux pièces de bois respectivement datées de 1638 et de 1678 (éch. 044 et 029), ou d'une année proche, issues de la charpente du bras sud du transept et du plancher du comble de la troisième travée du bas-côté sud, n'apportent pas de précisions sur d'éventuelles campagnes de travaux.

Quelque trente ans avant le complet réaménagement de leur église, les Prêcheurs avaient cependant envisagé la construction d'une nouvelle façade occidentale dont le dessin avait été confié au sculpteur et architecte

Jean-Claude Rambot⁵¹. Le prix-fait, conclu le 27 juin 1662, prévoyait de plaquer et sceller sur l'ancienne façade une élévation ornée de vingt statues d'une hauteur de 8 et 10 pans de (2 m-2,50 m), en pierre blanche de Calissanne⁵². Cet ouvrage qui devait être achevé dans les trois ans est toujours en travaux en 1682 et son projet fut finalement abandonné⁵³.

Ce sont les interventions de Jean et Laurent Vallon, vraisemblablement conduites sur les plans du second, qui, entre 1691 et 1703⁵⁴, transforment radicalement l'église des Prêcheurs, unifiant et modernisant l'architecture composite de ce bâtiment (fig. 15). Déjà largement entaillées par les arcades des chapelles latérales, les élévations intérieures des murs gouttereaux médiévaux sont alors reprises et entièrement parementées en pierre de taille pour laisser place à des arcatures latérales en plein-cintre, rythmées par de puissants piliers corinthiens composés (fig. 16). Un entablement mouluré couronne l'ensemble, au-delà duquel l'église est rehaussée d'un niveau de fenêtres hautes et voûtée. Ainsi remaniée, la nef se développe sur cinq travées de part et d'autre desquelles les anciennes chapelles latérales gothiques sont unifiées en bas-côtés sur le même principe. Elle s'arrête, à l'est, sur un transept non saillant doté à sa croisée d'une coupole, qui s'ouvre sur une travée droite précédant l'abside. La mise en place, dans le chœur, d'une

dans la chapelle, prend appui sur une cloison en pan de bois élevée à l'issue de la création du bas-côté nord de la nef, vers 1703 (cf. *infra*).

50. Éch. 132, 133, 131, 130.

51. Boyer 1972, 169; Archives municipales d'Aix, CC625 f°450v°.

52. Archives départementales des Bouches-du-Rhône, 307E1248-I, f°511.

53. Archives départementales des Bouches-du-Rhône, 307E1259, f°164v°

54. Archives départementales des Bouches-du-Rhône, 307E1262, f°761v° (Boyer 1972, 172-173).



Fig. 16 – Élévations intérieures de l'église depuis l'ouest (cl. G. Thomann).

grande quadrature prolongeant la nouvelle architecture au-delà de l'autel, vient clore, au début du XVIII^e siècle, cette campagne⁵⁵.

Si ces travaux ont largement gommé l'édifice médiéval, la nouvelle église reste, par son plan et son emprise, totalement héritée de ce bâtiment. De même que les piliers du vaisseau central de la nef moderne et de la croisée du transept reprennent exactement le tracé des murs gouttereaux de l'église du XIV^e siècle, les bas-côtés se sont insérés dans l'enveloppe des anciennes chapelles latérales n'oblitérant que leurs voûtes. Dans cet ensemble, les deux premières chapelles latérales, la façade occidentale à oculus et le chevet de la fin du Moyen Âge, simplement rehaussés pour s'adapter aux nouvelles élévations, ont été repris en l'état.

Documentée par les textes, l'architecture et la dendrochronologie, cette campagne de travaux est la mieux connue. Parmi les pièces de bois en place qui témoignent des interventions des frères Vallon est une poutre de section circulaire (éch. 126, diam. : 0,23 m) dont le dernier cerne, daté de 1687, est estimé proche de la date d'abatage. Insérée dans l'épaisseur du mur ouest du bras nord du transept, à la cote de 210,95 m, cette poutre horizontale lie la chaîne d'angle en pierre de taille du transept au parement de moellon de son élévation ouest (fig. 17).



Fig. 17 – Poutre de chaînage insérée dans la maçonnerie du mur ouest du bras nord du transept (cl. S. Claude, DAMVA).

Au sud, le réaménagement des combles suite à la création des bas-côtés a conduit à l'installation, sur la voûte de la troisième travée, d'un plancher suspendu. De facture très simple, cet aménagement repose sur trois poutres ancrées, à l'ouest et à l'est, dans les maçonneries des contreforts qui délimitent la travée. Ces poutres reçoivent des cartons jointifs perpendiculaires sur lesquels a été coulée une chape de plâtre qui scelle des mallons de terre cuite. Les trois datations obtenues sur deux d'entre elles placent l'installation de ce plancher en 1695 ou peu après (éch. 027, 074, 076).

Le lot le plus important de bois mis en œuvre entre la fin du XVII^e siècle et le début du suivant a toutefois, et

55. Gloton *et al.* 2003 ; Sinigaglia 2014.



Fig. 18 – Charpente moderne de la première travée du vaisseau central de la nef (cl. S. Claude, DAMVA).

La couverture de cette travée, qui accueille la tribune d'orgue, est une charpente conçue pour porter une voûte en plâtre sur armature de bois, montée dans le même alignement que les voûtes maçonnées des autres travées de la nef (fig. 18). La pièce porteuse de cet ensemble est un entrain armé récupéré de la charpente médiévale (éch. 003) et remplacé entre les deux murs gouttereaux modernes, au-dessus des fenêtres hautes. Cette filière reçoit dix

très logiquement, été identifié dans les charpentes de toit de l'église. Ce sont en tout dix éléments datés entre 1679 et 1702. Huit d'entre eux sont de peu postérieurs aux années 1679 (éch. 038), 1684 (éch. 036), 1686-1687 (éch. 035 et 126), 1689-1690 (éch. 033, 041 et 124) et 1694 (éch. 037); un neuvième bois qui a conservé son dernier cerne est daté 1699 (éch. 045) et le dixième de 1702 ou d'une année proche (éch. 018). Les pièces les plus anciennes proviennent toutes des charpentes des terminaisons orientales de l'église – transept, coupole et abside – qui semblent en place dès la fin du XVII^e siècle. Avec une datation de 1702 ou légèrement postérieure, la poutre la plus récente, posée dans la première travée du vaisseau central de la nef, est issue d'un arbre abattu à l'extrême fin de la campagne de travaux. Hasard de la conservation ou réalité de mise en œuvre, cette distribution des bois est peut-être le reflet d'une organisation de chantier assez fréquente depuis le Moyen Âge, qui s'engage par le chevet pour progresser d'est en ouest afin de permettre une mise en service rapide du chœur des religieux avant même l'achèvement des travaux.

2.4. Les interventions postérieures aux frères Vallon

Le XVIII^e siècle a laissé assez peu de traces dans les élévations de l'église et une documentation écrite indigente. Après les grands réaménagements de la fin du XVII^e siècle, il est probable que l'église n'ait plus connu de gros chantiers. Une intervention, qui a porté sur la première travée du vaisseau central de la nef, a toutefois été mise en lumière par l'étude dendrochronologique, clarifiant les dispositions occidentales de l'édifice, à la réception du chantier conduit entre 1693 et 1703.

poutres perpendiculaires qui s'insèrent, d'un côté, dans la façade occidentale et reposent, de l'autre, sur l'extrados du premier doubleau séparant les travées modernes 1 et 2. Prenant appui aux quatre angles de la travée, un assemblage de bois courbes dessine l'armature des arêtes de la voûte. Ce dispositif maintient une résille de petits bois qui sert d'accroche au hourdis de plâtre des voûtains. En l'état, cette voûte est liée à la façade occidentale néo-classique dessinée et édifiée par l'architecte Henri Révoil entre 1853 et 1859⁵⁶. Provenant d'arbres âgés en moyenne de 96 ans ($\sigma = 20$ ans), les dix-neuf pièces datées de sa charpente constituent un lot homogène dont les derniers cernes mesurés sont compris entre 1735 et 1737, avec une nette prépondérance des abattages en 1736 et 1737⁵⁷. Au milieu du XIX^e siècle, l'intervention de l'architecte diocésain s'est manifestement contentée de reprendre les voûtains en hourdis de plâtre sur résille de bois sans toucher à l'armature charpentée mise en place à la fin des années 1730. À moins d'imaginer une malfaçon dans sa voûte qui aurait conduit à son effondrement dans le premier tiers du XVIII^e siècle, il semble que la première travée de la nef n'ait pas été achevée en 1703 et n'ait reçu son voûtement qu'une trentaine d'années plus tard, en plâtre et non en pierre comme les autres travées. Cette proposition s'accorde avec les observations faites sur les parties occidentales de l'église qui témoignent de leur inachèvement au début du XVIII^e siècle, quand les frères Vallon restituent

56. Outre les données architecturales, un devis des réparations à faire sur les toitures et voûtes de la nef, dressé le 3 novembre 1881 par Huot, architecte de la ville, signale que la voûte de la première travée, en bon état, a été refaite lors de la construction de la façade de l'église (Archives départementales des Bouches-du-Rhône, 70V1).

57. Éch. 082, 095, 081, 089, 093, 087, 107, 096, 098, 099, 102, 116, 097, 118, 115, 101, 094, 092, 088.

le chantier aux Prêcheurs. Au nord, alors que toutes les chapelles ont été démembrées pour être intégrées au bas-côté, celle des Matheron est restée en l'état et une simple cloison d'attente en pan de bois a été dressée, à l'est, pour la séparer du bas-côté. Il en a été de même au sud, où la travée occidentale de la chapelle du roi a gardé ses dispositions de la fin du Moyen Âge, tandis que sa seconde travée était intégrée au bas-côté. Enfin, alors que tout dans les interventions des frères Vallon trahit un souci de moderniser l'église de la fin du Moyen Âge et de redonner à son espace intérieur une unité architecturale classique, la façade occidentale n'a pas été touchée par les travaux et garde ses dispositions tardo-gothiques jusqu'au milieu du XIX^e siècle. Si l'on ne peut totalement exclure les raisons économiques dans l'inachèvement de l'église des Prêcheurs, il est cependant possible que la restauration de la première travée de l'église (nef centrale et bas-côtés compris) ait été simplement suspendue le temps de la mise à l'étude du projet de la façade occidentale et que ce simple arrêt de chantier, provisoire, se soit, le temps passant, pérennisé. La mise en place de la tribune d'orgue qui, au revers de la façade occidentale, fait écran aux élévations non rénovées a pu également contribuer à installer la situation.

3. CONCLUSION

Édifiée à la fin du XIII^e siècle, l'église des Prêcheurs d'Aix connaît jusqu'à la Révolution plusieurs grandes campagnes de travaux : une reconstruction au XIV^e siècle, plusieurs chantiers successifs qui, entre le milieu du XIV^e et la fin du XVI^e siècle, élargissent sa nef sous la poussée des dévotions privées, une restauration massive à l'Époque moderne (1691-1703) et de multiples interventions d'entretien et de réaménagements sur les décors et les élévations que l'on ne saisit aujourd'hui que très partiellement. C'est là, un des principaux apports de l'exploitation conjointe des sources architecturales, textuelles et dendrochronologiques que d'avoir battu en brèche l'uniformité apparente de cet édifice largement restauré à la fin du XVII^e siècle, pour restituer une partie de la complexité de son histoire architecturale et en proposer un phasage.

Ces chantiers, auxquels s'ajoutent les travaux de remise en état post-révolutionnaire et les campagnes de restaurations contemporaines, ont contribué aux migrations, au sein de l'édifice, des matériaux de construction, en particulier des bois de charpente dont plusieurs éléments ne sont plus en position originelle. Ainsi, si les prélèvements systématiques des pièces de bois corrélés aux élévations ont pu livrer des séries dendrochronologiques cohérentes avec les constructions auxquelles elles sont associées (les charpentes du chevet, par exemple), le plus souvent ce sont des bois chronologiquement sans lien avec le contexte architectural

dans lequel ils ont été mis en œuvre que l'analyse dendrochronologique fait apparaître. Dans le cas de la charpente de la première travée de la nef, l'absence de correspondance entre la datation des murs et celles des bois met en lumière une phase de travaux non documentée par l'archéologie et par les textes, mais pour nombre d'occurrences elle trahit la place importante du réemploi dans la construction et l'impact des restaurations sur les charpentes qui font l'objet de reprises ponctuelles régulières. Inscrit dans les prescriptions de certains chapitres provinciaux relatives à la construction des couvents mendiants⁵⁸, le réemploi des matériaux répond à une exigence économique pouvant même parfois être chargée d'un caractère symbolique très fort, comme pour les Clarisses d'Aix qui, lors du transfert intra-muros de leur couvent, récupèrent, en 1368, l'oculus et la fenêtre axiale de leur première église⁵⁹. Ce phénomène, loin d'être une spécificité des ordres mendiants, est une requête fréquente des contrats de construction. Dans l'église des Prêcheurs d'Aix, le réemploi des bois de charpente doit être rapproché des très nombreux éléments lapidaires, pierres de taille et claveaux de nervures moulurées qui, issus du démontage partiel des chapelles latérales, ont été incorporés aux maçonneries de la fin du XVII^e siècle, témoignant de campagnes de construction non visibles ou de bâtiments disparus, aujourd'hui difficiles à saisir.

Sur le plan de l'étude dendrochronologique, une nouvelle chronologie de référence pour le sapin a été construite à l'occasion des travaux de l'église des Prêcheurs ; composée de 52 individus, elle couvre la période 1303-1845, avec une interruption entre 1497 et 1522. Associés à la chronologie de Riez (1214-1533), ces nouveaux outils ont permis de dater les séries dendrochronologiques provenant d'autres bâtiments aixois, tels que l'hôtel de Caumont, le château du domaine du Grand-Saint-Jean, la bastide du Seuil et la bastide du Jas de Bouffan. Certains bois présentent les mêmes marques gravées que celle relevée sur une pièce de l'église des Prêcheurs, confirmant une source d'approvisionnement ou un acteur de la filière bois commun. Le passé des bâtiments de la capitale provençale et l'histoire locale de l'utilisation du bois se reconstituent ainsi lentement, au rythme des restaurations. Les prochains travaux prévus sur les parties basses de l'église des Prêcheurs et sur ses annexes permettront de compléter et d'affiner ces premières conclusions. Avec ses problématiques spécifiques, un travail de prélèvement systématique et d'analyses sur les charpentes de toit et de plancher est notamment envisagé sur les habitations qui, à partir du milieu du XVI^e siècle, ont colonisé le flanc sud de l'église et son chevet, sous le contrôle scrupuleux des Prêcheurs.

58. Volti 2004, 63.

59. Bernardi 1995 : 198.

Bibliographie

- Benoît 1933** : F. Benoît, Église de la Madeleine, in : *Congrès archéologique de France*, XCV^e session tenue à Aix-en-Provence et Nice (1932) Paris, A. Picard, 1933, 30-34.
- Bergeret, Donat 2004** : A. Bergeret, R. Donat, Le couvent des franciscains à Perpignan. Premiers résultats et perspectives, *Archéologie du Midi médiéval*, 22, 199-207.
- Bernardi 1982** : P. Bernardi, *Architecture des couvents Mendians à Aix, du XIII^e au XV^e siècle*, Mémoire de maîtrise, Université Aix-Marseille I, 1982, 2 vol.
- Bernardi 1995** : P. Bernardi, *Métiers du bâtiment et techniques de construction à Aix-en-Provence à la fin de l'époque gothique (1400-1550)*, Publications de l'Université de Provence, 501 p.
- Bouche 1664** : H. Bouche, *La Chorographie ou description de Provence et l'histoire chronologique du mesme Pays*, Tome I, Aix-en-Provence, Charles David impr., 1664, 1049 p.
- Bouche 1664** : H. Bouche, *L'histoire chronologique de Provence depuis l'établissement de son comté, jusques aujourd'hui, sous ses premiers comtes originaires de Provence et sous ses autres comtes catalans, angevins, et rois de France*, Tome II, Aix-en-Provence, Charles David impr., 1664, 1097 p.
- Bouticourt 2016** : É. Bouticourt, *Charpentes méridionales. Construire autrement : le Midi rhodanien à la fin du Moyen Âge*. Arles, Éditions Honoré Clair, 2016, 343 p.
- Bouticourt, Guibal 2008** : É. Bouticourt, Fr. Guibal coll., Les origines médiévales d'une technique de charpente : la poutre armée, *Archéologie du Midi médiéval*, 2008, vol. 26, n°1, 145-165.
- Boyer 1972** : J. Boyer, *L'architecture religieuse de l'époque classique à Aix-en-Provence. Documents inédits*. Aix-en-Provence, Éditions Ophrys, 1972, 169-181.
- Castaldo 2015** : I. Castaldo, *Église et couvent des Prêcheurs d'Aix-en-Provence (13). Étude historique et documentaire*. Volume I, Analyse documentaire, historique et architecturale. Rapport d'étude, 2015, 299 p.
- Claude 2010** : L'église des Observantins d'Aix-en-Provence : le chantier d'une construction entre prédication mendicante et dévotions privées (XV^e-XVII^e siècles), in : R. Carvais., A. Guillerme, V. Nègre, J. Sakarovitch (dir.), *Édifice et artifice. Histoires constructives. Recueil de textes issus du Premier congrès franco-phoné d'histoire de la construction, Paris, 19 au 21 juin 2008*, Paris, A. et J. Picard, 2010, 907-915.
- Claude, Auburtin collab. 2018** : S. Claude, Cl. Auburtin collab., La mise en défense du faubourg Bellegarde d'Aix-en-Provence : une extension de l'enceinte urbaine de la fin du XIV^e siècle, *Provence Historique*, 2018, t. LXVIII, 263, 101-118.
- Claude, Rossetti o Roscetti 2014** : S. Claude, E. Rossetti o Roscetti, Sous la Madeleine, l'église des Prêcheurs. Église de la Madeleine, in : N. Nin dir., *Aix en archéologie. 25 ans de découvertes*, Éditions Snoeck, 403-406.
- Constantin 1890-1911** : M. abbé Constantin, *Les paroisses du diocèse d'Aix, leurs souvenirs et leurs monuments*, Aix-en-Provence, 1890-1911, 3 vol.
- Coulet 1972** : N. Coulet, Jalons pour une histoire religieuse d'Aix-en-Provence au bas-Moyen Âge (1350-1450), *Provence Historique*, t. XXII, 89, 1972, 203-360.
- Coulet 2009** : N. Coulet, Les Mendians à Aix-en-Provence, XIII^e-XV^e siècle, in : *Moines et religieux dans la ville (XII^e-XV^e siècle)*, Toulouse, Privat, cahiers de Fanjeaux, 44, 2009, 391-416.
- Faucherre 2014** : N. Faucherre, Le plan d'Aix conservé à Turin, un projet de défense avorté de 1591, in : N. Nin dir., *Aix en archéologie. 25 ans de découvertes*, Éditions Snoeck, 352-354.
- Gibert s.d.** : H. Gibert, *Histoire et description des monuments religieux de la ville d'Aix*, Paris, Plon, s.d., 70 p.
- Gloton 1979** : J.-J. Gloton, *Renaissance et Baroque à Aix-en-Provence : recherches sur la culture architecturale dans le midi de la France de la fin du XV^e au début du XVIII^e siècle*, Rome, École Française de Rome, Bibliothèque de l'École Française de Rome ; 237, 1979. 2 vol.
- Gloton et al. 2003** : M.-Chr. Gloton, J. Plantié, M. Pomey, Un trompe-l'œil théologique dans le chœur des Prêcheurs, à Aix-en-Provence. *Dix-septième siècle*, 2003/2, n°219, 309-330.
- Guyonnet 2009** : F. Guyonnet, Les ordres mendians dans le Sud-Est de la France (XIII^e-début XVI^e siècle). Essai de synthèse sur la topographie et l'architecture des couvents (Comtat Venaissin, Provence, Languedoc oriental), in : *Moines et religieux dans la ville (XII^e-XV^e siècle)*, Toulouse, Privat, cahiers de Fanjeaux, 44, 2009, 275-312.
- Haitze 1679** : P.-J. de Haitze, *Les curiositez les plus remarquables de la ville d'Aix*, Aix-en-Provence, Charles David impr., 1679, 196 p.
- Haitze 1880** : P.-J. de Haitze, *Histoire de la ville d'Aix, capitale de la Provence*, Aix-en-Provence, A. Makaïre, 1880, 6 vol.
- Montagnes 1979** : B. Montagnes, *Architecture dominicaine en Provence*, Paris, Éditions du CNRS, 1979, 133 p.
- Pitton 1668** : J.-S. Pitton, *Annales de la Sainte Église d'Aix, à Monseigneur l'Éminentissime Cardinal Grimaldi son archevesque, avec dissertations historiques contre Mre Launoy docteur de Paris*, Lyon, Mathieu Liberal impr., 1668. 310 p.
- Pourrière 1952** : J. Pourrière, *Aix-en-Provence, rues et monuments. Visité guidée*, Aix-en-Provence, Éditions provençales, 1952, 247 p.
- Pouthomis-Dalle 2009** : N. Pouthomis-Dalle, Les ordres mendians dans le sud-ouest de la France : état de la recherche sur l'implantation, la topographie et les choix architecturaux des couvents, in : *Moines et religieux dans la ville (XII^e-XV^e siècle)*, Toulouse, Éditions Privat, cahiers de Fanjeaux, 44, 2009, 223-273.
- Sinigaglia 2014** : A. Sinigaglia, Les couleurs de l'église des Prêcheurs, in : N. Nin dir., *Aix en archéologie. 25 ans de découvertes*, Éditions Snoeck, 407-409.
- Vicaire 1973** : M.-H. Vicaire, Le développement de la province dominicaine de Provence (1215-1295), *Annales. Économies, Sociétés Civilisations*, 28e année, 4, 1973, 1017-1041.
- Volti 2003** : P. Volti, *Les couvents des ordres mendians et leur environnement à la fin du Moyen Âge. Le nord de la France et les anciens Pays-Bas méridionaux*, Paris, CNRS éditions, 2003, 311 p.
- Volti 2004** : P. Volti, L'explicite et l'implicite dans les sources normatives de l'architecture mendicante, *Bibliothèque de l'École des chartes*, t. 162, 2004, 51-73.

