

En Rhône-Alpes, au cours de ces 5 dernières années, s'est présentée la nécessité de traiter plusieurs grandes charpentes historiques, dont certaines très désorganisées.

Trois principales méthodes ont été employées :

- I. Le démontage et la reconstruction
- II. La stabilisation par des structures additionnelles
- III. La régénération de pièces par résine et fibre de verre.

I. Démontage et reconstruction

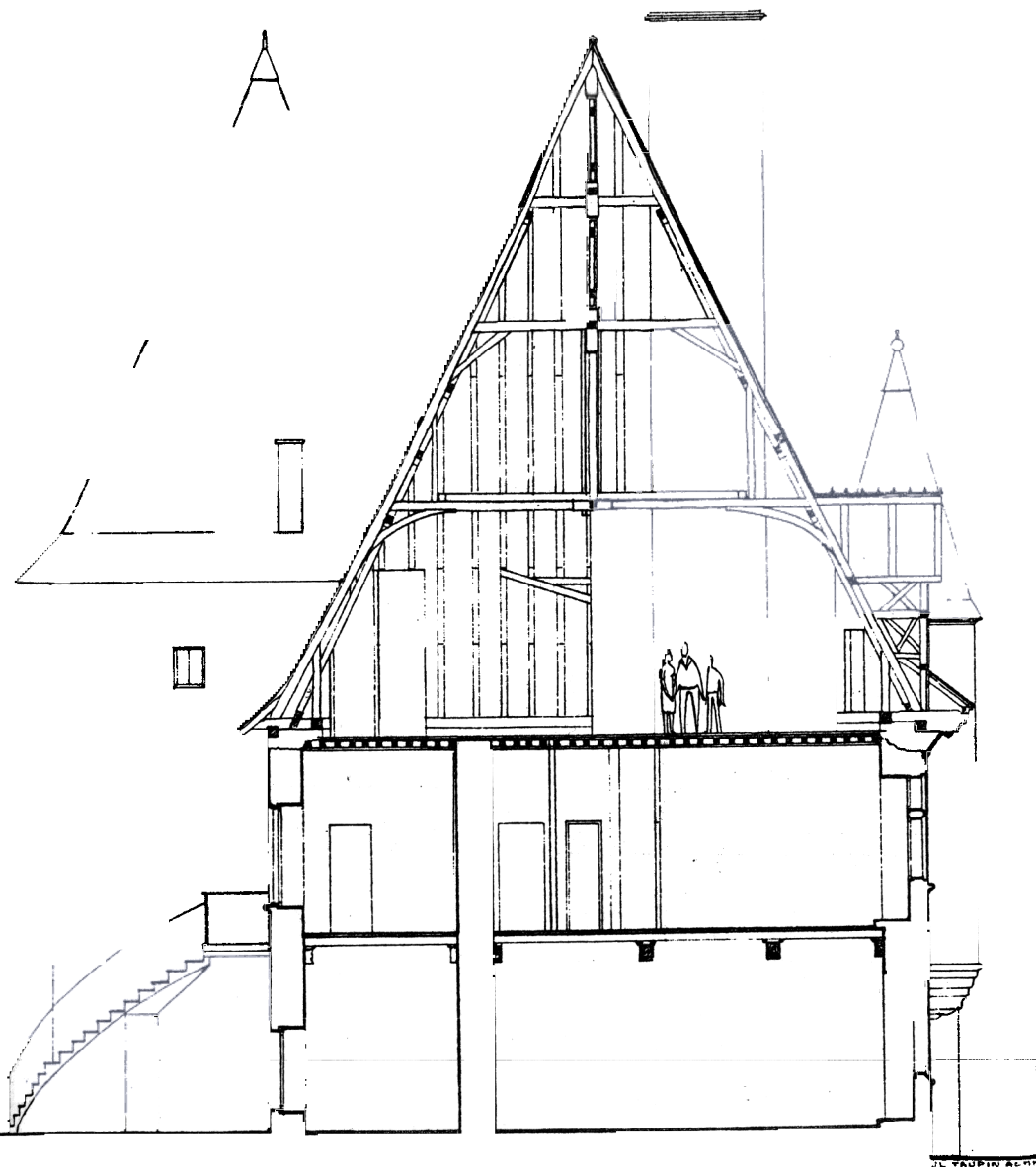
Il est arrivé que le choix "démontage-reconstruction" soit parfois préféré. Par le simple fait qu'ils possèdent la pratique des assemblages traditionnels, certains charpentiers ont une préférence déclarée pour ce mode d'intervention. Il est indéniable d'autre part que l'évolution des pratiques administratives tendant à augmenter la durée et la rigueur des procédures, et à réduire le temps d'exécution, favorise les techniques qui semblent au préalable plus rapides et comporter le moins d'incertitude : ainsi une reconstruction complète qui est en théorie totalement prévisible dans son déroulement.

