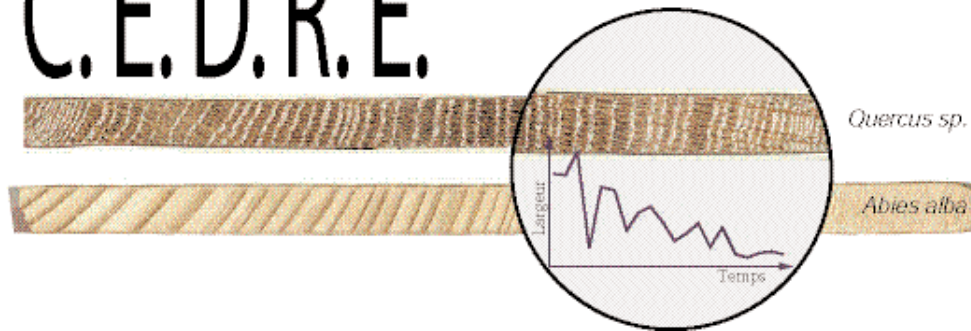


Datation par dendrochronologie : Eglise Notre-Dame Forges-les-Bains (91)



C.E.D.R.E.



Datation par dendrochronologie : Eglise Notre-Dame Forges-les-Bains (91)

Christophe Perrault

12 av. de Chardonnet
25 000 Besançon
03 81 40 19 06
cedre.perrault@wanadoo.fr

Etude financée par Ets Couanon fils

> Datation dendrochronologique

> Principes



Photo 1 (Lavier) : Prélèvement à la tarière électrique

phases de travaux sont supposées dans un édifice, il est indispensable de prévoir des sous-ensembles de prélèvements représentant chaque phase.

L'analyse porte sur la croissance radiale des arbres utilisés (Photo 2). La datation se rapporte donc à leur abattage et non pas directement à leur mise en oeuvre. Les décalages observés entre abattage et emploi restent minimes et permettent parfois de nourrir des hypothèses quant au mode d'approvisionnement du chantier (Hoffsummer, 1989; Wrobel *et al.*, 1993).

Dans des structures détruites, les prélèvements sont effectués par tronçonnage. Dans une charpente en place, des carottes sont extraites à l'aide d'une tarière électrique (Photo 1). Le dommage occasionné reste limité à un orifice de la taille d'un trou de cheville. Les contraintes mécaniques de la poutre ne sont pas modifiées. L'aspect esthétique peut toutefois nécessiter de reboucher le trou, mais cette opération doit respecter certaines contraintes. Les échantillons sont surfacés pour faciliter la mesure des largeurs de cernes (Photo 4). Pour le mobilier, des techniques spécifiques sont utilisées.



Photo 2 : Prélèvement d'un arbre vivant

La datation d'une structure en bois dans un bâtiment, photo 3, ou dans une fouille archéologique, ou de mobilier requiert la collecte d'un ensemble d'échantillons. Le lot constitué doit permettre aux résultats obtenus par des méthodes statistiques d'être représentatifs des structures étudiées. Si plusieurs



Photo 3 : vue de la charpente de la Sainte Chapelle de Riom (63)

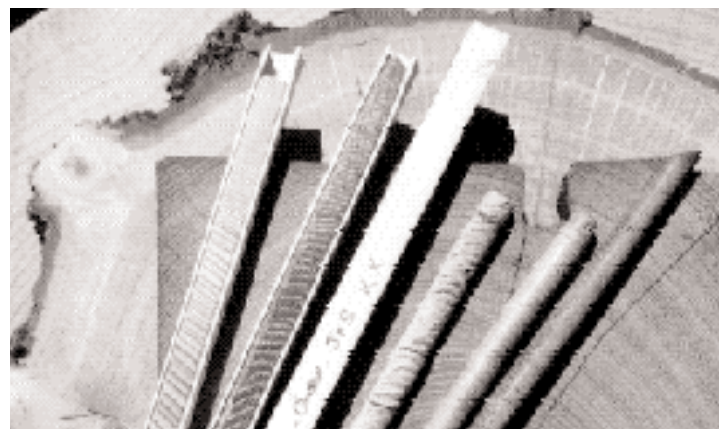


Photo 4 : préparation des échantillons

Etapes de la datation dendrochronologique : Acquisition des données et principe de l'étalonnage

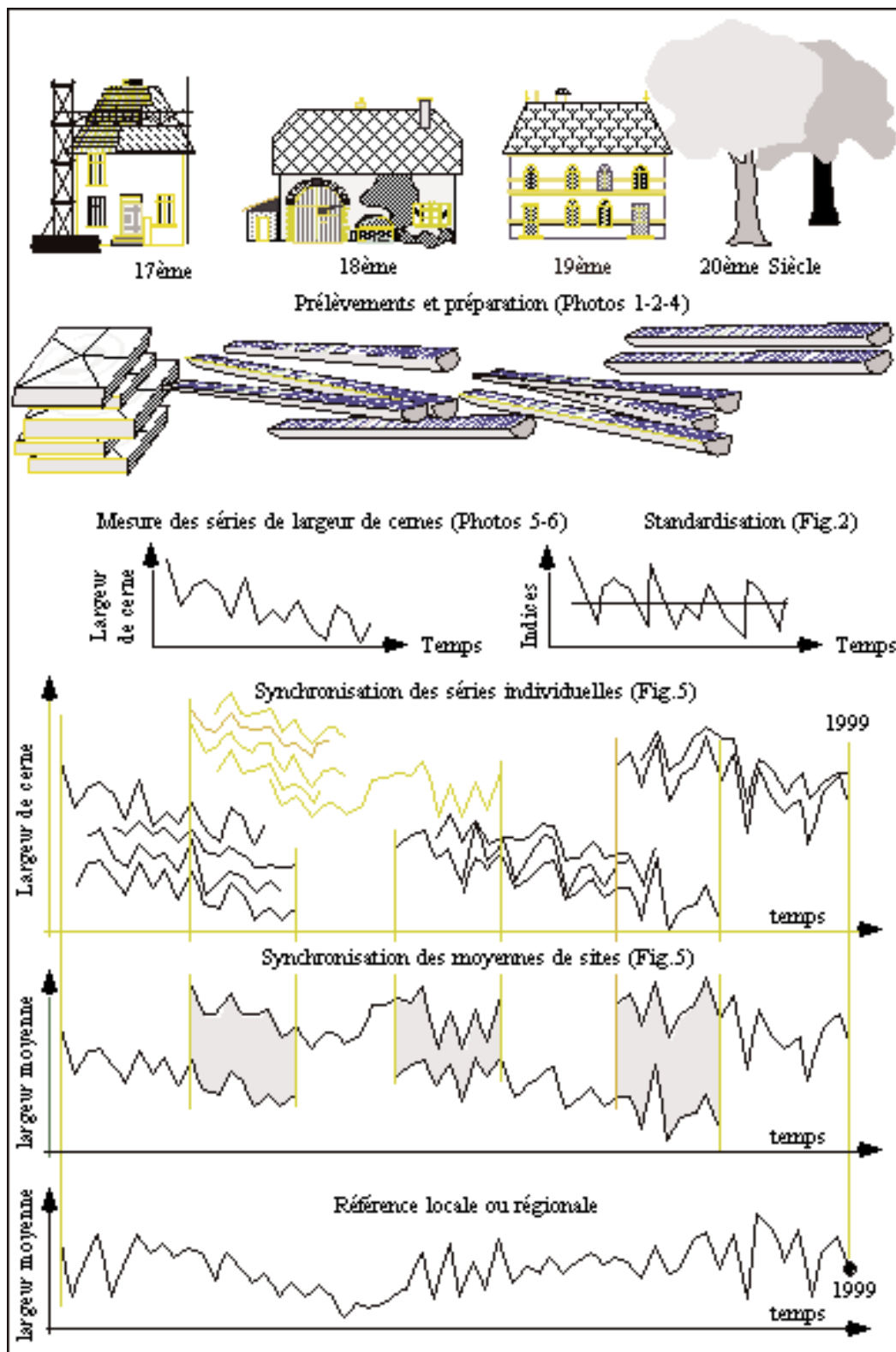


Figure 1 : Principe de l'étalonnage du temps par la dendrochronologie (d'après Lambert, 1998)



Photo 6 : chaîne d'acquisition des données

Les largeurs de cernes sont mesurées en centième de millimètre à l'aide d'un système optique et informatique, puis les séries sont transformées sous forme de graphiques en fonction du temps (Photo 5 et 6).

La datation ne peut pas être effectuée directement avec des largeurs de cernes. Les tests statistiques sont réalisés soit à partir du sens de la variation interannuelle (cf. test de Eckstein Figure 4), soit à partir des données standardisées.

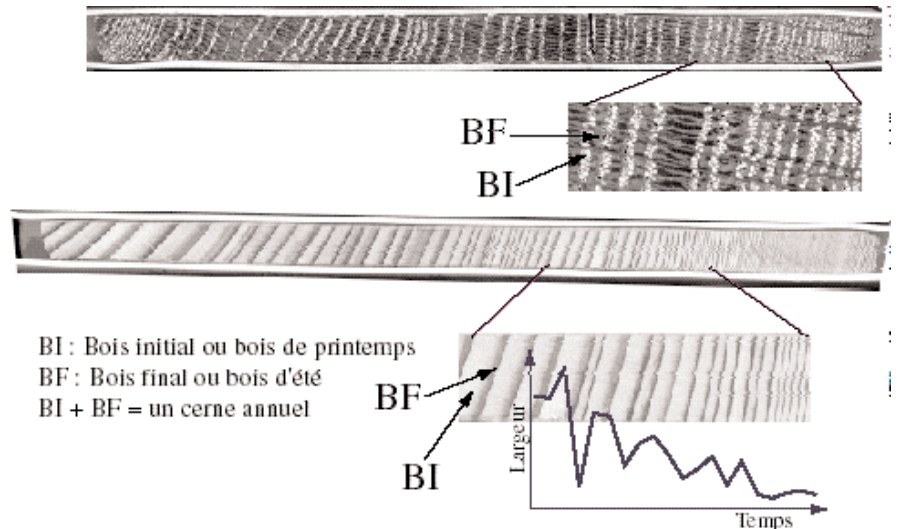


Photo 5 : mesure des largeurs de cerne d'un Chêne et d'un Sapin

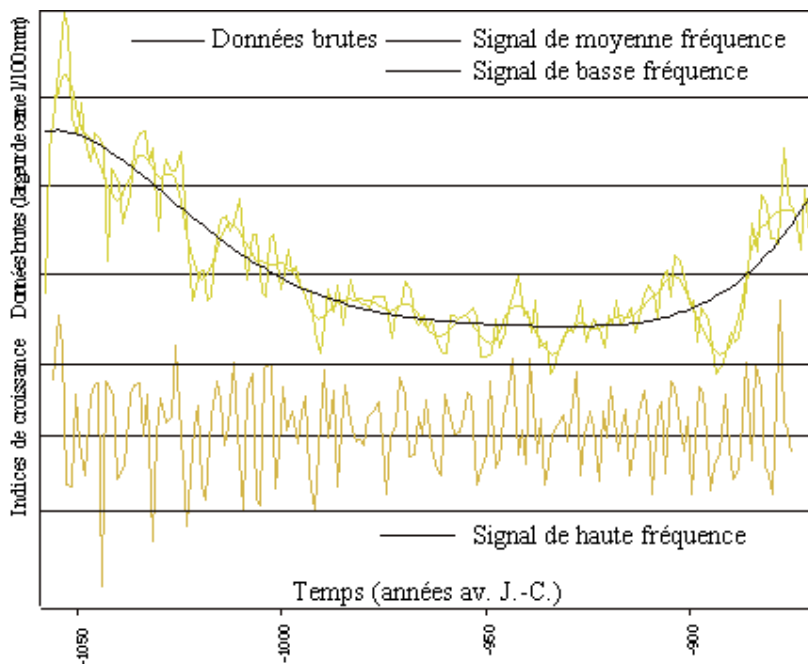


Figure 2 : standardisation des données brutes

L'anatomie du bois est différente selon les espèces. Le cerne annuel du Chêne est composé d'une assise de gros vaisseaux élaborés au printemps (bois initial) et d'une zone essentiellement fibreuse produite en été (bois final). Celui de Sapin est constitué d'un seul type de cellules, les trachéides, dont l'épaisseur et la densité augmentent au cours de l'année (Photo 5).