L'hôtel Ferrier, un hôtel particulier des XV^e-XVIII^e siècles (Riez, 04) : une opération de déconstruction. Regards croisés sur les données archéologiques et dendrochronologiques

Lisa Shindo et Mathilde Tissot***

Résumé

La déconstruction d'un ensemble immobilier, au centre du bourg médiéval de Riez, a été l'occasion, en 2013, de réaliser une étude de bâti préventive d'urgence sur deux hôtels particuliers, autrefois remarquables pour leurs façades en encorbellement et leurs gypseries de l'époque médiévale et moderne. Cette opération offrait également la possibilité, rare, de pouvoir prélever une importante quantité de bois architecturaux (612 individus). Malgré leur difficile localisation au sein de l'ensemble, il a été possible de préciser la datation de certains éléments de ces édifices, érigés entre le XIII^e siècle et le XVI^e siècle et d'établir une nouvelle chronologie du sapin, sur plus de deux siècles et demi (1272-1533). Cela permettra, à terme, de mieux comprendre l'histoire de la gestion forestière dans cette région.

Mots-clés : dendrochronologie, archéologie du bâti, sapin, hôtel particulier, façade en encorbellement.

Abstract

The deconstruction of a housing complex, in the center of the medieval city of Riez, was the occasion, in 2013, of an emergency preventive building study on two mansions. These mansions were once remarkable for their corbelled facades and their gypseries of the medieval and modern times. This operation also offered the rare possibility of collecting a considerable amount of architectural wood (612 pieces). Despite their difficult location within the ensemble, it is possible to specify the dating of certain elements of these buildings, erected between the 13th c. and the 16th century. A new Silver fir chronology has been established over more than two and a half centuries (1272-1533). This will ultimately lead to a better understanding of the history of forest management in this region.

Keywords: dendrochronology, archaeology of buildings, Silver fir, private mansion, corbelled facade.

1. CONTEXTE DE L'OPÉRATION

Deux hôtels particuliers d'origine médiévale, localisés à Riez dans les Alpes-de-Haute-Provence, ont fait l'objet d'une opération archéologique en 2013, à la demande du Service régional de l'archéologie. Le premier, dit hôtel Ferrier, situé au n° 1 Grand' Rue, était classé au titre des monuments historiques depuis 1986. Le second, mitoyen du premier, situé au n° 3 Grand' Rue, était inscrit sur la liste supplémentaire des monuments historiques depuis 1999. Cette étude de bâti, menée par le service départemental d'archéologie des Alpes-de-Haute-Provence, s'est faite dans

un contexte particulier d'urgence et de déconstruction des deux bâtiments. Laissés vacants depuis plusieurs années, l'infiltration des eaux de pluie dans l'immeuble n° 3 Grand' Rue a engendré deux effondrements successifs et la disparition d'une grande partie de l'ensemble.

L'intérêt de cette opération était de pouvoir vérifier, au fur et à mesure de la démolition et de la dépose de certains éléments architecturaux, des hypothèses émises, au préalable, sur le bâtiment tant au niveau de sa datation que des techniques de construction employées. Cependant, l'étude a été limitée non seulement par la disparition d'une grande

* Aix Marseille Univ, CNRS, CCJ, Aix-en-Provence, France.

** Service Départemental d'Archéologie des Alpes-de-Haute-Provence, France.

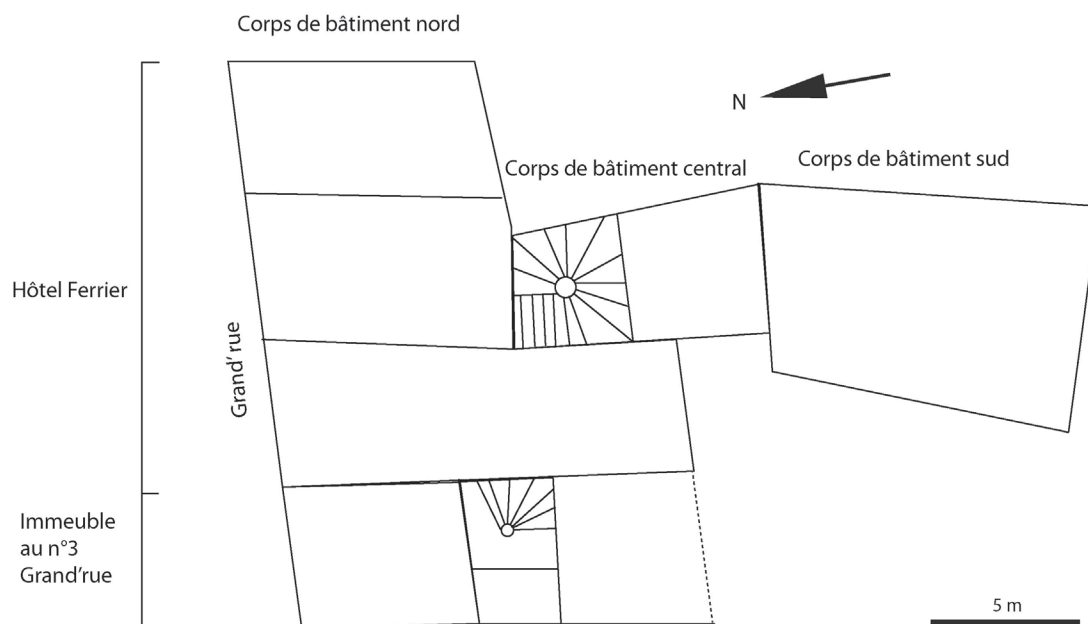


Fig. 1 – Plan de l'hôtel Ferrier et de l'immeuble au n°3 Grand' rue
(L. Shindo, d'après Tissot 2013, V2, annexe V).

partie de l'ensemble mais également par l'impossibilité d'accéder à certaines pièces menaçant de s'écrouler. Du n°3 Grand' Rue, ne restait, en mai 2013, préalablement à notre intervention, que le rez-de-chaussée de la façade. Concernant l'hôtel Ferrier, formé par l'adjonction de trois bâtiments, l'aile ouest du bâtiment nord était entièrement détruite. Les niveaux situés en sous-sols ainsi que le bâtiment sud et une partie du bâtiment central, sont restés inaccessibles, par mesure de sécurité (fig. 1). Il n'a pas non plus été possible d'échafauder les façades afin d'effectuer des relevés, à l'échelle, au niveau des étages supérieurs.

Par la suite, une étude dendrochronologique d'envergure a été rajoutée au projet. Elle a été confiée au Centre Camille Jullian, car elle s'inscrit dans ses problématiques de recherche et elle permet, outre l'apport de datations absolues, de palier aux difficultés rencontrées à établir une chronologie relative, à partir des seules observations du bâti.

Les prélèvements dendrochronologiques se sont faits en deux temps. Avant que les travaux de déconstruction ne commencent, un repérage des pièces de bois encore en place dans l'hôtel Ferrier a été réalisé sur les quatre niveaux accessibles des parties nord et centrales (rez-de-chaussée, premier et deuxième étages, combles). Une quarantaine de poutres a été numérotée à la bombe de chantier, décrite et photographiée. Lorsque ces dernières étaient accessibles, des prélèvements à la tarière de Pressler ont été réalisés (les quatre pannes de la charpente ont ainsi été échantillonnées).

Cette première phase de prélèvements a rapidement été interrompue par les impératifs du chantier de déconstruction de l'hôtel et l'impossibilité de co-activité pour des raisons de sécurité. Il n'a plus été possible d'y pénétrer. La partie sud de l'îlot est la première à avoir été déconstruite, suivie par l'immeuble au n°3 puis par l'hôtel Ferrier, depuis les combles jusqu'au rez-de-chaussée (les caves côté Grand rue, comblées de débris, sont toujours en place). Cet ordre des travaux a de l'importance puisque les pièces de bois dégagées dans les déblais étaient mises de côté au fur et à mesure sur une aire de stockage à l'extérieur du centre-ville afin d'être prélevées (tronçonnage). Ainsi, s'il était impossible de retrouver la localisation exacte dans les différentes pièces des poutres non numérotées, leur possible provenance au sein de l'îlot a été appréhendée (par exemple, «partie nord de l'hôtel Ferrier» ou encore, «immeuble au n°3»).

La localisation des pièces de bois après «dépose» a été problématique et nombre d'informations ont été irrémédiablement perdues. Moins de la moitié des pièces répertoriées a été retrouvée et prélevée une fois déposée. Cela s'explique par l'impossibilité pour les dendrochronologues de suivre le chantier au jour le jour (celui-ci s'est déroulé sur plusieurs mois, de mai 2013 à mars 2014). Moins de 10% des pièces de bois ont pu être répertoriées en amont car d'une part, la majorité d'entre elles était inaccessible (faux-plafonds, enduits, cloisons...) et d'autre part, la bombe de chantier n'est pas adaptée au marquage de petites pièces de bois, comme les solives des plafonds à poutres et solives apparentes.



Fig. 2 – Pendant la déconstruction, certains éléments en bois ont été entreposés sur une aire de stockage, un terrain municipal à l'extérieur du centre-ville (cliché: L. Shindo).

Les pièces de bois étaient détachées et descendues à coups de godet de pelleteuse, entassées sur l'aire de stockage à l'extérieur du centre-ville, puis évacuées. Il en a résulté un énorme tas de pièces enchevêtrées (fig. 2) que les services techniques de la commune de Riez nous ont aidés à manipuler afin d'accéder aux pièces et faciliter l'échantillonnage dendrochronologique. Les pièces de bois déposées devant être prélevées très rapidement, il n'a pas été possible d'enregistrer les informations habituelles (dimensions, état sanitaire, traces d'outils), ni même de les photographier individuellement.

Cependant, plusieurs pièces de bois ont tout de même été soigneusement déposées afin de faciliter leur étude (cette opération était prévue et inscrite dans le calendrier des travaux de déconstruction). Ce sont des poutres du plafond à entrevous soutenant la façade nord en encorbellements de l'immeuble au n° 3 Grand' rue. Une partie des pièces de bois soutenant l'encorbellement de la façade nord de l'hôtel Ferrier a aussi été déposée. Leur échantillonnage dendrochronologique a donc été réalisé dans de meilleures conditions que pour les autres.

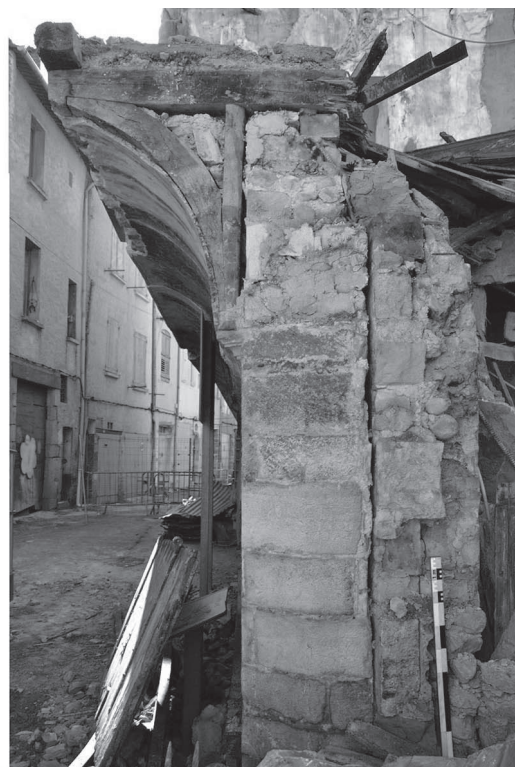
Les prélèvements ont été répartis sur 12 journées, entre juin 2013 et mars 2014. Ce sont 612 pièces de bois qui ont ainsi été échantillonnées, majoritairement par tronçonnage (seules les quatre pannes de la toiture ont été carottées).

2. CONTEXTE HISTORIQUE

L'hôtel Ferrier et l'hôtel particulier qui lui était mitoyen ont été édifiés dans la rue principale du bourg médiévale de Riez : entre la fin du XV^e siècle et le début du siècle suivant pour le premier, probablement à l'emplacement d'un ou plusieurs bâtiments plus anciens ; entre le XIII^e siècle et le XV^e siècle pour le second. Ils auraient été érigés par de riches familles aristocrates. Les Ferrier sont régulièrement mentionnés entre le dernier tiers du XV^e siècle et le premier tiers du XVII^e siècle. Ils évoluent dans l'entourage de la famille comtale de Lascaris de Tende dont trois des membres furent évêques de Riez en cette même période. Sur le plafond à entrevous historiés, du n° 3, Grand' Rue, ce sont les armes de plusieurs familles aristocrates locales, régnant entre le XI^e et le XVI^e siècle, qui sont représentées. Le moule en bois qui a servi à la réalisation du décor héraldique de ce plafond aurait également été utilisé, pour réaliser celui d'un plafond couvrant un des bâtiments du site castral du Castelet, sur la commune d'Allemagne en Provence un château, édifié tout près de Riez, vers la fin du XII^e siècle et qui fut détruit en 1386¹.

1. Communication écrite de Daniel Mouton (chercheur associé, Aix Marseille Univ, CNRS, LA3M UMR 7298, 13094, Aix-en-Provence, France). Pour Daniel Mouton, la datation de ce décor serait à placer entre 1264 et 1386.

Fig. 3 – À gauche, façades à encorbellement des immeubles n° 1 et 3 Grand'Rue à Riez, en février 2013. À droite, bois formant la structure de l'encorbellement du n° 1 Grand'Rue (clichés : SDA04).



3. CARACTÉRISTIQUES ARCHITECTURALES

Ces immeubles avaient la particularité d'être tous deux composés de plusieurs corps de bâtiments reliés par une tour d'escalier en vis, édifiés chacun sur deux niveaux de sous-sol, un rez-de-chaussée, deux étages et un niveau de combles (fig. 1). L'hôtel Ferrier, dans sa dernière configuration, était formé de trois bâtiments : un bâtiment «nord», construit sur un plan en L, dont la façade principale ouvrait au nord sur la Grand' Rue, un bâtiment «central», de plan rectangulaire, abritant une cage d'escalier en vis, desservant l'ensemble des niveaux du bâtiment nord et le bâtiment «sud», un bâtiment de plan rectangulaire rattaché à l'hôtel Ferrier au XVII^e siècle seulement, voire au XVIII^e siècle.

Ils présentaient tous deux une façade en encorbellement (les seules conservées jusqu'alors à Riez) (fig. 3). Celle de l'hôtel Ferrier avait pour particularité d'être voûtée en quart-de-rond, celle du n° 3, Grand' Rue d'être soutenue au rez-de-chaussée par un plafond à entrevous à décor héraldique dont la datation reste incertaine. Ils étaient tous deux richement ornés. Les dessus-de-porte et les manteaux de cheminées étaient ornés de bas-reliefs en plâtre dits gypseries. L'hôtel Ferrier était éclairé à l'origine par des fenêtres à croisées associées à des cordons d'appuis et des larmiers traversant la façade, datées stylistiquement du tournant du XV^e siècle et du début du XVI^e siècle (fig. 4). Cette datation a été confirmée par l'étude dendrochronologique des plafonds à la française (voir plus loin) qui recouvraient l'ensemble des niveaux du bâtiment nord, dès leur



Fig. 4 – Fenêtre à croisée au deuxième étage, façade nord de l'hôtel Ferrier (cliché : L. Shindo).

premier état. En revanche, elle vient contredire l'inscription «1.4.0.1», présente au sommet du noyau de l'escalier en vis du bâtiment central, qui dessert les différents niveaux de l'hôtel Ferrier. S'il s'agit là d'une date, comme cela a déjà été supposé², celle-ci ne peut marquer l'édification de l'hôtel Ferrier proprement dit. Elle pourrait néanmoins témoigner d'un bâtiment plus ancien desservi également par cette cage d'escalier. L'observation des mortiers mis en œuvre, au niveau des parements internes de ces deux bâtiments, tend à confirmer cette hypothèse.

2. Sauze, Gueyraud 1987, 10.

4. ÉTUDE DENDROARCHÉOLOGIQUE DES PIÈCES DE BOIS

En 1997, une première étude dendrochronologique a été réalisée par l'entreprise Archéolab. Elle portait sur 11 bois de l'hôtel Ferrier : des éléments des plafonds à poutres et solives apparentes et des pannes de la charpente des combles³.

Au cours de notre étude, les mesures des échantillons ont été réalisées sous loupe binoculaire Leica avec la table de mesure Lintab et le système TSAP de la société Rinntech (Heidelberg, Allemagne). Les analyses dendrochronologiques ont été faites avec le logiciel «Dendron IV», de G.-N. Lambert⁴.

4.1. Essences et fonction de l'ensemble des prélèvements

Plus de la moitié des échantillons prélevés (352) sont en résineux : une majorité est du sapin (*Abies alba* Mill.), secondairement du pin type sylvestre (*Pinus t. sylvestris*) et du mélèze (*Larix decidua* Mill.). Les feuillus qui représentent 40 % des pièces de bois échantillonnées, sont principalement du chêne (186 échantillons) et très secondairement,

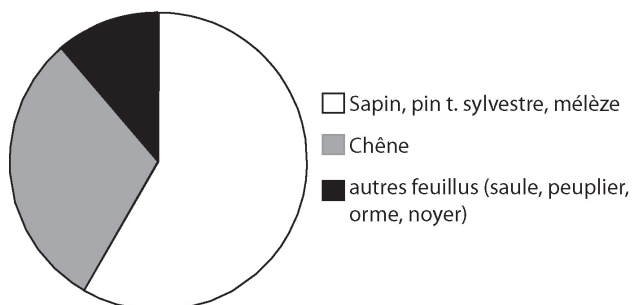


Fig. 5 – Essence des 612 pièces de bois prélevées.

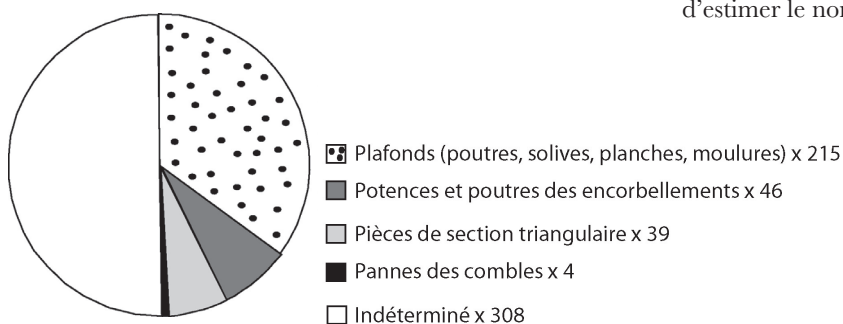


Fig. 6 – Fonction des 612 pièces de bois échantillonnées.

divers feuillus comme le noyer (*Juglans* sp.), l'orme (*Ulmus* sp.) et les bois dits «tendres» (saule et peuplier *Salix* sp. / *Populus* sp.) (fig. 5).

La fréquence élevée des résineux parmi les bois des plafonds s'explique par la recherche délibérée de ce type d'arbre dans notre stratégie d'échantillonnage pour la datation de ces plafonds, la question de leur homogénéité, le développement du référentiel dendrochronologique du sapin et l'étude des types d'arbres mis en œuvre et des débitages.

La moitié des pièces de bois prélevées est donc constituée d'éléments de plafonds (215 prélèvements sur des poutres, des solives, des closoirs, des ais d'entrevous et des moulures); des pièces de bois soutenant les étages en encorbellements de l'hôtel Ferrier et de l'immeuble au n° 3 (46 échantillons); des pièces de section triangulaire, peut-être des chevrons (39 échantillons) et les quatre pannes de la charpente de l'hôtel Ferrier⁵ (fig. 6).

4.2. Étude des plafonds dits «à la française», principalement de l'hôtel Ferrier

Quatre-vingt-dix-huit pièces de sapins issues de plafonds à poutres et solives apparentes ont été étudiées et 92 ont été datées avec sécurité. Les séries individuelles ont des longueurs variant de 23 à 291 ans, la longueur moyenne étant de 106 ans ($\sigma = 51$). La chronologie moyenne couvre la période 1214-1533, soit 320 ans.

Seulement trois échantillons ont le dernier cerne de l'arbre très proche, voire conservé. Rappelons que, sur le bois sec, l'aubier du sapin ne se distingue visuellement pas du duramen. Contrairement au mélèze, il n'est donc pas possible de calculer statistiquement l'aubier perdu. Seule la morphologie de la pièce de bois, son équarrissage, permet d'estimer le nombre de cernes manquants.