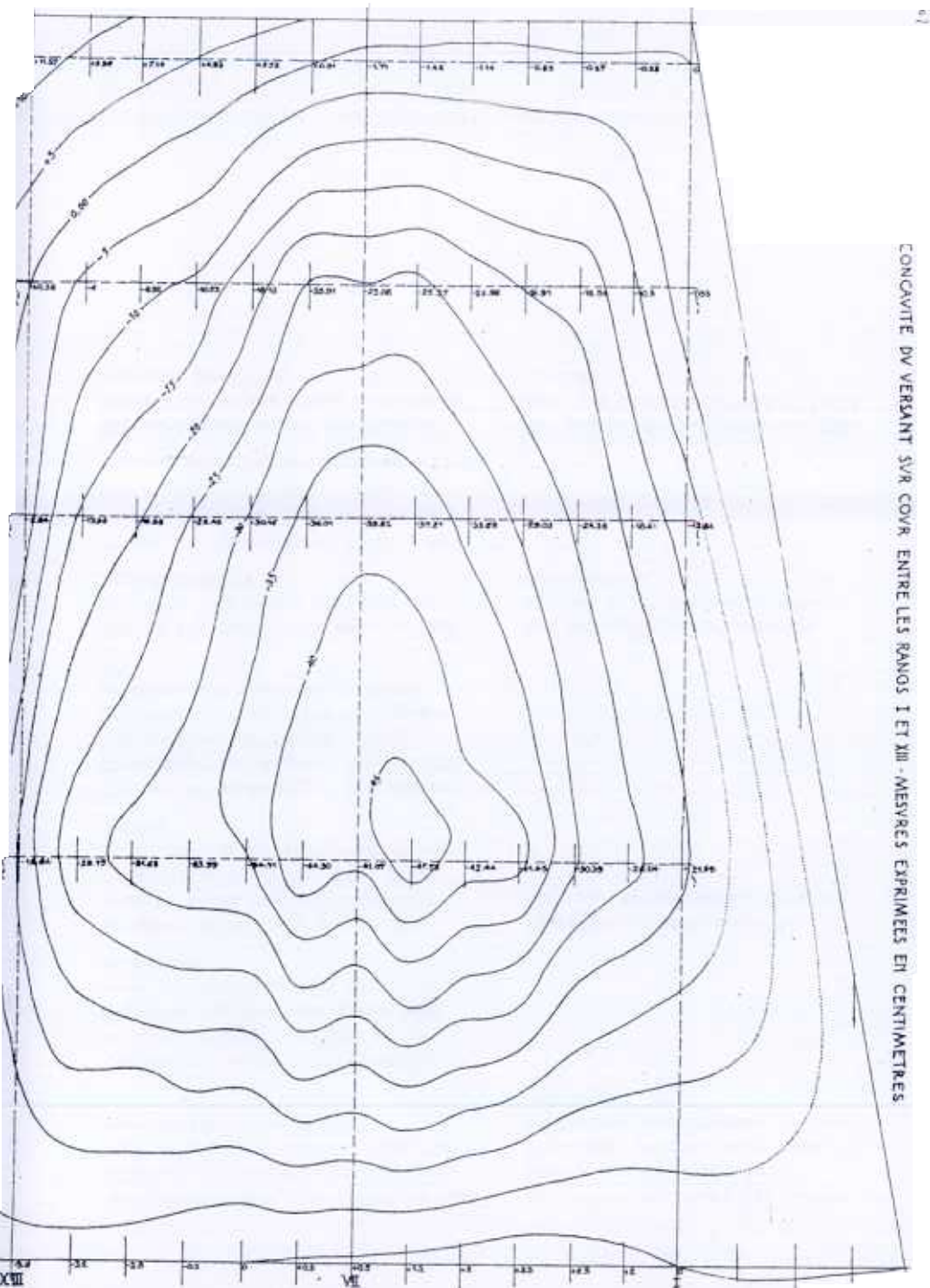
Du "démontage-reconstruction" ressort une toiture neuve, rigide et sèche d'aspect, sans épaisseur historique, et comparable par le brassage des fragments constitutifs, éventuellement récupérés, au mélange au hasard des pages d'un livre.

II. Stabilisation par structures additionnelles

La stabilisation par structures additionnelles est délicate, minutieuse, moins apte à s'associer à l'élaboration des prévisions administratives. Pourtant ces inconvénients paraissent largement compensés par des avantages acquis notamment sur le plan scientifique et pédagogique : il se vérifie que les gens familiers de ces bâtiments, propriétaires, habitants, sont attentifs à ce qui peut leur être indiqué des particularités authentiques des ouvrages anciens, et aux soins pris pour les conserver, et que des informations à ce sujet sont de nature à alimenter l'intérêt des visiteurs. Les observations, les réflexions, les discussions occasionnées par une telle manière de faire, sont assurément un apport positif dans l'entretien du savoir-faire des entreprises et on ne peut nier qu'il en aille de même pour les architectes concernés. Nous tenons pour probable que cet intérêt trouvera un écho au niveau des orientations administratives.

Il a été décidé de procéder à une telle stabilisation pour la restauration d'une grande charpente du Nord du département de la Loire, datant vraisemblablement des années 1500 (le Petit Louvre à la Pacaudière).