Les séries de largeurs de cernes présentent des variations de basse, moyenne et haute fréquence (Figure 2). Les premières sont principalement liées au vieillissement de l'arbre. Les variations de l'ordre de 10 à 30 ans ont un déterminisme plus complexe, elles peuvent être liées à des pratiques sylvicoles, aux ravages d'insectes ou au climat... Le signal de haute fréquence est le seul permettant de dater à l'année près. La standardisation a donc comme objectif d'amortir les autres influences, elle transforme les données brutes en séries d'indices stationnaires. En routine, l'indice *Except* (Lambert et Lavier 1992, Guibal *et al.* 1991) est utilisé pour les datations.

Etapes de la datation dendrochronologique : Traitement des données et présentation des résultats

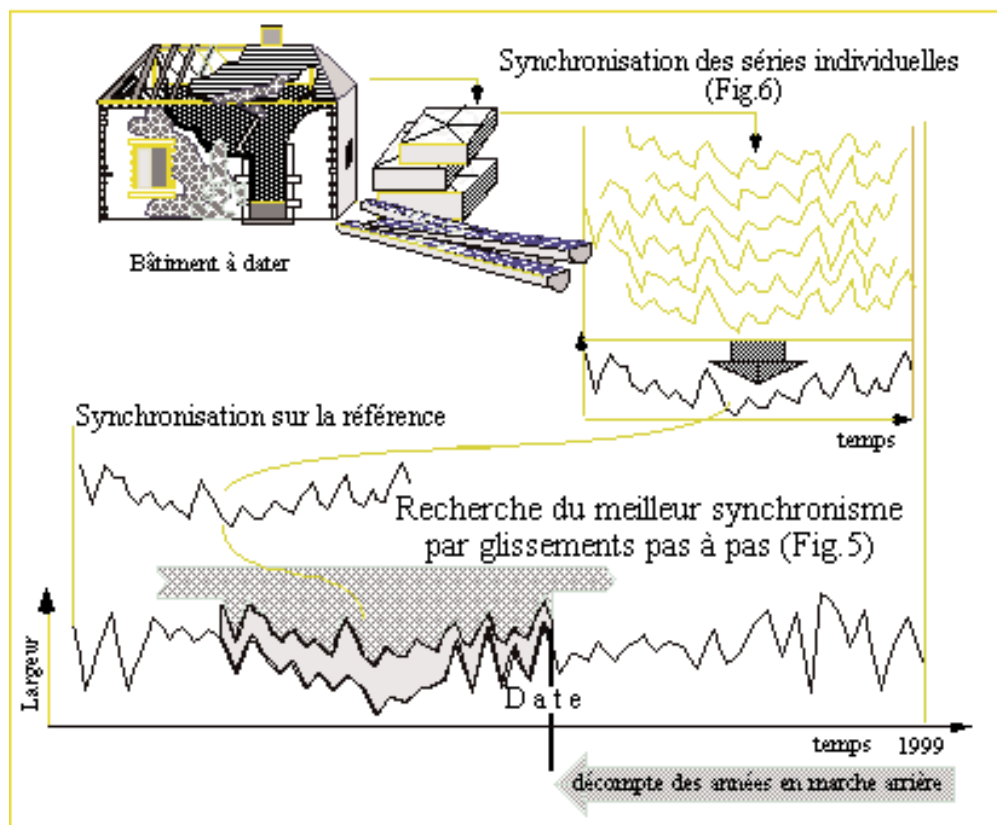
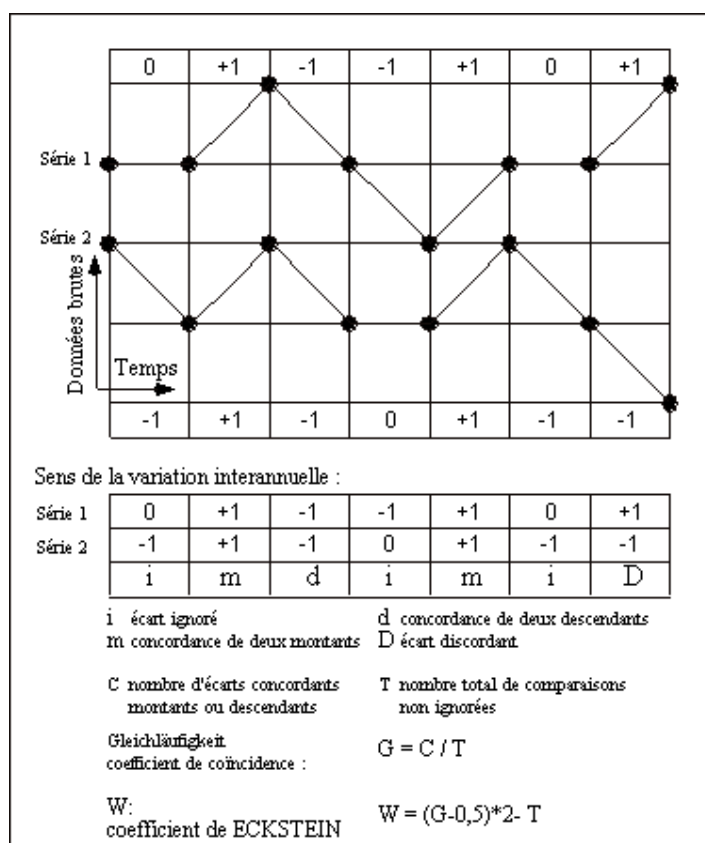
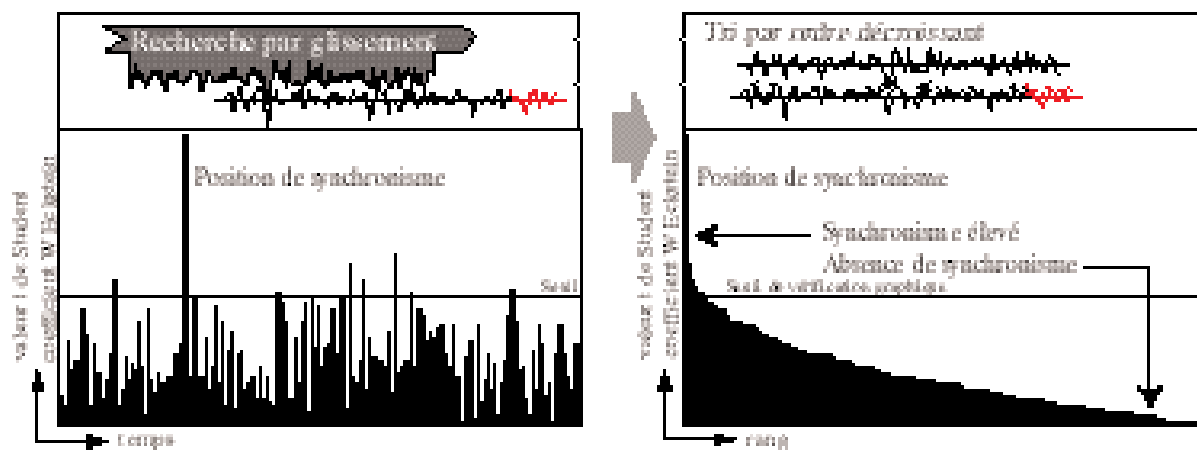


Figure 3 : datation sur un référentiel (d'après Lambert, 1998)



La synchronisation est réalisée par glissement de pas annuel d'une série sur l'autre. Deux tests statistiques permettent de quantifier la qualité du synchronisme pour chaque position. Le test de Eckstein est basé sur la concordance des écarts interannuels (Figure 4). Après standardisation des données, les séries d'indices peuvent être comparées par le coefficient de corrélation dont la fiabilité est estimée par un test de Student. Les meilleures valeurs proposées par ces tests statistiques sont vérifiées graphiquement. La décision de sélectionner une des propositions relève de la responsabilité de l'opérateur. La justification de ce choix est donc indispensable (Figure 5).

Figure 4 : test de Eckstein (1969)



Présentation des résultats

La recherche par glissement produit une série de valeurs parmi lesquelles une seule doit être jugée exceptionnelle pour que la datation soit validée. Le risque associé à cette datation est directement fonction de la dispersion de la valeur choisie par rapport aux autres propositions. Sur la figure de présentation des résultats cette valeur se trouve d'autant rejetée d'un côté de l'axe que le risque d'erreur est faible.

La datation de la moyenne de site est réalisée sur plusieurs références régionales et locales. La comparaison de l'ensemble des résultats permet de définir globalement la qualité de la datation.

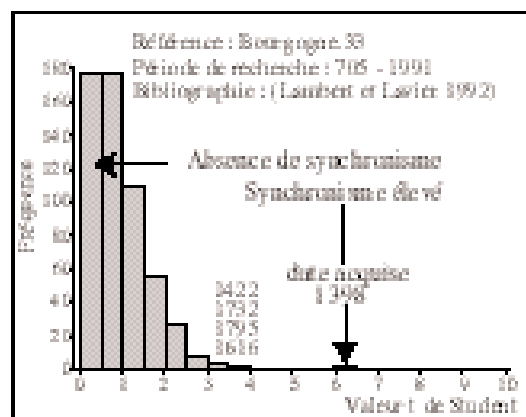


Figure 5

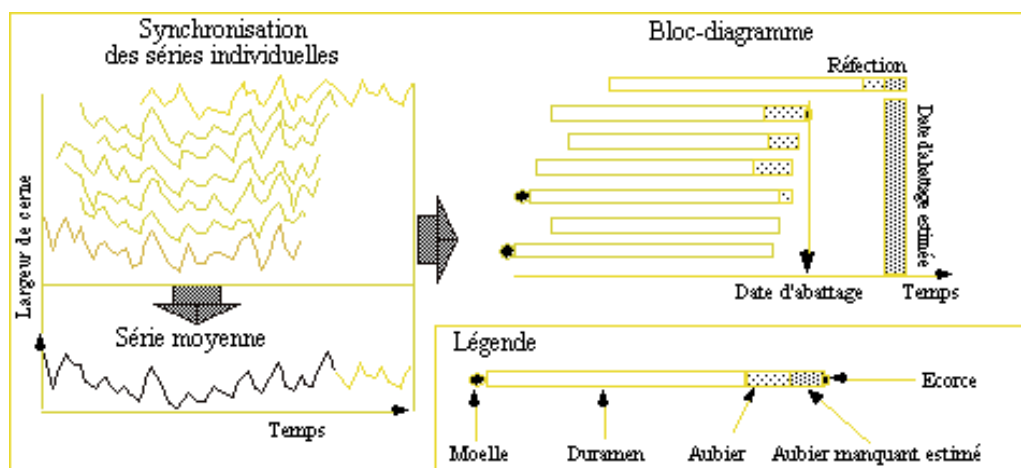


Figure 6 : constitution du bloc - diagramme

Le bloc-diagramme est élaboré à partir des séries individuelles synchronisées. Il permet de visualiser les phases d'abattage des arbres représentés par le lot d'échantillons. La date est précise à l'année près lorsque l'écorce est observable. Si la pièce de bois a été équarrie, une partie des cernes périphériques est détruite. La date d'abattage doit être estimée. Ceci est possible si quelques cernes d'aubier (partie externe du bois assurant le transport de la sève brute) sont conservés. En effet, il est généralement admis que l'aubier des chênes comporte entre 2 et 40 cernes (Lambert 1996). Si la taille a totalement détruit ce tissu, seule une date *post-quem* peut être déterminée.

Matériel analysé

CONTEXTE

L'église Notre-Dame de l'Assomption de la Vierge de Forges-les-Bains (91) est constituée d'un chœur et de son bas-côté sud, d'une nef comprenant deux collatéraux séparés par des arcs légèrement brisés du XIII^e siècle (photo 1) et d'un clocher porté par la travée orientale du collatéral sud.

Les 2 collatéraux nord et sud sont voûtés en anse de panier (photo 1). Le premier est coiffé d'une toiture en bâtière (grand comble), alors que le second est couvert par 4 toitures indépendantes à 2 pans, perpendiculaires à celle du grand comble nord orienté est-ouest (photo 2).