3. Dormoy, Orceel, Van Der Plaetsen 1997.

4. Dendron IV, developed with RunRev LiveCode, Edimburgh, Scotland, by Georges Lambert CNRS, University of Franche-Comté, Besançon, France. University of Liege, Belgium. Version : 2014 02 11.

5. Trois des quatre pannes ont disparu (vol) immédiatement après avoir été déposées dans l'aire de stockage. Nous avons une section de la quatrième ainsi que des carottes des quatre pannes, prélevées lorsque celles-ci étaient encore en place dans le bâtiment.



Fig. 7 – Localisation de la planche 0416601_46 (partie supérieure du mur nord, deuxième étage de l'hôtel Ferrier). Sur la photographie de droite, la flèche indique les cernes les plus récents (clichés: L. Shindo).



Fig. 8 – Moulure 0416601_505. Une section de 1 m de longueur a été prélevée. La face courbe de cette pièce de bois n'a pas été équarrie et le chemin de mesure atteint bien le dernier cerne de l'arbre (clichés: L. Shindo).



Fig. 9 – L'échantillon 0416601_362 conserve de l'écorce (dans la partie supérieure gauche de la photographie) et provient d'un sapin abattu à l'automne-hiver 1533-1534 (cliché: L. Shindo).

Le premier échantillon, 0416601_46, est une planche de plafond, courant sur toute la longueur du mur nord, dans sa partie supérieure, au deuxième étage de l'hôtel Ferrier. Sa localisation dans le bâtiment est clairement identifiée par le marquage à la bombe de chantier (fig. 7). Cette pièce de bois est datée 1345-1516. Le dernier cerne de l'arbre est très proche : au vu de l'équarrissage, il n'en manque que quelques-uns, probablement moins de cinq.

Cette planche était disposée de telle manière que son angle arrondi, là où sont les derniers cernes formés par l'arbre, soit plaqué contre le mur et donc non visible. Il n'était donc pas nécessaire de façonner quatre angles droits à cette planche. Cette pièce de bois provient d'un arbre abattu après 1516 et probablement avant 1521.

La deuxième pièce, 0416601_505 est datée 1410-1521. C'est une longue moulure prélevée en mars 2014, à la toute fin du chantier de déconstruction. Elle appartient à un des plafonds à poutres et solives apparentes de l'hôtel, mais sa provenance reste inconnue. Comme pour la pièce précédente, la face courbe de la pièce, celle avec les cernes les plus récents de l'arbre, était dissimulée au regard (les moulures sont sculptées du côté de la moelle). Cette partie courbe de la moulure correspond à la périphérie et montre que l'arbre n'a pas été équarri, mais simplement écorcé et le dernier cerne est présent (fig. 8).

La date du dernier cerne (1521) est cohérente avec les dates d'abattage des pannes de la charpente ainsi que celle de la « *poutre de la pièce est du second étage (ech. 5)* » étudiées par le laboratoire Archéolabs. Il n'est donc pas incohérent de penser que cette pièce provient de l'hôtel Ferrier.

Le troisième échantillon, 0416601_362, est daté 1435-1533. Il conserve de l'écorce, le dernier cerne complet de l'arbre est donc présent (fig. 9) et sa date d'abattage est alors connue à l'année près : automne-hiver 1533-1534. C'est une solive provenant d'un plafond à poutres et solives apparentes, sans que sa localisation exacte puisse être précisée (elle a été prélevée vers la fin du chantier, en janvier 2014, lors de la destruction des premier et deuxième étages du corps de bâtiment nord de l'hôtel Ferrier). Cette date de 1533-1534 est postérieure aux dates précédentes. Étant donné que la construction des plafonds du corps de bâtiment nord de l'hôtel Ferrier est homogène⁶, soit cette pièce de bois a été utilisée pour une restauration, soit elle est issue d'un des plafonds des corps de bâtiment central ou sud de l'hôtel Ferrier, soit elle provient de l'immeuble au n° 3. Elle est le témoin d'une phase de travaux non documentée jusqu'à présent, une dizaine d'années après celle de 1521-1522.

Le diagramme de synthèse montre la distribution de ces 92 sapins datés (fig. 10). Aucune phase d'abattage ne se distingue précisément sur le graphique. Cela peut être dû à la non-conservation des derniers cernes des bois. Néanmoins, il est clair que la majorité de ces plafonds a été construite au milieu du XVI^e siècle, une période faste pour la famille Ferrier.

4.2.1. Étude des types de croissance des solives de plafond

Dans cette partie, nous nous intéressons au débitage des grumes d'où proviennent les solives de plafonds à poutres et solives apparentes. Dans un premier temps, nous proposons

6. Sauze, Gueyraud 1987, 18.

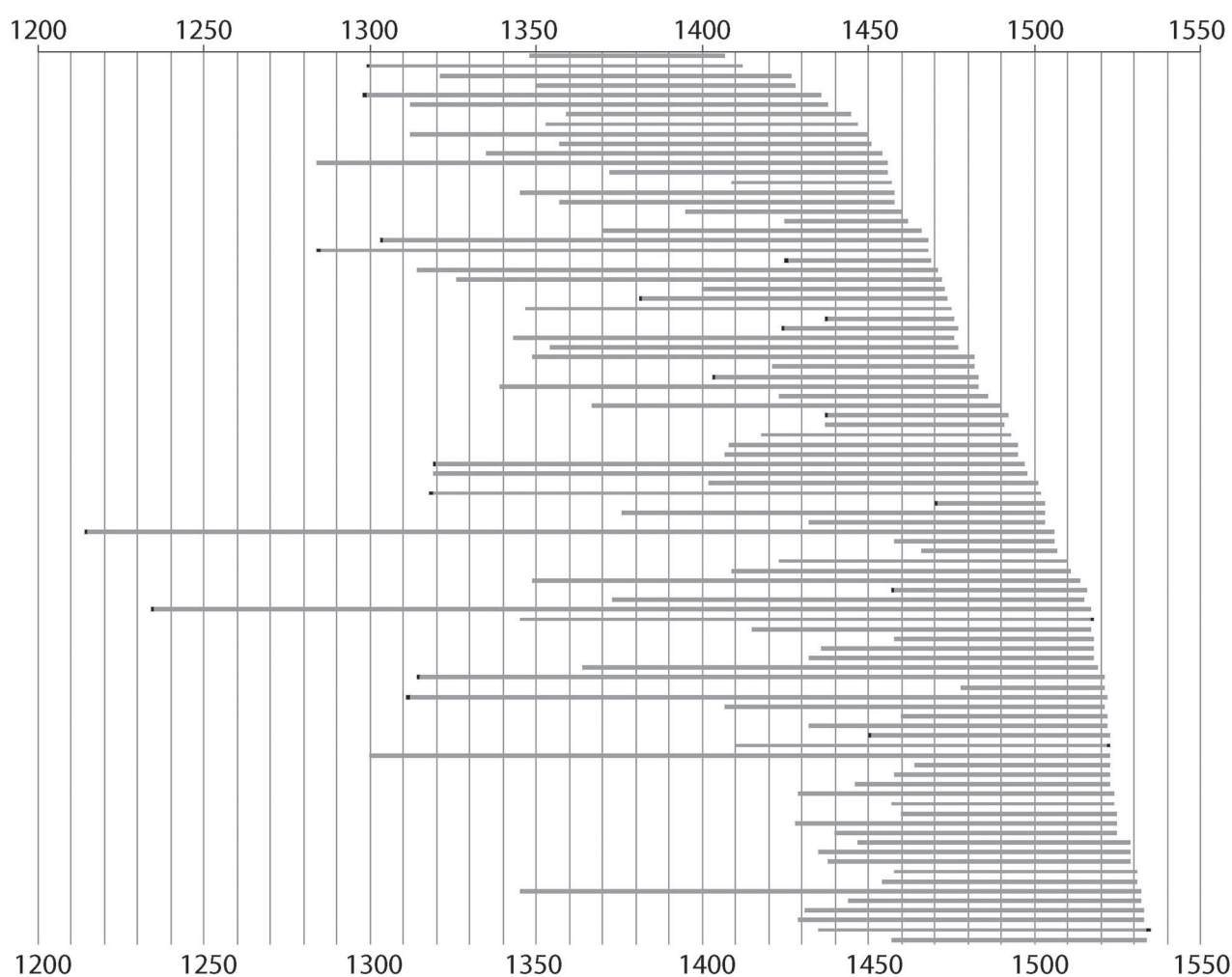


Fig. 10 – Diagramme de synthèse des séries dendrochronologiques datées des 92 pièces en sapin provenant de plafonds. Les moelles conservées sont indiquées en noir, ainsi que les derniers cerne.

de déterminer le nombre de grumes nécessaires à la réalisation des solives. Dans un deuxième temps, nous mettons en relation la date dendrochronologique des solives et leur position au sein des grumes. Cela nous permet de présenter des hypothèses sur un phasage dans la construction des plafonds.

4.2.2. Débitage des solives

Dans un premier temps, nous voulions connaître le débitage et donc la provenance des solives au sein d'une grume (solives débitées près de la moelle ou vers la périphérie de la grume par exemple), mais aussi, le nombre de solives pouvant être débitées dans une grume de sapin.

Pour cela, nous avons considéré une grume modèle : la panne faîtière de l'hôtel Ferrier (0416601_54). Elle mesure 10 m de long et 54 cm de diamètre ; elle a probablement été délignée dans une grume de 54 cm de diamètre, plus écorce. C'est peut-être une pièce de bois de dimensions exceptionnelles, mais elle était disponible à l'époque et

aurait donc pu servir à confectionner des solives de plafond. Les solives des plafonds à poutres et solives apparentes mesurent 2 m de long et leur section est de 10 x 8 cm.

Deux schémas de débitage ont été déterminés suivant la position de la moelle sur les échantillons : la moelle est soit partagée par quatre solives, soit par deux solives. Et, dans les deux cas, jusqu'à 16 sections de solives sont contenues la section d'une grume (fig. 11).

Cinq solives de 2 m de long peuvent être débitées dans la longueur d'une grume de 10 m, cela signifie, qu'en théorie, 80 solives (5 x 16) peuvent être débitées dans une grume. Ici, nous ne tenons ni compte du trait de scie et de la perte de matière que cela engendre, ni de la conicité de la grume.

Les documents en notre possession nous permettent seulement d'appliquer cette estimation à la pièce nord-ouest du deuxième étage, celle avec la fenêtre à croisées (voir fig. 7), dont nous connaissons précisément le nombre de

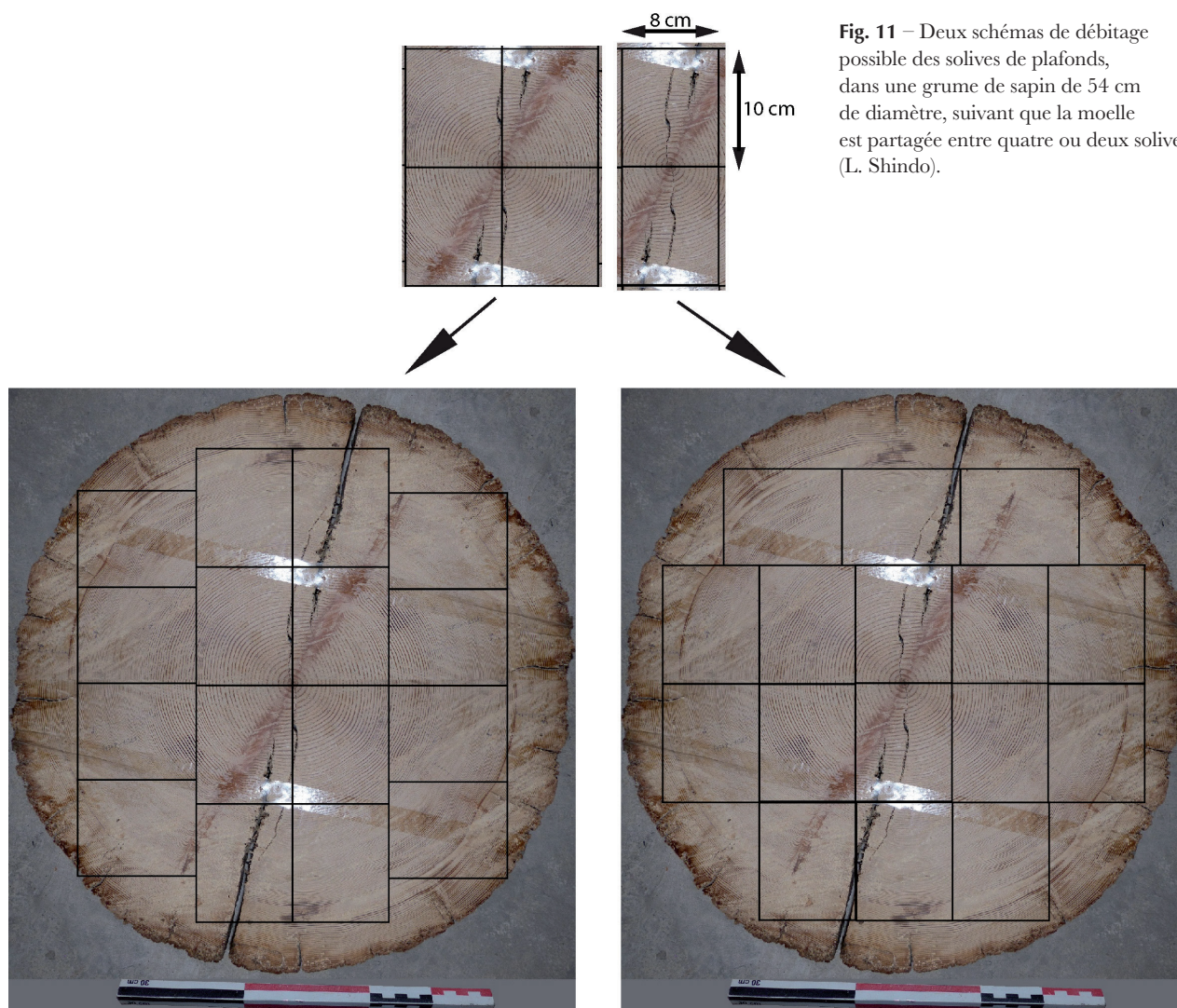


Fig. 11 – Deux schémas de débitage possible des solives de plafonds, dans une grume de sapin de 54 cm de diamètre, suivant que la moelle est partagée entre quatre ou deux solives (L. Shindo).

solives de plafond, 24. D'après notre modèle, 32 solives peuvent être débitées dans un tronçon de grume de 4 m de long et de 54 cm de diamètre. Donc, moins de la moitié d'une grume de 10 m de long a pu être employée pour débiter ces 24 solives.

Lorsque le nombre total de solives utilisées dans les plafonds à poutres et solives apparentes de l'hôtel Ferrier sera précisément connu, il sera possible d'estimer le nombre de grumes mises en œuvre (nous n'avons pas suffisamment de photographies à notre disposition pour compter le nombre de solives).

Et, plus tard, lorsque nous aurons étudié toutes les poutres, les moulures et les planches de ces plafonds, un travail similaire pourra être effectué sur ces éléments. Le nombre total de grumes nécessaires à la réalisation des plafonds à poutres et solives apparentes sera donc estimé.

4.2.3. Lien entre le débitage des solives et leurs dates dendrochronologiques

Dans un deuxième temps, nous nous sommes demandé si toutes les solives de plafond étaient contemporaines et s'il était possible de mettre en évidence des plafonds antérieurs ou postérieurs à ceux du corps de bâtiment nord de l'hôtel Ferrier, homogènes selon E. Sauze⁷ et datés des années 1521-1522 (datation Archéolabs).

Pour cela, nous avons calculé la matrice carrée de corrélation des 52 séries de sapin provenant des solives de plafond (fig. 12).

Cette matrice met en exergue deux groupes nettement distincts. Le plus important est constitué des solives dont le dernier cerne date de la première moitié du XVI^e siècle (39 individus), le plus petit, en haut à gauche de la matrice, de solives dont le dernier cerne date de la deuxième moitié

7. Sauze, Gueyraud 1987, 18.

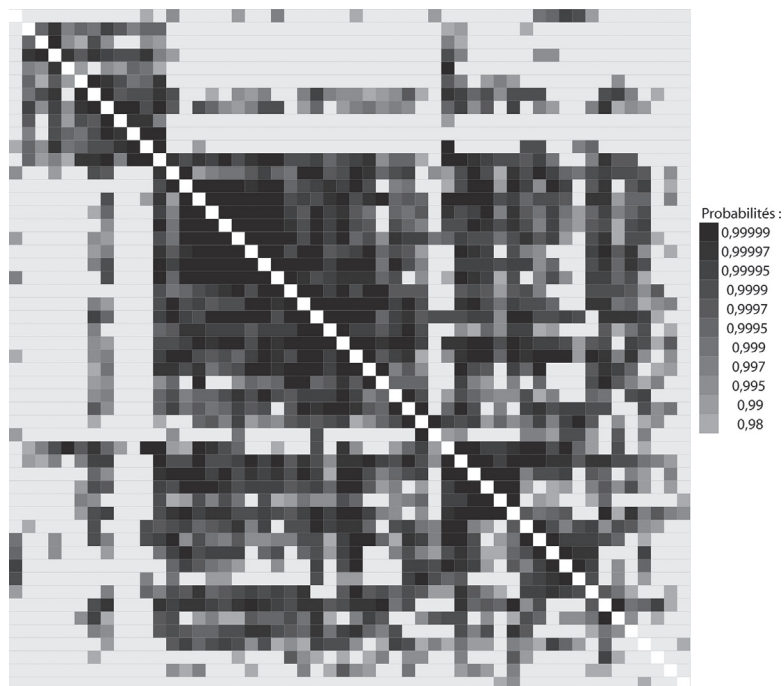


Fig. 12 – Matrice carrée des probabilités associées aux coefficients t de Student, des 52 séries de sapin datées, provenant des solives des plafonds à poutres et solives apparentes (transformation par la méthode du Corridor). Ce tableau à double entrée présente la probabilité des synchronisations entre les 52 bois. Plus la case est foncée, plus la probabilité de la synchronisation entre les deux bois concernés est forte (matrice automatiquement dessinée par le logiciel Dendron IV, Lambert 2014, référence précédemment citée) (L. Shindo).

du XV^e siècle (dix individus). Trois échantillons à croissance longue, issus d'arbres particulièrement âgés au moment de leur abattage, font le lien entre ces deux groupes.

L'étude archéologique associée à l'étude dendrochronologique a montré que tous les plafonds à poutres et solives apparentes du corps de bâtiment nord de l'hôtel Ferrier sont contemporains et qu'ils ont été réalisés au XVI^e siècle, autour de 1522. En conséquence, on s'attend à ce que le groupe de solives datées du XV^e siècle (en haut à gauche de la matrice) ne soit constitué que d'éléments provenant de la partie centrale de troncs d'arbres abattus en réalité au XVI^e siècle. Cela expliquerait pourquoi leur dernier cerne conservé ne date pas du XVI^e siècle. Or, si la moitié de ce groupe du XV^e siècle est en effet bien composée de solives provenant du centre de la grume, l'autre moitié correspond à des solives débitées dans d'autres parties de la grume. Cela permet de penser qu'il manque peu de cernes avant la date d'abattage de l'arbre pour les solives de ce sous-groupe. Cela signifierait que certaines solives ont été réalisées à partir d'arbres abattus à la fin du XV^e siècle. En conséquence, soit ces pièces de bois ont été stockées en attendant leur mise en place vers 1522, soit il s'agit de plafonds effectivement exécutés à la fin du XV^e siècle, c'est-à-dire avant ceux du corps de bâtiment nord de l'hôtel Ferrier. L'hypothèse qu'il s'agisse d'éléments de plafonds de l'immeuble au n° 3, antérieur à l'hôtel Ferrier, est envisageable (observations faites sur le bâti, au niveau de la jonction des deux bâtiments, au rez-de-chaussée, seul point examiné lors de l'étude archéologique, Tissot 2013, V2, annexe XXV).

4.3. Étude des pannes de la charpente des combles de l'hôtel Ferrier

La charpente des combles est composée de quatre pannes (orientées est-ouest) qui viennent s'appuyer sur les murs pignons et les refends, selon un modèle répandu en région méditerranéenne, qui exploite habilement la complémentarité des parties maçonnées et des parties charpentées⁸.

La panne faitière 0416601_54 est datée 1347-1521 et le cerne mesuré 1521 est le dernier cerne de l'arbre, ce qui fournit une date d'abattage à l'automne-hiver 1521-1522. La panne 0416601_43 (la deuxième en partant du nord) est datée 1421-1521 mais nous ne pouvons pas confirmer la présence du dernier cerne de l'arbre (fig. 13).

Ces deux dates avaient aussi été obtenues par le laboratoire Archéolabs. Ce dernier avait en plus daté la panne la plus au nord (datée de « 1520 printemps »).

Il est probable qu'il manquait un cerne à la troisième panne et que ces trois pannes proviennent d'un même lot d'arbres abattus au même moment, à l'automne-hiver (voire printemps) 1521-1522 et qu'elles aient été mises en place à partir du printemps 1522.

8. Bernardi 2007a, 193.



Fig. 13 – La panne faitière, marquée «XXVII», au deuxième plan sur la photographie de gauche, est située dans l'ombre au sommet de la cloison. Elle a été échantillonnée sous forme de section (0416601_54, photographie de droite). La panne au premier plan («XXVI») a été carottée mais n'est pas datée pour l'instant (clichés: L. Shindo).