Un voligeage oblique à 45° d'inclinaison alternée, choué à clous torsadés sur le dos des chevrons et des fourrures a pour objet d'établir une solidarité diffuse générale.

L'ensemble de la charpente a été maintenu dans sa matière constitutive dans sa structure originelle, et aussi dans la configuration géométrique déformée acquise au cours du temps.

Tous les assemblages primitifs sont conservés à l'exception de ceux de la corniche monumentale par trop dégradée. L'ordre de montage des pièces, maintenu, est repérable par la distribution des marques de charpentiers originelles. Les sous-ensembles décoratifs constitués par les 3 lucarnes monumentales, haute de 4,80 m demeurent et n'ont pas été touchés pendant les travaux. Une telle opération portant comme ici sur un gros volume de charpente est évidemment plus économique qu'une reconstruction. Une expertise dendrochronologique est en cours.

III. Régénération des pièces par résine et fibre de verre

Il était tentant d'observer l'application d'une régénération par l'emploi de résines, car on peut en effet attendre de ce procédé, une possibilité d'augmenter la part conservée de la substance propre d'un bâtiment.

On rappellera que l'emploi des résines en charpente a été étudié par Mr. Klapwijk au cours d'une recherche mathématique et expérimentale développée en collaboration avec le Laboratoire Central pour les Arts et la Science à Amsterdam et le Service d'Etat des Pays-Bas pour la préservation des sites et monuments d'intérêt historique (voir notamment : revue "Bâtiment International" mai-juin 1976 et "Actes du Congrès d'Oxford" 17-23 sept. 1978, communication Klapwijk et note "Polymerchemical restoration by Renofors").

Sous le nom de système BETA (breveté) cette technique a été diffusée en Allemagne, en Grande-Bretagne, aux Pays-Bas (Renofors) notamment.

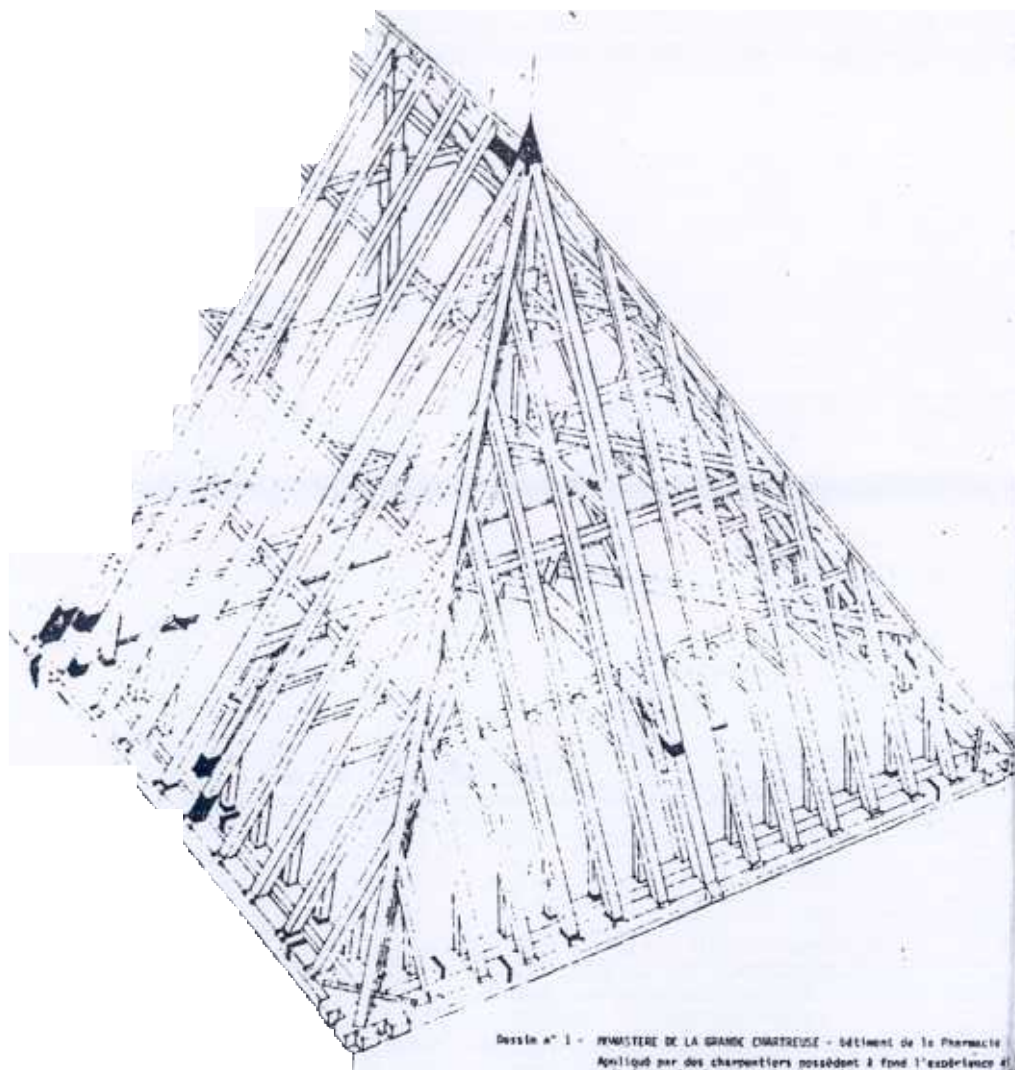
L'utilisation de résine pour des consolidations de charpente a été pratiquée et étudiée également au Canada et aux Etats-Unis (voir "Forest Product Journal" vol. 29 n° 3-1979, consolidation de charpente de hangar à la base U.S. Air Force de Robins) (2).