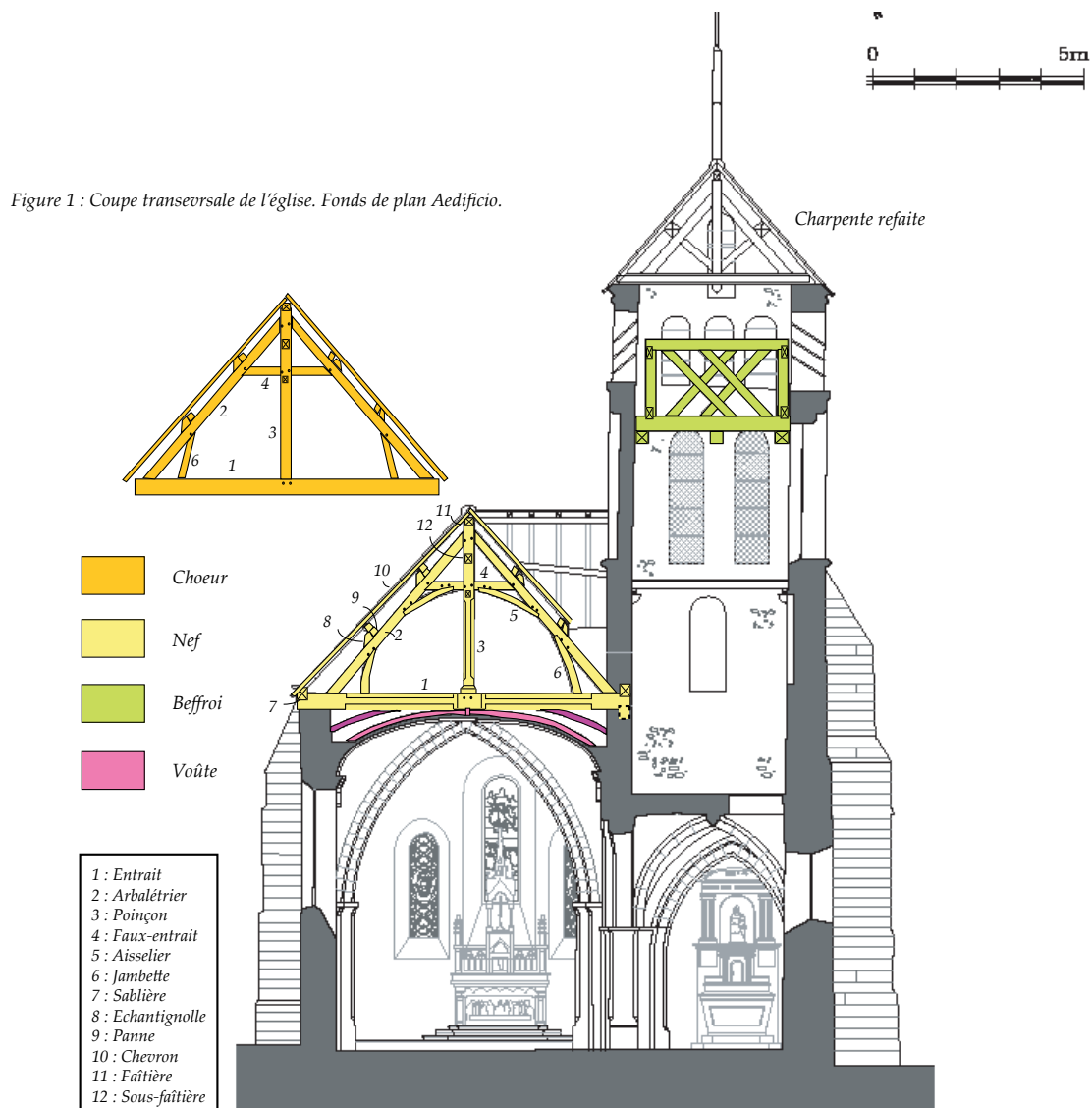
Photo 1 : Vue des deux collatéraux de la nef, depuis le nord et vers l'ouest.



Photo 2 : Toitures du collatéral sud, à l'ouest du clocher.



Photo 3 : Vue de la charpente du collatéral nord, vers l'est.



La charpente de la nef - collatéral nord

La charpente du collatéral nord (photo 3) est à fermes et à pannes, en chênes. Elle comprend 6 fermes constituées d'un entrait, 2 arbalétriers avec échelle de perroquet (orifices traversants à intervalles réguliers pour des barreaux), un poinçon, 2 jambettes, 2 aisseliers et un faux-entrait (figure 1).

Les assemblages sont à tenon-mortaise. Les jambettes et les aisseliers sont assemblés dans un embrèvement des arbalétriers et des faux-entraits.

Ces 6 fermes sont notées arbitrairement F1 à F6, d'ouest en est. Bien qu'elles soient morphologiquement similaires, elles peuvent être regroupées en 2 catégories (la première de F1 à F4 et la seconde regroupant F5 et F6, figure 2), dont les principales caractéristiques sont les suivantes :



Photo 4 (en haut) : Assemblage poinçon-entrait de la ferme F2 (marque III).

Photo 5 (en bas) : Assemblage poinçon-entrait, ferme F4 (marque I).

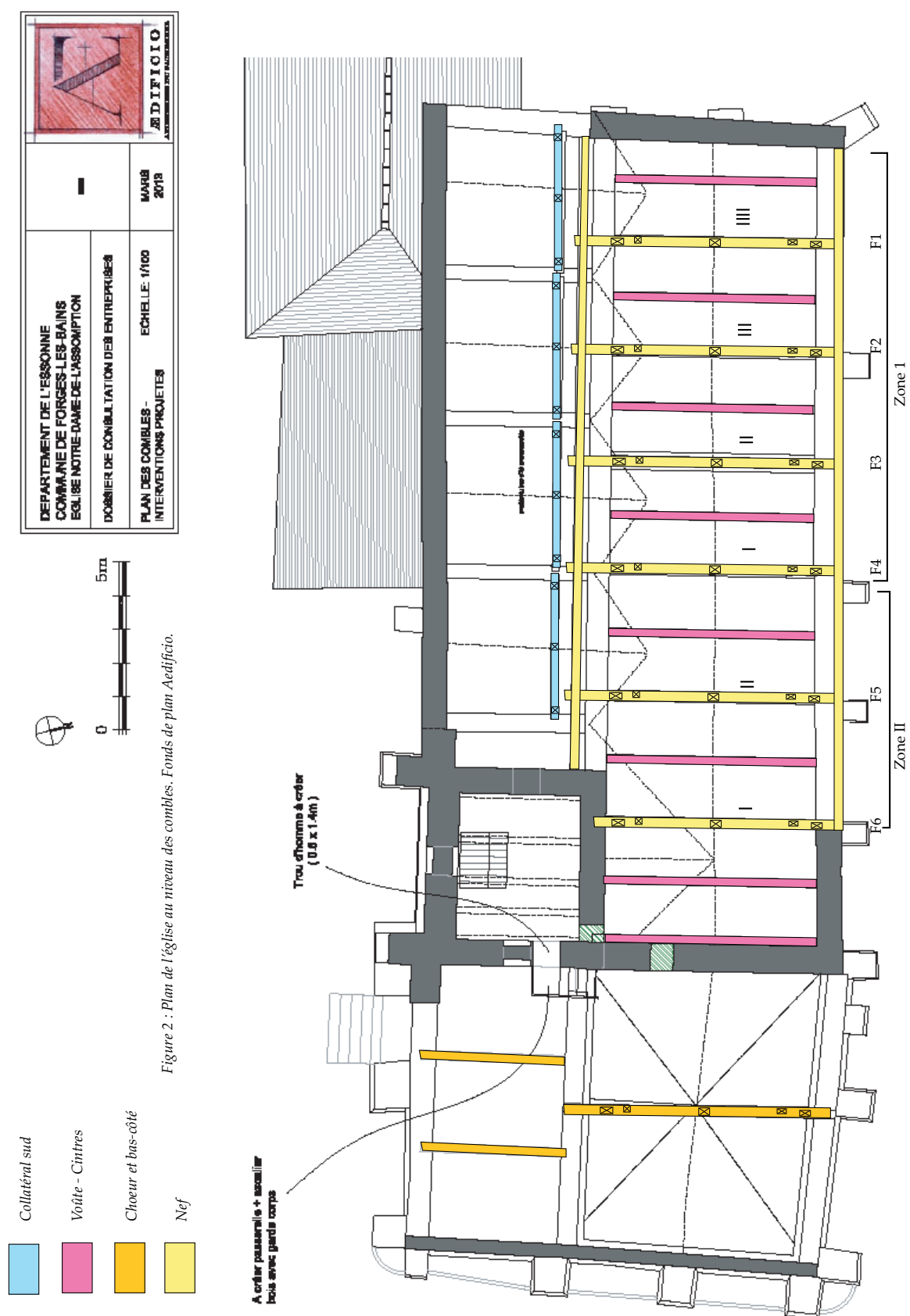
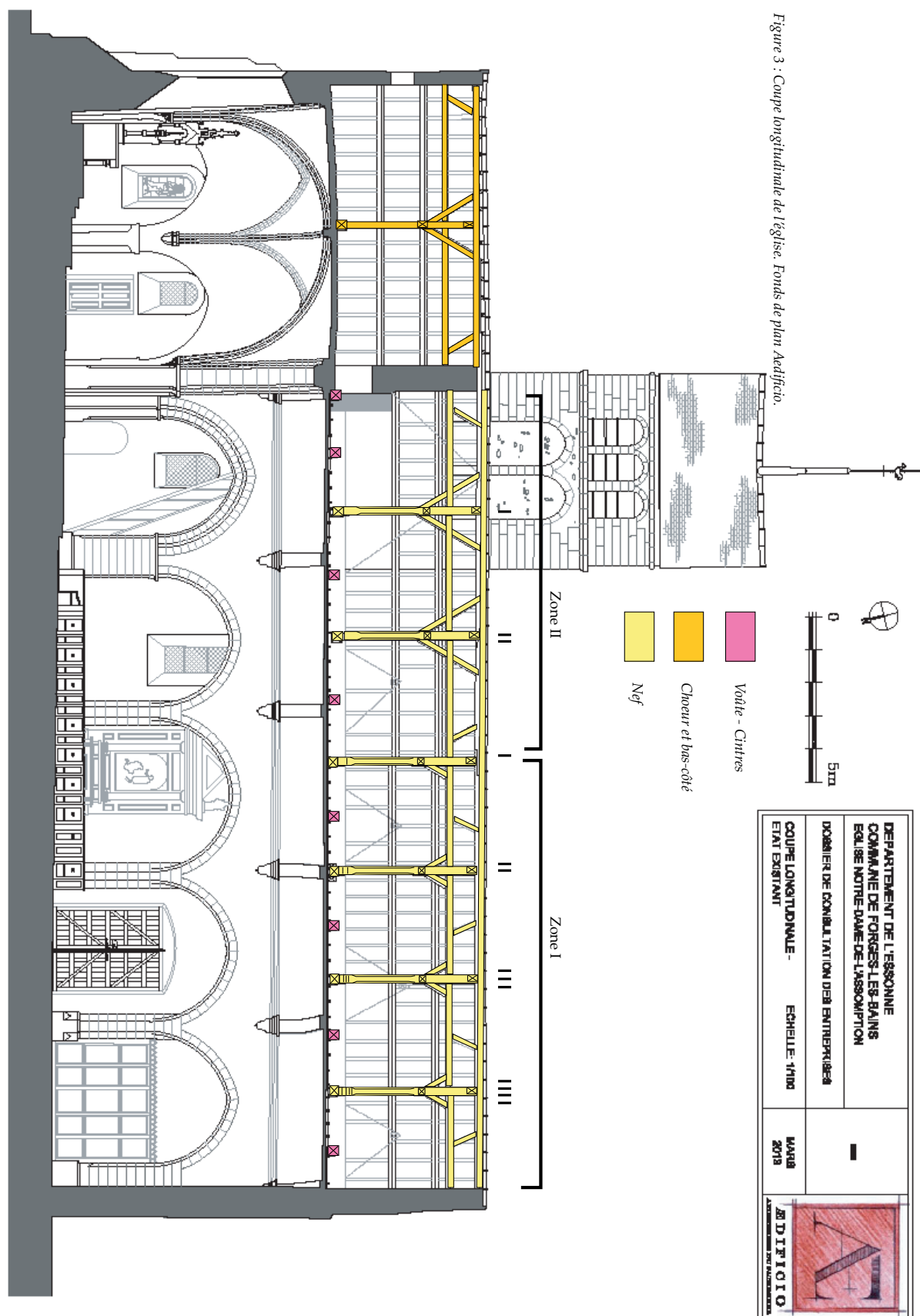


Figure 2 : Plan de l'église au niveau des combles. Fonds de plan Aedificio.