4.4. Étude des pièces de bois supportant les encorbellements des façades nord des deux hôtels

Les façades nord des deux hôtels étaient construites en encorbellement: le premier étage de l'immeuble au n°3 avançait de 1,20 m sur la Grand' Rue et celui de l'hôtel Ferrier, de 1,50 m⁹. Ces façades en encorbellement étaient soutenues par des éléments en bois, qui ont été totalement déposés pour l'immeuble n°3 et partiellement pour l'hôtel Ferrier. Nous avons donc procédé à l'étude dendrochronologique de ces pièces de bois.

4.4.1. Immeuble au n°3

Les sept solives échantillonnées, supportant la structure en encorbellement de l'immeuble au n°3, sont composées de deux poutres superposées et moulurées, exception faite de la solive n°3, formée d'une seule pièce non moulurée et correspondant sans doute à une réfection du plafond¹⁰. Ces solives sont clouées, au nord, à une sablière haute et sont posées, au sud, sur deux sablières basses. À l'est, une solive (composée également de deux poutres superposées) fonctionne avec l'hôtel Ferrier (fig. 14).

L'espace entre les solives est orné d'un décor historié en gypseries. Un blason permet de proposer une datation de ce plafond: entre 1264 et 1385 ou après 1389¹¹. La dendrochronologie aurait pu apporter une datation précise

de cet ensemble, cependant, les solives et la sablière haute nord, c'est-à-dire les 14 pièces de bois apparentes, sont en saule (*Salix* sp.), une essence qui ne se prête pas à la datation dendrochronologique. En effet, la croissance du saule dépend davantage des conditions édaphiques que des conditions climatiques.

L'utilisation du saule n'est pas fréquente en construction. C'est une essence à croissance rapide qui, une fois mise en œuvre, casse facilement, sauf lorsqu'elle n'est pas exposée à l'humidité, ce qui est le cas ici. A-t-elle été utilisée ici pour des raisons de disponibilité ou a-t-elle été délibérément choisie? Nous n'avons pas de réponse.

Au sud, vers l'intérieur du bâtiment, les sept solives reposent sur deux sablières basses parallèles. La première, celle la plus au nord et visible depuis l'extérieur, est en noyer (*Juglans* sp.). La seconde, la plus au sud, est en chêne (*Quercus* sp.) et présente une mortaise non fonctionnelle attestant le emploi de cette pièce de bois¹². La série dendrochronologique de ce chêne couvre une période de 152 ans, dont 28 cernes d'aubier. Ni la série du noyer ni celle du chêne ne synchronisent avec les chronologies de référence du chêne. La seule chronologie de référence régionale du chêne actuellement disponible (Cadarache) ne débute, rappelons-le, qu'en 1595, date largement postérieure à la construction présumée de ce plafond. La poutre en chêne étant un emploi, elle ne donnera pas, quoi qu'il en soit, la date de cet ensemble.

9. Tissot 2013, V1, 31 et 51.

10. Tissot 2013, V1, 53.

11. Sauze et Mouton, dans Tissot 2013, V1, 53.

12. Tissot 2013, V1, 52.

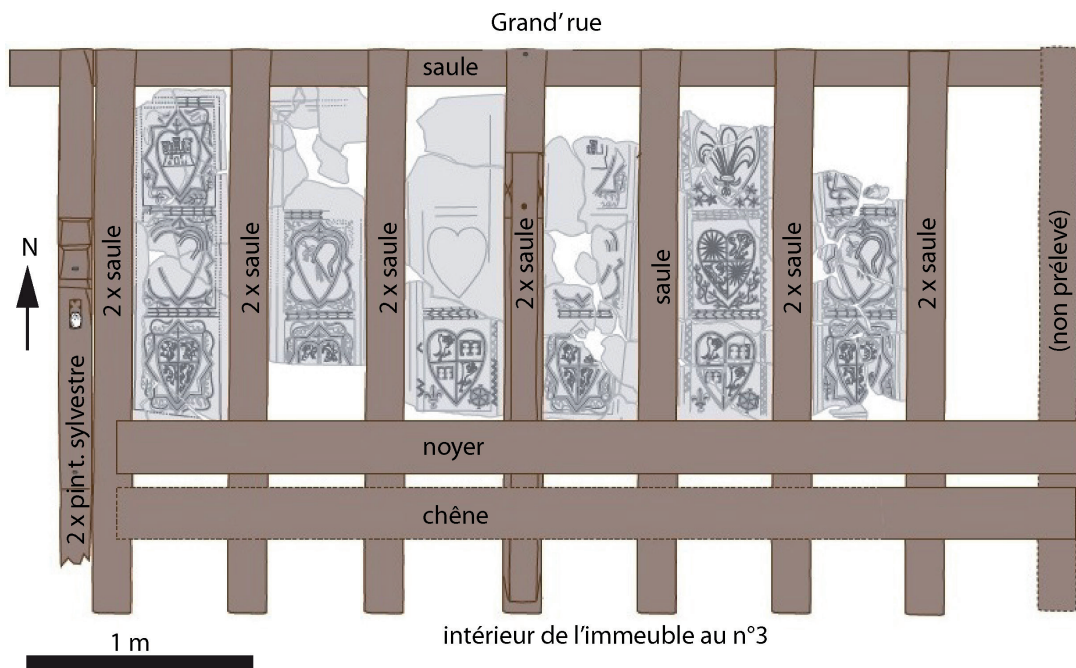


Fig. 14 – Essences des pièces de bois du plafond à entrevous de l'immeuble au n° 3 (M. Tissot).

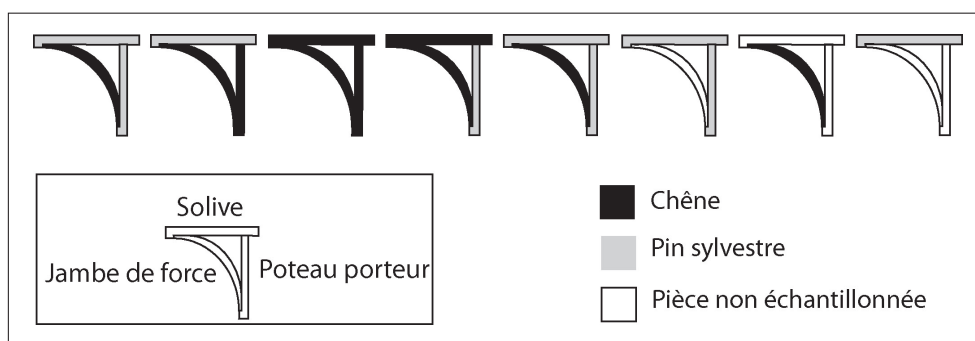


Fig. 15 – Schéma des huit potences échantillonnées, soutenant la façade en encorbellement de l'hôtel Ferrier (L. Shindo).

La solive immédiatement à l'ouest de cet ensemble fonctionne avec l'hôtel Ferrier et non avec l'immeuble au n° 3, car « elle ne repose pas sur les sablières basses [...] mais sur l'angle appareillé formé par l'immeuble n° 1 ». De plus, elle ne présente ni « les mêmes moulures, ni les mêmes sections »¹³. Si elle est également composée de deux poutres superposées, elle se distingue des solives de l'immeuble au n° 3 par l'essence utilisée, le pin sylvestre (*Pinus t. sylvestris*) et non le saule.

4.4.2. Hôtel Ferrier

L'étage en encorbellement de l'hôtel Ferrier était soutenu par une voussure en quart-de-rond. Celle-ci était entièrement recouverte d'enduit et les pièces de bois qui constituaient sa structure étaient invisibles jusqu'à la destruction du bâtiment. Il y avait au moins une dizaine de

potences en bois, composées chacune d'une solive dont l'extrémité sud repose sur un poteau porteur, lui-même relié à l'extrémité nord de la solive par une jambe de force courbe, grâce à des embrèvements (fig. 15).

Cinq de ces potences ont entièrement été prélevées et ont fourni 15 échantillons. Quatre prélèvements ont été réalisés sur trois autres de ces structures (deux solives, une jambe de force et un poteau). Toutes les jambes de force échantillonnées sont en chêne (six échantillons), alors que les solives et les poteaux porteurs sont indifféremment en chêne (quatre échantillons) ou en pin type sylvestre (neuf échantillons). L'emploi exclusif du chêne pour les jambes de force courbes échantillonnées, plutôt que du pin sylvestre, est certainement dû à la meilleure résistance offerte par les essences feuillues lors d'efforts de flexion.

13. Tissot 2013, V1, 52.

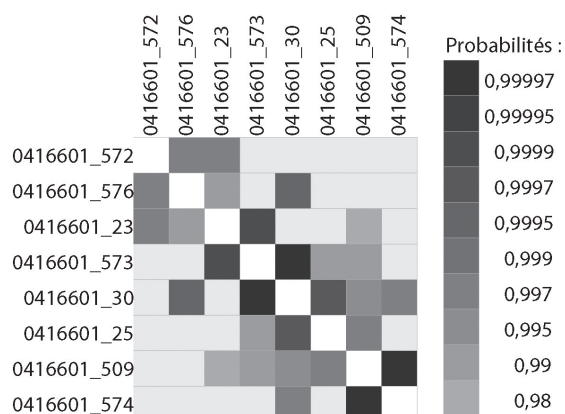


Fig. 16 – Matrice carrée des probabilités associées aux coefficients t de Student, de huit des dix séries individuelles de chêne synchrones (transformation par la méthode du Corridor).

Comment ces jambes de forces courbées, de 1 m de longueur et de 16 cm de diamètre de section, ont-elles été obtenues ? Elles n'ont pas entièrement été cintrées à la hache, car les parties centrales ne présentent pas de traces de cet outil (contrairement aux extrémités de ces pièces de bois). De plus, en diminuant la longueur des fibres (lors d'un équarrissage à la hache), la solidité de la pièce de bois s'en trouverait altérée¹⁴ et, leur courbure est trop prononcée pour avoir été réalisée artificiellement, après abattage de l'arbre, avec les techniques de cintrage de l'époque¹⁵.

Deux solutions sont possibles : (a) sélection de branches de chêne aux bonnes dimensions et avec la forme adéquate, (b) conduite de la croissance des chênes pour donner artificiellement à certaines branches, la forme voulue pour les jambes de force¹⁶. La première solution implique des prospections par les charpentiers pour choisir les arbres. La seconde nécessite un temps très long et elle ne peut être mise en œuvre que pour des constructions dont la réalisation est proche¹⁷. Ou alors, c'est une production programmée ou une spécialité dans la foresterie.

Tout permet de penser que les charpentiers ont prélevé des branches de chênes qui avaient les bonnes caractéristiques et qu'ils les ont partiellement façonnées à la hache pour leur donner la courbure définitive désirée.

14. Emy 1837, 189.

15. Information orale, P. Poveda, ingénieur de recherche au CCJ, CNRS (2 octobre 2015).

16. Emy 1837, 189.

17. Emy 1837, 190.

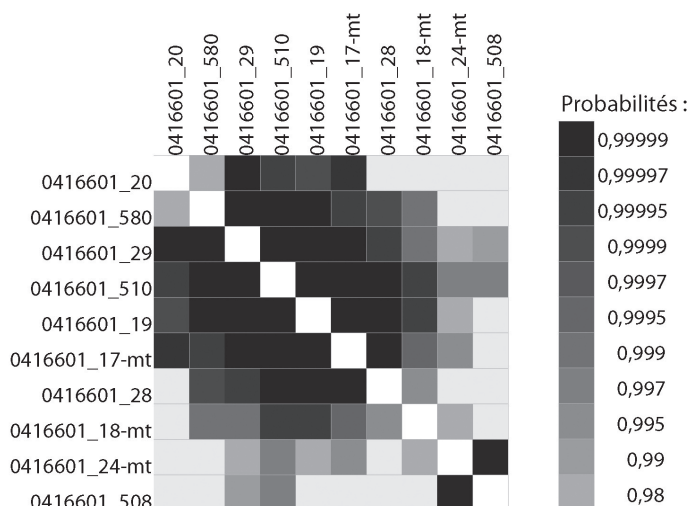


Fig. 17 – Matrice carrée des probabilités associées aux coefficients t de Student, de dix des onze séries individuelles de pins type sylvestres synchrones (transformation par la méthode du Corridor).

Huit des dix séries individuelles des éléments en chêne synchronisent avec des valeurs du t de Student significatives et un bon synchronisme visuel des courbes de croissance (fig. 16). La chronologie moyenne couvre une période de 264 ans mais les tests sur les référentiels disponibles n'aboutissent à aucune datation.

De même, dix des 11 séries individuelles des échantillons en pin type sylvestre synchronisent avec des valeurs du t de Student élevées et un bon synchronisme visuel des courbes de croissance (fig. 17). Ces séries correspondent aux solives et aux poteaux porteurs des consoles, ainsi qu'aux deux pièces de bois constituant la solive entre l'immeuble au n° 3 et l'hôtel Ferrier. La chronologie moyenne de ce groupe couvre une période de 176 ans. Comme la chronologie du groupe des séries de chênes, cette chronologie n'est pas datée, en raison de l'absence de référentiel du pin sylvestre couvrant la période attendue (les tests sur les référentiels d'autres essences comme le mélèze et le sapin n'aboutissent à aucune datation).

La représentation graphique des séries individuelles de pins type sylvestres (fig. 18) montre que les deux séries correspondant aux bois situés entre l'immeuble n° 3 et l'hôtel Ferrier (0416601_17 et 18) sont antérieures de 20 ans aux séries en pin sylvestre de l'encorbellement. Cependant, comme leurs derniers cernes ne sont pas conservés (équarrissage et érosion), il n'est pas possible de se prononcer sur une réelle antériorité de ces deux pièces.

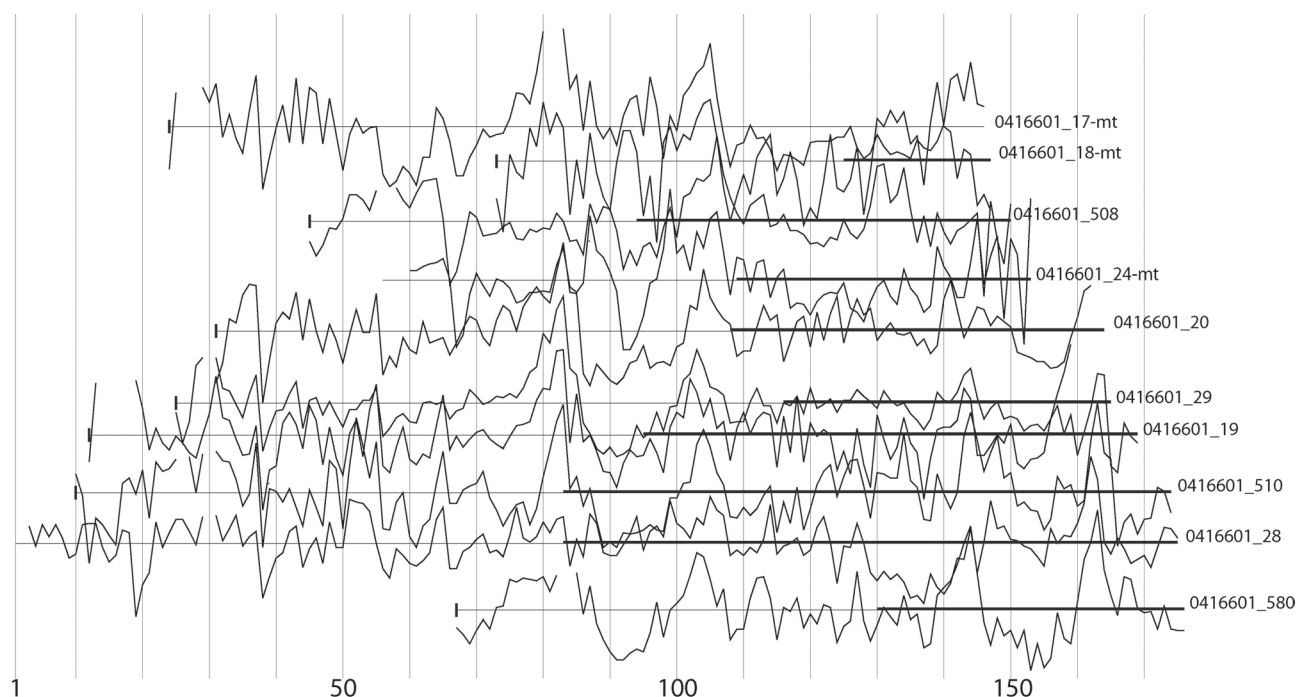


Fig. 18 – Représentation graphique de dix des onze séries de pin type sylvestre dans leur position de synchronisation (transformation par la méthode du Corridor).

5. CONCLUSIONS

Le contexte particulier d'intervention sur le terrain, tant en archéologie du bâti qu'en dendrochronologie, n'a pas permis d'obtenir de résultats complets et beaucoup d'informations majeures, notamment sur la localisation des poutres prélevées, sont définitivement perdues. Il convient aussi de souligner que les prélèvements dendrochronologiques n'ont pas été réalisés selon une stratégie étroitement liée à la configuration architecturale des bâtiments mais selon une stratégie de sauvetage et de collecte d'éléments, pour beaucoup d'entre eux éparpillés. Néanmoins, «*en dépit de son caractère consternant, cette opération de déconstruction constitue l'ultime opportunité de documenter cet édifice majeur du patrimoine départemental*»¹⁸. Et il est vrai que tant en archéologie qu'en dendrochronologie, des résultats ont été obtenus.

Ainsi, cette étude a apporté des éléments de réponse concernant la datation relative et absolue des différents corps de bâtiments composant l'immeuble du n° 1 Grand' Rue. La construction de l'hôtel Ferrier proprement dit se fait au début du XVI^e siècle. Cette datation s'appuie sur le style architectural de la façade. Elle a pu être confirmée par la datation des différents bois prélevés au niveau des plafonds et de la charpente. Elle correspond par ailleurs à

une période faste pour les Ferrier, dont l'un des membres reçoit un titre de noblesse en 1475.

Il est néanmoins possible que celui-ci ait succédé à un, voire plusieurs bâtiments qui auraient été modifiés ou rassemblés au début du XVI^e siècle pour ne former qu'un seul bâtiment. L'emprise du bâtiment nord sur le plan cadastral correspond à trois parcelles distinctes (et à autant de caves indépendantes en sous-sol) à laquelle s'ajoute la parcelle occupée par le bâtiment central. L'emploi de mortiers différents pour les maçonneries internes de la cage d'escalier et le bâtiment nord, ne fait que confirmer cette hypothèse ce qui expliquerait, peut-être, également, le *hiatus* entre la «date» de 1401 et la construction par les Ferrier d'un hôtel de style Renaissance. De nombreuses transformations apportées tous au long des siècles suivant et ce jusque dans les années 1960, environ, tant au niveau des ouvertures qu'au niveau du cloisonnement interne, modifièrent profondément l'aspect initial de cet hôtel, découpé progressivement en plusieurs appartements.

D'un point de vue dendrochronologique, cette opération a été l'occasion de tester un «protocole» de prélèvement d'urgence et d'en proposer au moins les deux améliorations suivantes :

- toutes les pièces de bois visibles doivent être marquées à la bombe de chantier (ou à l'aide d'un autre médium à déterminer) et leur localisation au sein du bâtiment soigneusement enregistrée. Cette étape impose de prévoir

18. D. Louche, Directeur régional des affaires culturelles, lettre adressée au maire de Riez, recommandant l'accompagnement archéologique des travaux (Tissot 2013, 15).

un travail de plusieurs jours dans le bâtiment, avant sa destruction. Au cours de l'étude, la principale difficulté rencontrée sur ce site a été d'établir la provenance exacte d'un grand nombre de pièces de bois (trois corps de bâtiment pour l'hôtel Ferrier et deux pour l'immeuble au n° 3) et leur position précise dans chaque bâtiment. Une très grande quantité de pièces de bois n'avait pu être vue et donc répertoriée avant la déconstruction, en raison de la dangerosité du site.

- le suivi du chantier devrait être assuré idéalement en permanence par les dendrochronologues pour enregistrer les pièces de bois non marquées en amont (car dissimulées dans les maçonneries par exemple) et réaliser les prélèvements nécessaires. Cela impose une coordination entre déconstruction et échantillonnage, en tout état de cause, du temps de travail et donc une reconnaissance du coût financier (en grande partie supporté par le Centre Camille Jullian).

Sur 612 pièces de bois échantillonnées, 199 ont été analysées à la date du premier octobre 2015, soit moins d'un tiers de l'effectif total.

Seules les pièces en sapin sont datées (107 individus), leur chronologie moyenne couvre la période 1214-1533. Il s'agit d'une nouvelle chronologie de référence du sapin, pour le sud-est de la France. Les sapins datés documentent trois phases de construction : la première à la fin du XV^e siècle (en 1484-1485), la deuxième entre 1521 et 1522 pour les plafonds à poutres et solives apparentes et les pannes des combles et la troisième, en 1533-1534, également pour un plafond.