En France, une consolidation de charpente lamellée collée a été faite en 1972 à Orly avec des résines.

La première application du système BETA a été faite en France, en 1976 à l'Hôtel des Invalides sous la direction de M. Bertrand Monnet, architecte en chef des Monuments Historiques (Exécutants : Sté néerlandaise Renofors et les Charpentiers de Paris).

L'opération que nous présentons ici constitue la première application réalisée en France sur une large échelle. Elle concerne 2 bâtiments différents du Monastère de la Grande-Chartreuse :

- 1° La poutraison de plancher de l'ancienne Bibliothèque (Exécutants : Sté néerlandaise Renofors et l'Entreprise Ieffèvre - 1977)
- 2° La charpente de la Pharmacie-Distillerie (Exécutants : Sté Renofors France fondée en 1978).



Dessin n° 1 - PHARMACIE DE LA GRANDE CHARTREUSE - bâtiment de la Pharmacie
Appliqué par des charpentiers possédant à fond l'expérience et la maîtrise de la charpente classique, l'usage des résines époxydiques par le procédé Rési - peut contribuer utilement à la conservation des charpentes historiques.
Reprises de sablières et de pieds de chevrons endommagés.

L'objectif du procédé est essentiellement de reconstituer les parties dégradées, dans les pièces de bois qu'on laisse en place, par une masse de mortier formé de résine époxyde et d'une quantité variable de sable ou de gravier. Ce mortier liquide prend une consistance solide de haute résistance sous l'effet de la polymérisation de la résine. Des armatures constituées de cannes de fibre de verre + polyester apportent une contribution décisive à la liaison entre la pièce de bois conservée - éventuellement renforcée auparavant par des injections de résine pure - et le bloc de mortier époxydique reconstituant le bois disparu.

1 - Ancienne bibliothèque

La Grande Chartreuse est constituée pour la majeure partie, de bâtiments élevés du XIII^e au XVIII^e siècle mais il est très probable que par l'effet des huit incendies successifs aucune de ses charpentes, construites en résineux, n'est antérieure à 1680.

Une partie des bâtiments, du fait d'infiltrations survenues au début de ce siècle, a été contaminée par le mûre et 250 m² de plancher sont sur étais depuis 1927 à l'extrémité de la grande galerie des Officiers.

Quatre des poutres maitresses de l'Ancienne Bibliothèque (aile formant équerre avec la grande galerie des Officiers) étaient largement affectées à leurs extrémités par un pourrissement qui avait par ailleurs anéanti certaines parties du solivage.

Ces poutres maitresses, en sapin, d'une portée de 10m,50 et d'une section de 0,58 x 0,42, portaient la charge de plusieurs cloisons en pan de bois hourdis de chaux de 15 cm d'épaisseur. On a constaté que malgré les dégradations, la stabilité de l'ensemble avait pu se maintenir grâce à des cloisonnements de l'étage inférieur. Ces cloisons étaient apparues lors de la création d'une chapelle comportant des décors de bois, plafond et parois lambrissés, parquets.

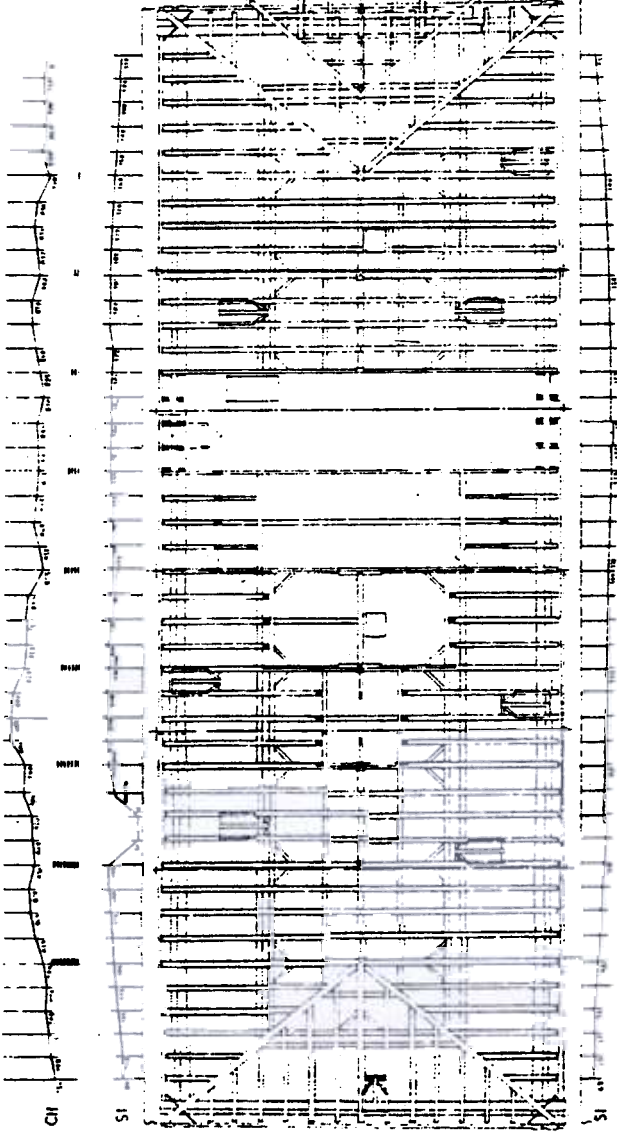
Le foyer de mûre qui avait gâté les bois devait son développement à une humidité provenant de la partie supérieure du parement de façade, à l'obscurité et à l'absence de ventilation qui régnaient dans le caisson fermé ainsi établi entre le plafond de décor de la chapelle et le plancher supérieur.