Zone 1

- Bossages au niveau des assemblages entrain-jambette, bossages à bagues au centre des entrails (recevant le tenon des poinçons), bossages à bagues à la base des poinçons.

Le nombre de bagues est fonction de la position des éléments dans la série : de 1 à 4 d'ouest en est (photo 4 et 5).

- Marques d'assemblages des éléments des fermes, réalisées au ciseau, de I à IIII d'est en ouest (photo 6).

- Contreventement comprenant un cours de faîtières et un cours de sous-faîtières raidis par des liens obliques (figure 3).

Zone 2

- Pas d'ornementation sur les entrails et les poinçons.

- Marques I sur F6 et II sur F5, au ciseau ou à la gouge.

- Sous-faîtière légèrement abaissée par rapport à celles de la zone 1 et liens raidisseurs plus nombreux, notamment entre la faîtière et la sous-faîtière (un seul lien en zone 1 et 2 liens par travée en zone 2, figure 2).

- Poinçons à chanfreins amortis par un congé coupé dans la partie supérieure et en cuillère dans la partie inférieure.

- Eléments de section plus forte.

En conclusion, les différences enregistrées dans les deux zones mettent en évidence deux chantiers distincts.



Photo 6 : Marques d'assemblages IIII sur l'aisselier sud et l'arbalétrier sud de la ferme F1.

Dans les deux zones, les aisseliers et les jambettes sont cintrées et peuvent servir de support à une voûte lambrissée. Cependant, aucun vestige de lambris, de clous sur les faces inférieures de ces éléments, ni de couvre-joint, n'ont été repérés. La charpente n'a jamais été lambrissée.

D'autres observations vont dans le même sens, par exemple, les ornements des entrails et des poinçons (chanfreins et bagues), qui étaient destinés à être vus depuis la nef. Ce qui suppose que la voûte en anse de panier du collatéral nord est postérieure à la charpente en place (infra).

Au nord, les entrails reposent directement sur la maçonnerie et portent un cours de sablières, visible de l'extérieur (photo 7). Au sud, les abouts d'entrails débordent de quelques centimètres du parement extérieur du mur et portent également une sablière (photo 8). En revanche, une mortaise à double queue d'aronde (photo 9) suggère la présence d'une seconde sablière, adossée au mur, sous les entrails.



Photo 7 (en haut) : Entrails portant une sablière dans la maçonnerie du mur gouttereau nord de la nef.

Photo 8 (en bas, à gauche) : Entrait portant une sablière de la charpente de la nef, vue depuis un comble du collatéral sud de la nef.

Photo 9 (en bas, à droite) : Mortaise à double queue d'aronde sous un about sud d'entrait.

Alors que les éléments des fermes sont mis en œuvre dans des billes de chênes simplement équarries à la hache et/ou à la doloire, les chevrons proviennent de quartiers débités manuellement à la scie. Ces derniers sont assemblés en tête par enfourchement (tenon dans une mortaise ouverte) et sont portés par deux cours de pannes intermédiaires reposant au dos des arbalétriers sur des échantignolles.

Nef, collatéral sud

Les charpentes sous les 4 toitures est-ouest au-dessus du collatéral sud sont similaires. Elles sont à pannes et à ferme unique, constituée d'un entrait, 2 arbalétriers, un poinçon et un faux-entrait. Cette ferme, comme les chevrons, reposent sur 2 poutres transversales.

Les différentes marques relevées sont réalisées au noir ou à la rainette, mais aucune logique évidente ne semble se dégager dans la numérotation des assemblages.

Chœur

Au-dessus de la voûte maçonnée en ogives du chœur, la charpente à pannes et à une seule ferme (figure 1) présente des dispositions comparables à celles de la zone 2 (est) du collatéral nord de la nef, notamment au niveau du contreventement. Elle se caractérise également par l'absence d'ornementations.

Quelques différences sont toutefois à noter :

- Absence d'aisseliers.
- Jambettes non cintrées.
- Chevrons suspendus aux pannes intermédiaires par des échantignolles inversées (photo 10). Il s'agit de petites pièces triangulaires clouées dans un embrèvement des chevrons, juste au-dessus des pannes. Elles sont disposées en quinconce, soit en alternance par rapport aux 2 niveaux de pannes intermédiaires.

Ce dispositif est fréquent dans la seconde moitié du XVe et au XVIe siècle dans les églises de l'Essonne et a pour but de limiter les poussées des chevrons sur les murs gouttereaux. Mais il est connu dès le XIIIe siècle, pour le chœur de l'église de Vert-le-Petit, en Essonne (1221, étude Cedre 2004).

Bas-côté sud du chœur

Cette charpente comprend :

- 2 demi-fermes constituées d'un arbalétrier, une contrefiche et probablement un entrait, non visible (figure 3).
- Des chevrons de 2 types reposant en tête sur une faîtière. Ils sont en chênes et en peupliers. Les premiers sont pourvus de cales semblables aux échantignolles inversées du chœur, sous la panne, alors que les seconds semblent intercalés plus récemment (probablement au XIXe siècle) entre les éléments en chêne.



Photo 10 : Charpente du chœur. Chevrans sud suspendus aux pannes par des échantignolles inversées.

L'intérêt de cette structure réside essentiellement dans ses arbalétriers en remploi, avec 2 embrèvements taillés au dos (photo 11). L'absence de chevillage latéral et de mortaise dans l'embrèvement exclut un ancien assemblage à tenon mortaise et privilégie plutôt un assemblage par simple embrèvement, sans tenon, maintenu en position par une cheville traversant la face inférieure les deux éléments assemblés.

Il pourrait s'agir d'anciens arbalétriers qui ont été retournés lors d'une précédente restauration avec rotation de 180° et position inversée (la tête en position basse), l'embrèvement haut correspond alors à un ancien assemblage entre l'arbalétrier et une jambette et celui situé plus bas à un assemblage entre l'arbalétrier et un aisselier. Ce type d'assemblages est caractéristique du XIII^e siècle et a été observé par exemple dans les charpentes à chevrons formant fermes datées en 1221 et 1224 du chœur, de la nef et du bas-



Photo 11 : Embrèvement taillé dans l'arbalétrier d'une demi-ferme de la charpente du bas-côté sud du chœur.

côté sud de la nef de l'église de Boissy-la-Rivière, en Essonne (Cedre, étude 2011-2012).

Toutefois, la présence d'un trou de cheville ou d'une partie de cette cheville n'a pu être observée dans les embrèvements au moment de la campagne d'échantillonnage, du fait de leur positionnement côté couverture, rendant les observations très difficiles. De plus, aucune mortaise pour l'insertion du tenon d'un entrain retourné n'a été repérée. La fonction originelle de ces pièces reste donc à déterminer.

Voûte en bois

La voûte en anse de panier des deux collatéraux est constituée de planches clouées sur une succession d'arcs transversaux formés par des planches cintrées ou cerces, probablement en résineux (B, photo 12). Ces voûtes en bois pourraient dater du XIX^e siècle.

Des poutres en chênes, raidies par des aisseliers cintrés, également en chênes, sont intercalées entre les fermes (A, photo 12). Elles indiquent la présence d'une voûte plus ancienne, qui masquait la charpente dans un second temps.



Photo 12 : Différents dispositifs associés aux voûtes en bois de la nef.
A : Aisseliers cintrés et poutres intercalées entre les fermes (F).
B : Cerces de la voûte supposée du XIX^e siècle.

Clocher

La charpente est refaite lors d'une précédente restauration, assez récente. Les bois présentent en effet des traces de débitage de sciage mécanique.

L'actuel beffroi (figure 1) n'est pas celui d'origine :

- Les semelles est et ouest ne sont pas posées sur les corbeaux, mais légèrement plus bas.

- Les poutres nord et sud sont recalées dans les maçonneries est et ouest.

Ce beffroi est constitué d'une série de cadres à pan de bois :

- 2 au nord et au sud, orientés est-ouest et constitués de 3 croix de Saint-André, 2 sablières et 4 poteaux.
- 4 transversaux (nord-sud) comprenant 2 sablières raidies par des liens se croisant à mi-bois.

In situ

La campagne de prélèvement d'échantillons s'est déroulée en septembre 2012. Ainsi 31 échantillons représentent les différentes charpentes de l'église (figure 4).

				1	2	3	4	5
N°	Structure	Fonction	Essence	Cernes	Aubier	Cambium	Chronologie	Abattage
1	Charpente nef, zone ouest	Arbalétrier nord, F4	Chêne	66	24	oui	1424-1489	BF 1489-1490
2	Charpente nef, zone ouest	Jambette nord, F3	Chêne	54	13	non	1435-1488	
3	Plafond nef, zone ouest	Poutre entre F 3 et F4	Chêne	31	7	non	non daté	
4	Plafond nef, zone ouest	Aisselier nord entre F1 et pignon	Chêne	80	13	oui	1648-1727	BF 1727-1728
5	Charpente nef, zone ouest	Arbalétrier nord, F3	Chêne	32	1	non	1441-1472	
6	Charpente nef, zone ouest	Jambette sud, F3	Chêne	62	13	oui	1428-1489	BF 1489-1490
7	Charpente nef, zone ouest	Arbalétrier sud, F2	Chêne	57	0	non	1421-1477	
8	Plafond nef, zone ouest	Poutre entre F 2 et F3	Chêne	77	16	non	1649-1725	
9	Charpente nef, zone ouest	Arbalétrier sud, F4	Chêne	57	6	non	1420-1476	
24	Charpente nef, zone ouest	Entrait, F2	Chêne	67	0	non	1401-1467	
25	Charpente nef, zone ouest	Sablière sud	Chêne	47	1	non	1431-1477	
26	Charpente nef, zone ouest	Entrait, F3	Chêne	103	7	non	1378-1480	
10	Charpente nef, zone est	Poinçon, F2	Chêne	63	0	non	1443-1505	
11	Charpente nef, zone est	Arbalétrier sud, F2	Chêne	92	0	non	1416-1507	
12	Charpente nef, zone est	Jambette sud, F2	Chêne	80	0	non	1428-1507	
13	Charpente nef, zone est	Chevron nord, travée est	Chêne	55	20	oui	1474-1528	BF 1528-1529
14	Plafond nef, zone est	Poutre ouest, travée est	Chêne	65	17	non	1649-1713	
15	Charpente nef, zone est	Entrait, F1	Chêne	87	0	non	1420-1506	
16	Charpente chœur	Arbalétrier nord	Chêne	100	36	oui	1428-1527	BF 1527-1528
17	Charpente chœur	Entrait	Chêne	137	17	oui	1392-1528	BF 1528-1529
18	Charpente chœur	Chevron nord, travée est	Chêne	60	13	non	1461-1520	
19	Charpente bas-côté sud/chœur	Arbalétrier, ferme ouest	Chêne	37	2	non	1159-1195	
20	Charpente bas-côté sud/chœur	Arbalétrier, ferme est	Chêne	42	12	oui	1174-1215	BF 1215-1216
21	Charpente bas-côté sud/chœur	Panne supérieure	Chêne	92	3	non	1414-1505	
22	Charpente collatéral sud, A (est)	Arbalétrier ouest	Chêne	88	21	oui	1429-1516	BF 1516-1517
23	Charpente collatéral sud, B	Poinçon	Chêne	92	1	non	1401-1492	
27	Plafond collatéral sud, B	Poutre	Chêne	79	8	non	1645-1723	
28	Beffroi	Poteau nord, cadre central	Chêne	106	17	oui	1646-1751	BF 1751-1752
29	Beffroi	Echarpe nord, cadre central	Chêne	89	0	non	1641-1729	
30	Beffroi	Sablière haute, cadre central	Chêne	111	26	oui	1642-1752	BF 1752-1753
31	Beffroi	Sablière haute, cadre sud	Chêne	116	26	oui	1637-1752	BF 1752-1753

1 : Nombre total de cernes mesurés.

2 : Nombre de cernes d'aubier - compris dans le nombre total de cernes (1).

3 : Présence / Absence du cambium (assise de cellules sous l'écorce), permet la datation à l'année près.

4 : Année de formation du 1er et du dernier cerne de la série.

5 : Date d'abattage de l'arbre, BF ou bois final indique une coupe en automne-hiver, BI ou bois initial indique une coupe au printemps.

Figure 4 : Liste des échantillons avec leurs caractéristiques dendrologiques.