Ni les chênes ni les pins type sylvestres ne sont datés pour l'instant puisque les référentiels font défaut. Les deux moyennes construites avec les bois de ce site (264 ans pour celle du chêne, 176 ans pour celle du pin sylvestre), ainsi que les séries individuelles non synchronisées sont les bases de ces nouveaux référentiels. Il y a pour chaque essence un hiatus dans le XVI^e siècle (chêne), et aussi dans le XVII^e siècle et le début du XVIII^e siècle (pin type sylvestre). La poursuite de ce travail passe par l'analyse de bâtiments susceptibles de fournir des bois contemporains pour faire les ponts et combler les hiatus. Alors, cela permettra, pour ce site, de dater la mise en place des potences soutenant les encorbellements de la façade nord de l'hôtel Ferrier et, pour l'immeuble au n° 3, la sablière basse en chêne, antérieure aux solives du plafond à entrevous.

La déconstruction a donné accès à certains éléments techniques de la construction, autrement invisibles, comme les agrafes métalliques fixées aux extrémités de certaines pièces de bois, qui servaient à rigidifier les maçonneries de galet.

Une dizaine de ces assemblages a été prélevée et conservée. Ils pourront être étudiés par un spécialiste afin de documenter les pratiques de construction du XVI^e siècle.

Il apparaît maintenant fondamental de relier ce travail aux études dendrochronologiques menées par le Centre Camille Jullian sur le bâti urbain dit prestigieux d'Aix-en-Provence (Domaine du Grand-St-Jean, hôtel d'Estienne, église de la Madeleine et hôtel de Caumont.) et, de retrouver la forêt de provenance des pièces de bois mises en œuvre, à Aix-en-Provence comme à Riez. Il peut s'agir de grumes transportées par flottage depuis la forêt de Faillefeu (commune de Prads-Haute-Bléone, dans les Alpes-de-Haute-Provence) par exemple¹⁹.

Ce chantier unique de déconstruction a permis de mettre en place une méthodologie d'étude archéologique et dendrochronologique adaptée. La quantité et la variété des prélèvements dendrochronologiques ouvrent la porte à une étude complète et inédite des bois provenant d'un ensemble de bâtiments d'origine médiévale.

Remerciements

Nous remercions J.-L. Edouard (CCJ, Aix-en-Provence), F. Gallice (Riez), A. Ruit (Riez), B. Lambert (G. L. Conception) et l'entreprise Turcan (04200 Mison) pour leur aide lors des prélèvements ; C. Cenzon-Salvayre (CCJ/LA3M, Aix-en-Provence) et F. Guibal (IMBE, Aix-en-Provence) pour avoir réalisé certaines identifications anatomiques et M. Toriti pour la mesure de plusieurs dizaines d'échantillons.

Bibliographie

Baume 2011 : M.-P. Baume, *La Bléone et Faillefeu*, Éditions de l'imprimerie Sira à Sanary-sur-Mer, 2011, 203 p.

Bernardi 2007a : P. Bernardi, *L'exploitation des forêts*, in : P. Bernardi (dir.), *Forêts alpines et charpente de Méditerranée*, Gap, Éditions du Fournel, 2007, 47-55.

Bernardi 2007b : P. Bernardi, *Le commerce du bois*, in : P. Bernardi (dir.), *Forêts alpines et charpente de méditerranée*, Gap, Éditions du Fournel, 2007, 79-88.

Boyer 1990 : J.-C. Boyer, Pour une histoire des forêts de Haute Provence (XIII^e-XV^e s.). *Provence historique*, 161, 40, 1990, 267-290.

Dormoy, Orcel, Van Der Plaetsen 1997 : C. Dormoy, C. Orcel, L. Van Der Plaetsen, Expertise dendrochronologique d'échantillons provenant de l'hôtel de Ferrier à Rier (04500), Archeolabs réf. ARC 97/R1919D, 1997, 9 p.

Emy 1837 : A.-R. Emy, *Traité de l'art de la charpenterie*, Paris, Carilian-Goeury et Anselin volume I, 1837, 574 p.

¹⁹. Baume 2011, Bernardi 2007b et Boyer 1990.

Lambert 2006 : G.-N. Lambert, *Dendrochronologie, histoire et archéologie, modélisation du temps. Le logiciel Dendron II et le projet Historik Oaks*, Habilitation à diriger les recherches (2 volumes), Besançon, 2006, 152 p. et 206 p.

Sauze, Gueyraud 1987 : E. Sauze, M.-H. Gueyraud, *Riez, 1 Grand' rue, Maison dite Hôtel de la Madeleine ou de Ferrier, Dossier d'inventaire du patrimoine riezois, Service de l'inventaire du patrimoine région PACA*, non publié, 1987, 63 p.

Sauze 1992 : E. Sauze, L'art de la gypserie à Riez au XV^e siècle, *Provence Historique*, 1992, 167-168, XLII, 1992, 297-310.

Sauze 1998 : E. Sauze, *Riez (Alpes-de-Haute-Provence). Maison aristocratique en pierre et pan de bois à deux étages*, in : Y. Esquieu, J.-M. Pesez (dir.), *Cent maisons médiévales en France (du XII^e siècle au milieu du XVI^e siècle). Un corpus et une esquisse*. Monographie du CRA, 20, Paris, CNRS, 1998, 440-444.

Tissot 2013 : M. Tissot, *Riez (04166), Hôtel Ferrier – Immeubles n°1 et 3 Grand' Rue*, Rapport final d'opération, Service départemental d'archéologie des Alpes-de-Haute-Provence, Service régional de l'archéologie, Direction régionale de l'archéologie – PACA, 2013, 91 p. et 37 p.

Les constructions traditionnelles d'alpage dans le Mercantour : le cas des granges de Bousieyas (Saint-Dalmas-le-Selvage, 06)

Vincent Labbas*

Résumé

Les constructions « traditionnelles » dont nous allons parler ici, désignent un bâti agropastoral de haute montagne, adapté aux conditions climatiques subalpines et aux besoins économiques spécifiques du pastoralisme : le parcage du bétail et le stockage du foin pour le nourrir. Loin d'être immuables, ces édifices se lisent sur une longue durée, du début du XV^e siècle jusqu'au début du XX^e siècle. Les évolutions de ces constructions se comprennent à travers des reconstructions fréquentes qui mettent en œuvre les pièces de bois de mélèze, traduction de la forêt-ressource locale et environnante.

Mots-clés : dendrochronologie, archéologie du bâti, mélèze, Mercantour, Alpes françaises, Moyen Âge, époque moderne.

Abstract

The "traditional" constructions about which we are going to speak here, indicate (appoint) one built agropastoral of high mountain, adapted to the subalpine weather conditions and to the specific economic needs for the pastoralism: the car park of the cattle and the storage of the hay to feed it. Far from being unchanging, these buildings are read on a long lasting, from the beginning of the 15th century to the beginning of the 20th century. The evolutions of these constructions include through frequent reconstructions which implement (operate) the pieces of wood of larch, translation of the local and surrounding forest-resource.

Keywords : dendrochronology, building archaeology, larch wood, Mercantour, French Alps, Middle Ages, modern era.

1. INTRODUCTION

Des recherches dendrochronologiques conduites depuis les années 2000, ont permis de dater des constructions dans l'étage subalpin du Mercantour et ainsi mettre en évidence l'existence de bâtiments en élévation, renvoyant aux anciennes activités agropastorales des sociétés du passé et remontant au début de l'époque moderne¹. À l'échelle des Alpes du Sud, ces recherches ont également permis d'attester un bâti médiéval, plus au nord, dans la vallée de la Clarée, dans les Hautes-Alpes². Ces recherches récentes mettent donc en exergue un patrimoine d'une grande profondeur historique dont la connaissance en termes chronologiques, encore faible il y a quelques années, devient plus dense et affirmée actuellement.

L'objectif principal de cette étude concerne les questions d'ancienneté du bâti subalpin (entre 1 500 et 2 200 m d'altitude), la contextualisation de ses transformations au cours du temps ainsi que la mise en œuvre des matériaux employés, par l'approche conjointe de la dendrochronologie et de l'archéologie.

Ces interrogations, menées dans le cadre d'une thèse de doctorat à l'échelle du massif du Mercantour³, sont ici appliquées à un site de la haute vallée de la Tinée, à 2 000 m d'altitude : le hameau de Bousieyas (fig. 1) et son alpage, dont les granges sont caractéristiques d'une construction en pans-de-bois pleins, également appelée *blockbau* (fig. 2).

1. Edouard 2010.

2. Edouard 2010.

3. Labbas 2016.

* Aix Marseille Univ, CNRS, LA3M, Aix-en-Provence, France.

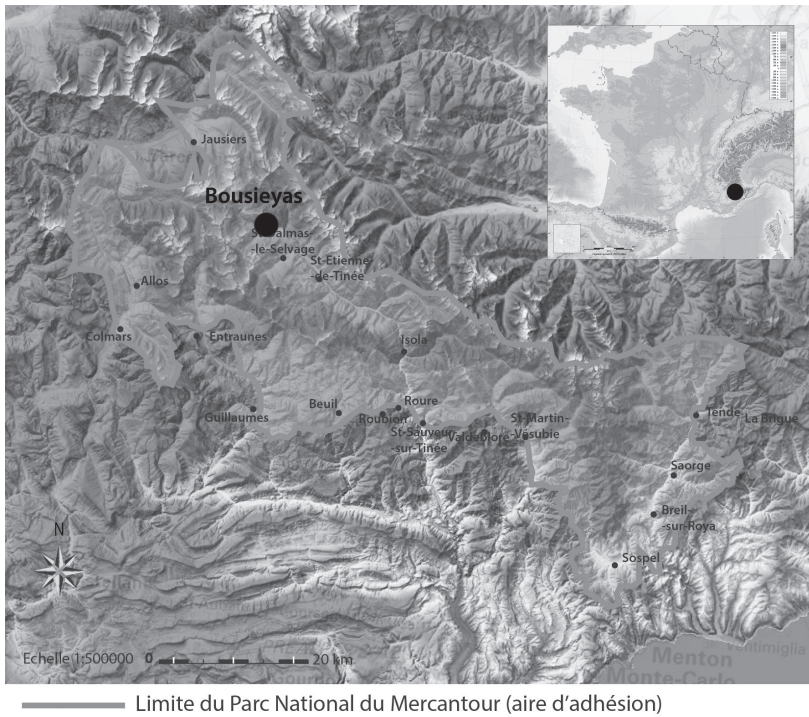


Fig. 1 – Carte, situation géographique de Bousieyas (DAO : V. Labbas, d'après IGN).



Fig. 2 – Les granges RIO 100 (à gauche) et CBO 500 (à droite) (clichés : V. Labbas).

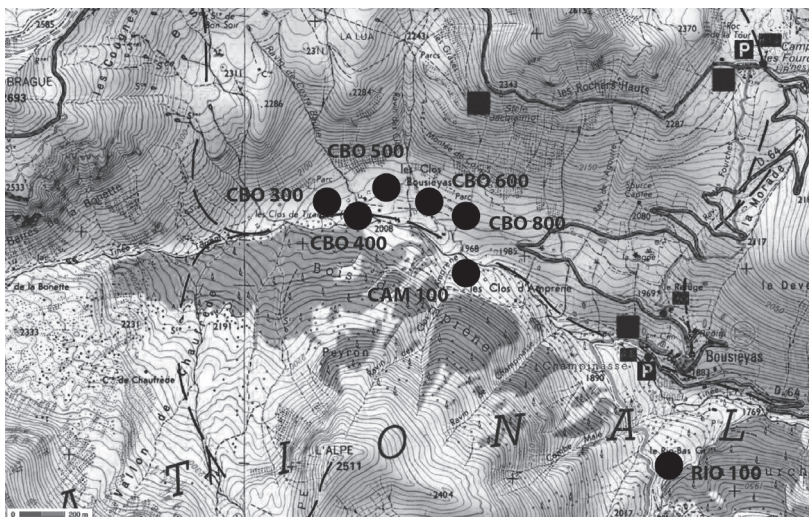


Fig. 3 – Carte de Bousieyas avec situation géographique des granges étudiées (DAO : V. Labbas, d'après IGN).

À notre connaissance, la première mention de ce hameau dans les textes remonte à la fin du XVI^e siècle⁴.

À l'époque moderne, la surpopulation du village de Saint-Dalmas-le-Selvage, aurait conduit à fonder de nouveaux hameaux tels que Bousieyas et le Pra⁵.

À la fin des années 1970, deux édifices ont fait l'objet d'une approche architecturale⁶. Deux granges ont également fait l'objet d'un diagnostic dendrochronologique, mené en 2009 et 2010 par Jean-Louis Edouard (non publié). Ces analyses ont fourni des dates échelonnées du XVI^e siècle jusqu'au XVIII^e siècle.

Depuis 1979, Bousieyas se situe en zone cœur du Parc National du Mercantour. Le bâti existant bénéficie ainsi d'une protection, cependant l'absence de restauration et d'entretien des granges agropastorales entraîne une désagrégation rapide de ces structures.

2. SITE, MATÉRIEL ET MÉTHODES

Bousieyas forme une vallée en U axée est-ouest. La forêt occupe l'ubac, sur la rive droite de la Tinée, le mélèze y est la seule espèce d'arbre présente. L'adret, sur la rive gauche, est occupé par la prairie qui alterne avec les affleurements rocheux de grès qui constituent la pierre locale employée dans les constructions.

2.1. Occupation du sol de Bousieyas

Bousieyas comprend plusieurs zones bâties. Le hameau, à proprement parler, est implanté sur une pente moyenne. Le bâti est constitué de maisons d'habitation à plusieurs niveaux, de granges et de l'église Saint Pierre dans la partie basse du hameau. La permanence hivernale de l'habitat y est attestée au début du XVII^e siècle (1717) avec la consécration de l'église qui a le statut de paroisse. Le long du replat, vers le nord-ouest, se trouvent les Clos de Bousieyas (fig. 3). Ce quartier est implanté sur un versant sud et sur une pente moyenne à faible. Ce quartier avait pour nom les Clos de Tirargues à la fin du XIX^e siècle, d'après le cadastre napoléonien sur lequel figurent 35 bâtiments. Cet ancien toponyme s'est déplacé et comprend actuellement la partie la plus à l'ouest de cette zone d'alpage.

Sur la rive droite de la Tinée, le quartier des Clos d'Amprènes forme une clairière où sont dispersés trois bâtiments dont deux sont en ruines. Ces trois bâtiments figurent aussi bien sur le cadastre napoléonien du XIX^e siècle que sur la carte de Bourcet d'Arçon de la deuxième moitié du XVIII^e siècle.

Le quartier de Rio bas, également situé sur la rive droite de la Tinée, fait face au hameau, au sud, et comporte deux bâtiments (fig. 3). L'un est réhabilité et l'autre est une grange d'estive qui menace de s'effondrer.

Les parcelles de Bousieyas, comme la plupart des autres zones de montagne, sont composées de grandes, moyennes et petites parcelles. La comparaison du parcellaire actuel avec celui du XIX^e siècle montre que ce dernier a peu évolué.

Les parcelles de grandes dimensions sont occupées par les forêts de mélèze au sud, à l'ouest et à l'est du hameau et des Clos de Bousieyas, c'est-à-dire sur le versant à l'ubac. Au nord du hameau, à l'amont, et à l'adret, il existe aussi de grandes parcelles qui étaient des zones de pâtures, au XIX^e siècle et sans doute avant. Toutes ces grandes parcelles étaient propriété communale.

2.2. Le matériel de l'étude

Dans le cadre de cette recherche, sept granges ont été enregistrées à Bousieyas. Cinq sont situées dans l'alpage des Clos de Bousieyas (appelée CBO), une est sur les Clos d'Amprènes (CAM), sur la rive droite de la Tinée face aux Clos de Bousieyas, et la septième dans le quartier de Rio-Bas qui fait face au hameau sur la rive opposée de la Tinée. Le choix a été effectué en fonction de leur potentiel : stratigraphique (chronologie relative), technologique (modes de construction) et dendrochronologique

Soixante-huit photomontages (17 d'élévations et 51 de section de bois de construction) et 12 croquis à l'échelle ont été produits et constituent une grande part de la documentation de l'étude. 156 bois ont été prélevés (227 échantillons sous forme de carottes et de sections). Ils ont fourni 111 dates (111 bois datés) qui s'ajoutent aux 34 bois datés par Jean-Louis Edouard lors des diagnostics précédents, soit un total de 145 bois datés.

Les sources cartographiques utilisées pour le site de Bousieyas comportent :

- les cartes dites de Bourcet d'Arçon dessinées par les ingénieurs militaires Pierre Joseph Bourcet et J.C.E. Le Michaud d'Arçon entre 1748 et 1778⁷ ;
- le cadastre napoléonien établi entre 1870 et 1875. Les plans dressés pour chaque section cadastrale ont permis d'identifier chaque bâtiment visible actuellement à son emplacement à la fin du XIX^e siècle. Les plans cadastraux

4. Estadiou 1999.

5. Estadiou 1999.

6. Raybaud, Pérréard 1982.

7. Archive Départementale des Alpes Maritimes ADAM 01FI 1107 et 01FI 1105.

sont complétés par les états de section qui détaillent l'utilisation de chaque parcelle ;

- les photographies aériennes issues de la base de données de l'Institut Géographique National et qui sont réunies dans le Système d'Information Géographique «Géoportail.gouv.fr». Plusieurs photographies aériennes du milieu du XX^e siècle sont également disponibles. Les photographies, anciennes et actuelles extraites, sont mises en perspective avec la cartographie plus ancienne mentionnée ci-dessus.

2.3. Méthode

L'analyse dendrochronologique consiste à attribuer à chaque cerne l'année exacte de sa formation et, de fait, à dater l'année d'abattage d'un arbre.

Les prélèvements de bois ont été effectués par carottage à l'aide d'une tarière de Pressler sur les bois en œuvre et par tronçonnage sur les bois erratiques. L'acquisition des séries de cernes a été effectuée grâce à une table de mesure pilotée par le logiciel TSAPWIN⁸. La standardisation et la synchronisation des séries ont été effectuées sur le logiciel DENDRON IV⁹ qui intègre les principaux tests statistiques utilisés pour la datation dendrochronologique. Dans le cadre de ce travail, nous avons utilisé la standardisation par le corridor curvilinéaire¹⁰.

Le relativement bon état de conservation de deux de ces trois structures a permis une analyse stratigraphique des élévations, fournissant une chronologie relative de la construction. L'analyse des élévations a intégré l'observation des techniques d'assemblages et l'identification des pièces réemployées.

3. RÉSULTATS

Les résultats présentés dans cet article synthétisent les études de sept granges agropastorales. Ces bâtiments font état de techniques et modes de construction très proches, sinon similaires. Les résultats chronologiques fournis par la dendrochronologie sont présentés dans un premier point. Dans un second point nous présentons les résultats relatifs aux techniques de construction des granges de Bousieyas.

3.1. Synthèse chronologique de Bousieyas

3.1.1. Datation de la chronologie moyenne

Les bois datés du site, prélevés sur sept granges agropastorales, représentent un ensemble de 145 bois. Les lon-

gueurs des séries (âge des arbres) varient de 33 à 335 ans, la moyenne étant de 105 ans, dans la plupart des cas la moelle est présente sur les échantillons. Les aubiers varient de 3 à 35 cernes, pour les 95 bois qui ont conservé de l'aubier.

Au-delà de la construction d'une chronologie moyenne locale pour le site de Bousieyas, les résultats dendrochronologiques portent également sur l'évolution de l'âge cambial.

Les 145 bois datés donnent une chronologie continue de 936 ans couvrant la période 991-1927, c'est-à-dire quasiment l'ensemble du II^e millénaire. La matrice carrée des corrélations des 145 séries datées met en évidence leur classement chronologique (fig. 4).

La datation de la chronologie moyenne sur 48 chronologies de référence donne de très bonnes corrélations (avec des $r > 0,50$ et des $t > 10$) et réplique sur 20 chronologies. Les valeurs du t de Student les plus fortes sont obtenues avec les plus longs chevauchements : la valeur de t est de 18,37 pour un recouvrement de 930 années avec la chronologie des Merveilles¹¹ ; des valeurs de t très hautes sont également obtenues avec des chronologies plus lointaines géographiquement (16,21 avec Oriol ; 13,09 avec Freissinières¹²). Ces résultats soulignent le signal climatique commun aux mélèzes dans les Alpes du Sud (tabl. 1).

3.1.2. Phases d'abattage et chantiers de reconstruction

Les dates d'abattage obtenues dans les études de sept bâtiments mettent en évidence des phases de construction ou de réfection des édifices. Le bloc-diagramme suivant représente l'ensemble des bois datés (145 bois) et l'ensemble de phases d'abattage identifiées et cumulées (fig. 5).

Les deux bois datés du XII^e siècle (dont un seul a de l'aubier conservé) et provenant des bâtiments RIO 100 et CBO 500, ne peuvent pas véritablement représenter des phases de construction. Il est envisageable que ces bois soient des remplois d'édifices abandonnés durant le Moyen Âge ou démantelés durant l'époque moderne. Rien n'interdit cependant de supposer qu'ils proviennent de Bousieyas.

Le début de la construction des granges de l'alpage intervient dans la première moitié du XV^e siècle. Ces bois, en connexion homogène, proviennent des élévations du bâtiment CBO 400.