L'utilisation de la résine était particulièrement bien adaptée dans la mesure où elle évitait le démontage des décors de l'étage inférieur, des cloisons de l'étage supérieur et où elle évitait également les manutentions de pièces qu'aurait occasionnées une consolidation par renfort de bois ou de métal.

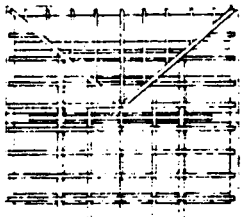
Quelques jours ont été consacrés à la préparation du chantier : élimination des parties ruinées, étalements localisés, premier décapage des bois pourris. Une journée a été suffisante pour le traitement de l'extrémité d'une poutre : curetage approfondi des bois altérés, percement des logements pour armatures, et des évents, construction du coffrage, mise en place des barres et coulée de résine (2 options sont possibles selon les nécessités : le coffrage démontable laissant apparente la matière de résine avec un parement traité ou non traité ou bien coffrage de bois demeurant en place et choisi dans son essence et dans son traitement pour former une continuité d'aspect avec le reste de la poutre).

ETUDE • COMPAREE

MEASURE DU DEPLACEMENT DES PIEDS DE CHEVRONS ET DE LA SARRIERE INTERIEURE



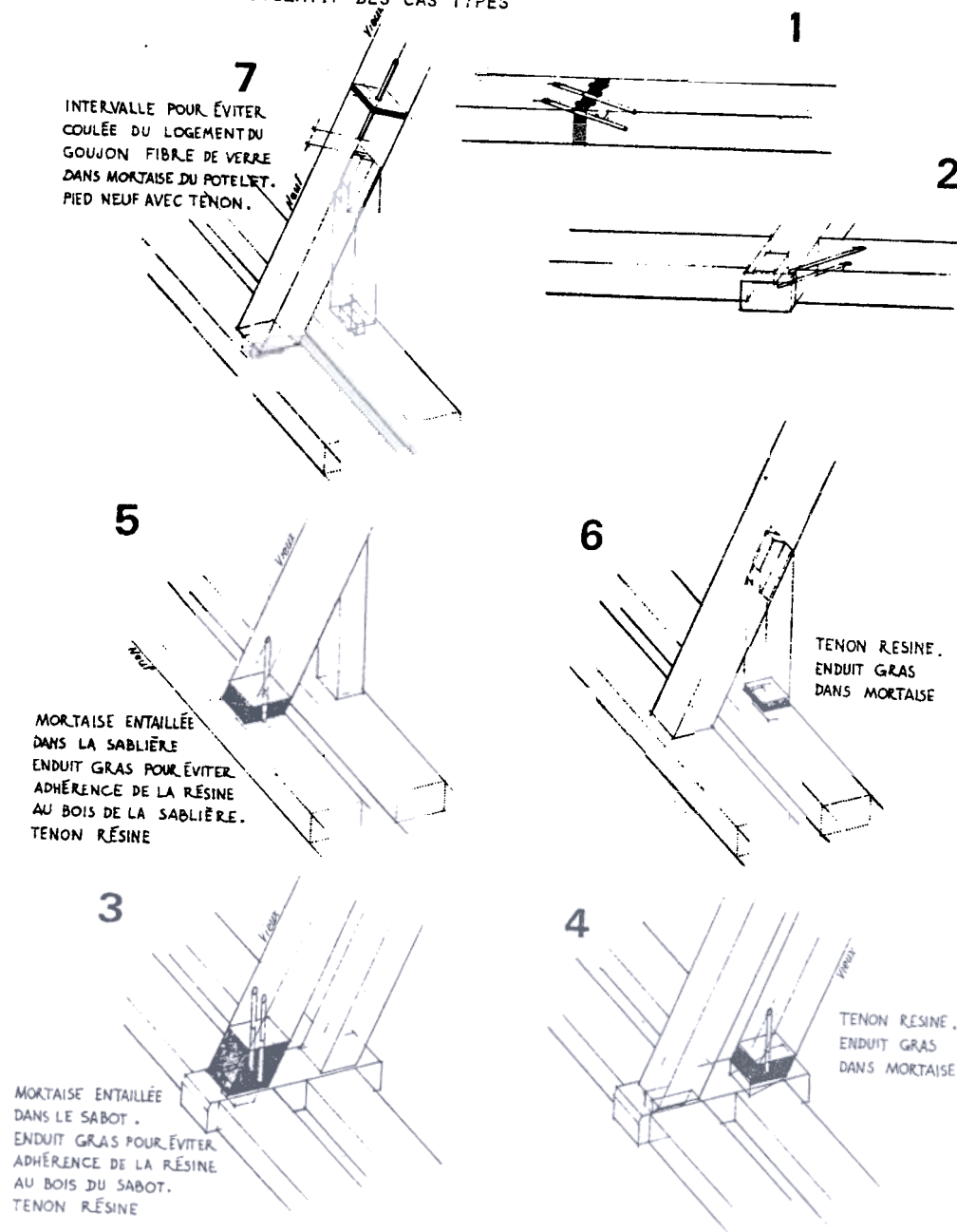
- A ANCIEN PORCHE VESTIOI
- B SECHAGE DES PLANTES
- C ENTREE ET TRAME
- D POAGE DES PLANTES
- E LABORATOIRE
- F DISTILLATION
- O SERRAIE