Au laboratoire

1ère étape : Recherche de synchronismes

Après acquisition des séries de largeurs de cernes, chaque échantillon est associé à une chronologie représentant sa croissance radiale, du coeur (ou du cerne le plus proche) jusqu'à l'écorce, quand celle-ci est conservée.

Les séries individuelles sont ensuite comparées par paire, sans tenir compte du plan d'échantillonnage, lequel n'interviendra qu'au stade de l'interprétation des datations

obtenues, en fonction de l'anatomie du dernier cerne présent sur chaque échantillon (5ème étape du processus de datation).

Cette étape consiste à faire coïncider le maximum de "pics" et de "creux" entre 2 séries individuelles de croissance. Un test statistique ("t" de Student) permet de juger objectivement la ressemblance des séries comparées pour chaque position de synchronisme (décalage progressif cerne par cerne).

Trois lots de séries synchrones sont constitués :

- Groupe 1 : 2 séries n° 19 et 20 (bas-côté sud du chœur).
- Groupe 2 : 20 séries n° 1, 2, 5 à 7, 9 à 13, 15 à 18, 21 à 26 (figure 5).
- Groupe 3 : 8 séries n° 4, 8, 14, 27 à 31.

2ème étape : Calcul de chronologies moyennes

Pour chaque groupe constitué est calculée une chronologie moyenne représentative de la croissance du lot d'arbres :

- Forges.M1(pour le lot 1) comportant 57 cernes.
- Forges.M2 (pour le groupe 2) comportant 152 cernes (figure 5).
- Forges.M3 (pour le groupe 3) comportant 116 cernes.

3ème étape : Comparaison sur les références

Les 3 chronologies moyennes sont confrontées au même panel de références (pour les chênes), disponibles en base de données.

L'objectif est toujours de faire coïncider le maximum de "pics" et de "creux", cette fois-ci entre une chronologie moyenne et une référence, l'opération étant renouvelée sur l'ensemble des références à disposition. Les valeurs "t" obtenues pour chaque position de synchronisme testée sont regroupées par classe : de 0,5 en 0,5. Celle qui se dégage du lot est retenue (figure 6).

Cette étape aboutit au rattachement des 3 chronologies moyennes à leur période : 1159-1215 pour Forges.M1, 1378-1529 pour Forges.M2 (figure 5), 1637-1752 pour Forges.M3. Par exemple 1159 correspond à l'année de formation du premier cerne de la chronologie Forges.M1 et 1215 à celle du dernier cerne, le 57ème.

4ème étape : Fiabilité des datations

Pour chaque chronologie moyenne, une figure représente les meilleurs résultats de datation sur les références de chênes.

La flèche indique la valeur "t" entre la chronologie moyenne testée et la référence considérée

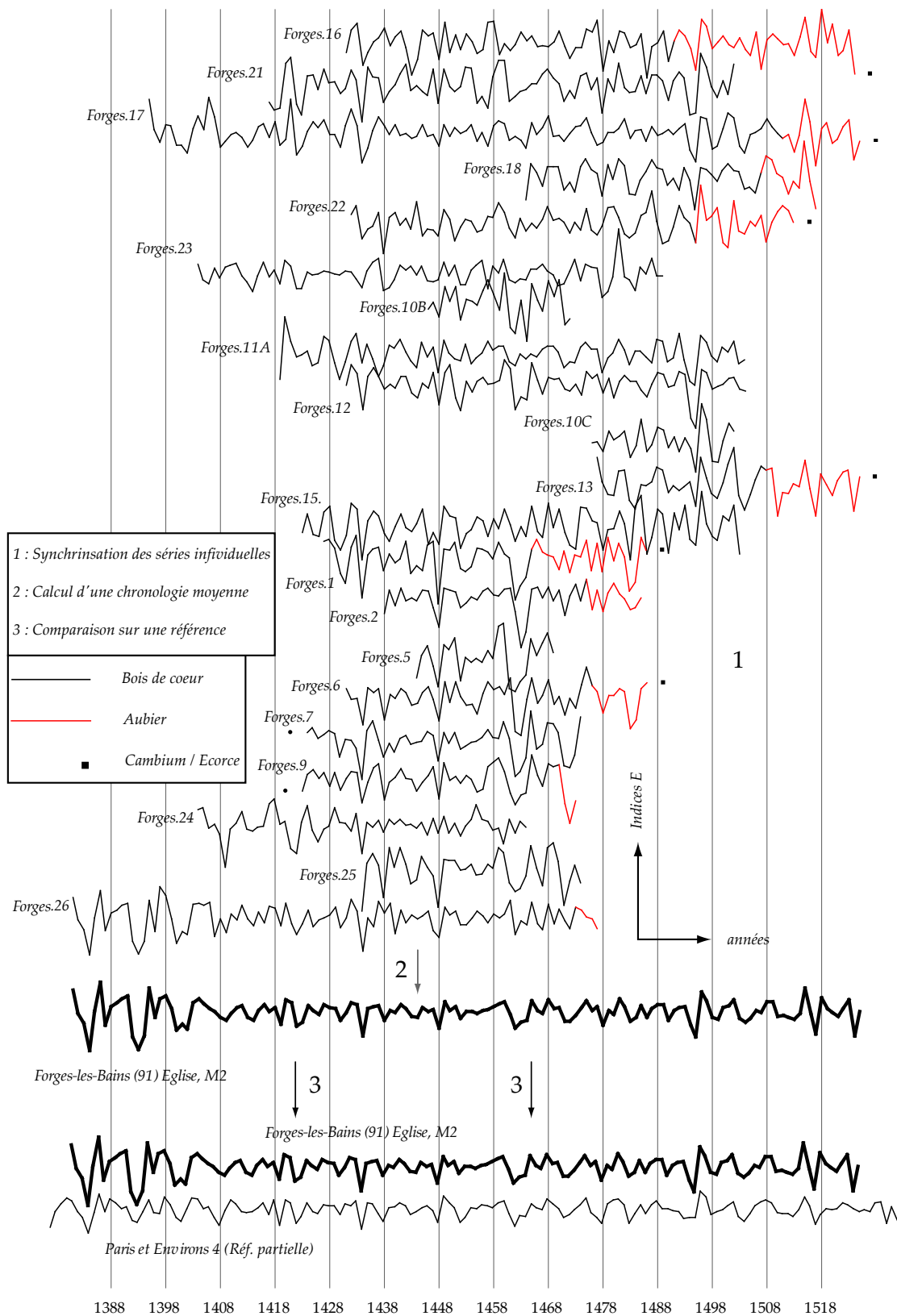
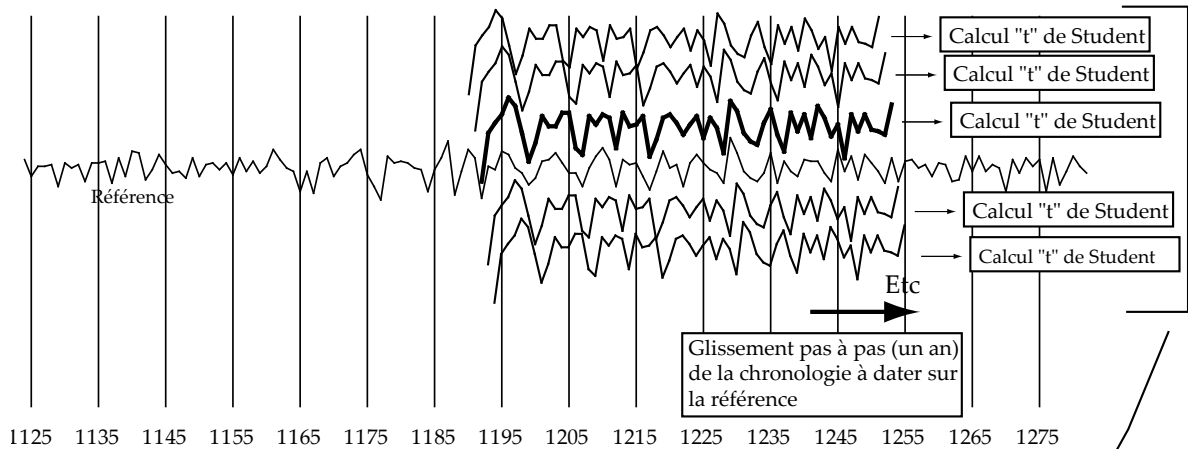


Figure 5 : Différentes étapes du processus de datation - Groupe 1.

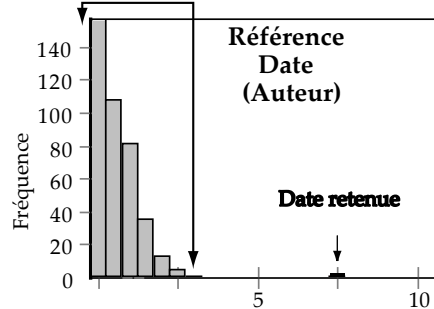
Etape 3 détaillée

Glissement annuel de la série à dater sur la référence.

Calcul d'un estimateur statistique de la ressemblance des deux séquences ("*t*" de Student sur Indices E de Besançon) dans chaque position de synchronisme testée.



Propositions rejetées par classe de valeurs



Regroupement des valeurs "*t*" par classe (de 0,5 en 0,5)

Une seule valeur se dégage nettement des autres et correspond à la position de synchronisme jugée la meilleure graphiquement (en haut, en gras) : concordance d'un maximum de pics et de creux.

L'opération est renouvelée sur d'autres références pour limiter le risque d'erreur (voir figure 18 de résultats de datation).

Figure 6 : Détail des principes statistiques de datation.

pour le synchronisme retenu. Le risque d'erreur est d'autant plus faible que la valeur retenue est éloignée de la distribution des autres propositions.

Pour la chronologie du lot 1 (Forges.M1), une valeur "*t*" élevée se dégage nettement sur plusieurs références, dont celle de la région parisienne (figure 7). Elle correspond dans tous les cas à la même position de synchronisme.

En conclusion, le risque d'erreur est jugé très faible, quasi-nul. La datation est de classe A, très fiable.

Pour les chronologies des lots 2 et 3, représentés respectivement par Forges.M2 et Forges.M3, les valeurs "*t*" sont du même ordre de grandeur et se dégagent très nettement des autres, notamment sur plusieurs références de sites de l'Essonne (figures 8 et 9).

Dans les deux cas, le risque d'erreur est jugé très faible, quasi-nul. La datation est de classe A, très fiable.

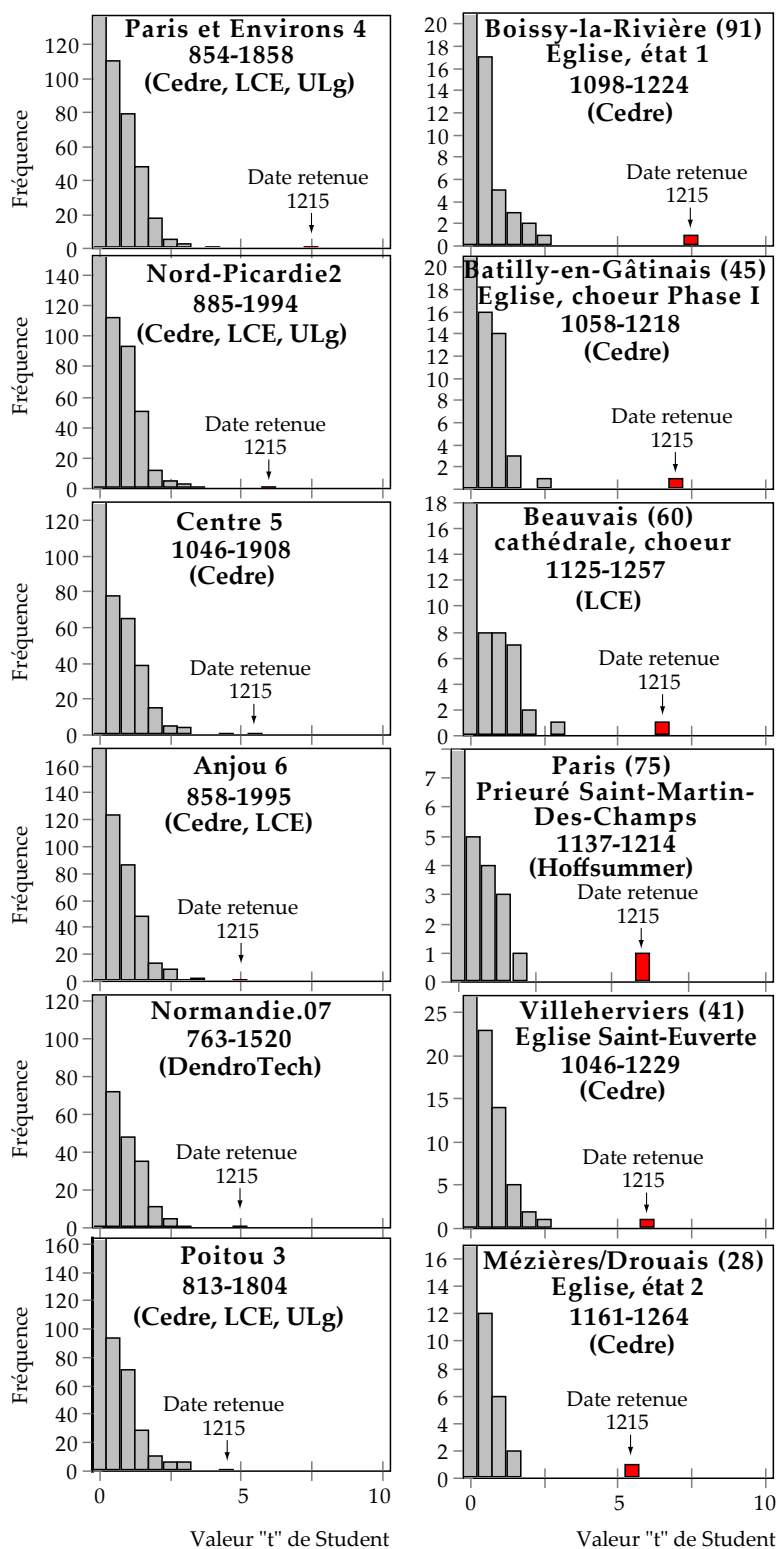


Figure 7 : Résultats de datation de la chronologie moyenne Forges.M1 sur les références de chênes.