La construction s'intensifie au début du XVI^e siècle (on identifie des phases de construction dans les bâtiments

8. RINNTech®.

9. Lambert 2006.

10. Lambert, Durost 2005 ; Durost 2005 ; Lambert 2006.

11. Serre 1978.

12. Edouard 2010.

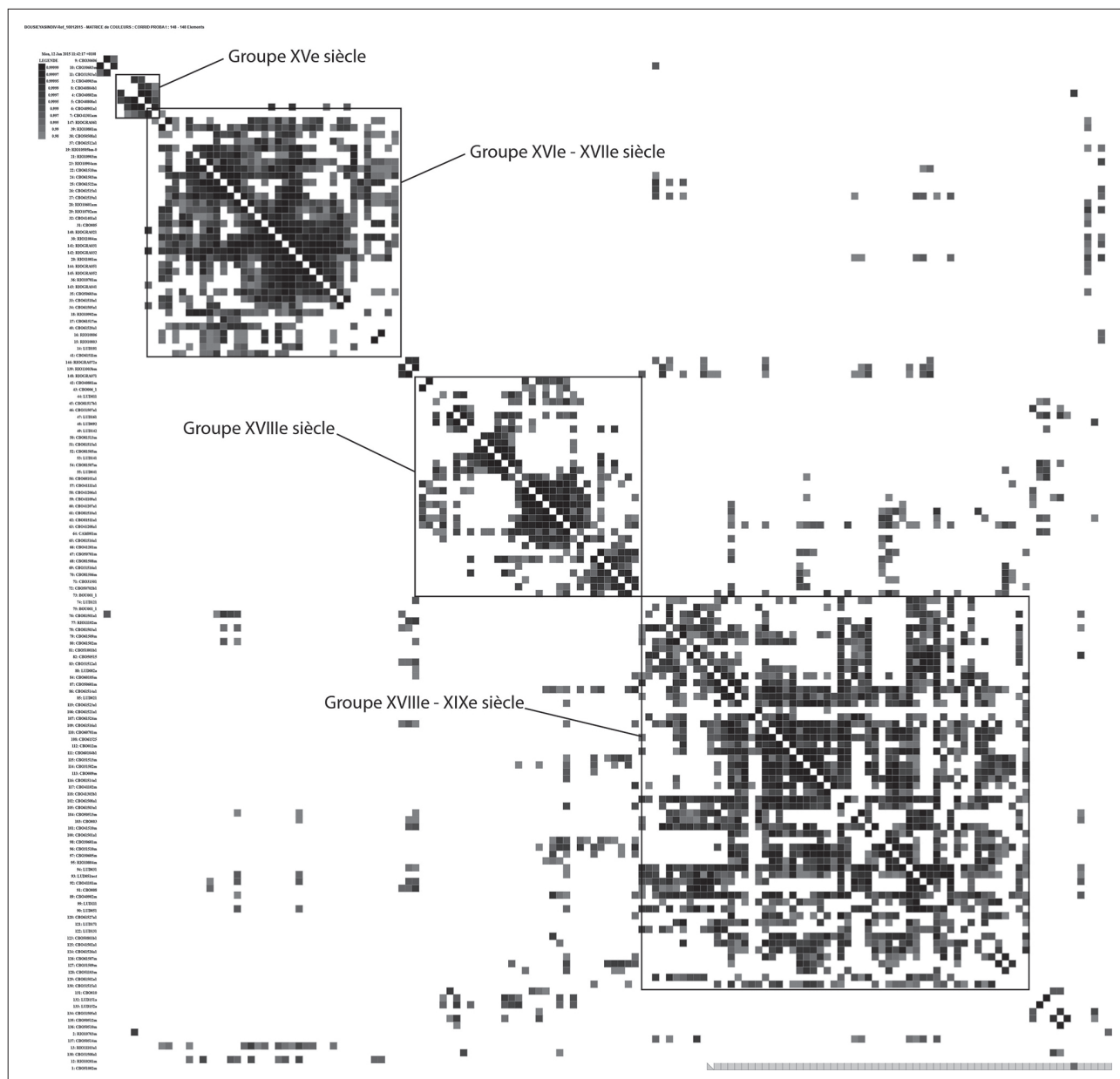


Fig. 4 – Matrice carrée des 145 bois datés de Bousieyas (DAO : V. Labbas, d'après Dendron IV).

DEBUT	FIN	recouvr.	PROBA t	t Student	r corr1	REFERENCES
991	1927	492	0.999995	19.71	0.57	BRAIm
991	1927	930	0.999995	18.37	0.47	Merv
991	1927	517	0.999995	16.21	0.48	Oriol
991	1927	499	0.999995	16.18	0.5	m-MOUTm1b
991	1927	445	0.999995	13.09	0.43	FRESm1
991	1927	308	0.999995	13.01	0.5	m-HopLarRef1
991	1927	251	0.999995	11.93	0.47	m-GrangesRef1
991	1927	496	0.999995	11.23	0.35	m-BufRef1a
991	1927	553	0.999995	10.71	0.31	m-Orgere
991	1927	336	0.999995	10.67	0.38	m-LachRef1
991	1927	417	0.999995	10.26	0.36	m-Charadt

Tabl. 1 – Datation de la chronologie moyenne de Bousieyas.

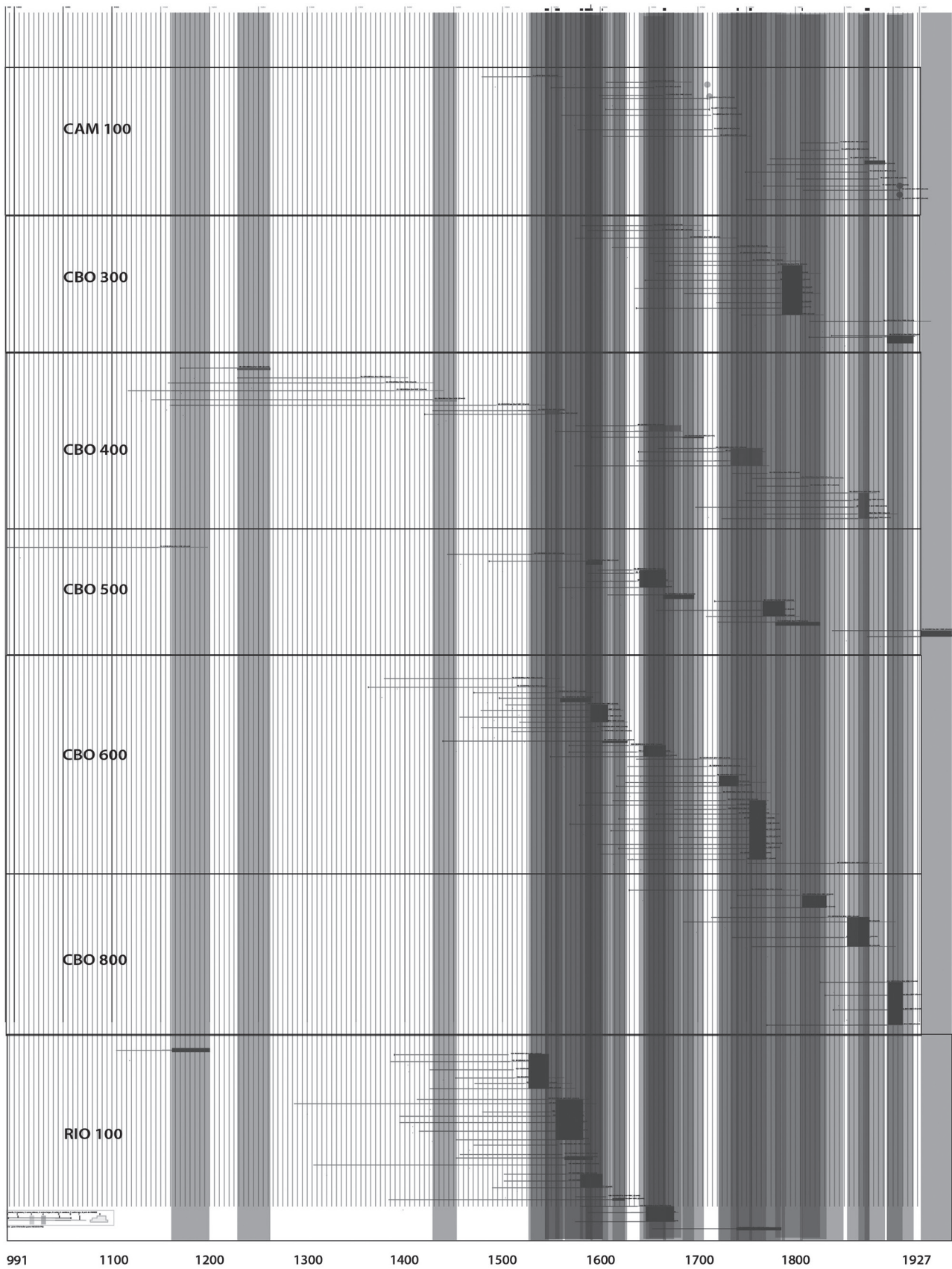


Fig. 5 – Bloc-diagramme total (DAO: V. Labbas).

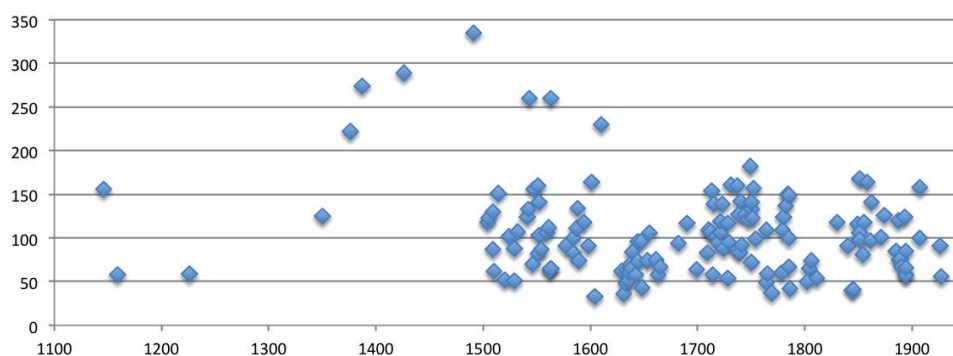


Fig. 6 – Evolution de l'âge cambial des arbres employés dans la construction à Bousieyas (DAO : V. Labbas).

CAM 100, CBO 400, CBO 500, CBO 600 et RIO 100). Jusqu'à la fin du XIX^e siècle, voire début du XX^e siècle, les phases d'abattage interviennent régulièrement et traduisent une activité continue à Bousieyas.

L'année 1927 marquerait la fin de la dernière phase de maintenance du bâti agro-pastoral dans le secteur de Bousieyas. En effet, ces bâtiments abandonnés au début de la seconde moitié du XX^e siècle n'ont vraisemblablement pas connu de remaniements après les années vingt (chute démographique due à la Première Guerre mondiale, et exode rural lié à l'industrialisation et à l'urbanisation).

3.1.3. Intervalle entre les phases d'abattage

Un total de 25 phases d'abattage est identifié dans les sept bâtiments étudiés. En calculant l'intervalle moyen entre chaque phase on constate qu'elles varient de 22 à 356 ans soit 77 ans en moyenne qui séparent chaque chantier de construction ou de maintenance.

Ces phases peuvent être regroupées en 4 groupes : huit phases entre 22 et 30 ans (26 ans en moyenne), cinq entre 40 et 44 ans (42 ans en moyenne), quatre entre 55 et 65 ans (60 ans en moyenne). Le dernier regroupe huit phases entre 98 et 168 ans. L'écart de 356 ans identifié dans le bâtiment RIO 100 représente l'intervalle moyen entre le bois du XII^e siècle et la première phase du XVI^e siècle et traduirait un abandon du bâtiment ou un emploi exogène à l'édifice. La période allant du début du XVI^e siècle au début du XX^e siècle apparaît donc significative.

L'attention peut être portée sur les phases courtes, entre 22 et 30 ans qui s'avèrent être les plus courtes durées entre les chantiers de maintenance (remontage de la structure empilée) du XVI^e siècle jusqu'au début du XX^e siècle. Les motifs pour remonter une grange en employant du bois neuf (coupes d'arbres) peuvent s'expliquer par la détérioration des pièces de bois (intempéries, éboulements, avalanches, glissements de la structure). Les phases plus distantes dans le temps peuvent parfaitement masquer ces phases courtes

si les pièces de bois ne nous sont pas parvenues. Il faut également prendre en compte les interventions ponctuelles et probablement fréquentes qui n'occasionnent pas d'emploi de bois neuf (abattage d'arbres).

3.1.4. La question de l'évolution de l'âge cambial

Dans les granges du site de Bousieyas, c'est entre le milieu du XIV^e siècle et le début du XVII^e siècle que les arbres les plus âgés (supérieur à 200 ans et jusqu'à 335 ans) sont le plus utilisés (fig. 6). Cependant, l'effectif des bois datés est très faible avant le XVI^e siècle (seulement huit bois) et 80 % des individus sur cette période (du XIV^e siècle au début du XVII^e siècle) ont moins de 150 ans. Entre 1500 et 1600, l'âge des arbres au moment de leur abattage est en majorité compris entre 50 et 150 ans, l'âge médian étant de 103 ans. Entre 1600 et 1700 les arbres sont abattus entre 40 et 100 ans (âge médian de 68,5 ans), tandis qu'entre 1700 et 1927, ils le sont entre 50 et 150 ans (âge médian de 100 ans). On constate donc une variabilité qui diminue (il n'y plus de vieux arbres abattus après la seconde moitié du XVII^e siècle) mais aussi la constante d'un intervalle 50-150 ans, dans lequel s'inscrit la majorité des individus. Cette tranche d'âge (50-150 ans) est représentée dans les mêmes proportions pour l'ensemble des bois datés dans le Mercantour soit 73,5 % de l'ensemble des bois datés¹³. Si l'on considère l'aspect dynamique de la forêt, ces résultats mettraient en avant une régénération rapide de la forêt, du XVII^e au XIX^e siècle. On en revient à la question du calibre (diamètre) des arbres qui est stable au cours du temps et donc la variabilité des âges (50 à 150 ans) pour un calibre de 20 à 21 cm de diamètre en moyenne, qui indique la diversité des conditions stationnelles de montagne (il est difficile de déterminer un type de forêt). En effet, le bâtisseur cherche un arbre d'un certain calibre adapté à un emploi précis, le critère de l'âge de l'arbre n'intervenant pas dans le choix de l'individu à abattre. La facilité de prélèvement peut aussi, intervenir dans le choix de l'arbre à abattre, sans tenir compte de son âge.

13. Labbas 2016, 445.

3.2. La construction des granges agropastorales de Bousieyias

Les granges sont constituées d'un soubassement en pierres sèches, bâti à parement unique contre la pente décaissée, surmonté d'une structure en mailles¹⁴ empilées formant le niveau supérieur. Stratigraphiquement antérieur à l'élévation en bois, dans le temps du chantier initial, le soubassement peut être remonté plusieurs fois au cours du temps à l'instar de la structure en bois, démontée et remontée parfois plusieurs fois par siècle. Les dates fournies par la dendrochronologie font remonter ces techniques de construction à la première moitié du XV^e siècle et celles-ci perdurent jusqu'au début du XX^e siècle. Cependant, on remarque des adaptations à partir du milieu du XVII^e siècle.

3.2.1. Les soubassements en pierre

L'emprise au sol des soubassements varie de 7 à 24 m de longueur et de 3,50 m à 5,50 m de largeur. Les édifices sont systématiquement bâtis perpendiculairement aux courbes de niveau. Tous les bâtiments sont constitués de deux espaces : un espace à l'aval sur lequel la grange est élevée et un espace plus réduit à l'amont dont la fonction n'est pas identifiable dans l'état. Dans les Hautes-Alpes, des pièces relativement similaires sont accolées aux granges et sont appelées « cuisines¹⁵ » : elles servent de logis temporaire rudimentaire durant la période estivale.

Les murs sont systématiquement composés de blocs bruts ou grossièrement cassés et montés en assises irrégulières mais croisées. Le mur en amont du bâtiment est intégralement monté en parement unique chemisant le décaissement de la pente. Les gouttereaux suivent le même principe pour les trois-quarts du mur bâti à l'amont du bâtiment.

Le mur bâti en aval, parallèle au mur amont, ainsi que le dernier quart des gouttereaux, sont édifiés en élévation, à double parement. Les fourrures des murs sont constituées de blocs et fragments de blocs de petites dimensions (inférieures à 10 cm d'arête). Contrairement à la structure en bois qui surmonte les murs en pierres sèches, ces derniers présentent des techniques de montages assez frustes et parfois manifestement peu durables dans le temps, comme c'est le cas pour la grange CBO 500 (fig. 7).

Le mortier est utilisé uniquement dans deux granges (RIO 100 et CBO 500) et son utilisation s'avère récente (XX^e siècle). L'emploi du mortier est repéré essentiellement dans des réfections de piédroits de porte.

Plusieurs bâtiments arasés, sur les Clos de Tirargues, ont une structure massive à l'amont. La majorité est arrondie et s'apparente à des pierriers. Sur le bâtiment CBO 300 cette structure est en forme d'étrave, ou de bec, dont la fonction de protection contre les éboulements et les avalanches est la plus vraisemblable. On peut attribuer une fonction similaire aux structures arrondies (CBO 400 par exemple). On peut cependant se demander s'il s'agit d'une forme volontairement arrondie ou dégradée, une question à laquelle une fouille sédimentaire pourrait répondre.

La forme en bec fait immédiatement référence aux bergeries antiques de la plaine de la Crau (Bouches-du-Rhône), fouillées dans les années 1990¹⁶. Dans la Crau, la forme à étrave a perduré jusqu'à l'époque moderne, sur plusieurs grandes bergeries. Si anecdotique soit-il, ce constat conduit à s'interroger sur une transmission des formes par les transhumants, d'autant que les structures en étrave n'existent, dans le Mercantour, que dans ce secteur¹⁷.

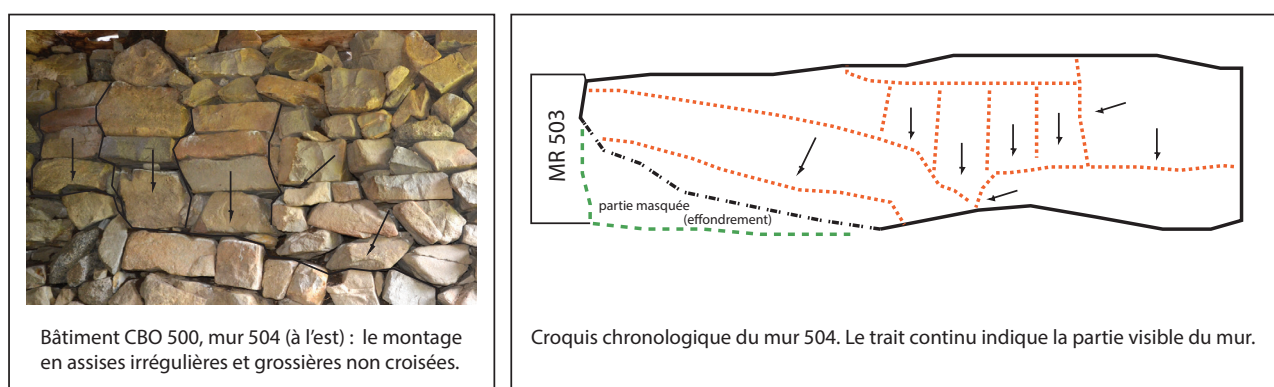


Fig. 7 – Schéma de montage du mur oriental de CBO 500 (DAO et cliché : V. Labbas).

14. Les mailles sont les pièces de bois empilées qui constituent les élévations en pans-de-bois pleins des granges.

15. Malle 1999.

16. Badan, Congés, Brun 1996.

17. Suméra 2015.

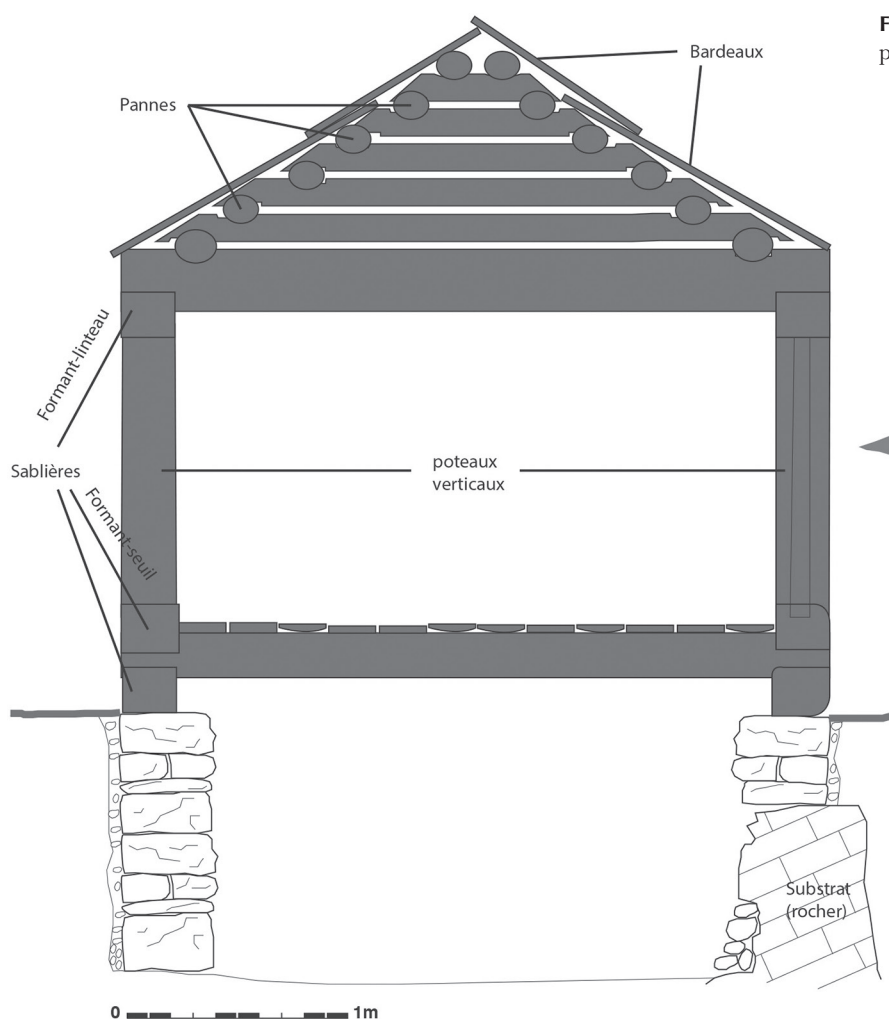
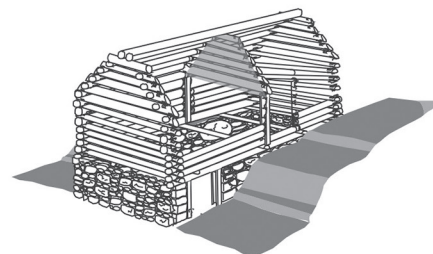


Fig. 8 – Schéma d'un refend-formant-pignon (DAO: V. Labbas).