CHARPENTE DV XVIII^{EME} SIECLE

MONASTÈRE DE LA GRANDE CHARTREUSE - PHARMACIE-DISTILLERIE

TABEAU RECAPITULATIF DES CAS TYPES



2 - Pharmacie-Distillerie

La Pharmacie-Distillerie est un bâtiment de 40m de long, élevé en 1720 pour abriter les ateliers de traitement de plantes médicinales et la préparation de médicaments, élixirs et liqueurs.

Ce bâtiment est couvert par une charpente à 2 croupes dont les chevrons inclinés selon la pente du triangle équilatéral, ont 11,50 m de long et sont répartis tous les 72 cm. Ces chevrons sont contrebutés - soit directement, soit par l'intermédiaire de tronçons d'entrait - par des liernes longitudinales portant sur des entrails de plans maîtres espacés de la valeur de 4 intervalles entre chevrons (3). Les désordres graves affectant le bâtiment avaient été provoqués par le pourrissement des 2 trains de sablières fondés sur l'arase des murs, qui supportent les pieds de chevrons et leurs potelets tout autour du bâtiment : l'écrasement parfois total de ces sablières primitivement hautes de 20 cm s'est traduit par un écartement affectant principalement le pied des chevrons courants.

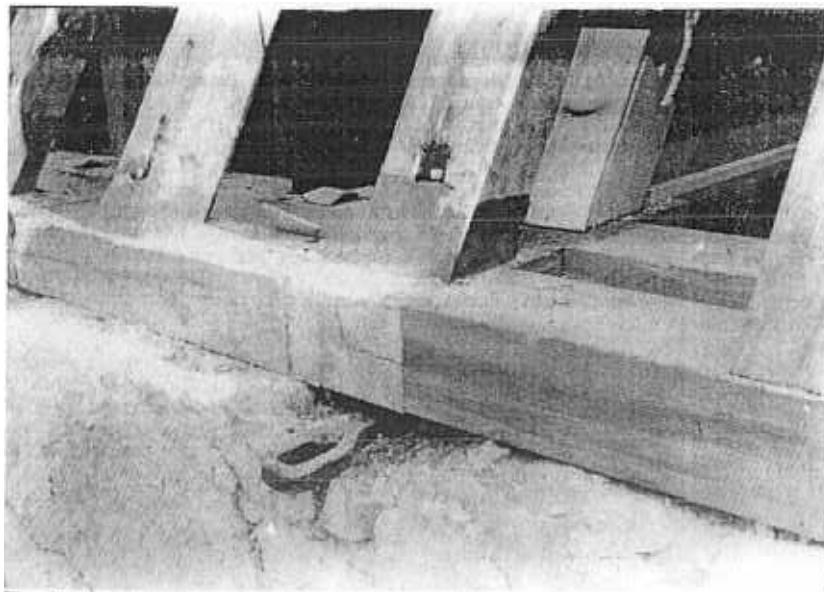
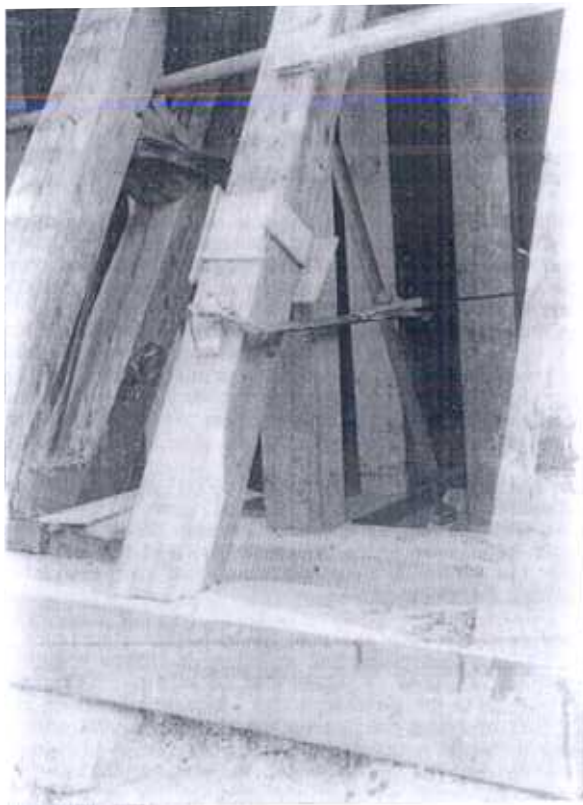
La charpente a été étayée mais aucun des assemblages principaux n'a été démonté. On a procédé au renouvellement de toutes les longueurs de sablières détériorées par le pourrissement. Parmi les parties conservées se trouvent heureusement les croisements 2 à 2 des sablières aux angles, épargnés par les afflux de neige poudreuse qui sont probablement un facteur déterminant du pourrissement.