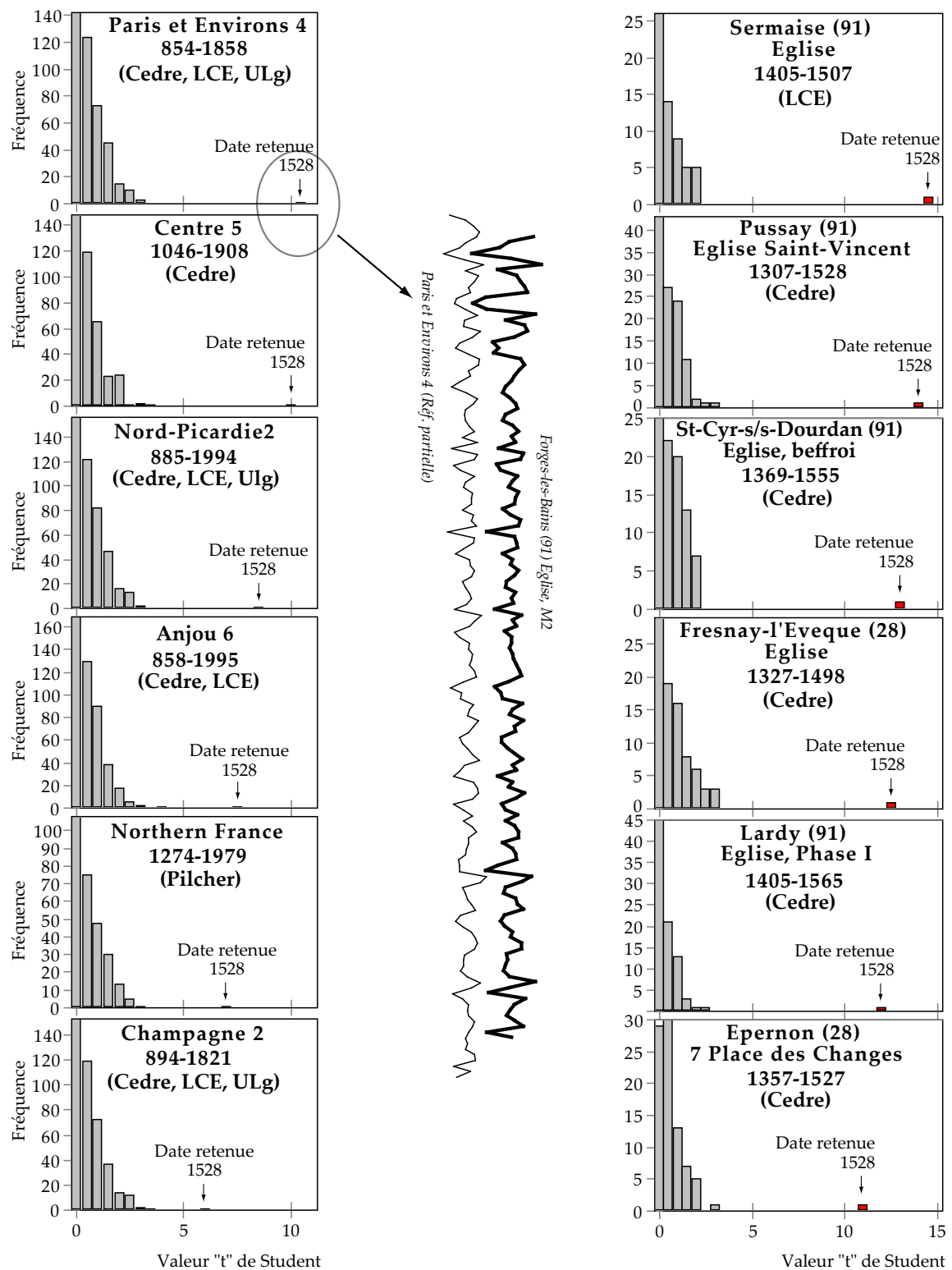


Figure 8 : Résultats de datation de la chronologie moyenne Forges.M2 sur les références de chênes.

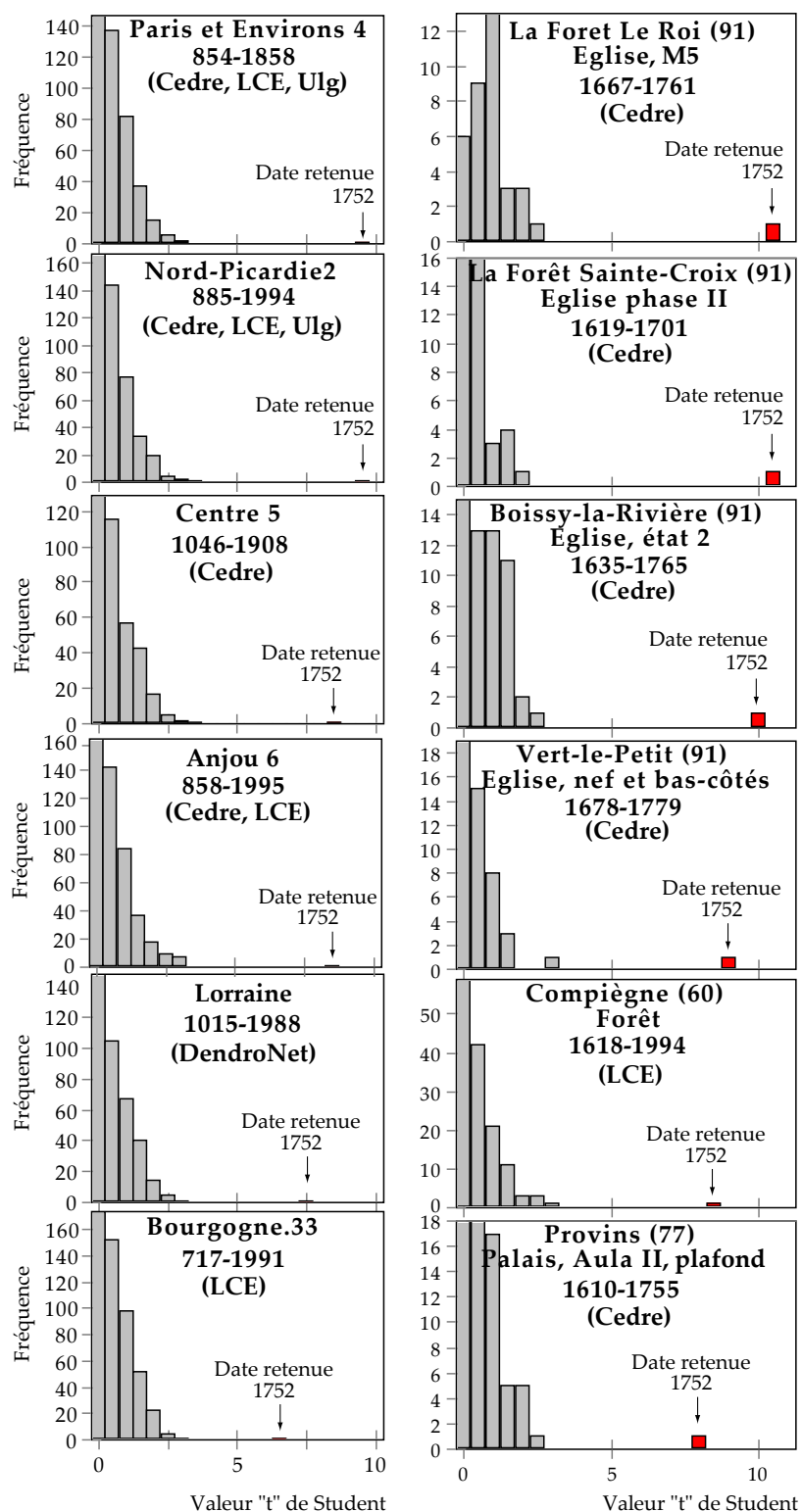


Figure 9 : Résultats de datation de la chronologie moyenne Forges.M3 sur les références de chênes.

Rappel

La sécurité statistique est maximale quand le synchronisme est significatif entre la chronologie à dater et plusieurs références construites le plus indépendamment possible, c'est-à-dire avec des bois différents par des auteurs différents et plusieurs laboratoires en collaboration. La sécurité estimée doit être présentée pour étayer le propos du dendrochronologue, car elle est la seule objective et fournit des informations chronologiques indépendantes des autres sources : typologiques, architecturales...

Cette procédure permet de définir un niveau de risque pris par l'opérateur :

- Si la flèche qui indique la proposition retenue est très éloignée de la distribution des autres propositions (alors fausses) sur plusieurs références, alors le risque d'erreur est très faible. Il tend fortement vers 0, il est dit quasi-nul. La datation est de classe A (la meilleure).

- Si la flèche n'est pas nettement dégagée des autres propositions, alors le risque est faible, mais il n'est pas à négliger. La datation est de classe B.

- Si la valeur retenue ne dépasse significativement les autres propositions du test, alors la date n'est pas validée par les seules procédures de calcul. Elle nécessite une confirmation par d'autres sources de données pour discuter de sa pertinence. La datation est de classe C.

5ème étape : Estimation des phases d'abattages

Cette étape consiste à observer l'anatomie du dernier cerne conservé sur chaque échantillon (bois de coeur, aubier incomplet et dernier cerne d'aubier sous l'écorce) et d'en déduire la date d'abattage des arbres, pour chaque structure ou ensemble étudié (bloc-diagrammes, figures 10 et 11).

Bas-côté sud du choeur

L'échantillon n°20 (arbalétrier en remploi) possède un aubier complet jusqu'à l'écorce, dont le dernier cerne est formé en 1215. Cet ultime cerne est constitué de gros vaisseaux fabriqués au cours du printemps 1215 et d'une zone fibreuse élaborée en été 1215. La coupe de l'arbre se situe après la période de croissance de l'année 1215 et avant la reprise de celle de l'année suivante, soit en automne-hiver 1215-1216.

L'échantillon n° 19 (arbalétrier en remploi) a conservé quelques cernes d'aubier, mais l'abattage de l'arbre ne peut pas être connu précisément. Néanmoins, la date de formation du dernier cerne préservé est compatible avec un abattage vers 1215.

L'échantillon n° 21 est une panne qui correspond à l'état 2 (transformation de la charpente à chevrons formant fermes d'après les arbalétriers en remploi en charpente à pannes). Il a conservé 3 cernes d'aubier formés de 1503 à 1505. Mais plusieurs cernes sont perdus. La coupe de l'arbre est donc nécessairement postérieure à 1505.