3.2.2. La structure en bois

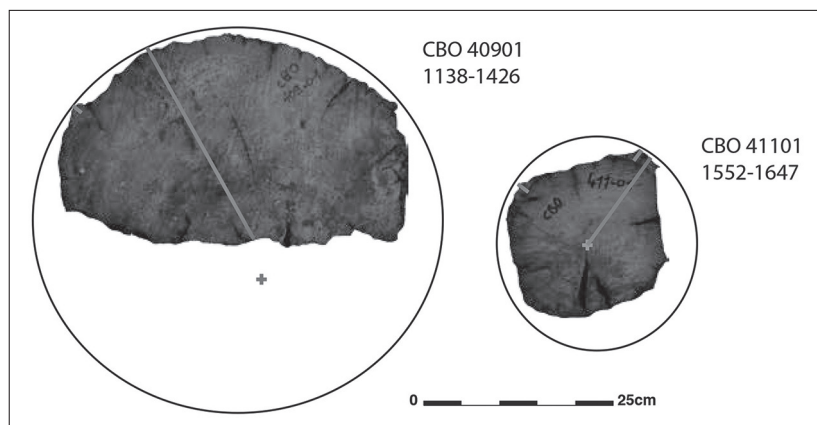
La structure en bois constitue le niveau R+1 ainsi que le plafond du R0. Les pièces de bois sont emboîtées les unes sur les autres dans le temps d'un même chantier (une saison). Sa forme générale est observée sur les bâtiments RIO 100 et CBO 400. Les outils généralement utilisés pour tailler les pièces sont la scie de long et l'herminette (petite hache) ce qui explique les façonnages rudimentaires des pièces. Seules les rainures latérales des bardeaux ont vraisemblablement été façonnées à l'aide d'un ciseau. Le bâtiment CBO 500 présente de nombreuses adaptations postérieures, mais reste similaire dans son édification. Il ne subsiste qu'un plancher et quelques bois déplacés dans le bâtiment CBO 300, il est néanmoins possible de restituer une élévation en pans-de-bois pleins.

Les sablières basses sont posées sur les murs en pierre et en couvrent la longueur (5,80 m à 7 m). De section grossièrement carrée, ces pièces mesurent 15 à 18 cm d'arête en moyenne. Des encoches peuvent être façonnées à mi-bois pour recevoir des chambranles dans le cas d'une porte latérale en R0 (exemple RIO 100).

Les poutres sont posées perpendiculairement, soit trois ou quatre poutres circulaires. Les diamètres varient de 15/20 cm (CBO 500) à 25 cm (RIO 100). Posée sur l'extrémité de chacune des sablières, une première maille fait office de tirant grâce aux encoches à mi-bois et s'emboîte sur les sablières inférieures (de plancher) et les sablières supérieures (fig. 8). Au début du XX^e siècle, on constate l'emploi de poutres brutes non écorcées dans le plafond de la grange CBO 500. Dans les siècles antérieurs (XVI^e, XVII^e et XVIII^e siècles), les bois sont systématiquement écorcés.

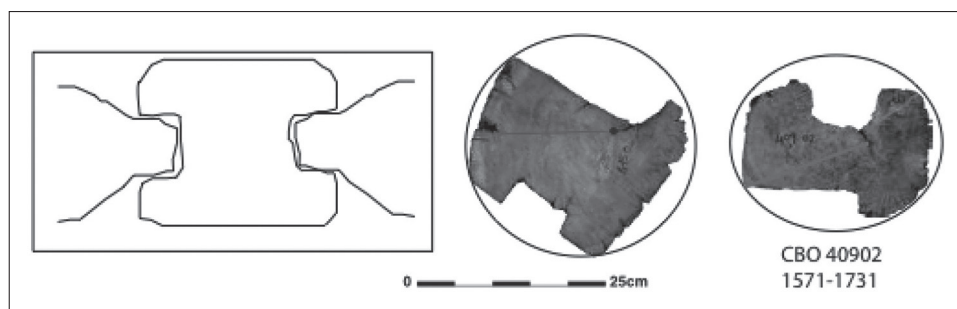
De longueur et de diamètre similaires aux sablières de plancher, ces pièces enserrant les poutres. L'une de ces deux sablières forme également un seuil à l'ouverture latérale du niveau R+1 : deux encoches sont aménagées pour placer les deux chambranles.

Les mailles inférieures des pignons (jusqu'au départ de la pente de toiture) couvrent la largeur des bâtiments et sont emboîtées par des encoches à mi-bois avec les mailles des murs gouttereaux. Ces pièces sont de section semi-circulaire ou grossièrement rectangulaire et mesurent entre



◀ Fig. 9 – Section de mailles des XV^e et XVIII^e siècles (DAO et clichés : V. Labbas).

▼ Fig. 10 – Sections de chambranles bouvetés (DAO et clichés : V. Labbas).



20 et 30 cm de diamètre ou d'arête. Les mailles des gouttereaux sont de section et de calibre similaires aux mailles inférieures des pignons. Elles sont emboîtées à chaque angle avec les mailles de pignon par des doubles encoches similaires à mi-bois. À partir du milieu du XVII^e siècle, on constate dans les bâtiments CBO 400 et 500 des adaptations lors des remontages avec des mailles plus fines de 15 à 17 cm en moyenne (fig. 9).

Sur l'un des gouttereaux, deux rangées de mailles couvrent, chacune, environ la moitié de la longueur et sont glissées dans un poteau vertical rainuré de part et d'autre (fig. 2, à gauche et fig. 10).

Le gouttereau opposé est systématiquement ouvert d'une porte d'accès en R+1. Deux rangées de mailles sont glissées, selon le même principe dans les deux chambranles, bouvetés chacun sur un côté. Une troisième sablière est placée entre les dernières mailles des gouttereaux et le départ de la toiture. Ces pièces assurent le maintien des pignons grâce aux doubles encoches à chaque extrémité. L'une de ces deux sablières forme également le linteau de la porte, les chambranles y sont emboîtés de manière analogue.

Les mailles supérieures des pignons sont grossièrement carrées ou circulaires et mesurent 15 à 20 cm de diamètre ou d'arête en moyenne. Ces dimensions plus restreintes s'expliquent par une volonté d'alléger l'élévation mais également pour être en adéquation avec les pannes secondaires, de dimensions équivalentes. Ces pannes sont circulaires, écor-

cées et couvrent la longueur des granges ou la moitié de la longueur (et s'emboîtent sur les mailles du refend).

Avec le système de triple sablière, le refend-formant-pignon constitue une caractéristique de ces granges. Si les mailles qui le composent sont similaires aux parties hautes des murs pignons (15 à 22 cm de section), la maille inférieure, circulaire ou grossièrement carrée, mesure 27 à 28 cm de section en moyenne. Ce bois est emboîté à l'aplomb des poteaux verticaux, sur les sablières de toiture. La charge importante assure une stabilité structurelle (fig. 8).

Les bardeaux constituent systématiquement la couverture. L'épaisseur constatée est de 3 cm et la largeur est comprise entre 22 et 25 cm. Les longueurs varient de 50 cm à 2 m. Les bardeaux à deux rainures verticales existent dans les granges de Bousieyas. Il s'agit, cependant, le plus souvent de simples planches sans rainures.

À Bousieyas, les plus anciens sont datés de la première moitié du XVIII^e siècle (CBO 600) et les plus récents de la seconde moitié du XIX^e siècle (CBO 400).

3.2.3. Le remploi des pièces de bois

Si chaque remontage constitue un remploi conséquent en matériaux des phases antérieures (ce que démontrent la dendrochronologie et l'observation des assemblages), on remarque des remplois spécifiques de certaines pièces de bois.



Fig. 11 – Cliché détail du remploi dans CBO 500 (cliché : V. Labbas).

Les mailles constituent la plus grande part des élévations et sont les pièces les plus réemployées. Parmi les sept bâtiments étudiés, on retrouve le remploi de mailles sur toutes les phases de remontage.

Les sablières sont plus fines que les mailles (ces pièces ne dépassent pas 20 à 22 cm de diamètre ou d'arête) et leur longueur provoque leur fragilité. On retrouve des sablières retaillées et réemployées en mailles empilées dans les granges RIO 100, CBO 500 et CAM 100 (toutes les trois sont en élévation). Les encoches caractéristiques permettent d'y emboîter des chambranles ou des poteaux rainurés (fig. 11).

Les bardeaux, pièces fines (3 cm d'épaisseur) et soumises aux intempéries, s'avèrent peu, voire pas, réemployés.

Le volume global de bois a été calculé pour les bâtiments RIO 100 et CBO 500. Le premier nécessite 12,8 m³ de bois et la seconde 15,5 m³¹⁸. Traduit en nombre d'arbres, cela donne un nombre minimum de 8,1 arbres pour RIO 100 et 9,7 pour CBO 500. Les granges CBO 400 et 600, bien qu'effondrées, présentent des dimensions comparables à CBO 500, on peut estimer que leur volume en bois est analogue tout comme le nombre d'arbres minimum utilisés. Cependant, ce cubage correspond au premier chantier de construction, il n'est, dans l'état, pas possible d'estimer le nombre d'arbres coupés à chaque chantier de reconstruction.

4. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'étude du site de Bousieyas, conduite sur sept granges apporte des réponses dendrochronologiques et archéologiques, sur l'ancienneté des bâtiments, sur les rythmes de construction et reconstruction, sur les techniques de construction et les usages du bois.

Les 145 dates fournies par l'analyse dendrochronologique permettent la construction d'une chronologie moyenne de 936 ans couvrant la période 991-1927. Cette chronologie peut aujourd'hui servir de référence pour la datation de nouveaux bois mais aussi être exploitée pour des questions écologiques et les relations hommes-climat.

Les granges de Bousieyas sont caractéristiques d'une période qui s'étend de la première moitié du XV^e siècle jusqu'au début du XX^e siècle (1927). Deux bois datés du XII^e siècle conduisent à s'interroger sur l'occupation de ce hameau de haute montagne dont les mentions dans les textes n'apparaissent qu'à partir de la fin du XVI^e siècle. Les « arbres dont on fait le bois ¹⁹ » commencent leur croissance à la fin du X^e siècle dans les forêts de ce secteur du Mercantour. Ces vieux peuplements de mélèzes sont abattus et employés du XII^e siècle jusqu'au début du XVII^e siècle.

Les hommes, qui occupent ce territoire et le construisent, bâtissent des granges dans lesquelles le bétail est parqué de plain-pied et le foin entreposé à l'étage. Les techniques, si rudimentaires soient-elles, restent inchangées de la fin du Moyen Âge jusqu'au milieu du XX^e siècle. Ce bâti n'en est pas moins synonyme de dynamisme au regard de ces rythmes de reconstruction, manifestement tous les 20 à 30 ans sur une période d'activité de plus de cinq siècles.

Les cartes du XVIII^e siècle (Bourcet d'Arçon, Cassini ; mappe Sarde) et les plans cadastraux napoléoniens du XIX^e siècle, situent précisément les zones boisées dans le secteur de Bousieyas. Ces zones, mentionnées en tant que « bois », sont toutes situées sur l'ubac de Bousieyas jusqu'au Pra et il est probable que les arbres proviennent de ces secteurs proches.

Cette étude engendre plusieurs questions. La question du parcours du bois revient à se demander si les arbres sont débités dans une scierie ou bien par des scieurs de long. Les scieries hydrauliques sont mentionnées depuis la fin du XIII^e siècle dans le massif du Mercantour, précisément à Colmars²⁰ et la présence d'un torrent (la Tinée) permettrait l'installation d'un tel dispositif. Par ailleurs les scieurs de long peuvent équarrir une grume et laissent une marque caractéristique lors du retournement du bois sur la chèvre²¹. Cependant l'état des mailles, laissées à l'air libre n'offre pas la possibilité d'observer ces traces.

¹⁹. Suméra 2015.

²⁰. Sclafert 1959, 40 ; Nicolas 2007, 65.

²¹. Bernardi 2007, 80.

¹⁸. Labbas 2016, 123.

On peut néanmoins proposer des provenances spécifiques suivant les pièces débitées. Les bois sont majoritairement débités à la scie de long. Si les forêts ressources sont proches, on peut s'interroger sur un débitage dans les forêts ou à pied d'œuvre. Tous les bois de section circulaire proviennent vraisemblablement des secteurs forestiers, d'où, après écorçage et débitage en tronçons transportables, ils sont acheminés directement vers le chantier de construction.

Cette question nous renvoie au débitage d'un arbre pour en faire du bois de construction. Les bardeaux pouvaient être débités entre le premier et le douzième mètre d'une grume de mélèze, autrement dit, jusqu'à ce que le diamètre du tronc soit inférieur à 25 cm. Dans le cas des bardeaux de 22 cm de large, il est possible de les débiter sur 2 m supplémentaires soit une grume de 14 m.

Les mailles, les poutres et les sablières sont nécessairement extraites des parties basses et médianes des troncs (jusqu'à ce que ceux-ci atteignent un diamètre de 20 cm). Les pannes secondaires, de section circulaire, sont débitées dans les parties hautes (entre 18 et 12 cm de diamètre). À l'instar des bois non écorcés, il est possible qu'une partie des pannes provienne des têtes des arbres, coupées en forêt et laissées par les bûcherons²². Il convient cependant de rappeler qu'il s'agit d'estimations effectuées sur la base d'un mélèze « modèle », des arbres de tailles différentes ont parfaitement pu être exploités.

La question d'une occupation antérieure au XV^e siècle à Bousieyas

Les questions que l'on peut se poser maintenant sont relatives aux modalités d'occupation d'un hameau implanté à 2000 m. d'altitude durant le Petit Âge Glaciaire et potentiellement avant. Le climat globalement défavorable des XVII^e et XVIII^e siècles²³ rime également avec une pleine occupation humaine du territoire. Les données démographiques parlent d'elles-mêmes : la reprise démographique, consécutive aux crises démographiques, économiques et politiques du XIV^e siècle, s'amorce au milieu du XV^e siècle²⁴. Y avait-il des hommes à Bousieyas avant le XV^e siècle ? Il reste encore de nombreux bois à dater dans les bâtiments de Bousieyas, une part importante de l'histoire du site reste à donc à découvrir.

Les questionnements relatifs à l'ancienne chapelle et à son charnier attenant, tous deux disparus, mériteraient une attention archéologique particulière. S'il est possible qu'une paroisse soit créée à Bousieyas à l'époque moderne, il est également envisageable qu'un édifice religieux préexistant matérialise une occupation permanente antérieure à la chronologie proposée dans la littérature²⁵, autrement dit, à la fin du XVI^e siècle. En l'attente d'une fouille archéologique, les datations dendrochronologiques attesteraient d'une occupation agropastorale au XV^e siècle, préexistante d'un siècle et demi à l'ancrage permanent des populations.

Bibliographie

- Badan, Congés, Brun 1996 :** O. Badan, G. Congés, J.-P. Brun, Les bergeries romaines de la Crau d'Arles. Les origines de la transhumance en Provence, *Gallia* 52, 1996, 263-310.
- Baratier 1961 :** E. Baratier, *La démographie provençale du XIII^e siècle XVI^e siècle (avec chiffre de comparaison pour le XVIII^e siècle)*, École Pratique des Hautes Études, VI^e section, Centre de Recherche historiques, Paris, S.E.V.P.E.N, 1961, 257 p.
- Bernardi 2007 :** P. Bernardi, Le commerce du bois, in : P. Bernardi (dir.), *Forêts alpines et charpente de méditerranée*, Éditions du Fournel, 2007, 79-88.
- Labbas 2016 :** V. Labbas, *Archéologie et dendrochronologie du bâti sub-alpin dans le massif du Mercantour durant le second millénaire de notre ère*, Thèse de doctorat de l'Université Aix-Marseille sous la direction de Philippe Pergola et Jean-Louis Edouard, 2016, 1492 p.
- Lambert 2005 :** G.-N. Lambert, La dendrochronologie, mémoire de l'arbre, in : A. Ferdière (dir.), *La datation en laboratoire*, Éditions Errance, Collection « Archéologiques », réédition de 1998, 2005, 19-75.
- Lambert, Durost 2005 :** G.-N. Lambert, S. Durost, *Nouvelles recherches dendrochronologiques sur le site archéologique et médiéval de Colletière à Charavines, au bord du Lac de Paladru (37, Isère, France)*, Publication du Laboratoire de Chrono-Écologie, CNRS, Université de Franche-Comté, Besançon, 2005, 16. (http://www.academia.edu/3209163/Nouvelles_recherches_dendrochronologiques_sur_le_site_archeologique_et_medieval_de_Colletiere_a_Charavines_au_bord_du_Lac_de_Paladru_37_Isere_France)
- Lambert 2006 :** G.-N. Lambert, *Dendrochronologie, histoire et archéologie, modélisation du temps. Le logiciel Dendron II et le projet Historik Oaks, V1 et V2*, Habilitation à diriger les recherches, Besançon, 2006, 152 p. et 206 p.
- Le Roy Ladurie 2004 :** E. Le Roy Ladurie, *Histoire humaine et comparée du climat*, T.1, *Canicules et glaciers XIII^e-XVIII^e siècles*, Fayard, 2004, 739 p.
- Edouard 2010a :** J.-L. Edouard, Datation dendrochronologique du bâti traditionnel et occupation humaine dans les Alpes françaises du sud au cours du dernier millénaire, in : L. Astrade, C. Miramont (dir.), *Panorama de la dendrochronologie en France* : actes

22. Nicolas 2007, 63.

23. Le Roy Ladurie 2004, 10 et 11.

24. Baratier 1961, Pécout *et al.* 2008.

25. Estadiou 1999.

du colloque 8, 9 et 10 octobre 2009, Digne-les-Bains, Alpes-de-Haute-Provence», collection Edytem, n° 11, 2010, 169-176.

Edouard 2010b : J.-L. Edouard, Longue chronologie de cernes du mélèze et occupation humaine depuis plus de mille ans dans la vallée de la Clarée (Briançonnais, Alpes françaises), in: S. Tzortzis, X. Delestre (dir.), *Archéologie de la montagne européenne*: actes de la table ronde internationale de Gap, 29 septembre-1^{er} octobre 2008, Bibliothèque d'archéologie méditerranéenne et africaine, 4, Errance, 2010, 325-333.

Estadieu 1999 : G. Estadieu, *Saint-Dalmas-le-Selvage*, Serre Éditeur, Nice, 1999, 144 p.

Mallé 1999 : M.-P. Mallé, *L'habitat du Nord des Hautes-Alpes*, Patrimoine de Provence, Cahier du Patrimoine, 1999, 450 p.

Nicolas 2007 : N. Nicolas, Abattage et débit, in: P. Bernardi (dir.), *Forêts alpines et charpente de méditerranée*. Éditions du Fournel, 2007, 62-68.

Pécout et al. 2008 : T. Pécout, G. Butaud, M. Bouiron, P. Jansen, A. Venturini, *L'enquête générale de Leopardo da Foligno en Provence orientale (avril-juin 1333)*, Éditions du Comité des travaux historiques et scientifiques, Paris, 2008, 700 p.

Raybaut, Pérréard 1982 : P. Raybaut M. Pérréard, *L'architecture rurale française: Comté de Nice*, Berger-Levrault, 1982, 259 p.

Serre 1978 : F. Serre, The dendrochronological value of European larch (*Larix Decidua* Mill.) in the French Maritime Alps, *Tree-Ring Bulletin*, 38, 1979, 25-34.

Suméra 2015 : F. Suméra, *Signature des occupations protohistoriques et antiques dans l'évolution du paysage et dans la construction de la géographie humaine du massif du Mercantour (Alpes-Maritimes)*, Thèse de doctorat sous la direction de Dominique Garcia soutenue le 27 mars 2015 à l'Université Aix-Marseille, 456 p.