Les raccordements sablière neuve-sablière ancienne peuvent se faire en n'importe quel point par un joint de résine complété par une paire de goujons en fibre de verre (Dessin schéma 1). Toutefois pour réserver la possibilité de mouvements dus aux changements de longueur de bois sous l'influence des variations hygrométriques, il a été demandé que sur l'une des faces au moins des blochets (1 blochet ancien et 2 blochets nouveaux sur la longueur du bâtiment) la sablière soit reçue par un assemblage à tenon et mortaise (Dessin schéma 2). Les tronçons de sablière neuve peuvent ainsi se mettre en place sans difficulté de dévêtissement. (On peut s'attendre entre la période sèche de fin d'été et la période humide de fin d'hiver, à une variation de 18mm sur la longueur totale d'un train de sablière).

La hauteur nécessaire au dévêtissement des tenons de pied de chevrons et de potelets complique la pose des nouvelles sablières. Pour que les manipulations n'endommagent pas les tenons de chevrons lorsqu'ils sont bien conservés, l'enlèvement des tronçons détériorés doit se faire par fragments, les étais nécessaires étant en place.

Pour les pieds de chevrons courants, la méthode traditionnelle de maintenance consiste à soulever le pied de chevron et du potelet suffisamment pour introduire les tenons dans les mortaises des nouvelles sablières. Lorsque le pied de chevron et son tenon sont mutilés par pourriture, qui parfois s'engage axialement dans le corps de la pièce sur 30 ou 40 cm en laissant les parements intacts, après avoir sectionné toute la partie gâtée, une reconstitution du pied de chevron est faite :

- si la longueur concernée est courte (schéma 3 ou 5), avec de la résine (Il nous paraît préférable de conserver un assemblage libre et les possibilités d'un éventuel démontage en isolant les 2 pièces au moment de la coulée : cela peut s'obtenir en enduisant de cire la première pièce préparée).



- si la longueur concernée est plus importante (schéma 7), avec un nouveau pied de bois muni d'un tenon qui s'assemblera à la mortaise d'une sablière neuve ou à une mortaise réservée dans une reprise de mortier époxydique. Une bonne économie du matériau conduit en effet à préférer dans ce cas des "raboutages".

Si le joint de résine vient à tomber au-dessus d'un noyau, on peut avoir à prendre des précautions telles qu'un tasseau noyé, pour garder la possibilité de clouer le litelage : le clouage est impossible dans un bloc de résine et le perçage difficile.

OBSERVATIONS

Les reconstructions par mortier de résine époxydique semblent pouvoir rétablir la valeur structurelle de toute pièce, qu'elle travaille en compression, traction, flexion. On cite des travaux faits aux Pays-Bas par exemple pour reconstituer les poutres supportant en porte-à-faux l'arbre des ailes d'un moulin à vent.

Des expérimentations de résistance au feu des ouvrages de résine ont été menées dans divers pays d'Europe. On cite un essai de l'Institut T.N.O. de Delft : une tête de poutre synthétique soumise à une courbe de feu standardisée a transmis une force transversale de 3 T.F. aux points d'appuis suivant norme NEM 1076-D durant 56 minutes tandis qu'une pièce de même section avait une résistance de 60 minutes, mais la section est un élément à prendre en considération.

La réparation d'une pièce détériorée dans le cours de sa longueur, ou à une extrémité libre d'une poutre dans un mur par exemple, présente un cas relativement simple, mais la plupart du temps les foyers de dégradation correspondent aux extrémités assemblées des pièces (par exemple assemblages victimes d'infiltrations). De ce fait l'application de la résine devient un problème de réfection d'assemblage et nécessite, nous semble-t-il, un traitement allant au-delà de la réalisation d'une pièce coulée monolithique.

La conception traditionnelle de la charpente repose sur l'emploi d'assemblages mis au point pour la commodité de la 1ère mise en place et pour d'éventuels démontages, pour réserver, dans les zones privilégiées qu'ils constituent, la possibilité de jeux nécessités par le retrait des bois, par les torsions occasionnelles des pièces et pour permettre ainsi de prolonger la stabilité de la charpente face à l'apparition de tassements d'origines diverses.