Il est possible de déterminer le nombre de cernes faisant défaut. Une étude (Lambert, 1996) menée sur une vaste population de chênes, vivants et historiques, de la moitié nord de la France, a montré que leur aubier comprend 21 cernes en moyenne, de 2 à 40 cernes dans 95 % des cas. En appliquant cette fourchette à l'échantillon n° 21, une date ante quem

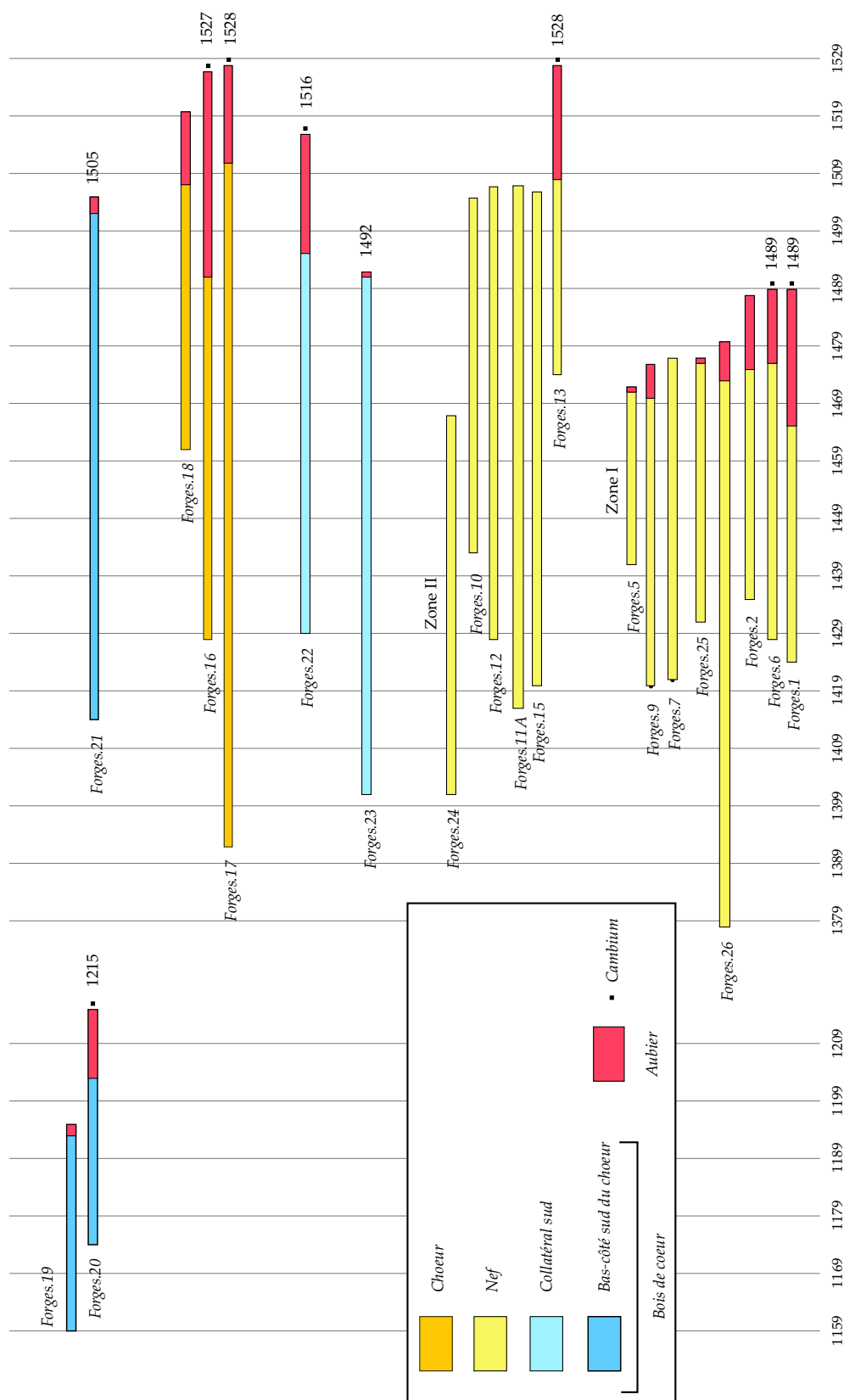


Figure 10 : Bloc-diagramme présentant les abattages des arbres mis en œuvre du XIIIe au XVIe siècle dans l'église.

correspondant à un aubier de 40 cernes est calculée en 1542. On en déduit l'abattage de l'arbre entre 1506 et 1542, avec une probabilité de 95 %.

Chœur

Deux des 3 échantillons de cet ensemble possèdent un aubier complet jusqu'à l'écorce, dont le dernier cerne est formé en 1527 pour le n° 16 et en 1528 pour le n° 17. Dans les deux cas, le dernier cerne sous l'écorce est constitué de bois de printemps et de bois d'été, la coupe des arbres se situe donc en automne-hiver 1527-1528 pour le n° 16 et en automne-hiver 1528-1529 pour le n° 17.

Nef, zone 1

Les échantillons n° 1 et 6 possèdent un aubier complet jusqu'à l'écorce, dont le dernier cerne constitué de bois de printemps et de bois d'été est fabriqué en 1489. Les arbres sont donc coupés en automne-hiver 1489-1490.

Les autres échantillons sont en bois de cœur ou ont un aubier incomplet. Mais ils peuvent être rattachés à la phase d'exploitation en 1489-1490 sur la base de la série de marquage cohérente de la zone 1.

Nef, zone 2

Un seul échantillon, le n° 13, a conservé un aubier complet jusqu'à l'écorce, dont le dernier cerne comprenant bois de printemps et bois d'été est formé en 1528. L'arbre est alors coupé en automne-hiver 1528-1529.

Les autres échantillons sont en bois de cœur. Leur dernier cerne mesuré est postérieur à 1489 (zone 1) et il est compatible avec un abattage des arbres en 1528-1529. Ces échantillons peuvent alors être rattachés à la phase d'exploitation en automne-hiver 1528-1529, sur la base de la série de marquage cohérente de la zone 2.

Collatéral sud

L'échantillon n° 22 possède un aubier complet, dont le dernier cerne situé sous l'écorce est constitué de bois de printemps et de bois d'été fabriqués en 1516. On en déduit la coupe de l'arbre en automne-hiver 1516-1517.

L'échantillon n° 23 a conservé un seul cerne d'aubier formé en 1492. En appliquant la fourchette de 2 à 40 cernes d'aubier, la coupe de l'arbre se situe entre 1493 et 1531, avec une probabilité de 95 %.

Beffroi

Les échantillons n° 28, n° 30 et 31 possèdent un aubier complet jusqu'à l'écorce, dont le dernier cerne est formé respectivement en 1751 pour le premier et en 1752 pour les 2 autres. Les chênes sont coupés en automne-hiver 1751-1752 pour le n° 28 et en automne-hiver 1752-

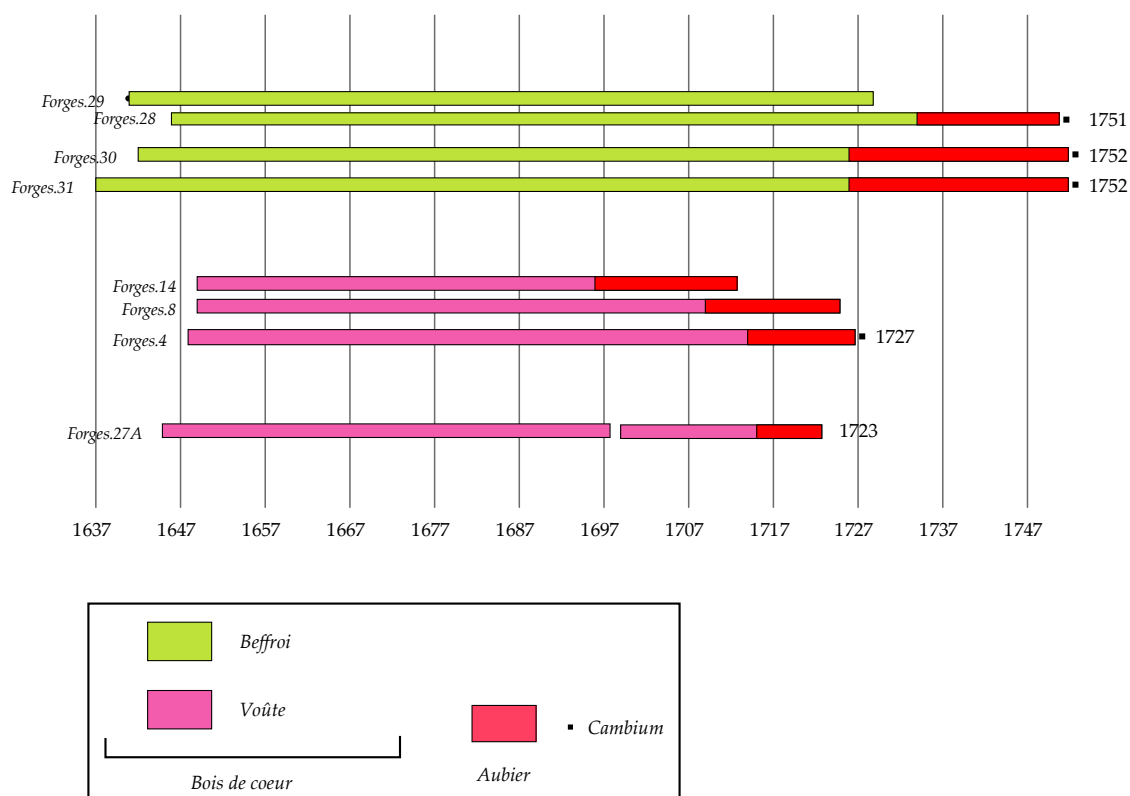


Figure 11 : Bloc-diagramme présentant les phases d'abattages par structure au XVIIIe siècle.

1753 pour les n° 30 et 31. L'ensemble des bois semble alors disponible dès 1753 ou peu après pour être mis en œuvre.

Conclusion

Cette étude permet de dater par dendrochronologie les charpentes de l'église Notre-Dame de l'Assomption de la Vierge de Forges-les-Bains (91) et met en évidence des chantiers de restauration sur environ 4 décennies, après la guerre de Cent Ans :

- Charpente à pannes du chœur : bois coupés sur au moins deux années consécutives en automne-hiver 1527-1528 et en automne-hiver 1528-1529, mis en œuvre en une seule fois à partir de 1529 ou peu après.

- Charpente du bas-côté sud du chœur : à l'origine (1216 ou peu après) à chevrons formant-fermes avec des assemblages par simple embrèvement, puis transformée en charpente à pannes entre 1506 et 1542 (probabilité de 95 %) avec remploi de quelques bois de l'état du XIII^e siècle.

- Charpentes à pannes du collatéral nord de la nef refaites en deux temps, vers 1490 (pour la zone ouest comprenant 4 fermes) et vers 1529 pour la zone 2 (même chantier que la charpente du chœur).

Ces charpentes sont apparentes, puis masquées par une première voûte en bois posée vers 1727, puis une seconde en résineux, probablement du XIX^e siècle et toujours en place en 2012.

- Charpentes transversales du collatéral sud, dont celle située la plus à l'est est érigée en 1517 ou peu après.

- Beffroi refait à partir de chênes exploités en automne-hiver 1751-1752 et en automne-hiver 1752-1753, et mis en œuvre en 1753 ou peu après.

Ces résultats posent quelques questions :

- La charpente du chœur présentait-elle les mêmes caractéristiques que celles du bas-côté au XIII^e siècle : à chevrons formant fermes et assemblage par simple embrèvement des éléments raidisseurs tels que les aisseliers et les jambettes.

- Comment se présente la couverture du collatéral sud avant 1517 ? La configuration était-elle la même ? Les deux collatéraux sont-ils couverts par une toiture unique à deux pans, avant 1490 ?

LABORATOIRES PARTENAIRES POUR L'ÉCHANGE CONCERTÉ DES DONNÉES :

LCE 10/2002 : Base de donnée publique du laboratoire de Chrono-Ecologie, UMR 6565 CNRS-Univ. de Franche-Comté (Besançon). Auteurs : Bernard V., Chevrier V., Doucerain C., Girardclos O., Guibal F., Lambert G.N., Lavier C., Locatelli C., Perrault C., Perrier P.

Laboratoire d'archéo-sciences (C2A), UMR 6566 CNRS-Univ. de Rennes I. Auteur : Bernard V.

Laboratoire DendroTech, société Rennes. Auteur : Le Digol Y.