Sclafert 1959 : T. Sclafert, *Cultures en Haute Provence. Déboisements et pâturages au Moyen-Âge*, Paris, SEVPEN, 1959, 271 p.

Schweingruber 1988 : F. H. Schweingruber, *Tree rings. Basics and Applications of dendrochronology*, De Reidel, Publishing Company, 1988, 276 p.

Schweingruber 1996 : F. H. Schweingruber, *Tree rings and environment. Dendroecology. Birmensdorf, Swiss federal institute for forest, snow and landscape research*, Berne, Stuttgart, Vienna, Haupt, 1996, 609 p.

Au moment de la finalisation de la mise en page de ces actes est intervenu, le 15 avril 2019, le dramatique incendie de la cathédrale Notre-Dame de Paris. Le monde entier a été saisi par cette perte patrimoniale et historique majeure. Au-delà de la silhouette de la cathédrale, ce sont, sous nos yeux, tous les éléments de charpenterie qui ont à tout jamais disparu. Fort heureusement, les travaux menés dans les années 1990 par nos collègues Vincent Bernard, Virginie Chevrier, Patrick Hoffsummer et Georges-Noël Lambert nous permettent de conserver aujourd'hui de précieux témoignages chronologiques pour l'histoire de ce monument insigne. L'intégration dans ce volume d'une partie de ces données s'imposait tout naturellement pour porter à la connaissance de la communauté scientifique ces informations, mais aussi pour montrer toute l'importance et l'urgence de mettre en œuvre un programme de datations systématiques des monuments les plus emblématiques du territoire national.

En constituant cette base, les dendrochronologues et les archéologues consolideront encore nos connaissances sur l'histoire architecturale et sur l'environnement.

Xavier Delestre
Conservateur régional de l'archéologie

Note sur l'étude dendrochronologique de la charpente de Notre-Dame de Paris

*Georges-Noël Lambert, Patrick Hoffsummer,
Vincent Bernard, Virginie Chevrier*

Trois campagnes de prélèvements dendrochronologiques ont eu lieu en 1991, 1994 et 1996. Environ 70 prélèvements ont été réalisés par les dendrochronologues Vincent Bernard (Rennes, UMR 6566 CReAAH), Patrick Hoffsummer (Université de Liège) et Georges-Noël Lambert (Chercheur honoraire du CNRS et Collaborateur de l'université de Liège). La campagne de 1994 a donné lieu au DEA de Virginie Chevrier (Chevrier 1995), soutenu dans l'ancien laboratoire Chrono-écologie (Besançon, UMR 6565, actuellement Chrono-environnement, UMR 6249). Les dates ont été communiquées dans au moins un rapport envoyé à la mairie de Paris.

La moyenne des âges cambiaux des arbres employés est autour de 100 ans, maximum 120 ans.

Quarante-neuf échantillons en chêne datent de la fin du XI^e siècle (date d'abattage la plus ancienne en 1156, cambium conservé) au XVIII^e siècle. La majorité de la charpente datait du XIII^e siècle (avant 1226), à l'exception de :

- la flèche de Viollet-le-Duc,
- un lot de remplois du XII^e siècle, regroupés notamment vers la façade ouest,
- une reprise XIV^e siècle, autour de 1360,
- une réparation au début du XVIII^e siècle, autour de 1725.

Ces données dendrochronologiques sont en train d'être mises à jour et ont été transmises à plusieurs dendrochronologues français afin d'assurer leur sauvegarde. En effet, concernant l'ensemble des laboratoires francophones, faute d'une organisation adéquate de la mise en commun des données dendrochronologiques, le risque de disparition à court terme de dizaines d'années de travail est très grand.

Par ailleurs, le DEA de Virginie Chevrier contient un relevé exhaustif des marques de charpentier qui sont d'un réel intérêt pour identifier la ou les filières d'ouvriers ou compagnons qui ont monté cette charpente. Ce document est en cours de numérisation.

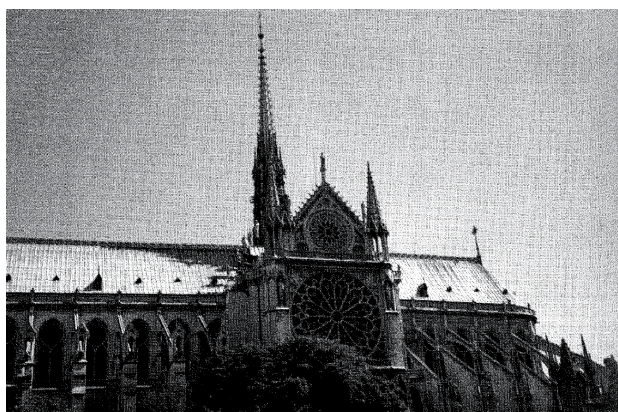


Fig. 1 – Cathédrale Notre-Dame de Paris. La nef, la croisée et le cœur développent presque 100 m de charpente. Les travaux XIII^e et XIX^e siècles, historiquement documentés, ont été délimités avec précision par la dendrochronologie. Des réparations XIV^e et XVIII^e ont également été identifiées (photo : G. Lambert, 1994).



Fig. 3 – Virginie Chevrier traçant à main levée un croquis de situation des échantillons prélevés dans la charpente de Notre-Dame de Paris. Les notes des croquis sont ensuite reportées sur les plans de l'architecte (photo : G. Lambert, 1993).

Les données acquises et résumées ci dessus ont été intégrées dans le *Corpus tectorum* des charpentes du nord de la France et de Belgique, publié par les Éditions du patrimoine en 2002 (Hoffsummer 2002). Les charpentes de Notre-Dame ont été intégrées dans l'inventaire des toitures de cet ouvrage, décliné en groupes typologiques du XI^e au XIX^e siècle. Les toitures de Notre-Dame y tiennent une place importante parmi les charpentes à chevrons formant ferme divisées en travée. Elles présentent la spécificité d'avoir des fermes principales dont l'entrait est tenu par un système de suspension, caractéristique de l'inventivité des charpentiers du XIII^e siècle, système que l'on retrouve

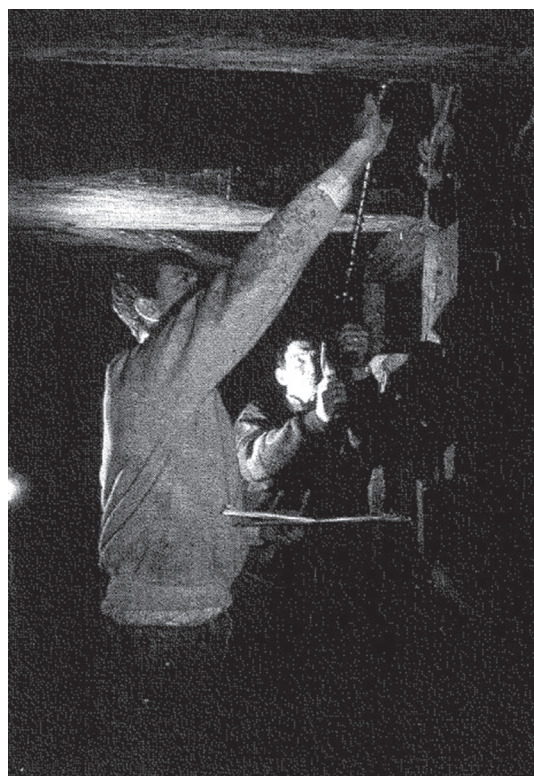


Fig. 2 – Patrick Hoffsummer (premier plan) et Georges Lambert prélevant un échantillon dans la charpente de Notre-Dame de Paris (photo : C. Huyghens, 1991).

notamment dans les cathédrales de Meaux et d'Auxerre. Leur disparition le 15 avril 2019 est donc une véritable catastrophe pour le patrimoine de l'humanité.

La charpente du chœur de la cathédrale Notre-Dame de Paris n'était pas la charpente primitive. La surélévation des murs au niveau de l'abside et du chœur, qui aurait été exécutée, d'après Viollet-le-Duc, après l'incendie d'une première phase, autorisa le placement d'entrants à la base de la charpente au lieu d'entrants retroussés au-dessus d'une voûte dépassant des murs gouttereaux. La charpente analysée datait donc d'une deuxième étape du chantier, vers

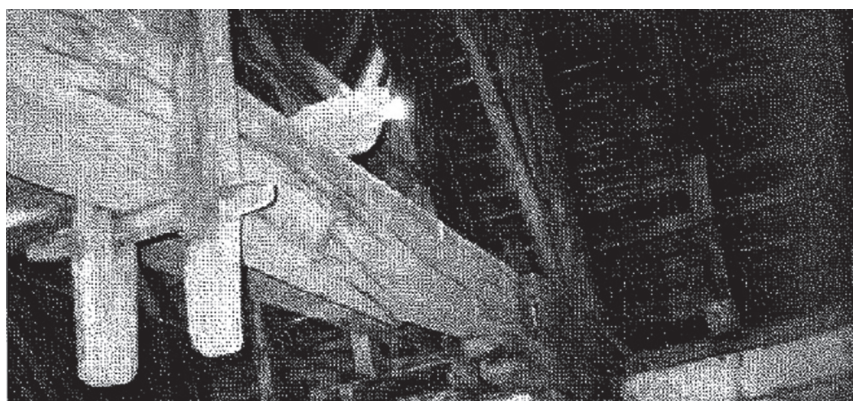


Fig. 4 – Ferme principale de la nef (photo: G. Lambert, 1994).



◄ Fig. 5 – Poinçon latéral et les mortaises de l'assemblage claveté «à étrier» dont la clavette a disparu (photo: G. Lambert, 1994).

▼ Fig. 6 – Clavetage d'un étrier latéral, détail (photo: G. Lambert, 1994).



1220, avec des bois provenant d'une phase plus ancienne. De nombreuses mortaises, encore visibles et inutilisées dans la nouvelle disposition, permettaient d'identifier des remplois datés autour de 1160 et 1170, ce qui n'est pas très éloigné de la date proposée pour la pose de la première pierre de l'édifice. Quoiqu'il en soit, le chœur fut consacré en 1182 et la date de l'agrandissement des fenêtres hautes, peu après 1220, correspondrait à celle de la modification de la toiture qui a disparu en avril 2019.

Au lendemain de la catastrophe, les bois brûlés accumulés dans les décombres conservent un potentiel scientifique

très important, notamment pour développer davantage la recherche en dendrochronologie. On peut se réjouir que la campagne de 1991-1996, liée à une activité de recherche dans un cadre académique, avait permis de récolter 70 échantillons alors qu'une simple campagne «de service» se serait contentée de moins. Le potentiel de tels édifices, si on veut approfondir certaines questions à propos de l'évolution complexe d'un chantier médiéval, ou bien tirer des cernes de croissance des informations en dendroclimatologie, est toutefois bien supérieur. Les campagnes récentes à Beauvais ou à Bourges ont permis de récolter entre 150 et 300 bois. En temps «normal» on se serait satisfait,



Fig. 7 – Charpente à chevrons formant fermes, à arbalétriers monoxyles, où alternent fermes à entrait et fermes à entrait retroussé, contreventées par des liernes ou des filières, renforcées de sous-arbalétriers d'inclinaison plus douce que les versants, éventuellement équipées de suspentes (photo : G. Lambert, 1994).

à Notre-Dame, des 70 premiers échantillons comptant sur la possibilité de retourner dans la charpente pour des études plus approfondies, comme c'est le cas à propos de toutes les toitures qui constituent une forme de réserve précieuse pour la science. La récente catastrophe change brutalement la donne. Sans baisser les bras, il conviendrait d'échantillonner de manière méthodique le matériel encore disponible dans les décombres après l'incendie. Une démarche qu'il faudra susciter avec insistance.

Bibliographie

Chevrier 1995 : V. Chevrier, *La charpente de la cathédrale Notre-Dame de Paris à travers la dendrochronologie*, mémoire de DEA en histoire de l'art et archéologie médiévale, Université Paris IV, 1995, 2 vol.

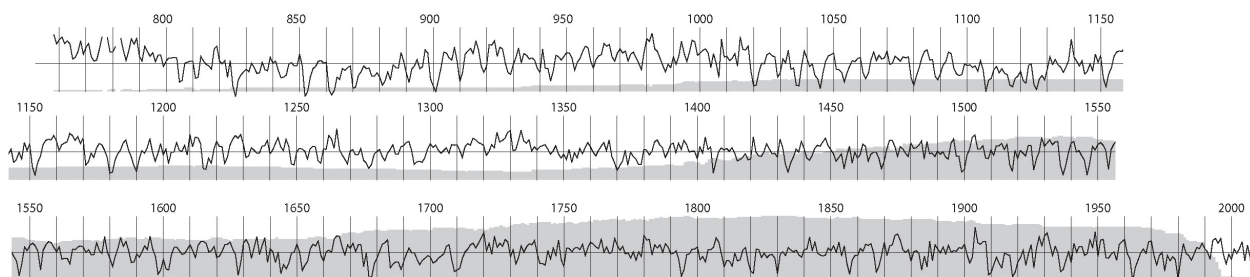
Hoffsummer 2002 : P. Hoffsummer, *Les charpentes du XI^e au XIX^e siècle. Typologie et évolution en France du Nord et en Belgique.*, Paris, Éditions du Patrimoine, Médiathèque de l'Architecture et du Patrimoine, Ministère de la Culture et de la Communication, 2002, 375 p.

État des référentiels dendrochronologiques publics de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur

Mélèze (*Larix decidua* Mill.)

Chronologie de référence du mélèze (*Larix decidua* Mill.), couvrant la période **751-2010** (1260 ans), constituée de 1469 arbres et pièces de bois provenant de 91 sites. En gris, le poids de la courbe, c'est-à-dire le nombre d'arbres par an.

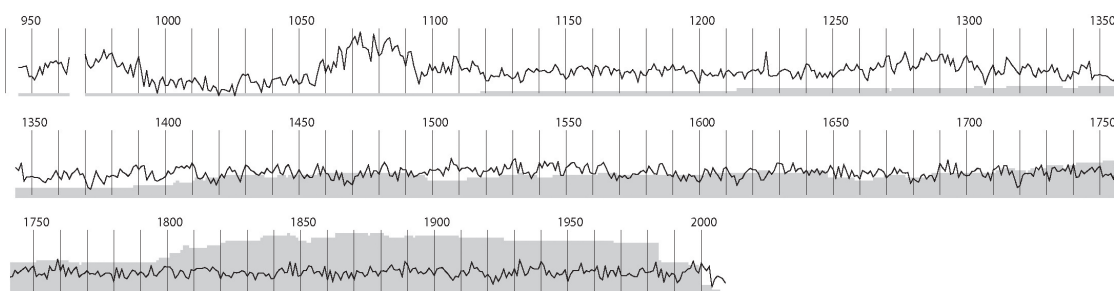
Études de Christelle Belingard, Jean-Louis Edouard, Frédéric Guibal, Vincent Labbas, Lisa Shindo, Mélanie Saulnier, Françoise Serre-Bachet et Lucien Tessier.



Sapin (*Abies alba* Mill.)

Chronologie de référence du sapin (*Abies alba* Mill.), couvrant la période **938-2009** (1072 ans), constituée de 753 arbres et pièces de bois provenant de 44 sites. En gris, le poids de la courbe, c'est-à-dire le nombre d'arbres par an.

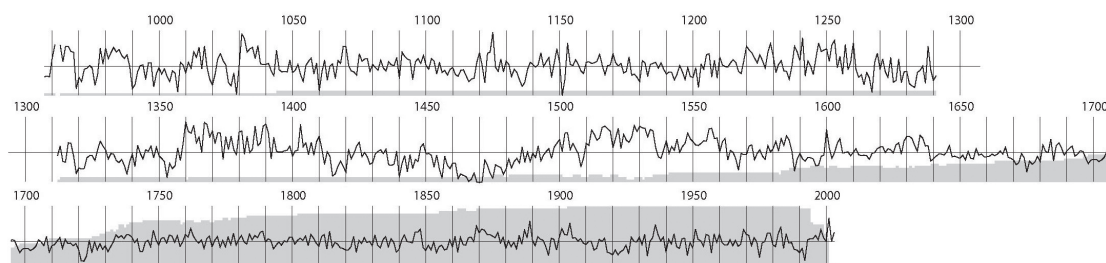
Études de Christelle Belingard, Jean-Louis Edouard, Frédéric Guibal, Vincent Labbas, Lisa Shindo, Mélanie Saulnier, Françoise Serre-Bachet et Lucien Tessier.



Pin cembro (*Pinus cembra* L.)

Chronologie de référence du pin cembro (*Pinus cembra* L.), couvrant les périodes **957-1290 et 1312-2003** (334 et 692 ans), constituée de 426 arbres et pièces de bois provenant de 30 sites. En gris, le poids de la courbe, c'est-à-dire le nombre d'arbres par an.

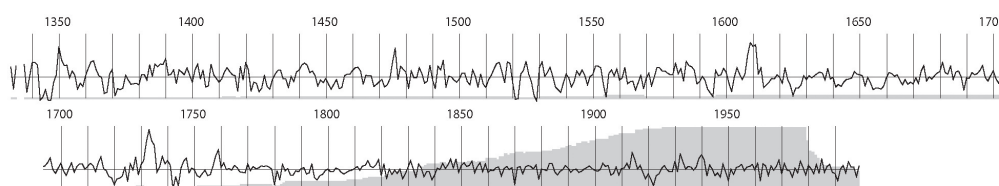
Études de Jean-Louis Edouard, Véronique Petitcolas et Lucien Tessier.



Pin sylvestre (*Pinus sylvestris* L.)

Chronologie de référence du pin sylvestre (*Pinus sylvestris* L.), couvrant la période **1332-1999** (668 ans), constituée de 655 arbres et pièces de bois provenant de 51 sites. En gris, le poids de la courbe, c'est-à-dire le nombre d'arbres par an.

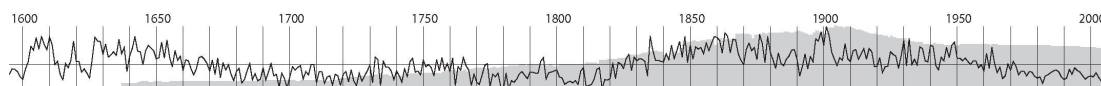
Études de Jean-Louis Edouard, Cécile Miramont et Lucien Tessier.



Chêne (*Quercus* L.)

Chronologie de référence du chêne (*Quercus* L.), couvrant la période **1595-2007** (413 ans), constituée de 71 arbres et souches provenant de la forêt de Cadarache (commune de St-Paul-lès-Durance). En gris, le poids de la courbe, c'est-à-dire le nombre d'arbres par an.

Étude de Christian Dormoy et Christian Orcel (Archéolabs, Le Chatelard, 38840 Saint-Bonnet-de-Chavagne).



Section d'une poutre en mélèze
d'un chalet de Néevache, Hautes-Alpes
(photo: J.-L. Edouard).



Références bibliographiques

Belingard 1996 : C. Belingard, *Étude dendroécologique de la dynamique de la limite supérieure de la forêt dans les Alpes du Sud, en relation avec les facteurs climatiques et anthropiques*. Thèse de doctorat, Université d'Aix-Marseille, 1996, 103 p.

Bonnamour 2008 : G. Bonnamour, avec la coll. de M. Tissot, *Cadarache, La Verrerie*. Rapport final d'opération archéologique préventive, Arkemine SARL, S.R.A. PACA, 86 p., 41 figures, inventaires et annexes.

Edouard 2010a : J.-L. Edouard, Longue chronologie de cernes du mélèze et occupation humaine depuis plus de mille ans dans la vallée de la Clarée (Briançonnais, Alpes françaises), in : S. Tzortzis, X. Delestre (dir.), *Archéologie de la montagne européenne*, Actes de la table ronde internationale de Gap, 29 septembre-1^{er} octobre 2008, Bibliothèque d'archéologie méditerranéenne et africaine, 4, Errance, 2010, 325-333.

Edouard 2010b : J.-L. Edouard, Datation dendrochronologique du bâti traditionnel et occupation humaine dans les Alpes fran-

çaises du sud au cours du dernier millénaire, in : L. Astrade, C. Miramont (dir.), *Panorama de la dendrochronologie en France*, Actes du colloque, 8, 9 et 10 octobre 2009, Digne-les-Bains, Alpes-de-Haute-Provence, collection Edytem, 11, 2010, 169-176

Labbas 2016 : V. Labbas, *Archéologie et dendrochronologie du bâti subalpin dans le massif du Mercantour durant le deuxième millénaire de notre ère*. Thèse de doctorat, Aix-Marseille Université, 2016 (<https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-01972862>)

Saulnier 2012 : M. Saulnier, *Histoire et dynamique de la forêt subalpine dans les Alpes du Sud (Briançonnais, Queyras) : approches pédoanthracologique et dendrochronologique*. Thèse de doctorat, Aix-Marseille Université, 2012.

Serre-Bachet 1986 : F. Serre-Bachet, Une chronologie maîtresse du sapin (*Abies alba* Mill.) du Mont Ventoux. *Dendrochronologia*, 1986, 87-96.

Shindo et al. 2017 : L. Shindo, C. Belingard, J.-L. Edouard, M. Saulnier, A long-term tree-ring chronology over 796 years for silver fir (*Abies alba* Mill.) in southern France. *Annals of Forest Science*, <https://doi.org/10.1007/s13595-017-0664-8>