D'une façon générale, des précautions fondamentales sont à prendre :

- il faut éviter d'employer de la résine pure dès qu'il s'agit d'un certain volume car la chaleur dégagée par la polymérisation provoquerait une expansion, la rupture du coffrage et la brisure de la pièce coulée. Une charge inerte (sable ou gravier) réduit cet échauffement tout en permettant une économie sur un matériau relativement coûteux.

- A l'inverse, une température ambiante insuffisante serait préjudiciable ne permettant pas à la polymérisation de s'effectuer assez rapidement et dans de bonnes conditions.

- La préparation des ouvrages est en grande partie un problème de réalisation de coffrage et peut bénéficier de l'expérience du menuisier et du maçon. Les coffrages doivent laisser un bon aspect de surface et être étanches. Il faut en effet, lorsque les ouvrages de résine restent apparents, viser à obtenir la forme définitive à la première coulée et ne pas avoir à compléter des imperfections par des mastics de rebouchement complémentaires coûteux et inesthétiques, ni à éliminer des surplus par meulage.

CONCLUSION

Certains ouvrages présentent des caractéristiques telles qu'elles appellent sans hésitation un recours logique à l'une des 3 méthodes successivement examinées : ce sont des cas limités.

Mais il pourrait arriver que pour étudier avec certitude l'évaluation du niveau d'opportunité du choix technique à faire entre ces 3 méthodes, il soit nécessaire de procéder à des comparaisons de variantes décrivant chacune un scénario opérationnel, en en faisant ressortir les avantages et inconvénients de diverses natures : simplification de démontage, économie, rapidité d'exécution, élégance d'aspect, conservation de pièces archéologiques (pièces authentifiées par des marquages des nomenclatures d'origine du XV^e ou du XVI^e par exemple). L'importance relative de chacun de ces critères est variable selon les cas.

Le système résine + armature se révèle bien adapté à la réparation de pièces insérées dans des dispositions structurales complexes, particulièrement à partir du moment où des démontages nécessiteraient des manoeuvres coûteuses : démontages de décors ou démontages de structures primaires de charpente qu'on peut ainsi éviter. La résine présentera de notables avantages s'il y a, toutes dépenses annexes comprises, une réelle économie ou s'il y a un intérêt évident de discrétion visuelle, de fidélité au système structural original ou de plus grande conservation de matériaux archéologiques.

Une objection faite parfois à l'encontre de ce système s'inspire du soupçon qu'il pourrait nuire à la vitalité des techniques traditionnelles du charpentier par l'introduction d'une recette de manœuvre passe-partout. Au contraire, il nous semble essentiel que ce procédé soit mis à la disposition des charpentiers expérimentés, capables dans leur jugement, d'imaginer des tours de mains associant de manière ingénieuse les diverses ressources techniques ainsi enrichies. La souplesse d'emploi de la résine offre une grande variété de combinaisons possibles. Le métier du charpentier peut acquérir ici une ressource complémentaire, car en effet, il nous semble qu'il y aura lieu dans la plupart des cas de recourir à une combinaison intégrante des assemblages de type classique et des assemblages de type résine en se tenant au principe que tout composant d'assemblage sain doit être réemployé.

SUMMARY

TECHNIQUE OF CONSOLIDATION OF WOOD

Three principal methods were used :

- dismantling and reconstruction
- stabilization through additional structures
- regenerating pieces with resin and fiberglass

The dismantling -reconstruction method is often favored when the carpenters possess the skill of traditional assemblages and because it is quick and reliable. Stabilization through the use of additional structures is delicate, meticulous, and does not fulfill administrative expectations. The advantages of restoration work done with resins is that it enables a better conservation of the original structure of the building.

Reconstruction done with resin cement seems capable of restoring the structural quality of any piece, whether it is under compression, traction, or flexion. The fire resistance of the resin elements is similar to wood elements of the same dimensions.

Certain elements, due to their characteristics, logically call for one of the previously cited methods. When choosing a method, one should compare the variable carefully and bring out the relative importance of the advantages and disadvantages in view of the circumstances.

The resin-armature system is well suited for repairing pieces that are within complex structural arrangements. Especially when dismantling would require costly operations. One objection to this method is that it could diminish the vitality of traditional carpentry techniques by introducing an all-purpose method. The flexibility of the resin technique enables it to be used in a variety of situations. A treatment must be determined for each case, and undoubtedly, a combination of traditional methods and this resin method will be used, in the belief that any revivable element must be re-used.

Notes :

- 1 - Exécutants : Entreprise Bourgeois
- 2 - Nous remercions Mr de Leuwe des précisions bibliographiques qu'il a bien voulu nous fournir
- 3 - On note que 4 largeurs de tuile valent 1 entraxe de chevrons, 4 entraxes de chevrons valent 1 intervalle entre plans maîtres, 4 intervalles entre plans maîtres égalent la moitié de la longueur du faitage du bâtiment.