Istitut Méditerranéen d'Ecologie et Paléo-écologie, UMR 6116 CNRS-Univ. Aix-Marseille III. Auteur Guibal F.

Laboratoire de dendrochronologie de l'Université de Liège (B). Auteur : Hoffsummer P., Houbrecht D., Eeckhout J., Fraiture P.

Laboratoire du Musée Cantonal d'Archéologie de Neuchâtel (CH). Auteurs : Egger H., Gassmann P., Burri.

Laboratoire d'analyse du bois de Bohlingen (D), société DendroNet. Auteur : Tegel W.

Belingard C. Dendrochronologue indépendante, Chantelauve (Vienne)

› Bibliographie ›

DENDROCHRONOLOGIE, HISTOIRE DE L'ART ET ARCHITECTURE, ARCHÉOLOGIE :

BERHAULT S. et IMMEL J.J. à paraître : La dendrochronologie : science au service de la datation du bois. Conseil général Essonne, Bulletin Société Historique et Archéologique de Dourdan en Hurepois

BONTEMPS D. 1984 : La charpente du choeur de l'église Saint Pierre de Gonesse (Val-d'Oise), Archéologie Médiévale, 14, p. 127-167.

BONTEMPS D. 1995 : La grange de l'abbaye cistercienne de Chaloché (49) ou de l'importance de l'étude de la charpente dans un bâtiment médiéval. Archéologie Médiévale, 25, p. 27-64.

BONTEMPS D. 2002 : Charpentes de la région Centre du XIIe au XIIIe siècle. Paris, Centre de Recherches sur les Monument Historiques, Monum, 204 p..

DIETRICH A. et GAULTIER M. 2001 : La charpente de la grange abbatiale de Maubuisson (Saint-Ouen-l'Aumône, 95). Archéologie Médiévale, 30-31, p. 109-132.

FERAUGE M. 2003 : Les charpentes à chevrons suspendus de l'Essonne. Une relecture de l'évolution des charpentes médiévales. Mémoire DEA Univ. Paris I Sorbonne. 63 p.

HOFFSUMMER P. (dir), CORVOL-DESSERT A., HOUBRECHTS D., LAMBERT G.N.,

LAVIER C., LOCATELLI C., MAYER J., PARISSET J.P., PREVET A., TAUPIN J.L., TRENARD Y., 2002 : *Les charpentes du XIe au XIXe siècle. Typologie et évolution en France du Nord et en Belgique*. Cahiers du patrimoine, 62, Monum éditions du patrimoine, Paris, 376 p.

HUNOT J.Y. 2001 : L'évolution de la charpente de comble en Anjou, du XIIe au XVIIIe siècle. Patrimoine d'Anjou : études et travaux 1, Conseil Général de Maine-et-Loire, Angers, 166 p.

KIMPEL D., SUCKALE R. 1990 : L'architecture gothique en France, 1130-1270, Flammarion, Paris.

LAVIER C. à paraître 2007 : Approches archéo-dendrométriques sur les ais des manuscrits des fonds de reliures médiévales et post-médiévales des bibliothèques de Reims et d'Orléans. Dans Alexandre J.-L., Lanoë G. (Dir) : *Catalogue des Reliures Médiévales des Bibliothèques de France*, Vol.4, collection Institut de Recherche et d'Histoire des Textes, Brépols Publishers.

MILLE P. 2006 : L'identification de vestiges en bois, l'exemple du meuble de Charavines. *Histoire et Images Médiévales*, N°4, février-mars-avril 2006, ed. Astrobale : 30-33.

POUSSET D. 1996 : Le Château de Vincennes : étude dendrochronologique sur les lambris du donjon : mémoire de DEA sous la dir. de G. Lambert et de E. Vergnolle. Besançon : Université de Franche-Comté, Faculté des sciences du langage, de l'homme et de la société, 1996. 66 p. : ill.

RENAUD B. et SERAPHIN G. 1999 : Puy-de-Dôme. La charpente peinte d'une demeure du XIIIe siècle à Riom. *Bulletin Monumental*, t. 157-II, 1999, 210-217.

RENAUD B. 1992 : Charpentes parisiennes, XVIe-XVIIIe siècles. Recherches aux Archives Nationales. Rapport intermédiaire dactylographié, sous la direction de Bontemps D. 35 P.

RENAUD B. 1993 : Charpentes de toits, XVIe – XVIIIe siècles. Recherches aux Archives Nationales. Rapport dactylographié, sous les directions de Berce F., Bontemps D. 42 p. et 19 fig.

VISCUSI-SIMONIN V., GIRARDCLOS O., BOINARD P. 2004 : Un grenier de la fin du Moyen-Age à Gray (70)? Datation dendrochronologique et analyse archéologique du bâti et des charpentes. Dans, DELSALLE P. (dir.) *actes du colloque la Franche-Comté à la charnière du Moyen-Age et de la Renaissance (1450-1550)*, Presses Universitaires de Franche-Comté.

DENDROCHRONOLOGIE PREMIÈRE APPROCHE :

BAILLIE M.G.L. 1995 : *A slice through time. Dendrochronology and precision dating*. B.T.Batsford Ltd, London. 176 p.

GUIBAL F. 1991 : La dendrochronologie : méthodes et potentialités. *Revue Archipal*, 30 : 85-103.

LAMBERT G. N. & LAVIER C. 1990 : Dendrochronologie : la datation à l'année près. Dans : *Les mystères de l'archéologie. Les sciences à la recherche du passé*. Collectif & G.M.P.C.A. (Eds.) Caisse Nationale des Monuments Historiques, Presses Universitaires de Lyon. 164-172.

LAMBERT G.N. 1998 : La dendrochronologie, mémoire de l'arbre. Dans : *Les méthodes de*

datation en laboratoire. Collection "archéologiques". FERDIERE A. (Ed.) Editions Errance, Paris. 13-69.

MAURICE B. & LAMBERT G.N. (Eds.) 1992 : *Les veines du temps. Lectures de bois en Bourgogne*. Catalogue d'exposition Musée Rolin, Autun. 346 p.

MÉTHODES DE DATATION :

BAILLIE M.G.L. & PILCHER J.R. 1973 : A simple crossdating Program for tree-ring Research. *Tree Ring Bulletin*, 33 : 7-4.

DUROST S. 2005 : Dendrochronologie et dendroclimatologie du 2^e âge du fer et de l'époque romaine dans le nord de l'est de la France. Datation, système de références et modélisations. Thèse de l'Université de Franche-Comté, UMR6565 CNRS Laboratoire de Chrono-écologie, 297 p.

ECKSTEIN D. 1969 : Entwicklung und Anwendung der Dendrochronologie zur Alterbestimmung des Siedlung Haithabu. Thèse de doctorat, Université de Hambourg. 113 p.

GASSMANN P., LAMBERT G., LAVIER C., avec BERNARD V. & GIRARDCLOS O. 1996 : Pirogues et analyses dendrochronologiques. Dans : Pirogues monoxyles d'Europe centrale. ARNOLD B. (Ed.) Musée d'Archéologie de Neuchâtel, *Archéologie neuchâteloise*, 21,t2. 89-127.

GIRARDCLOS O. 1999 : Dendrochronologie du Chêne (*Quercus petraeae*, *Quercus robur*), influences des facteurs stationnels et climatiques sur la croissance radiale, cas de sols hydromorphes et des climats atlantiques. Applications paléo-écologiques aux bois subfossiles du marais de Brière (Loire-Atlantique). Thèse, Univ. de Franche-Comté. 377 p

GUIBAL F., LAMBERT G.N. & LAVIER C. 1991 : Application de trois tests de synchronisation à trois types de données. *Dendrochronologia*, 9 : 193-206.

GUIBAL F. & PILCHER J.R. 1988 : Remarques sur la comparaison des séries d'épaisseurs des cernes des Côtes du Nord à celles d'Ille-et-Vilaine. *Revue d'Archéométrie*, 12 : 29-33.

JANSMA E. 1995 : RememberRings : the development and application of local and regional tree-ring chronologies of Oak for the purposes of archaeological and historical research in the Netherlands. R.O.B., *Nederlandse Archeologische Rapporten*, 19, Amsterdam. 149 p.

LAMBERT G. 1996 : Recherche de signaux anthropiques dans les séries dendrochronologiques du Moyen-âge. Exemple des séquences de Charavines-Colletière. Dans : *L'homme et la nature au Moyen-âge. Paléoenvironnement des sociétés occidentales. Actes du Ve congrès international d'archéologie médiévale tenu à Grenoble 6-9 oct. 1996*. COLARDELLE M. (Ed.) éditions errance. 143-152.

LAMBERT G., LAVIER C., PERRIER P. & VINCENOT S. 1988 : Pratique de la Dendrochronologie. *Histoire et Mesure*, III-3 : 279-308.

LAMBERT G.N., LAVIER C. & GUIBAL F. 1992 : La dendrochronologie, une méthode précise de datation. *Mémoire de la Société Géologique de France*, N°160 : 109-117.

MUNRO M.A.R. 1984 : An improved algorithm for crossdating tree-ring series. *Tree-ring Bulletin*, 44 : 17-27.

ORTON C.R. 1983 : The use of Student's t-test for matching tree-ring patterns. *Bulletin of the Institute of Archaeology of the University of London*, 20 : 101-105.

PILCHER J.R. & BAILLIE M.G.L. 1987 : The Belfast CROS Program. Some Observations. Dans : Applications of tree-ring studies. Current research in dendrochronology and related subjects. WARD R.G.W. (Ed.) *B.A.R., international Series 333*. 157-163.

YAMAGUCHI D.K. 1986 : Interpretation of cross correlation between tree-ring series. *Tree-ring Bulletin*, 46 : 47-54.

CONSTRUCTION DES RÉFÉRENCES :

BERNARD V. 1997 : Bois archéologiques, dendrochronologie et problématique du couvert forestier dans le Bassin parisien entre le Mésolithique et le Haut Moyen Age. Thèse, Univ. de Franche-Comté. 248 p.

DOUCERAIN C. & GIRARDCLOS O. 1998 : Etudes dendrochronologiques sur les bâtiments de l'ouest de la France. Dans : *La construction en Anjou au Moyen Age. Actes de la table ronde d'Angers des 29 et 30 mars 1996*. PRIGENT D. & TONNERRE N.Y. (Eds.) Presses de l'Université d'Angers. 267-293.

HOFFSUMMER P. 1989 : L'évolution des toits à deux versants dans le bassin mosan : l'apport de la dendrochronologie (XI^e-XIX^e siècle). Thèse 2 vol., Université de Liège. 326 p, 352 p.

HOLLSTEIN E. 1965 : Jahrringchronologische Datierung von Eichenhölzer ohne Waldkante. *Bonner Jahrbücher des Reinischen Landesmuseum*, 165 : 11-27.

HOLLSTEIN E. 1980 : *Mitteleuropäische Eichenchronologie*. Philipp von Zabern, Mainz am Rhein. 273 p.

LAMBERT G., BERNARD V, DOUCERAIN C., GIRARDCLOS O., GUIBAL F., LAVIER C. & SZEPERTISKY B. 1996 : French regional oak chronologies spanning more than 1000 years. Dans : *Tree Rings, Environment and Humanity. Proceedings of the International Conference on Tree Rings, May 1994, Tucson, Arizona*. DEAN J. S., MEKO D.M. et SWETNAM T.W. (Eds.) *Radiocarbon*, 1996 : 821-932.

LAMBERT G.N. & LAVIER C. 1992 : L'étalon dendrochronologique Bourgogne 29. Dans : *Les veines du temps. Lectures de bois en Bourgogne*. MAURICE B. & LAMBERT G.N. (Eds.) Catalogue d'exposition Musée Rolin, Autun. 123-156.

PILCHER J.R. 1987 : A 700 year dating chronology for Northern France. *BAR International Series 333* : 127-139.

PILCHER J.R., BAILLIE M.G.L., SCHIMDT B. & BECKER B. 1984 : A 7272 year Tree-ring chronology for western Europe. *Nature*, 312 (8) : 150-152.

TAUPIN J.L. TRENARD Y. 1993 : Le petit Louvre de La Pacaudière (Loire) : datation des bois d'oeuvre par dendrochronologie, *Mémoires de la Société Eduenne*, LV (3) : 235-244.

TRENARD Y. & DUCHATEAU J.L. 1985 : Dendrochronologie du Chêne dans la région de Paris. *Dendrocronologia*, 3 : 9-23.